

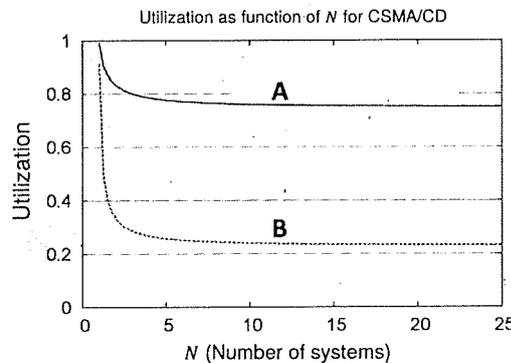


Zitterbart  
 Telematik

Dauer: 120 min. Lösung: offiziell Bestanden mit: ? P.  
 Bemerkung: -

**Aufgabe 1 Allgemeine Fragen (General Questions) (12 Punkte)**

- a) Erklären Sie, wie der Begriff Routing-Metrik in der Vorlesung definiert wurde und geben Sie zwei Beispiele für konkrete Routing-Metriken an.
- b) Geben Sie an, wie ein System bei CSMA/CD und CSMA/CA jeweils erkennen oder vermuten kann, dass eine Kollision aufgetreten ist.
- c) Bei der Evaluation von Ethernet wurde ein Parameter "a" verwendet. Erklären Sie, wie dieser Parameter a definiert ist. Die Abbildung zeigt den Zusammenhang zwischen Anzahl an Systemen und Auslastung bei Ethernet CSMA/CD für zwei konkrete Werte von a (in Form der Kurven A und B). Welche der beiden Kurven repräsentiert den niedrigeren a-Wert? Erklären Sie ihre Wahl, z.B. mit einer Formel.

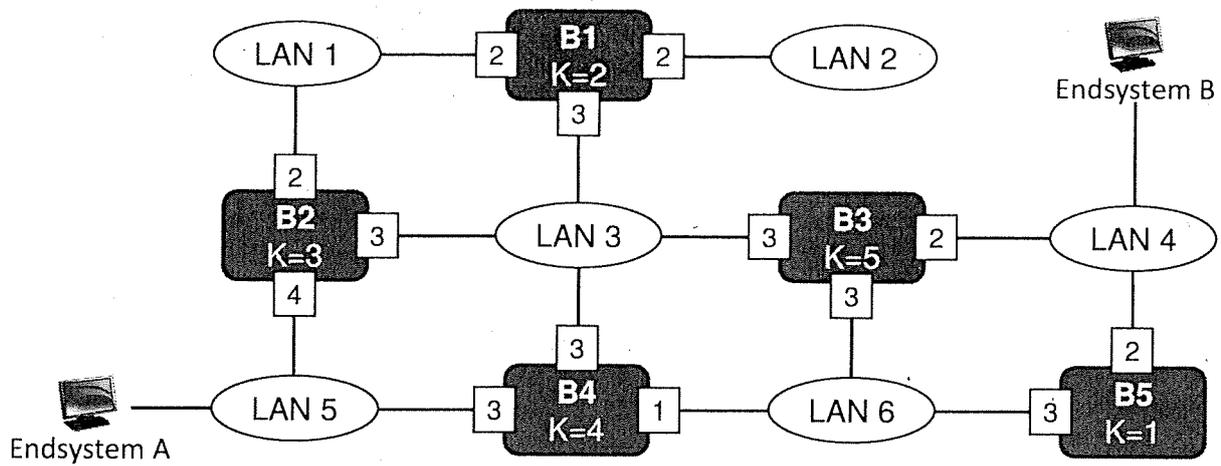


- d) Ein kleines Rechenzentrum nutzt eine k Pod Fat Tree Topologie und verfügt über 16 Server, 20 Switches und 32 Links. Über wieviele Ports muss dann jeder der genutzten Switches verfügen? Begründen Sie ihre Entscheidung.
- e) Nennen Sie drei konzeptionell unterschiedliche Maßnahmen, mit denen sich Blockierungen in einem Router vermeiden lassen.
- f) Ein einzelnes Präfix wird in einen Multitrie mit Stride  $k=3$  eingefügt. In wievielen Knoten des Baums muss dieses Präfix im schlimmsten Fall gespeichert werden? Begründen Sie ihre Antwort.
- g) Für Routing und Forwarding im Data Center können Lösungen auf Schicht 2 und Schicht 3 genutzt werden. Erläutern Sie kurz, welche dieser beiden Lösungen besser geeignet ist, und zwar speziell in Bezug auf die effiziente Migration von virtuellen Maschinen ("seamless" VM migration).

**Aufgabe 2 Spanning Tree Protocol (11 Punkte)**

Die LANs des nachfolgend dargestellten Netzes werden durch die transparenten Brücken B1 bis B5, die das Spanning Tree Protocol verwenden, miteinander gekoppelt. Jede Brücke verfügt über eine eindeutige Brückenkennung K. Die Anschlusskosten einer Brücke zu einem LAN sind an den jeweiligen Schnittstellen angegeben.

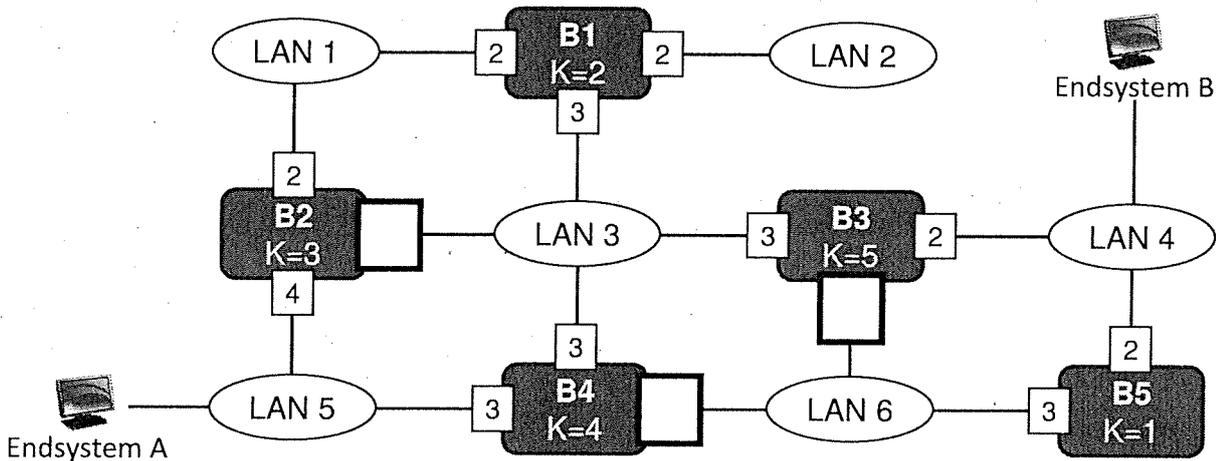
- a) Kennzeichnen Sie an jeder Brücke das Root-Interface mit dem Buchstaben „R“ und die Designated-Interfaces mit dem Buchstaben „D“. Welche der Brücken stellt im dargestellten Netz die Root-Bridge dar? Begründen Sie Ihre Antwort.



b) Zeichnen Sie den resultierenden Spannbaum des Netzes.

c) Gehen Sie davon aus, dass der Spannbaum etabliert und die Filterdatenbasen aller Brücken leer sind. In welche LANs wird der erste Rahmen weitergeleitet, den Endsystem A an Endsystem B sendet? In welche LANs wird die darauf folgende Antwort von Endsystem B an A gesendet?

d) Bestimmen Sie minimale Link-Kosten für die freien Felder bei B2, B3 und B4, so dass alle Brücken Teil des Spannbaums werden. Verwenden Sie ausschließlich ganzzahlige Kosten größer Null.

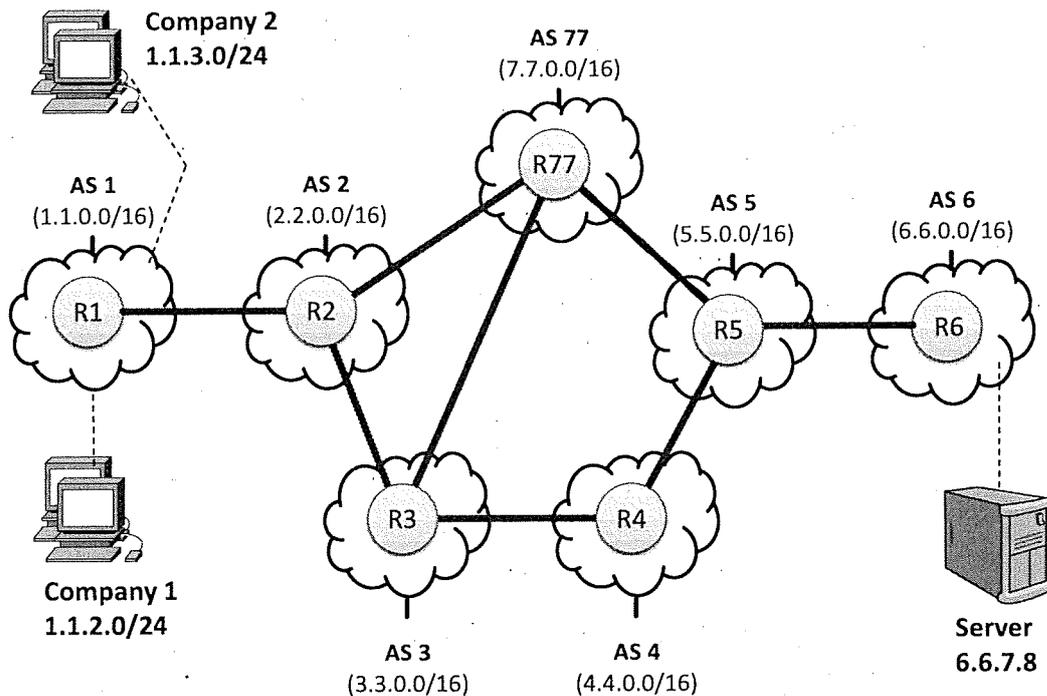


e) Das Protokoll TRILL bietet eine Alternative zum Spanning Tree Protocol. Welche Routen berechnet eine Routing Bridge (RBridge) in TRILL?

### Aufgabe 3 Border Gateway Protocol (11 Punkte)

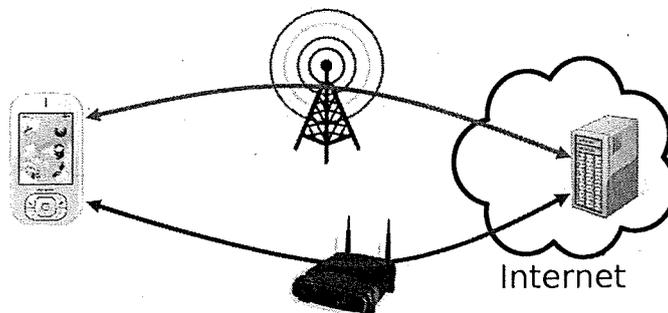
Gegeben ist die folgende Netztopologie, die aus sieben Autonomen Systemen (AS1, AS2, ...) und sieben BGP-Routern (R1, R2, ...) besteht. Die durchgezogenen Verbindungen zwischen den BGP-Routern kennzeichnen sowohl die physische Verbindung zwischen den BGP-Routern als auch aktive BGP-Verbindungen. Es gilt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

- Jedes AS ist für das ihm zugewiesene Präfix verantwortlich.
- Jedes AS wendet bei der Weiterleitung von UPDATE-Nachrichten die folgende Regel an: Existieren mehrere Routen mit dem gleichen Ziel-Präfix, wird nur die Route mit dem kürzesten AS-Pfad bekannt gegeben. Ansonsten werden grundsätzlich alle Routen allen Nachbarn bekannt gegeben.
- Eine korrekte Lösung muss nicht zwingend alle freien Einträge der vorgedruckten Tabellen ausnutzen.



- Tragen Sie in der unten angegebenen Tabelle alle nötigen UPDATE-Nachrichten ein, die von den BGP-Routern verschickt werden müssen, damit ein Rechner aus Company 1 erfolgreich eine TCP-Verbindung zum Server aufbauen kann. Geben Sie für jede UPDATE-Nachricht neben Sender und Empfänger außerdem das enthaltene Präfix und die Pfadinformationen an. Wichtig: Geben sie **ausschließlich** solche Nachrichten an, die für diese eine TCP-Verbindung unerlässlich sind.
- Geben Sie die Einträge der BGP-Routingtabellen von BGP-Router R5 and R6 an. Beschränken Sie sich dabei ausschließlich auf Einträge mit Ziel-AS 77.
- Company 1 möchte nicht, dass der TCP-Verkehr mit dem Server in AS6 über AS77 weitergeleitet wird und richtet eine entsprechende Forderung an AS1. Erklären Sie, warum AS1 dieser Forderung ohne die Hilfe der anderen ASe nicht nachkommen kann.
- Um der Forderung aus Aufgabenteil c) nachzukommen, kooperiert AS1 nun mit AS3 und AS5. Erklären Sie, wie die Forderung von Company 1 erfüllt werden kann.
- Erklären Sie, ob ihre Lösung aus Aufgabenteil d) auch Auswirkungen auf Company 2 hat.

#### Aufgabe 4 MPTCP (9 Punkte)



- Das Smartphone in der oben gezeigten Abbildung hat sowohl eine Verbindung über WLAN zu einem Server im Internet als auch über 5G („Multi Homing“). Kann eine Anwendung auf dem Smartphone, die über reguläres TCP eine Verbindung zum Server aufbaut, vom Multi Homing profitieren? Begründen Sie Ihre Antwort; gehen Sie dabei auch darauf ein, welche Rollen die IP-Adressen für eine TCP-Verbindung spielen.

- b) Für das Smartphone ist ein Betriebssystem-Update geplant, welches die bisherige TCP Implementierung durch MPTCP ersetzt. Würde dies auch eine Änderung der Anwendung erforderlich machen? Geben Sie eine kurze Begründung an.
- c) Im oben dargestellten Szenario wird eine neue MPTCP-Verbindung aufgebaut. Zeichnen Sie den Handshake. Kennzeichnen Sie welchen Typ die dargestellten Nachrichten haben (bzw. welche Flags gesetzt sind) und die jeweils gesetzten MPTCP-Optionen.
- d) Nach dem in Aufgabenteil c) durchgeführten Handshake wird ein zweiter Subflow aufgebaut. Zeichnen Sie auch diesen Handshake und beschriften Sie die Pfeile entsprechend.
- e) Beschreiben Sie kurz wozu Sequenznummern bei TCP benötigt werden. Bei MPTCP ist jeder Subflow eine standardkonforme TCP-Verbindung. Erklären Sie warum die Subflow-Sequenznummern nicht ausreichen, um diese Aufgaben für eine MPTCP-Verbindung zu erfüllen. Welche Sequenznummern enthält somit ein MPTCP-Segment?

### Aufgabe 5 Staukontrollverfahren (8 Punkte)

Ein Sender möchte 54 000 Byte mit TCP übertragen. Ihm stehen die in der Vorlesung behandelten Staukontrollverfahren TCP Reno, TCP Tahoe, sowie ein (für diese Klausur erfundenes) experimentelles Verfahren TCP AIAD zur Verfügung. TCP AIAD wird im entsprechenden Aufgabenteil beschrieben. Skizzieren Sie für alle drei Varianten den Verlauf des Staukontrollfensters (CWnd) über die Zeit.

Gehen Sie jeweils von den folgenden Randbedingungen aus. Wenn das Staukontrollfenster eine Größe von 8MSS erreicht, wird ein Stau erkannt (leichte Stausituation, z.B. drei duplizierte Quittungen). Sendewiederholungen werden in dieser Aufgabe vernachlässigt, gehen Sie daher ebenfalls davon aus, das *Fast-Recovery* nicht zum Einsatz kommt.

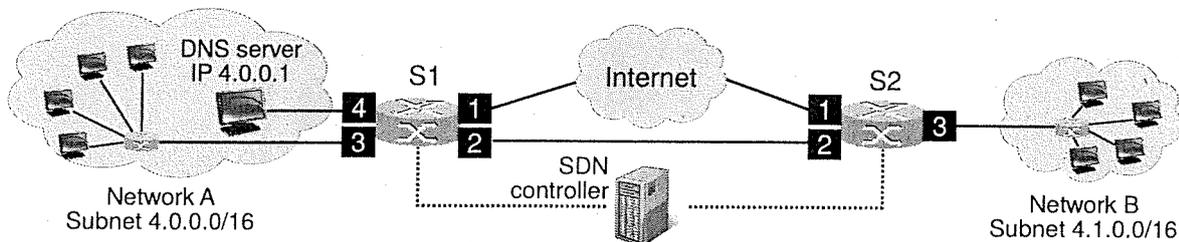
RTT	100 ms
MSS	1.000 Byte
Empfangspuffer (pro Verbindung)	12 000 Byte
Slow-start beginnt bei	1 MSS

- a) Skizzieren Sie den Verlauf des Staukontrollfensters (CWnd) mit TCP Tahoe.
- b) Skizzieren Sie den Verlauf des Staukontrollfensters (CWnd) mit TCP Reno.
- c) Das Verfahren TCP AIAD basiert auf TCP Reno, reagiert aber anders im Falle eines leichten Staus (z.B. drei duplizierte Quittungen). Wird innerhalb einer RTT ein leichter Stau erkannt, so wird zu Beginn der darauffolgenden RTT das Staukontrollfenster um 1 MSS reduziert. Hierdurch ergibt sich eine additive Reduktion des CWnd. Anderenfalls verhält sich TCP AIAD wie TCP Reno.

Skizzieren Sie den Verlauf des Staukontrollfensters (CWnd) mit TCP AIAD.

### Aufgabe 6 Software Defined Networking (9 Punkte)

Die Netze A und B sind wie dargestellt über die SDN-Switches S1 und S2 untereinander und mit dem Internet verbunden. Der Zugriff aus dem Internet auf den angeschlossenen DNS-Server soll unterbunden werden. Dazu werden S1 und S2 wie unten angegeben programmiert.



S1, flow table 1

S2, flow table 1

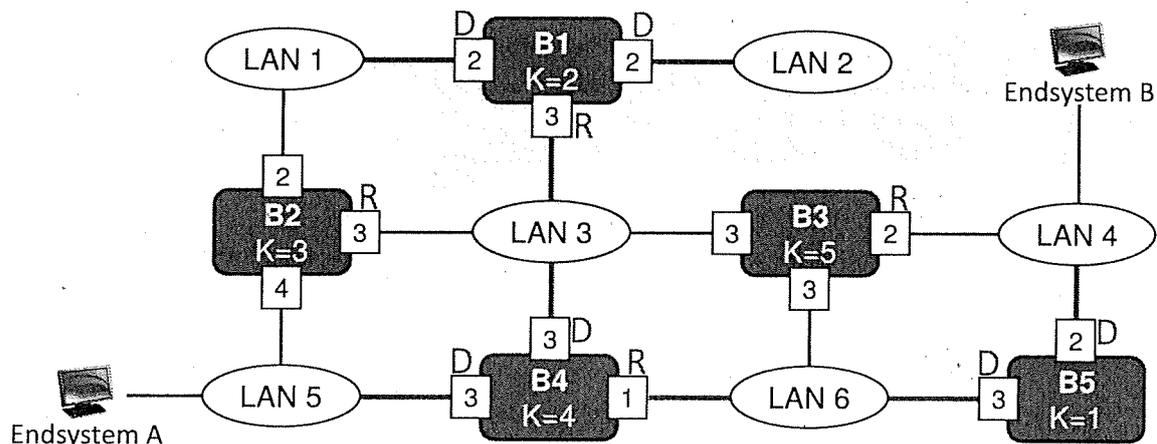
Priority	Match fields	Action
4	IP_SRC = 4.0.0.0/15, IN_PORT = 1	Drop
3	IP_DST = 4.0.0.1, IP_SRC = 4.0.0.0/15	Output 4
2	IP_DST = 4.0.0.1	Drop
1	IP_DST = 4.0.0.0/16	Output 3
1	IP_DST = 4.1.0.0/16	Output 2
0	*	Output 1

Priority	Match fields	Action
1	IP_DST = 4.1.0.0/16	Output 3
1	IP_DST = 4.0.0.0/16	Output 2
0	*	Output 1



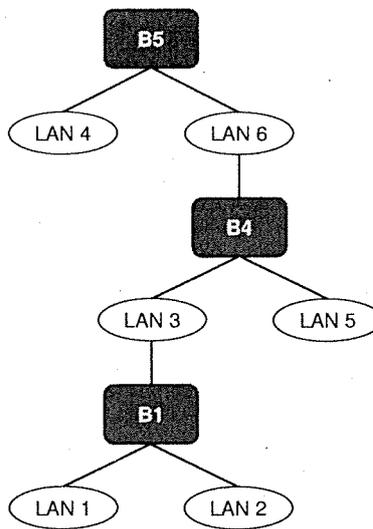
- 1.a) • Definition Routing-Metrik: Wird von einem Router genutzt, um Routing-Entscheidungen herbeizuführen. Kann auf individuelle Links oder ganze Pfade/Routen angewandt werden.
- Beispiele: Utilization, latency, data rate, number of hops
- 1.b) CSMA/CD: Kann direkt auf dem Medium hören, dass eine Kollision aufgetreten ist  
 CSMA/CA: Nach Ausbleiben einer Quittung wird vermutet, dass eine Kollision aufgetreten ist
- 1.c) Parameter  $a = \frac{t_a}{t_s} = \frac{\text{propagation delay}}{\text{transmission delay}}$   
 Kurve A hat einen niedrigeren a-Wert. Die Formel für die Auslastung ist  $\frac{1}{1+3.44a}$  für große  $N$ , also ergibt sich für einen kleineren a-Wert eine höhere Auslastung (in der Abbildung sieht man  $a = 0.1$  oben und  $a = 1$  unten).
- 1.d) Hier handelt es sich um einen 4 Pod Fat Tree ( $k=4$ ), d.h. jeder Switch hat 4 Ports Begründungs-Ansätze:
- $\frac{k^3}{4} = \frac{4 \cdot 4 \cdot 4}{4} = 16$  Server
  - $\frac{5k^2}{4} = \frac{5 \cdot 4 \cdot 4}{4} = 20$  Switches
  - $\frac{k^3}{2} = \frac{5 \cdot 4 \cdot 4}{2} = 32$  Links
- Eine der oben genannten Begründungen ist ausreichend.
- 1.e) Mögliche Nennungen:
- Overprovisioning
  - Buffering (switch fabric, output interfaces)
  - Backpressure
  - Parallel switch fabrics
- 1.f) Im Normalfall wird nur ein einziger Knoten benötigt. Mehr als ein Knoten wird nur dann benötigt, wenn Prefix Expansion erforderlich ist. Bei einem stride von  $k=3$  werden hier schlimmstenfalls vier Einträge notwendig und zwar für den Fall das zwei der drei Bits expandiert werden müssen.
- 1.g) In Bezug auf die effiziente Migration von virtuellen Maschinen sind IP-Adressen weniger gut geeignet als Schicht 2 Adressen. Denn muss bei Migration eine neue IP Adresse vergeben werden, werden bestehende TCP-Verbindungen unterbrochen.

2.a)



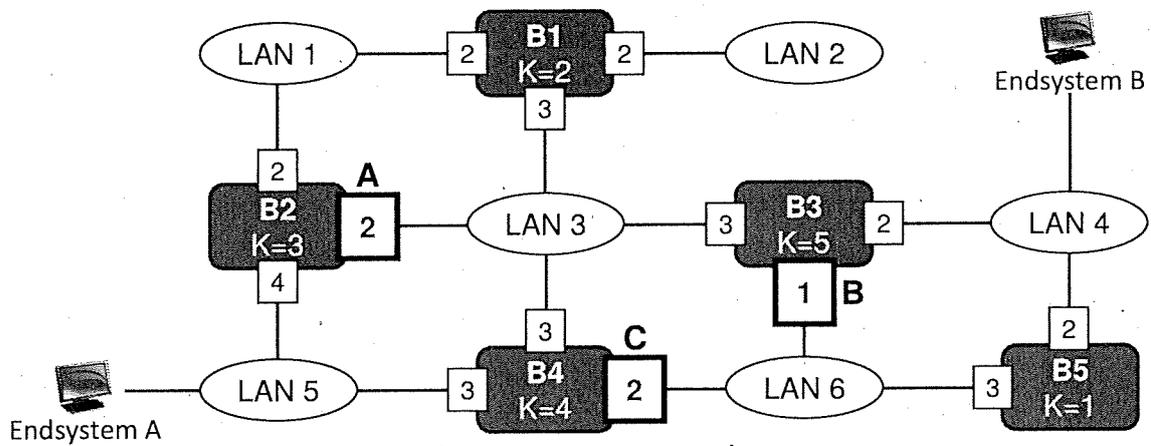
Root-Bridge und Begründung: B5, da  $K = 1$  die niedrigste Brückenkennung im Netz ist.

2.b)



2.c) LANs für Rahmen von A zu B: Alle  
 LANs für Rahmen von B zu A: LAN 4, LAN 6, LAN 5

2.d)



2.e) Jede RBridge berechnet kürzeste Routen zu allen anderen RBridges.

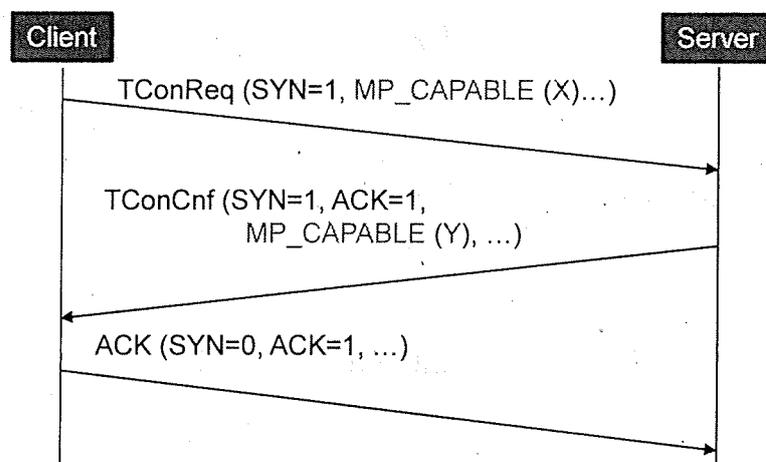
3.a) Tabellarische Aufstellung verschickter UPDATE-Nachrichten

Sender	Empfänger	Präfix	Pfad
R1	R2	1.1.2.0/24	1
R2	R77	1.1.2.0/24	2 1
R77	R5	1.1.2.0/24	77 2 1
R5	R6	1.1.2.0/24	5 77 2 1
R6	R5	6.6.0.0/16	6
R5	R77	6.6.0.0/16	5 6
R77	R2	6.6.0.0/16	77 5 6
R2	R1	6.6.0.0/16	2 77 5 6

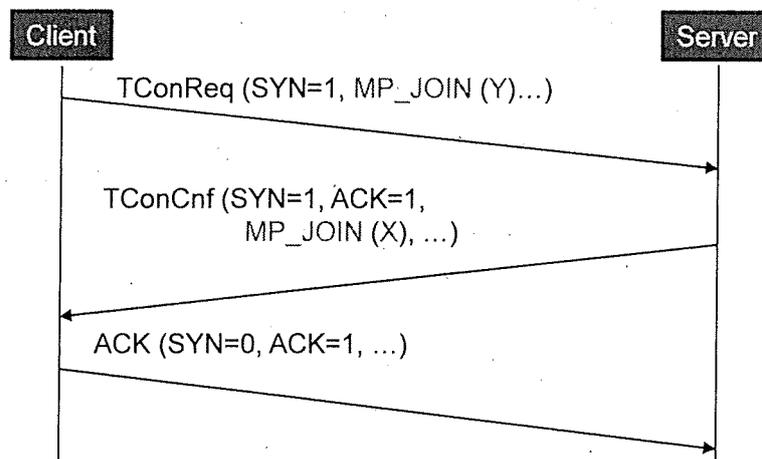
3.b)

Zielnetz	Next Hop	Pfad
Routing Table BGP-Router R5:		
7.7.0.0/16	R77	77
7.7.0.0/16	R4	4 3 77
Routing Table BGP-Router R6:		
7.7.0.0/16	R5	5 77

- 3.c) AS1 hat keine Möglichkeit, die Entscheidungen von AS2 (die policy-basiert sind) zu beeinflussen. AS reicht nun aber aufgrund der Vorgaben in der Aufgabenstellung jedes Paket von AS1 in Richtung AS an AS77 weiter, weil der Pfad kürzer ist.
- 3.d) Genutzt werden spezifischere Präfixe, die selektiv (d.h. NICHT an AS77) weitergeleitet werden. Zu beachten ist ferner, dass der Antwortpfad ebenfalls umgeleitet werden muss.
- 3.e) Wurde der Fall über spezifischere Präfixe gelöst, hat diese Lösungen auch Auswirkungen auf Company 2, weil der Verkehr in Richtung Server umgeleitet wurde. Falls Company 2 mit dem gleichen Server kommuniziert, sind diese Pakete entsprechend ebenfalls von der Umleitung betroffen.
- 4.a) Nein, die Anwendung kann nicht vom „Multi Homing“ profitieren, da eine TCP-Verbindung auf einen einzelnen Pfad beschränkt ist (bzw. TCP ein *single path protocol* ist). IP-Adressen (und Portnummern) werden sowohl als Identifikator, als auch als Lokator genutzt. Die Identifikation nutzt genau eine Quell- und genau eine Zieladresse. Da das WLAN- und das 5G-Interface unterschiedliche IP-Adressen verwenden, kann somit nur eines der Interfaces genutzt werden. Dies kann auch zur Laufzeit nicht geändert werden.
- 4.b) Eine Änderung der Anwendung ist nicht erforderlich. MPTCP bietet „Application compatibility“. Das heißt, dass MPTCP ein identisches Interface nutzt, wie reguläres TCP.
- 4.c)

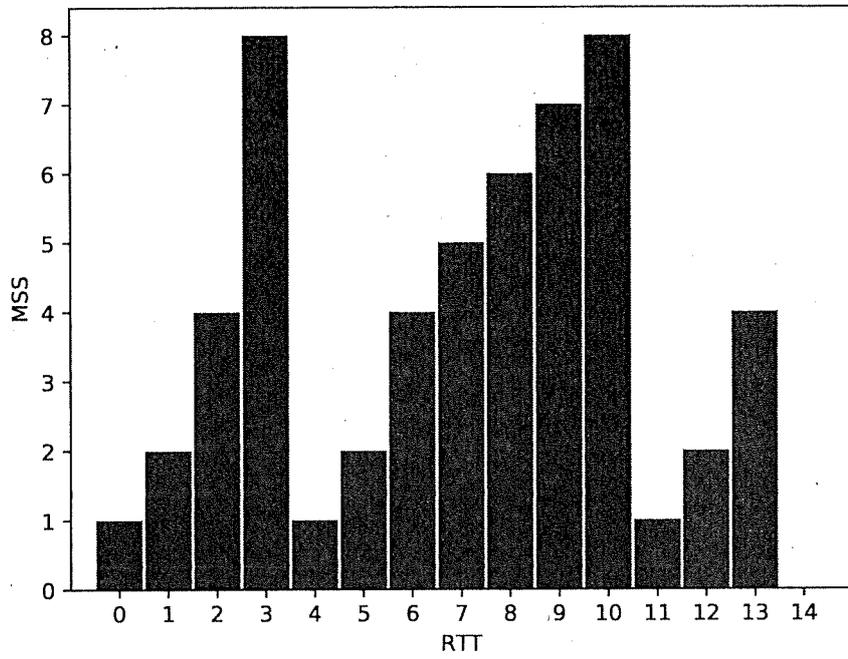


4.d)

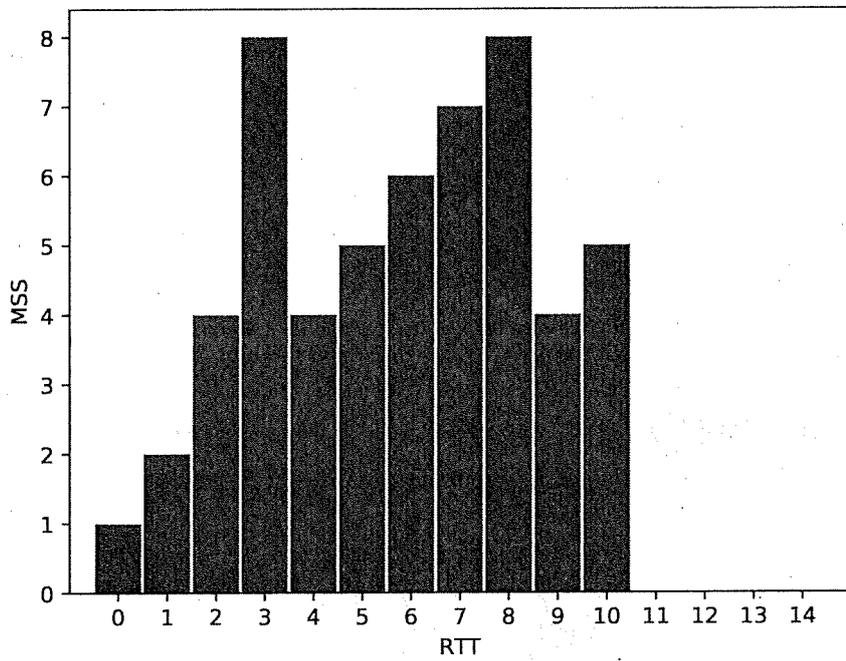


- 4.e) Sequenznummern werden benötigt, um Paketverluste zu erkennen, Duplikate zu erkennen und um die Daten beim Empfänger in die korrekte Reihenfolge zu bringen. Mittels Subflow-Sequenznummern können die Daten nur innerhalb des Subflows in die richtige Reihenfolge gebracht werden. Werden Daten über mehrere Subflows verschickt, ist eine weitere Sequenznummer nötig, um diese wieder in die korrekte Reihenfolge zu bringen. Jedes Segment enthält daher eine Subflow-Sequenznummer und eine Data-Sequenznummer.

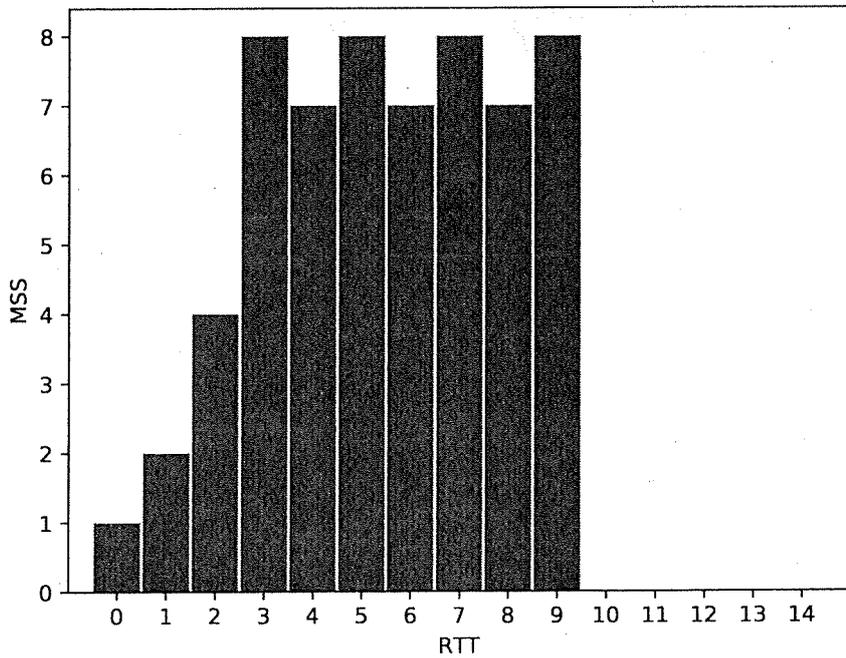
5.a)



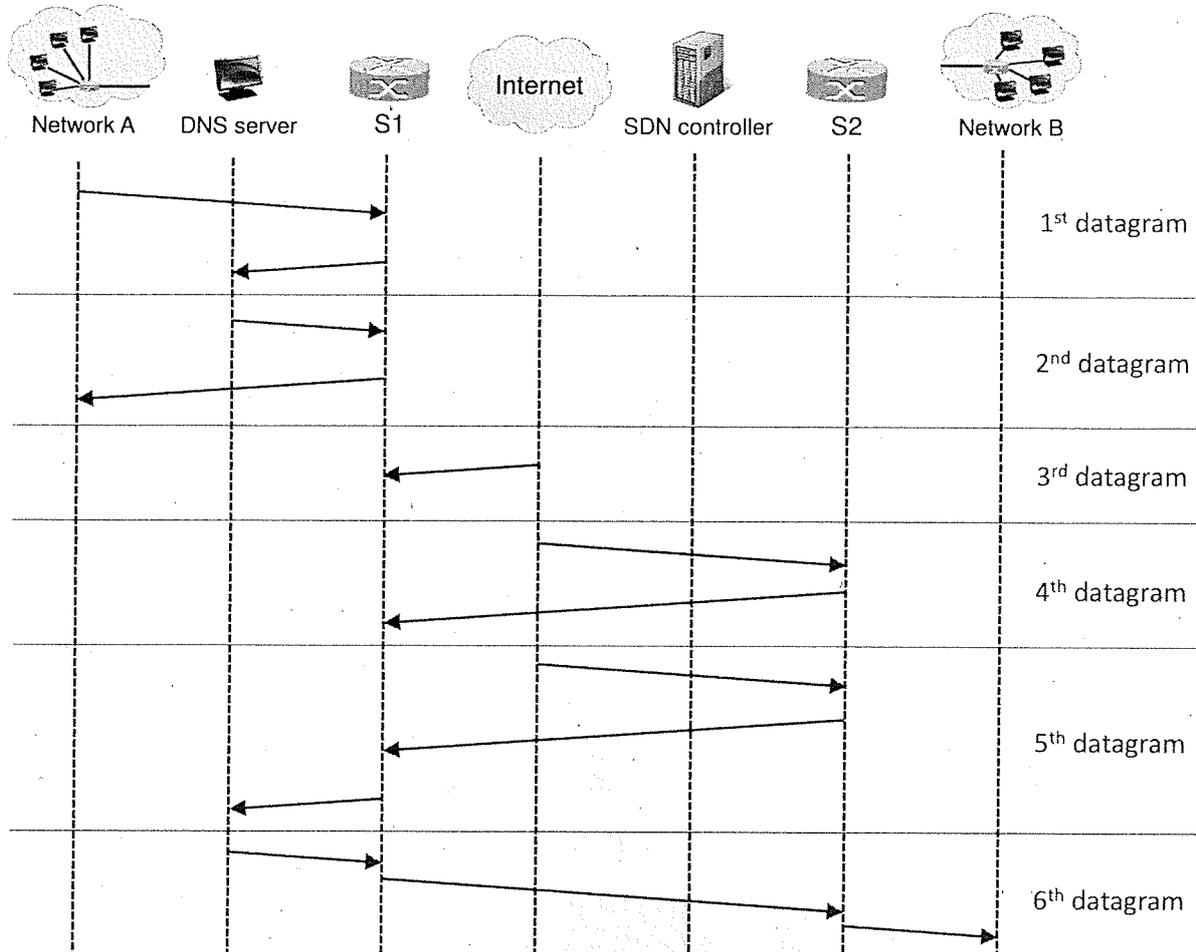
5.b)



5.c)



6.a)



6.b)

S1, flow table 1

Priority	Match fields	Action
3	IP_DST = 4.0.0.1, IN_PORT = 3	Controller
2	IP_DST = 4.0.0.1	Drop
1	IP_DST = 4.0.0.0/16	Output 3
1	IP_DST = 4.1.0.0/16	Output 2
0	*	Output 1

S2, flow table 1

Priority	Match fields	Action
3	IP_DST = 4.0.0.1, IN_PORT = 3	Controller
2	IP_DST = 4.0.0.1	Drop
1	IP_DST = 4.1.0.0/16	Output 3
1	IP_DST = 4.0.0.0/16	Output 2
0	*	Output 1

6.c) import S1, S2 // References to switch S1 and S2

```

onPacketIn(packet, switch) {
    rule = Rule()

    rule.MATCH(IP_SRC, packet.IP_SRC)
    rule.MATCH(IP_DST, packet.IP_DST)
    rule.PRIORITY(4)
    rule.ACTION(Output, 4)

    send_rule(rule, S1)
    send_packet(packet, S1)
}

```

6.d) Datagramme können weiterhin den DNS-Server erreichen, wenn Sie die IP-Quell-Adresse eines Endsystems verwenden, für das zuvor ein Eintrag durch die onPacketIn-Methode programmiert wurde.