

Zitterbart
Telematik

Dauer: 60? min
Bemerkungen: -

Lösung: ja

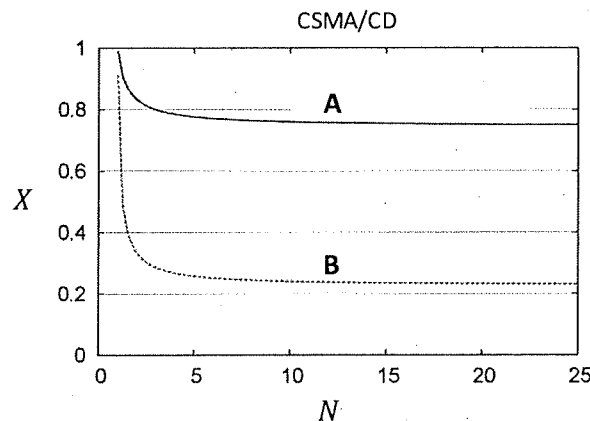
Bestanden mit: ?/60 P

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

- a) Erklären Sie den Unterschied zwischen RAM und CAM, indem Sie angeben, was die beiden Konzepte jeweils als Ein- und Ausgabe verwenden. Was unterscheidet CAM und TCAM? 1,5
- b) TCAM bietet eine implizite Möglichkeit zur Priorisierung der darin gespeicherten Daten. Nennen Sie einen aus der Vorlesung bekannten Anwendungsfall im Kontext von Internet-Routing, wo eine solche Priorisierung genutzt wird und erklären Sie kurz die Funktionsweise. Ist dies auch mit binärem CAM umsetzbar? Warum? 2
- c) Nennen Sie eine aus der Vorlesung bekannte Baum-Datenstruktur, die für eine effiziente Präfix-Suche bei Longest-Prefix-Matching zum Einsatz kommen kann. Welche zusätzliche Datenstruktur kann genutzt werden, um Werte für einen schnelleren Zugriff zwischenspeichern. 1
- d) Nehmen Sie an, zwei Pakete kollidieren auf dem ISDN-D-Kanal. Welche Folgen hat das für die Pakete? Warum? Vergleichen Sie dies mit einer Kollision bei Ethernet. 1,5
- e) Von welchen drei Parametern hängt beim periodischen Modell (TCP) die erreichbare Datenrate ab? Nennen Sie die Parameter und erklären Sie kurz deren Bedeutung. Geben Sie die Formel für die Datenrate an, konstante Faktoren können vernachlässigt werden. 4

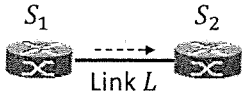
Aufgabe 2 Ethernet (10 Punkte)

- a) Im Rahmen der Evaluation von Ethernet wurde der Parameter a eingeführt. Die folgende Abbildung stellt die Kurven **A** und **B** der Größe X in Abhängigkeit der Anzahl N der aktiven Systeme im Netz für zwei konkrete Werte für a dar. Geben Sie an wofür X steht und welches Verhältnis durch a ausgedrückt wird. Erläutern Sie ferner, welche der beiden Kurven den niedrigeren Wert für a repräsentiert, beispielsweise anhand einer geeigneten Formel. 2



- b) Ethernet hat sich im Laufe der Jahre sehr gewandelt. Welche Änderung und welches damit einhergehende Problem haben dazu geführt, dass Flusskontrolle im Kontext von Ethernet eingeführt wurde? 1
- c) Zwischen welchen Systemen findet Flusskontrolle bei Ethernet und bei TCP statt? 1
- d) Bei Ethernet werden Halbduplex-Links und Vollduplex-Links unterschieden. Wie kann Flusskontrolle jeweils umgesetzt werden? Beschreiben Sie hierzu zwei in der Vorlesung vorgestellte Verfahren für Halbduplex-Links sowie eines für Vollduplex-Links. Geben Sie außerdem an, wie ein System, das senden möchte, auf den jeweiligen Flusskontrollmechanismus reagiert. 3
- e) Wie wird durch den Einsatz von Flusskontrolle bei Ethernet ein Vorteil gegenüber der alleinigen Nutzung von TCP-Flusskontrolle erzielt? 1

f) Auf dem 10 Gbit/s-Link L zwischen den Systemen S_1 und S_2 wird Enhanced Transmission Selection mit Prioritätsgruppen PG1 bis PG3 eingesetzt. S_1 empfängt die unten aufgeführten Datenraten für PG1 bis PG3 zu den Zeitpunkten t_1 und t_2 . Die Weiterleitung über L verwendet die angegebenen Reservierungen. Welche Datenraten können auf L für PG1 bis PG3 an t_1 und t_2 maximal erzielt werden?



| Prioritätsgruppe (priority group) | An S_1 empfangene Datenrate (data rate received by S_1) | | Reservierte Datenrate (reserved data rate) |
|--------------------------------------|---|----------|---|
| | t_1 | t_2 | |
| PG1 | 4 Gbit/s | 5 Gbit/s | 2 Gbit/s |
| PG2 | 2 Gbit/s | 3 Gbit/s | 3 Gbit/s |
| PG3 | 3 Gbit/s | 4 Gbit/s | 5 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 | |

Aufgabe 3 Spanning Tree Protocol (10 Punkte)

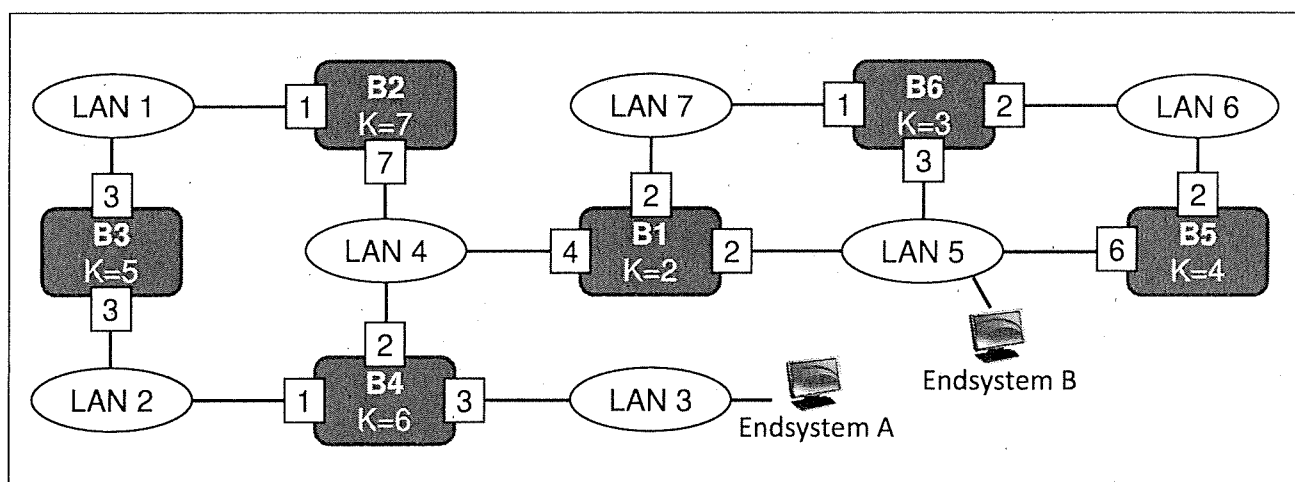
10 Die transparenten Brücken B1-B6 verbinden LAN1 bis LAN7 des dargestellten Netzes. B1-B6 verwenden das Spanning Tree Protocol, verfügen über eindeutige Brückenkennungen K und haben die an den jeweiligen Schnittstellen angegebenen Anschlusskosten zu den LANs. B1 bildet die Root-Brücke des Netzes.

a) Berechnen Sie die Pfadkosten aller schleifenfreien Pfade von den Brücken B2-B6 zur Root-Brücke B1. Führen Sie alle bei den Berechnungen auftretenden Summanden explizit auf. Markieren Sie außerdem für alle Brücken B2-B6 den jeweils kürzesten Pfad.

| Pfade (paths) | Summanden (summands) | Pfadkosten (path costs) | Kürzester Pfad (shortest path) |
|------------------|-------------------------|----------------------------|-----------------------------------|
| B2 → B1 | | | <input type="checkbox"/> |
| | | | <input type="checkbox"/> |
| | | | <input type="checkbox"/> |
| | | | <input type="checkbox"/> |
| B3 → B1 | | | <input type="checkbox"/> |
| | | | <input type="checkbox"/> |
| | | | <input type="checkbox"/> |
| | | | <input type="checkbox"/> |
| B4 → B1 | | | <input type="checkbox"/> |
| | | | <input type="checkbox"/> |
| | | | <input type="checkbox"/> |
| | | | <input type="checkbox"/> |

| | | | |
|---------|--|--|--------------------------|
| B5 → B1 | | | <input type="checkbox"/> |
| | | | <input type="checkbox"/> |
| | | | <input type="checkbox"/> |
| | | | <input type="checkbox"/> |
| B6 → B1 | | | <input type="checkbox"/> |
| | | | <input type="checkbox"/> |
| | | | <input type="checkbox"/> |
| | | | <input type="checkbox"/> |

b) Kennzeichnen Sie an jeder Brücke das Root-Interface mit „R“ und die Designated-Interfaces mit „D“.

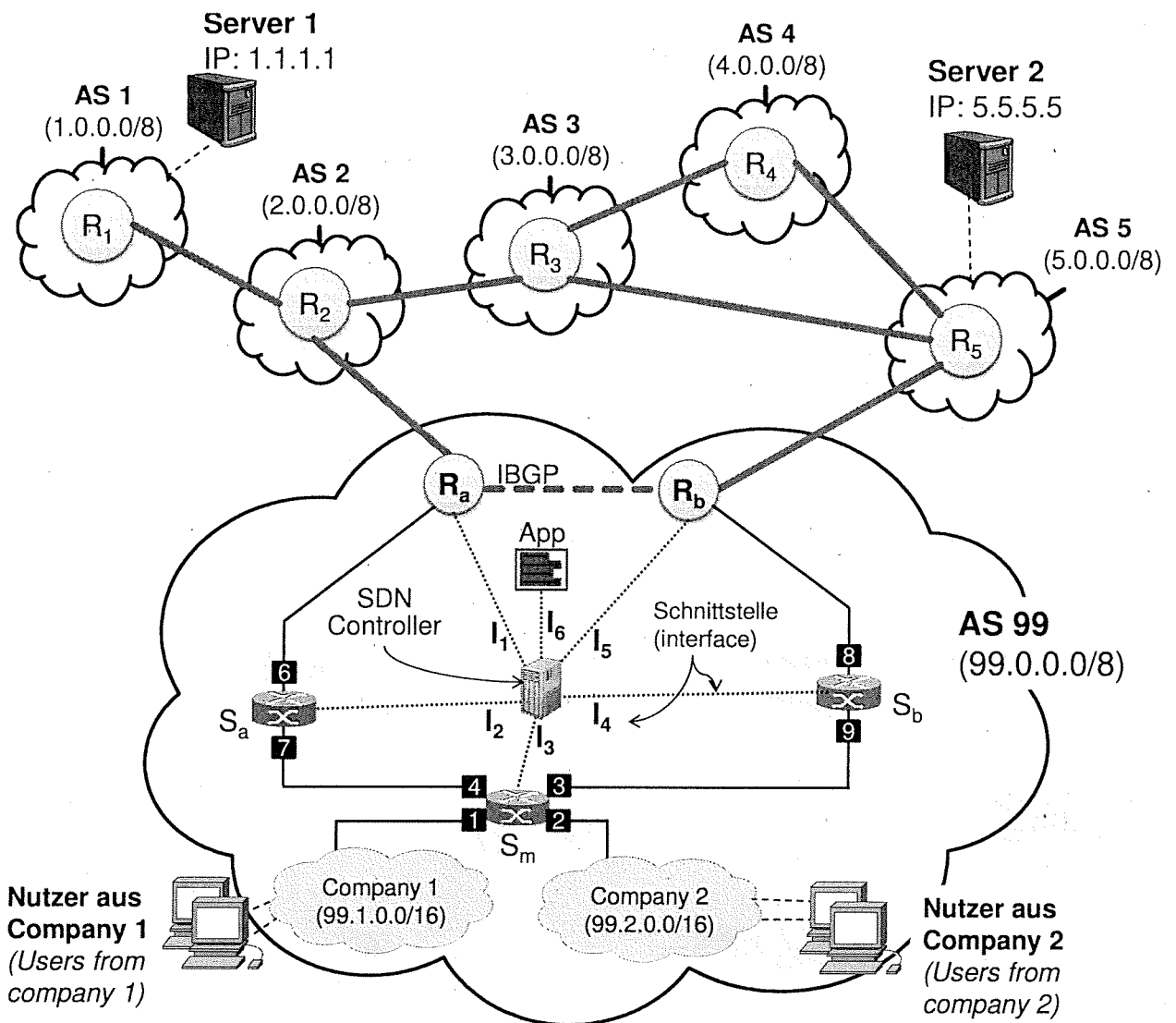


c) Zeichnen Sie den resultierenden Spannbaum des Netzes.

d) In welche LANs wird der erste Rahmen weitergeleitet, den Endsystem A an Endsystem B sendet, wenn der Spannbaum bereits etabliert ist aber die Filterdatenbasen aller Brücken noch leer sind? In welche LANs wird die darauf folgende Antwort von Endsystem B an A gesendet?

Aufgabe 4 Routing (13 Punkte)

13 Gegeben ist die folgende Netztopologie, die aus sechs autonomen Systemen (AS1, AS2, ..., AS99) besteht. R_1 bis R_5 sowie R_a und R_b sind BGP Router. R_a und R_b werden mittels IBGP synchronisiert. S_a , S_b und S_m sind SDN Switches die von einer App im SDN Controller gesteuert werden. Die durchgezogenen Verbindungen kennzeichnen physische Verbindungen.



a) Geben Sie alle Einträge der BGP-Routingtabellen von BGP-Router R_a und R_b an. Dabei gilt:

- Jedes AS ist für das ihm zugewiesene Präfix verantwortlich.
- Es werden alle (besten) Routen an alle Nachbarn bekannt gegeben.

5

1 b) Alle von R_a und R_b empfangenen BGP UPDATE Nachrichten werden an den SDN Controller weitergereicht. Der Controller aktualisiert dann (falls nötig) die Flow Table Einträge der SDN Switches. Handelt es sich dabei um reaktive oder proaktive Flow Programmierung? Begründen Sie ihre Antwort!

c) In der Vorlesung wurden mit Bezug auf die SDN Architektur verschiedene Schnittstellen vorgestellt. Geben Sie an, welche dieser Schnittstellen hier verwendet werden. Nennen Sie dazu den (oder die) Kennzeichner aus der Skizze (I_1 bis I_6) und den dazugehörigen Namen der Schnittstelle. Erläutern Sie außerdem kurz die zentrale Bedeutung der Schnittstelle.

3

Um seinen Vertrag zu erfüllen, muss AS99 sicherstellen, dass der Verkehr von Company 1 und Company 2 immer auf dem Weg mit der geringsten Latenz weitergeleitet wird. Es gilt:

- Alle physischen Verbindungen haben die gleiche Latenz.
- Nutzer von Company 1 kommunizieren (ausschließlich) mit Server 1, Nutzer von Company 2 nur mit Server 2. Die Kommunikation ist bidirektional, d.h. die Server müssen auch antworten können.
- Pakete die von S_a bzw. S_b nach R_a bzw. R_b geschickt werden, werden auf Basis der BGP-Routingtabellen aus Aufgabenteil a) weitergeleitet.

d) Welche UPDATE Nachricht(en) muss AS99 per BGP an welchen Router verschicken, um den oben beschriebenen Vertrag erfüllen zu können? Geben sie Quell- und Zielrouter an sowie die bekanntgegebenen Präfixe.

2

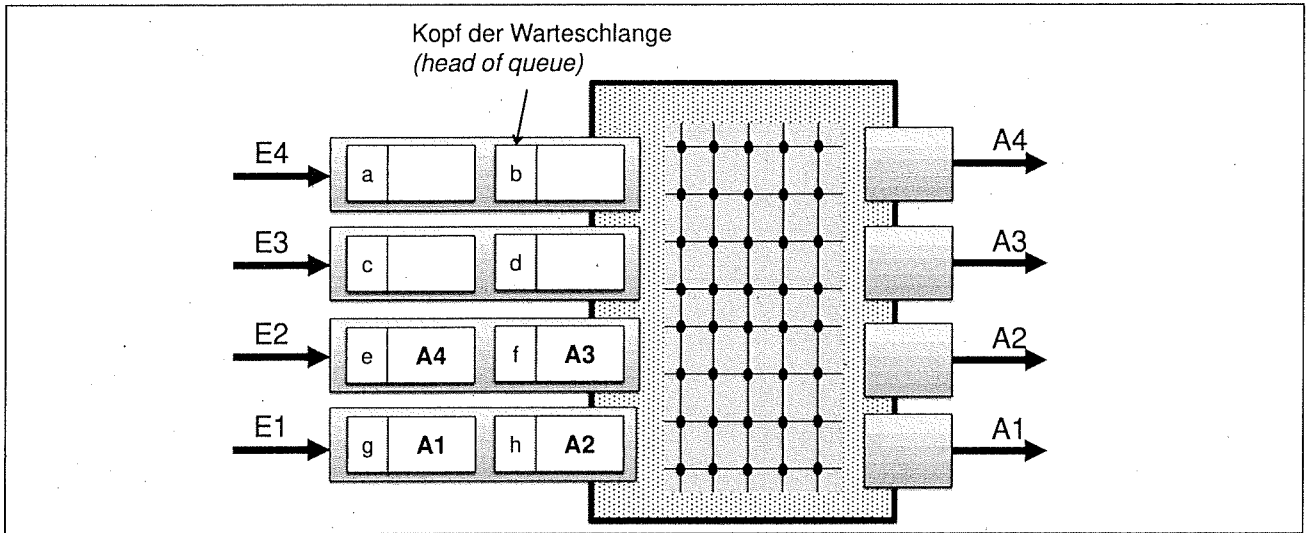
e) Geben Sie Flowtable-Einträge für S_m so an, dass der Vertrag erfüllt werden kann, d.h. der Verkehr von und zu Company 1 und 2 wird entsprechend der Vorgaben weitergeleitet. Es wird angenommen das S_a und S_b passende Einträge enthalten (diese müssen nicht extra angegeben werden).

Aufgabe 5 Head-of-Line Blocking (5 Punkte)

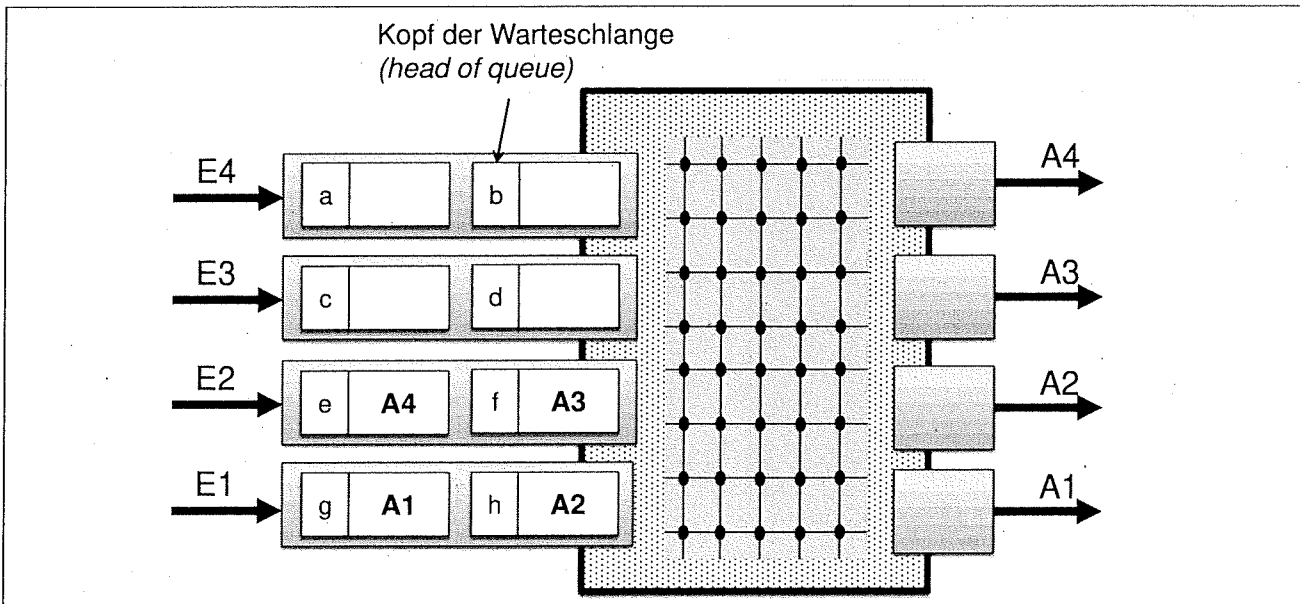
5 Gegeben ist ein Router mit vier Eingangsports (E1-E4) und vier Ausgangsports (A1-A4). In den Puffern der Eingangsports befinden sich jeweils zwei Pakete gleicher Länge. Das am weitestens rechts stehende Paket wird zuerst verarbeitet, also Paket b bei Port E4, Paket d bei Port E3 usw.

- In jedem Verarbeitungsschritt kann pro Ausgangsport nur ein Paket weitergeleitet werden
- Die Verarbeitung an den Eingangsports kann parallel erfolgen
- Falls keine parallele Verarbeitung möglich ist (aufgrund der Beschränkung auf ein Paket pro Ausgangsport), gelten die folgenden Prioritäten: $E4 > E3 > E2 > E1$.

1 a) Geben Sie für die Pakete a bis d jeweils einen Ausgangsport an, so dass die Anzahl der weitergeleiteten Pakete nach zwei Verarbeitungsschritten maximiert wird. Tragen Sie ihre Lösung in die vorgegeben Skizze ein.



b) Geben Sie für die Pakete a bis d jeweils einen Ausgangsport an, so dass Pakete e und g in beiden Verarbeitungsschritten von Head-of-Line Blocking betroffen sind.



2 c) Gehen Sie davon aus, dass die Pakete e und g wie in Aufgabenteil b) beschrieben von Head-of-Line Blocking betroffen sind. Erklären Sie, wie dieses Problem durch eine erhöhte Verarbeitungsgeschwindigkeit der Switch Fabric gelöst werden kann. Welcher Speedup-Faktor ist für dieses konkrete Beispiel mindestens nötig, damit kein Head-of-Line Blocking auftritt? Welche zusätzlichen Anforderungen ergeben sich dabei für die Ausgangsports?

Aufgabe 6 Staukontrolle / Congestion Control (12 Punkte)

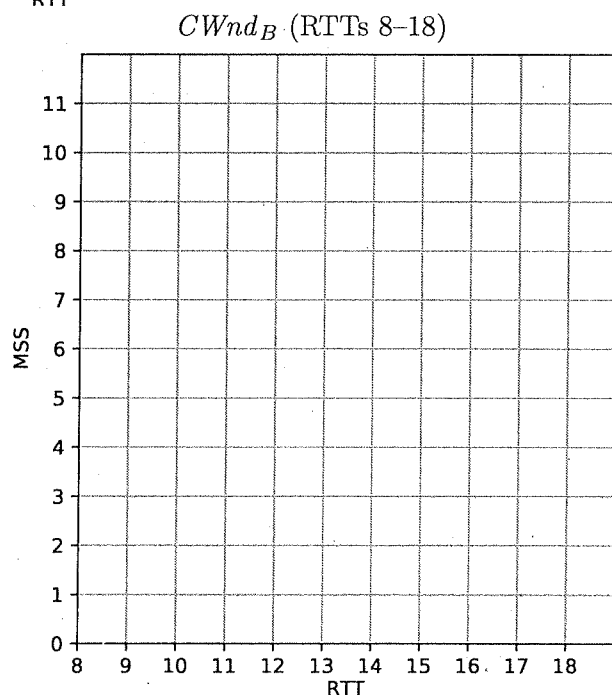
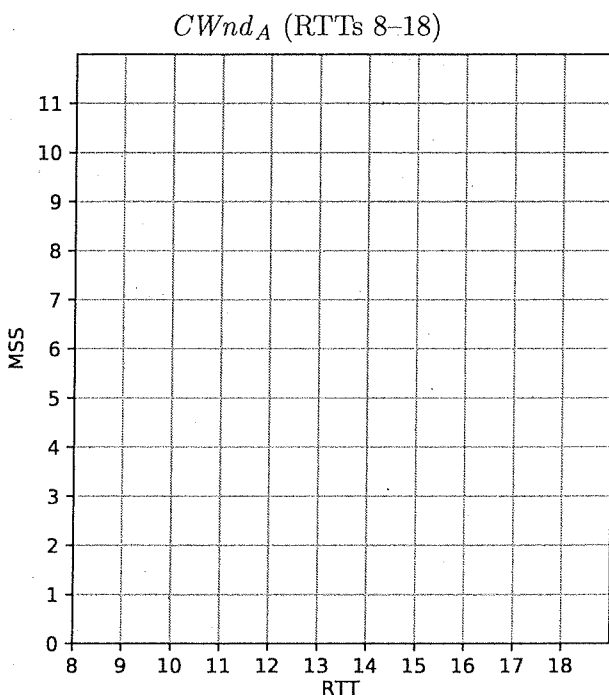
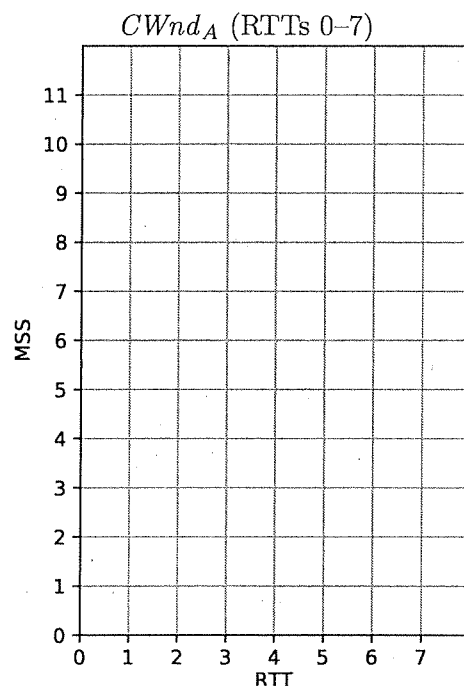
a) Staukontrollalgorithmen optimieren unter anderem auf die Kriterien „Effizienz“ und „Fairness“.

- Beschreiben Sie kurz was mit Effizienz im Kontext von Staukontrolle gemeint ist.
- Zeigen Sie anhand eines Beispiels, welche unerwünschte Situation auftreten kann, wenn nur auf Effizienz, nicht jedoch auf Fairness optimiert wird.

Betrachtet wird das Verhalten von TCP-Reno-Verbindungen auf RTT-Granularität. Paketverluste und Sendewiederholungen werden vernachlässigt. Die Datenrate ist nur durch das Staukontrollfenster limitiert.

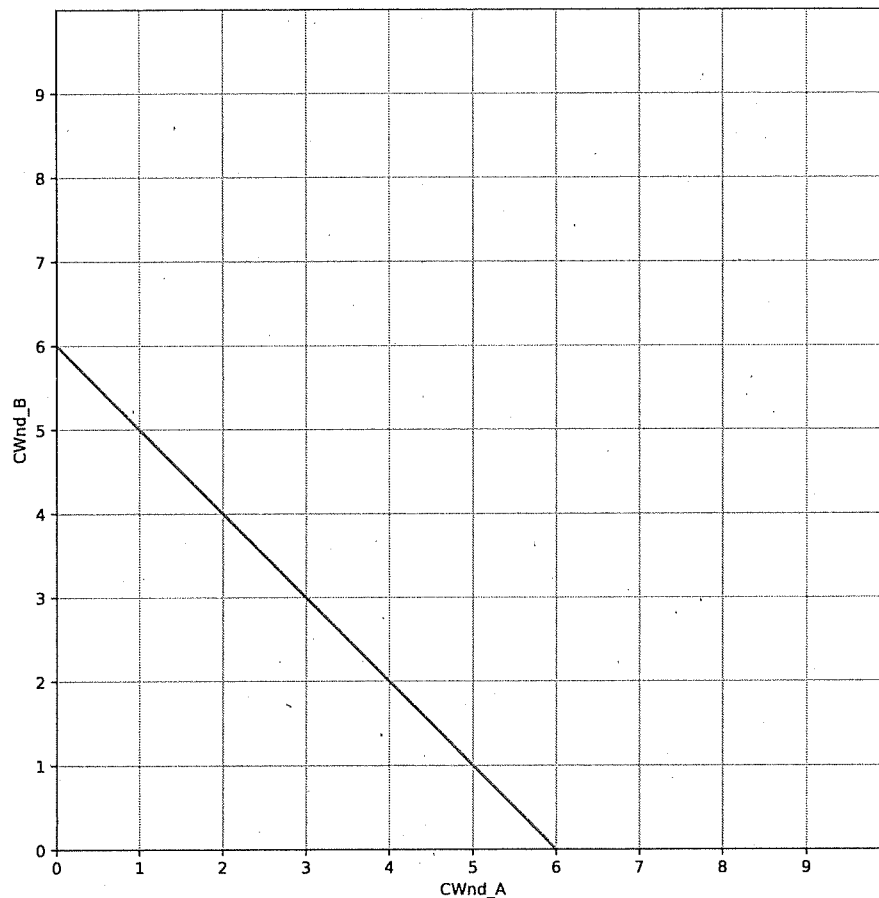
Eine leichte Stausituation wird erkannt, sobald innerhalb einer RTT in Summe (über alle Verbindungen) > 6 MSS gesendet werden. Das Staukontrollfenster ist immer ganzzahlig, nicht-ganzzahlige Werte des Staukontrollfensters werden daher aufgerundet.

b) Es werden zwei TCP-Reno-Verbindungen A und B zu unterschiedlichen Zeitpunkten gestartet. Verbindung A startet in RTT 0, B in RTT 8. Zeichnen Sie das Staukontrollfenster $CWnd_A$ der Verbindung A in den RTTs 0–7 sowie die Staukontrollfenster $CWnd_A$ und $CWnd_B$ beider Verbindungen A und B in den RTTs 8–18.



3

c) Skizzieren Sie die gemeinsame Entwicklung beider Staukontrollfenster CW_{nd_A} und CW_{nd_B} im vorgegebenen Diagramm. Starten Sie in RTT 8. Verbinden Sie, wie aus der Vorlesung bekannt, die Werte mit Pfeilen (jeder Wert muss klar durch eine Pfeilspitze erkennbar sein). Sie können aufhören, sobald der optimale Punkt (hinsichtlich Effizienz und Fairness) erstmalig erreicht wird. Markieren Sie den optimalen Punkt. In welcher RTT wird er erreicht?



Optimaler Punkt wird erreicht in RTT (*Optimal point reached in RTT*):

d) Wie kann bei TCP eine Stausituation signalisiert werden, ohne dass es hierfür zu Paketverlusten kommen muss?

- Nennen Sie das aus der Vorlesung bekannte Verfahren.
- Beschreiben Sie die Funktionsweise des Verfahrens, indem Sie für die vier Signale (CE, CWR, ECE, ECT) erklären, wann bzw. zu welchem Zweck sie gesendet werden.
- Nennen Sie auf welchem Layer die Signale jeweils übertragen werden und ordnen Sie grob ein, warum die gewählten Layer sinnvoll sind.

4

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

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

- RAM: takes address and returns data
- CAM: takes data and returns address
- TCAM: Like CAM, but supports "Don't Care" state

- Longest-Prefix-Matching von IP-Adressen
- Die Einträge werden nach Präfixlänge sortiert im TCAM abgelegt. Da bei TCAM immer der erste/oberste Treffer zählt, wird jeweils das längste Präfix gewählt. .
- Nein. Da es bei binärem CAM keine "Don't Care" Bits gibt, kann nicht auf Präfixe gematched werden.

- Baum-Datenstrukturen: Trie
- Beschleunigung: Hashtabelle

Auf dem ISDN-D-Kanal überschreibt eine 0 eine 1. Bei einer Kollision bleibt eines der Pakete intakt, das andere wird zerstört. (bzw. der Sender zieht sich zurück bevor das Paket vollständig übermittelt wurde). Bei Ethernet werden beide Pakete zerstört .

Die Datenrate hängt von den Parametern RTT, p und MSS ab:

- RTT: Round-Trip-Time, Dauer zwischen Absenden eines Pakets und Empfang der zugehörigen Quittung.
- p: Wahrscheinlichkeit, dass ein Paket verloren geht.
- MSS: Maximum-Segment-Size, maximale Menge an Payload, die in einem Paket transportiert werden kann

$$D = \frac{MSS}{RTT} \sqrt{\frac{1}{p}}$$

Aufgabe 2 Ethernet (10 Punkte)

Bedeutung von X : X entspricht der maximal erzielbaren Auslastung auf einem geteilten Medium.

Durch a ausgedrücktes Verhältnis: $a = \frac{t_a}{t_s} = \frac{\text{propagation delay}}{\text{transmission delay}}$

Ein niedrigerer a -Wert erzeugt als kleinerer Teiler der maximalen Auslastung $U_{max} = \frac{1}{1+2a(1-A^*)/A^*}$ mit $A^* = (1 - \frac{1}{N})^{N-1}$ einen höheren Kurvenverlauf. Alternativ ist dies auch anhand des Grenzwerts $\lim_{N \rightarrow \infty} U_{max} \approx \frac{1}{1+3,44a}$ der jeweiligen Kurven erkennbar. Kurve A repräsentiert demzufolge den niedrigeren a -Wert.

Änderung: Einsatz von Switches statt Bus-Systemen.

Problem: Die Puffer in einem Switch können überlaufen sobald der Switch ein Bottleneck in einem Netz darstellt.

Ethernet: Flusskontrolle findet zwischen benachbarten Systemen statt.

TCP: Flusskontrolle findet zwischen Endsystemen statt.

Halbduplex-Links:

Halbduplex-Links:

1. Flusskontrolle kann durch das bewusste Erzeugen von Kollisionen umgesetzt werden.
Das sendende System reagiert mit dem Abbruch des Sendevorgangs sobald die erzwungene Kollision erkannt wird.
2. Flusskontrolle kann durch das Senden einer (potentiell) korrekten Bit-Sequenz umgesetzt werden, wodurch ein belegtes Medium vorgetäuscht wird.
Ein sendebereites System wird dadurch vom Senden abgehalten.

Vollduplex-Links:

1. Flusskontrolle kann durch das Senden von PAUSE-Rahmen umgesetzt werden.
Beim Empfang eines PAUSE-Rahmens wird das Senden für das im PAUSE-Rahmen angegebene Zeitintervall unterbrochen.

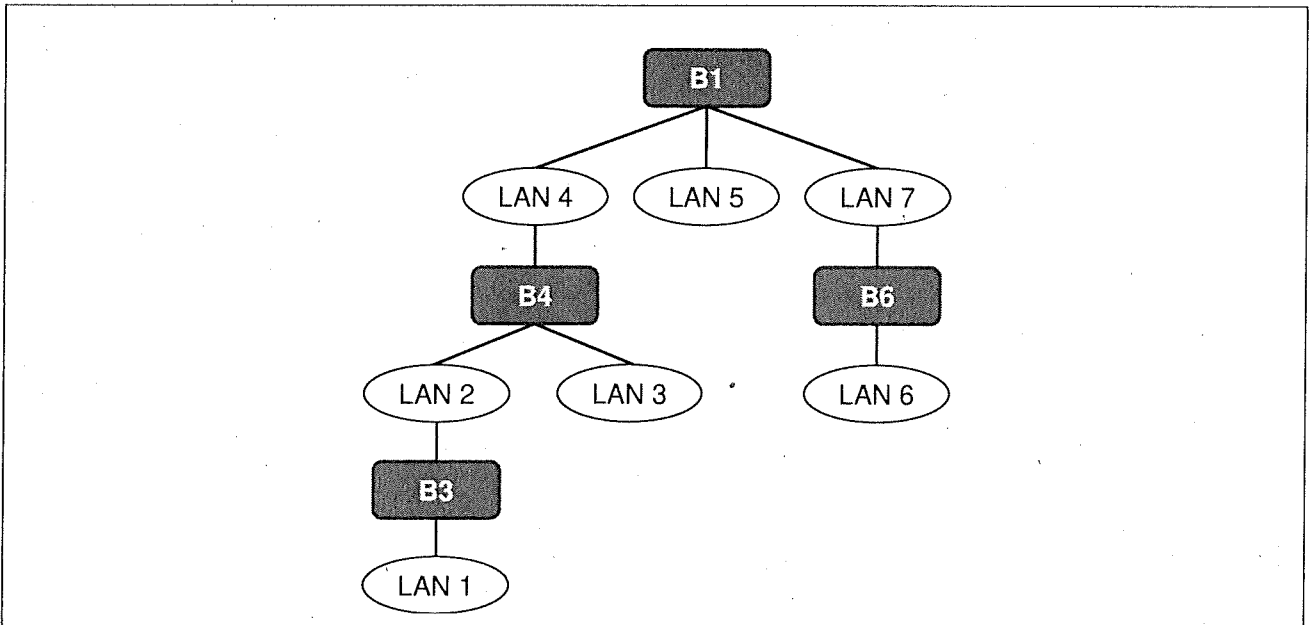
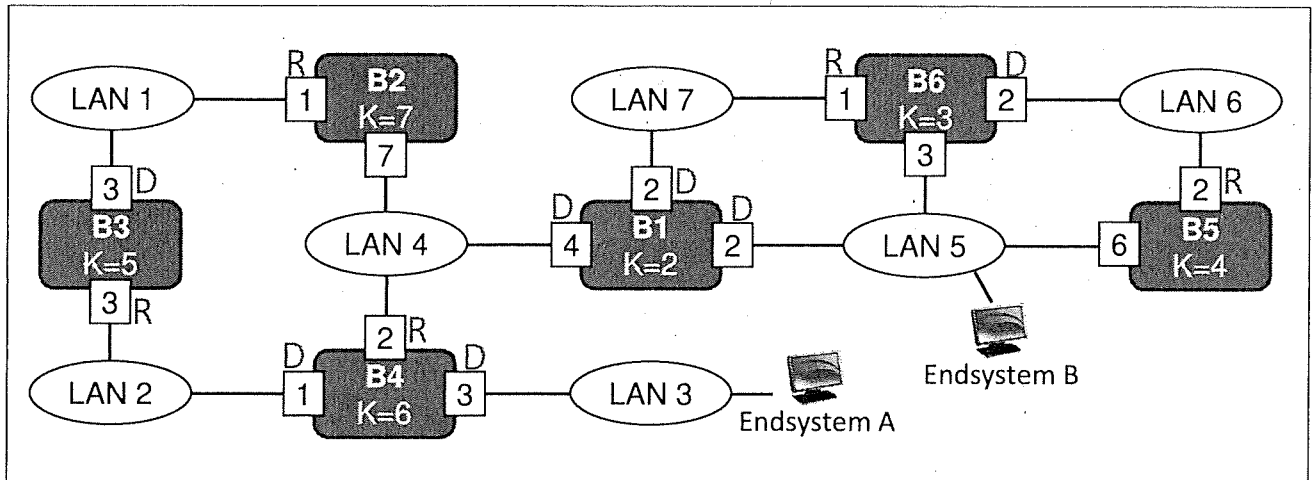
Durch den Einsatz von Flusskontrolle bei Ethernet können Paketverluste vermindert werden. Infolge dessen können Ende-zu-Ende-Latenzen verringert werden.

| Zeitpunkt (<i>time index</i>): t_1 | | Zeitpunkt (<i>time index</i>): t_2 | |
|---|--|---|--|
| Prioritätsgruppe (<i>priority group</i>) | Max. erreichbare Datenrate (<i>max. achieved data rate</i>) | Prioritätsgruppe (<i>priority group</i>) | Max. erreichbare Datenrate (<i>max. achieved data rate</i>) |
| PG1 | 4 Gbit/s | PG1 | 3 Gbit/s |
| PG2 | 2 Gbit/s | PG2 | 3 Gbit/s |
| PG3 | 3 Gbit/s | PG3 | 4 Gbit/s |

Aufgabe 3 Spanning Tree Protocol (10 Punkte)

| Pfade (<i>paths</i>) | Summanden (<i>summands</i>) | Pfadkosten (<i>path costs</i>) | Kürzester Pfad (<i>shortest path</i>) |
|---------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|--|
| B2 → B1 | 1 + 3 + 2 | 6 | <input checked="" type="checkbox"/> |
| | 7 | 7 | <input type="checkbox"/> |
| | — | — | <input type="checkbox"/> |
| | — | — | <input type="checkbox"/> |
| B3 → B1 | 3 + 2 | 5 | <input checked="" type="checkbox"/> |
| | 3 + 7 | 10 | <input type="checkbox"/> |
| | — | — | <input type="checkbox"/> |
| | — | — | <input type="checkbox"/> |
| B4 → B1 | 2 | 2 | <input checked="" type="checkbox"/> |
| | 1 + 3 + 7 | 11 | <input type="checkbox"/> |
| | — | — | <input type="checkbox"/> |
| | — | — | <input type="checkbox"/> |
| B5 → B1 | 2 + 1 | 3 | <input checked="" type="checkbox"/> |
| | 2 + 3 | 5 | <input type="checkbox"/> |
| | 6 | 6 | <input type="checkbox"/> |
| | 6 + 1 | 7 | <input type="checkbox"/> |

| | | | |
|---------|-------|---|-------------------------------------|
| B6 → B1 | 1 | 1 | <input checked="" type="checkbox"/> |
| | 3 | 3 | <input type="checkbox"/> |
| | 2 + 6 | 8 | <input type="checkbox"/> |
| | — | — | <input type="checkbox"/> |



LANs bei Weiterleitung von A zu B: Alle
 LANs bei Weiterleitung von B zu A: LAN 5, LAN 4, LAN 3

Aufgabe 4 Routing (13 Punkte)

| Zielnetz (<i>target network</i>) | Next Hop | Pfad (<i>path</i>) |
|------------------------------------|---------------------|----------------------|
| 1.0.0.0/8 | R_2 | 2 1 |
| 2.0.0.0/8 | R_2 | 2 |
| 3.0.0.0/8 | R_2 (oder R_b) | 2 3 (oder 5 3) |
| 4.0.0.0/8 | R_b | 5 4 |
| 5.0.0.0/8 | R_b | 5 |

| Zielnetz (<i>target network</i>) | Next Hop | Pfad (<i>path</i>) |
|------------------------------------|---------------------|----------------------|
| 1.0.0.0/8 | R_a | 2 1 |
| 2.0.0.0/8 | R_a | 2 |
| 3.0.0.0/8 | R_5 (oder R_a) | 5 3 (oder 2 3) |
| 4.0.0.0/8 | R_5 | 5 4 |
| 5.0.0.0/8 | R_5 | 5 |

Es handelt sich um einen proaktiven Ansatz. Die Entscheidung für eine neue Regel wird als Reaktion auf eine UPDATE-Nachricht erzeugt, also unabhängig davon ob ein zur neuen Regel passendes Paket am Switch ankommt oder nicht.

| Kennzeichner (<i>identifiers</i>) | Name | Bedeutung (<i>meaning</i>) |
|-------------------------------------|----------------|--|
| I_6 | Northbound API | Interface zwischen App und Controller |
| I_2, I_3, I_4 | Southbound API | Interface zwischen Controller und Switches |
| I_1, I_5 | Eastbound API | Interface zu Legacy Equipment |

| Quelle (<i>source</i>) | Ziel (<i>target</i>) | Bekanntgegebenes Präfix (<i>announced prefix</i>) |
|--------------------------|------------------------|---|
| R_b | R_5 | 99.2.0.0/8 |
| R_a | R_2 | 99.1.0.0/8 |

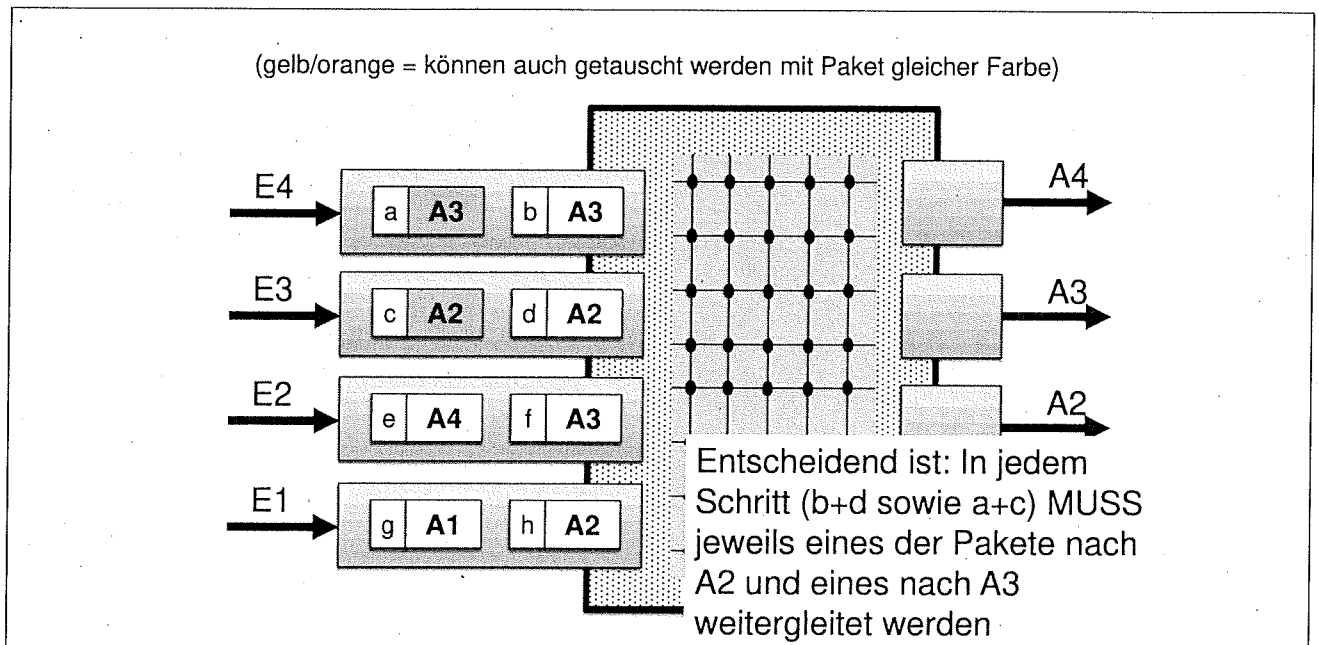
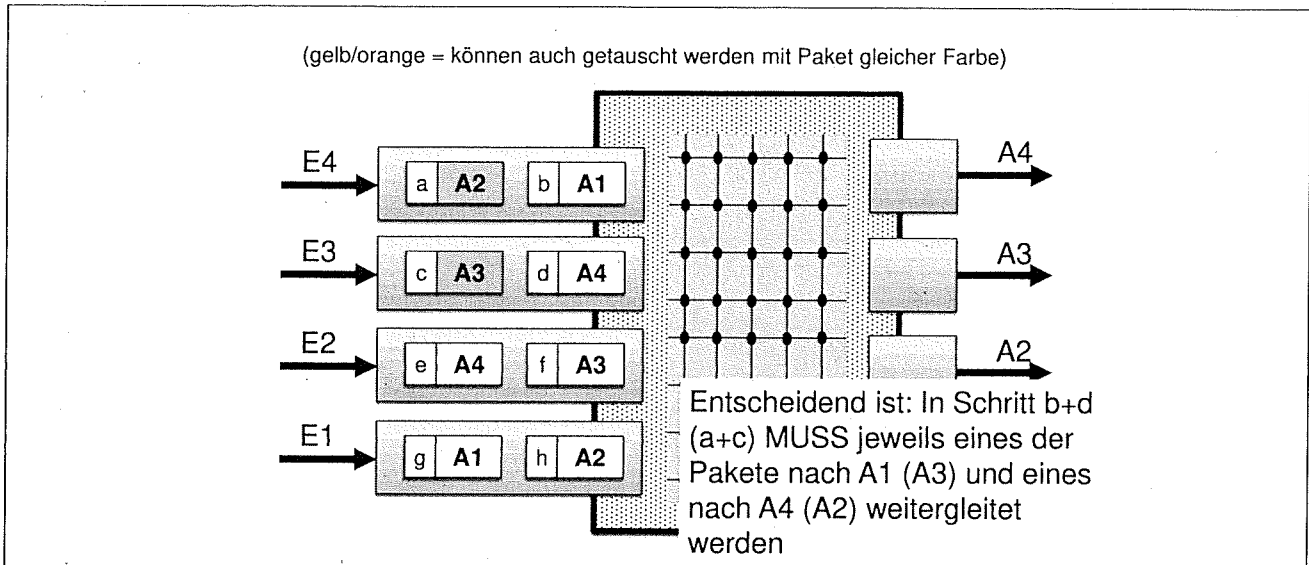
Flowtable von S_m

| Match-Felder (<i>match fields</i>) | Aktion (<i>action</i>) |
|--------------------------------------|--------------------------|
| IP-dest=99.2.0.0/16 | Output=2 |
| IP-dest=99.1.0.0/16 | Output=1 |
| IP-dest=1.1.1.1 | Output=4 |
| IP-dest=5.5.5.5 | Output=3 |

oder:

| Match-Felder (<i>match fields</i>) | Aktion (<i>action</i>) |
|--------------------------------------|--------------------------|
| Inport=3 | Output=2 |
| Inport=4 | Output=1 |
| Inport=1 | Output=4 |
| Inport=2 | Output=3 |

Aufgabe 5 Head-of-Line Blocking (5 Punkte)



Erklärung : Overprovisioning mit $S=N$ heißt pro Verarbeitungsschritt können N Pakete verarbeitet werden statt nur 1 . Dadurch kann bei entsprechend großem N immer jedes Interface bedient werden wodurch es nicht mehr zu HoL-Blocking kommt.

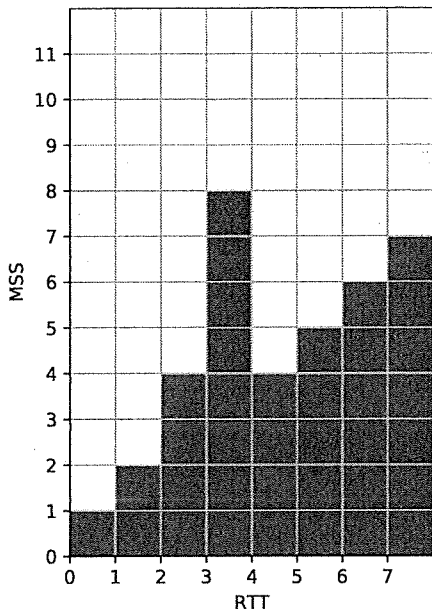
Mindestens nötiger Speedup-Faktor: $N=2$ (dann können hier alle Pakete in einem Verarbeitungsschritt verarbeitet werden)

Anforderungen an Ausgangsports: Müssen mindestens $N=2$ Pakete pro Verarbeitungsschritt zwischenspeichern können.

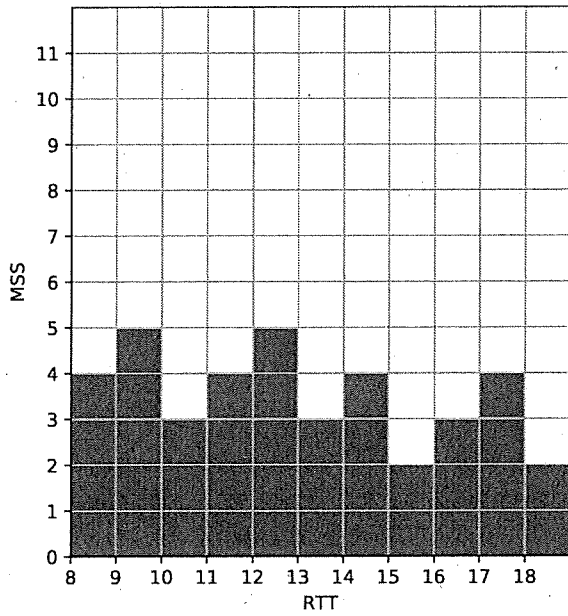
Aufgabe 6 Staukontrolle / Congestion Control (12 Punkte)

- Effizienz bedeutet in diesem Zusammenhang, dass die Summe der Datenraten aller Verbindungen, die durch ein Bottleneck führen, möglichst nah an der Bottleneck-Kapazität ist.
- Eine hohe Effizienz ist auch erfüllt, wenn z.B. eine Verbindung den Bottleneck-Link voll auslastet und andere Verbindungen verhungern.

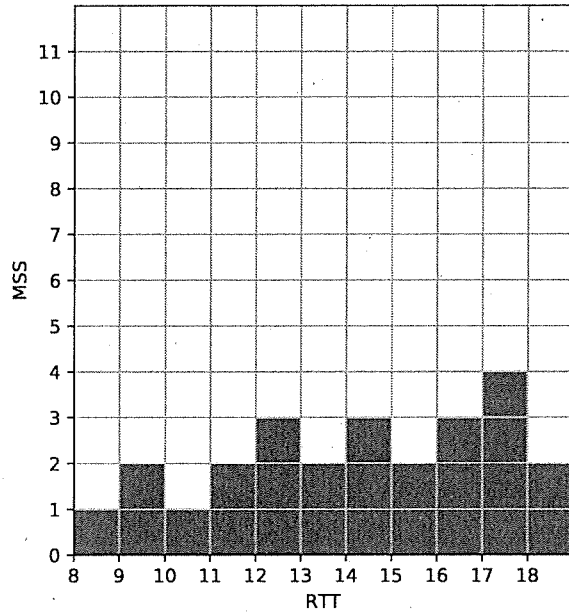
$CWnd_A$ (RTTs 0-7)

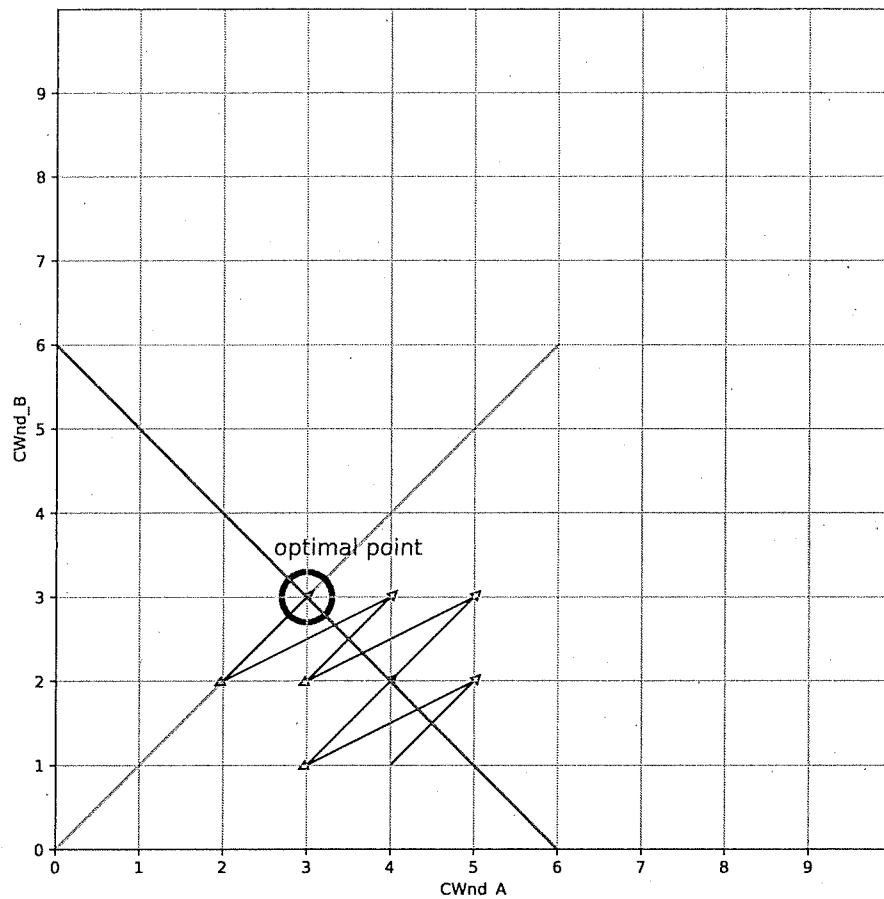


$CWnd_A$ (RTTs 8-18)



$CWnd_B$ (RTTs 8-18)





Optimaler Punkt wird erreicht in RTT (*Optimal point reached in RTT*):
RTT 16

Verfahren: ECN (Explicit Congestion Notification) .

- Mit *ECT* signalisiert der Sender, dass er ECN unterstützt .
- Um einen Stau zu signalisieren setzt das Zwischensystem/Router das CE Signal .
- Bei Erhalt von CE reagiert der Empfänger mit ECE, um das Signal an den Sender zu übermitteln.
- Der Sender bestätigt den Erhalt von ECE mit dem CWR Signal .

Layer:

- Layer 3: ECT, CE. Layer 4: ECE, CWR
- ECT, CE müssen von Routern gelesen/gesetzt werden, welche auf Layer 3 arbeiten.
- ECE, CWR müssen nur Ende-zu-Ende übertragen werden. Da sie von TCP verarbeitet werden, bietet sich eine Übertragung auf Layer 4 an.