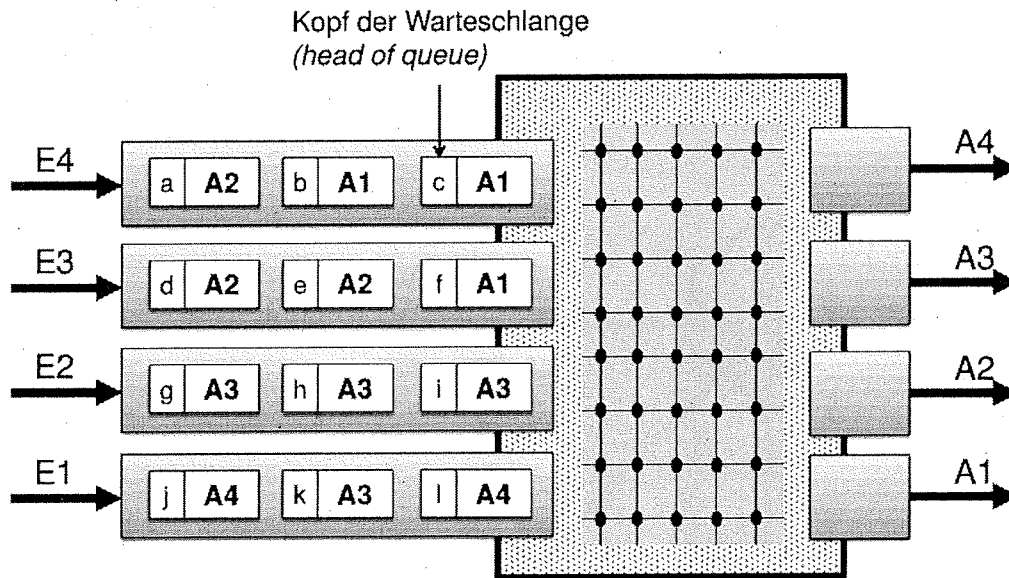


Aufgabe 1 Allgemeine Fragen (General Questions) (10 Punkte)

- a) Nennen Sie zwei TCP Optionen und erläutern Sie deren Funktion. / 10
- b) Erklären Sie den Unterschied zwischen den Begriffen Dual-Homed und Multi-Homed im Kontext von autonomen Systemen. / 2
- c) Erläutern Sie, was ein CDN ist. Nennen Sie einen Vorteil beim Einsatz eines CDNs. / 1
- d) Nennen Sie ein Einsatzgebiet von Exponential Backoff. Welches Problem wird dadurch vermieden? Erläutern Sie die grundlegende Funktionsweise. / 2
- e) Nennen Sie zwei Vorteile von Network Function Virtualization (NFV) gegenüber klassischen Middle-boxen. / 3

Aufgabe 2 Tries & TCAM (10 Punkte)

- a) Gegeben ist die unten stehende Skizze eines Routers mit vier Eingangsports (E1-E4) und vier Ausgangsports (A1-A4). In den Puffern der Eingangsports befinden sich jeweils drei Pakete gleicher Länge. Das am weitestens rechts stehende Paket wird zuerst verarbeitet, also Paket c bei Port E4, Paket f bei Port E3 usw. Die Verarbeitung an den Eingangsports erfolgt parallel. Falls keine parallele Verarbeitung möglich ist, gelten die folgenden Prioritäten: $E4 > E3 > E2 > E1$. / 10



Es werden drei aufeinanderfolgende Zeitpunkte t_1 , t_2 und t_3 betrachtet. t_1 repräsentiert die aktuelle Situation. Zwischen t_1 und t_2 sowie zwischen t_2 und t_3 wird jeweils ein Paket pro Port verarbeitet (falls möglich). Geben Sie in der Lösungstabelle an, welches der 12 Pakete (a, b, ..., k, l) zum jeweiligen Zeitpunkt unmittelbar von Head-of-Line Blocking betroffen ist, indem Sie die entsprechende Zelle der Tabelle mit einem "x" markieren.

- b) Welcher der in der Vorlesung behandelten Tries benutzt einen Parameter "Stride"? Erklären Sie diesen Parameter. / 1
- c) In der Vorlesung wurden drei wichtige Performanz-Charakteristika für Tries diskutiert. Nennen und erklären Sie die drei Charakteristika. / 3

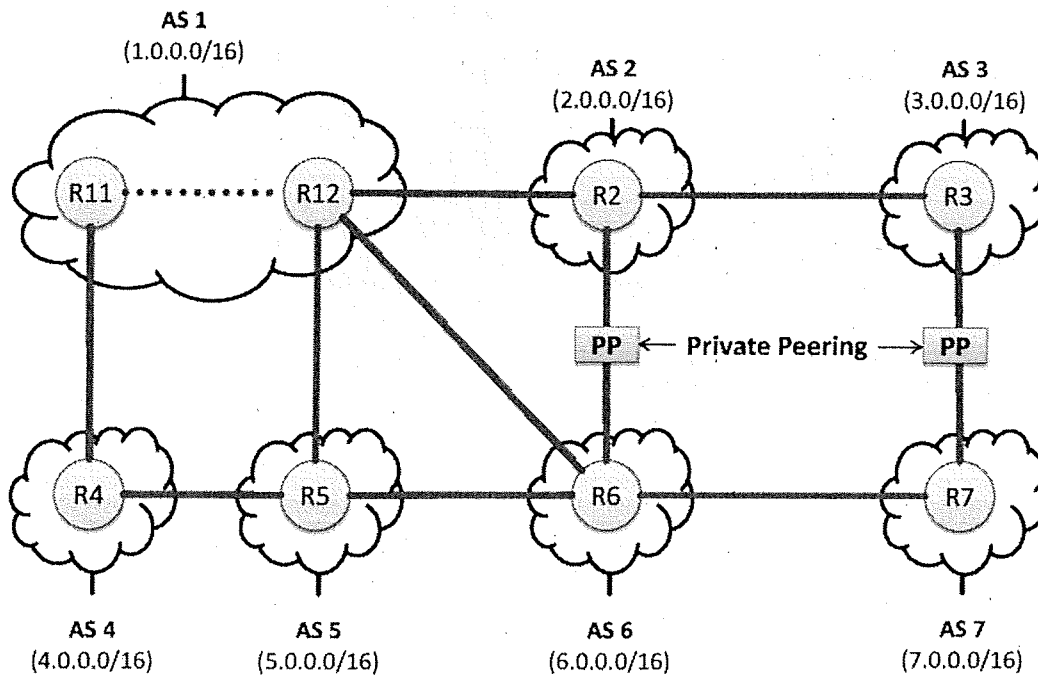
d) Gegeben ist eine Liste mit 4 Präfixen. Die Spalte "Output" gibt an, auf welchem Port ein IP-Datagramm bei passendem Präfix weitergeleitet werden soll (Longest Prefix Matching wird angewandt). Skizzieren Sie, wie die Präfixe im TCAM angeordnet sein müssen, damit die Weiterleitung korrekt funktioniert. Machen Sie in der Skizze deutlich, wie das Mapping auf die Ports realisiert ist.

Liste mit Präfixen (<i>list of prefixes</i>)	
Präfix (<i>prefix</i>)	Output
11*	Port 4
101011*	Port 22
1011*	Port 4
10111*	Port 16

Aufgabe 3 Border Gateway Protocol (11 Punkte)

Gegeben ist die folgende Netztopologie, die aus sieben Autonomen Systemen (AS1, AS2, ...) und acht 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-Sitzungen. Die gepunktete Linie in AS 1 bedeutet, dass hier IBGP verwendet wird. Es gilt für alle Teilaufgaben:

- Jedes AS ist für das ihm zugewiesene Präfix verantwortlich.
- Die BGP-Sessions, die mit PP markiert sind, sind **ausschließlich** Bestandteil einer *Private Peering* Vereinbarung.
- Es werden grundsätzlich alle Routen an alle Nachbarn bekannt gegeben, solange dadurch die Private Peering Vereinbarung von oben nicht verletzt wird.
- Eine korrekte Lösung muss nicht zwingend alle freien Einträge der vorgedruckten Tabellen ausnutzen.



a) Erklären Sie kurz, wofür IBGP in AS1 eingesetzt wird.

b) Kann AS3 weiterhin alle anderen Netze erreichen, wenn der Link zwischen R2 und R3 unterbrochen wird? Begründen Sie ihre Antwort.

c) Markieren Sie alle Einträge als "Invalid", die aufgrund der vorgegebenen Netztopologie und den in der Aufgabenstellung genannten Einschränkungen so **nicht** in der BGP-Routingtabelle von R2 vorkommen können. Gehen Sie davon aus, dass es außer Zielnetz, Next Hop und Pfad keine weiteren Spalten gibt. **Begründen** Sie für jedes gesetzte Kreuz ihre Entscheidung.

4

d) Geben Sie alle Einträge der BGP-Routingtabellen von BGP-Router R11 an.

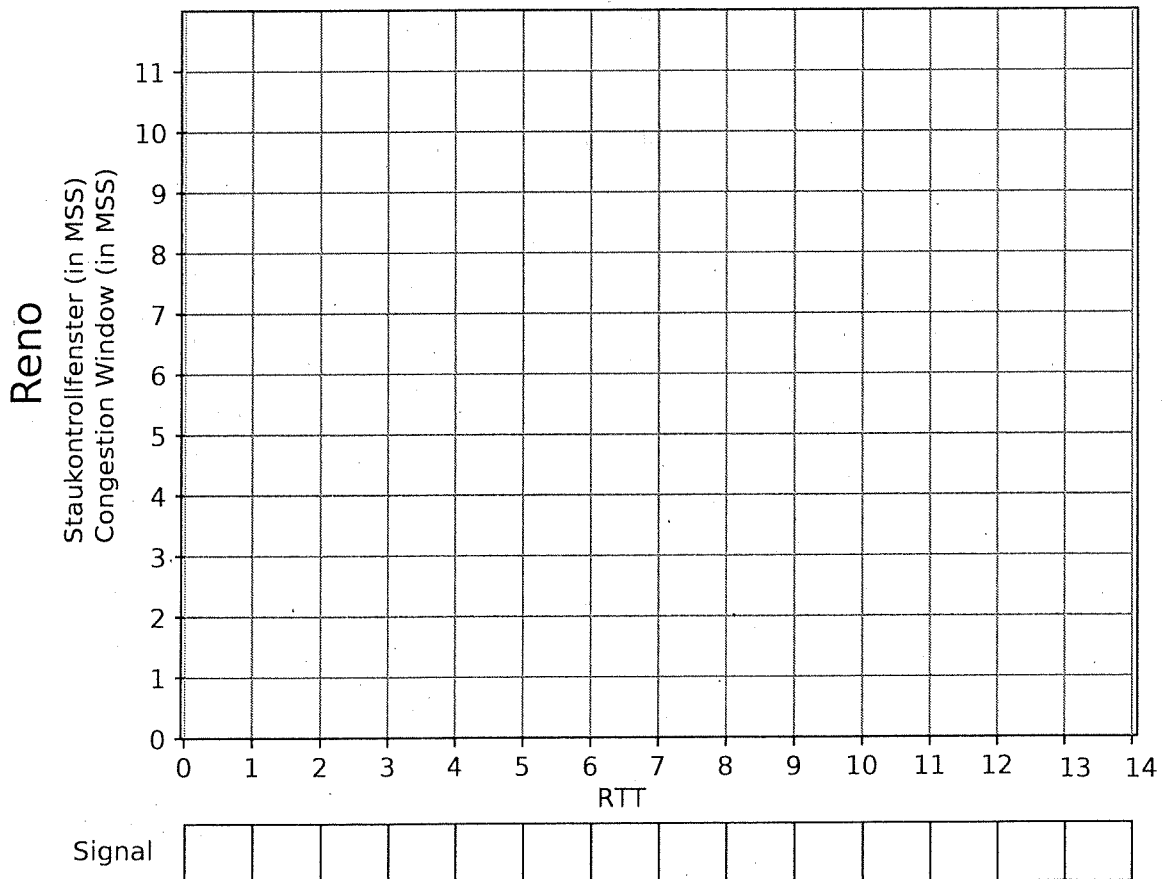
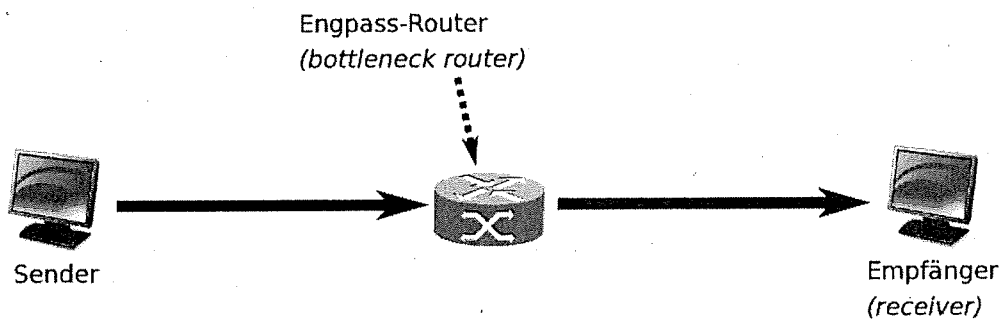
5

Aufgabe 4 Staukontrolle (10 Punkte)

10

Ein Sender möchte über einen Engpass-Router Daten an einen Empfänger übertragen. Der Sender benutzt TCP Reno. Am Engpass-Router ist ein Mechanismus aktiv, der dem Sender eine leichte Stausituation signalisiert, sobald in einer RTT 8 MSS an Daten durch den Engpass geflossen sind. Die Verbindung verwendet eine initiale Staukontrollfenstergröße von 1 MSS und der Retransmission Timer läuft nach 3 RTTs ab. Während der 8. RTT gehen außerdem sämtliche Pakete am Engpass-Router verloren. Gehen Sie davon aus, dass der Sender immer Daten zu senden hat. Sendewiederholungen werden in dieser Aufgabe vernachlässigt. Gehen Sie daher ebenfalls davon aus, dass Fast-Recovery nicht zum Einsatz kommt.

Retransmission Timeout	3 RTTs
Initiale Größe des Staukontrollfensters <i>(initial congestion window size)</i>	1 MSS
Leichte Stausituation wird signalisiert in einer RTT bei ... <i>(Minor congestion is signaled in an RTT at ...)</i>	≥ 8 MSS



a) Zeichnen Sie den Verlauf des Staukontrollfensters (CWnd) der TCP Reno Verbindung. Runden Sie nicht-ganzzahlige Werte, die bei der Berechnung auftreten, auf und markieren Sie, in welcher RTT eine Stau-Signalisierung vom Engpass-Router erfolgt. Am Ende der Klausur finden sie nochmals unausgefüllte Lösungsfelder. Falls Sie diese in Anspruch nehmen, markieren Sie dies bitte hier.

5

b) Wie viele Daten wurden in Aufgabenteil a) vom Sender während der ersten 14 RTTs gesendet?

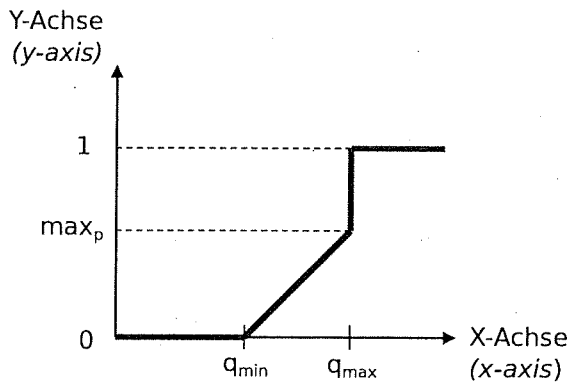
1

c) Nennen Sie das Verfahren aus der Vorlesung, mit dem die Signalisierung der Stausituation in Aufgabenteil a) umgesetzt werden kann. Auf welcher/welchen Schicht/en arbeitet das Verfahren?

1

d) In der Abbildung unten sehen Sie einen Graphen, der das Verfahren „Random Early Detection (RED)“ beschreibt. Benennen Sie die X- und die Y-Achse. Erläutern Sie die Funktionsweise des Verfahrens mithilfe der Parameter q_{min} , q_{max} und max_p .

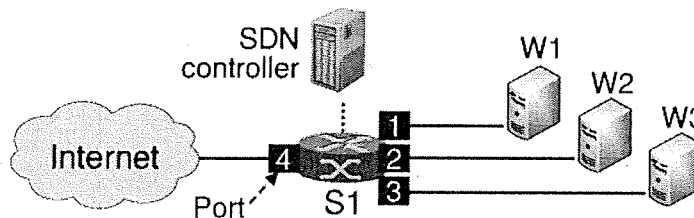
3



Aufgabe 5 Software Defined Networking (9 Punkte)

9

Drei identisch konfigurierte Webserver (W1, W2, W3) sind über den SDN-Switch S1 mit dem Internet verbunden. Der SDN-Controller soll reaktiv Flowtable-Einträge programmieren, durch die Load-Blancing auf die Webserver umgesetzt wird. Jeder neu programmierte Eintrag erfasst IP-Quelladressen aus einem bislang nicht behandelten Subnetz des IP-Adressraums und leitet entsprechenden Verkehr an den Webserver mit der derzeit geringsten Auslastung weiter.



a) Geben Sie zunächst Flowtable-Einträge für S1 an, die den Verkehr aus dem Internet an den SDN-Controller weiterleiten. Verkehr von den Webservern soll direkt an das Internet weitergeleitet werden.

2

b) Erstellen Sie eine onPacketIn-Methode, die Flowtable-Einträge für das Load-Balancing in Switch S1 programmiert. Verwenden Sie außerdem die importierten Methoden getPort und getSubnet um den Ausgabe-Port des Flowtable-Eintrags sowie das Subnetz von IP-Quelladressen, auf das dieser zukünftig angewendet werden soll, automatisch zu bestimmen. Der Aufruf dieser Methoden erfordert die Übergabe der IP-Quelladresse eines empfangenen Pakets als Parameter. Stellen Sie sicher, dass alle Pakete ankommen und Ihre Methode kompatibel zu den proaktiven Flowtable-Einträgen aus Aufgabenteil a) ist.

3

c) Gehen Sie davon aus, dass das Netz wie zuvor beschrieben betrieben wird. Zeichnen Sie das Weg-Zeit-Diagramm der Weiterleitung von Paketen mit den in der Tabelle angegebenen Informationen, wenn diese von S1 empfangen werden. Beachten Sie die Rückgabewerte der getPort- und getSubnet-Methoden bezüglich der jeweiligen IP-Quelladressen.

Nr.	IN_PORT	IP_SRC	getSubnet	getPort
1	4	4.0.0.1	4.0.0.0/24	2
2	2	2.2.2.2	-	-
3	4	4.1.1.1	4.1.1.0/24	1
4	1	2.2.2.2	-	-
5	4	4.1.1.5	-	-
6	1	2.2.2.2	-	-

3

d) Gehen Sie davon aus, dass die Situation im Netz sich über die Zeit hinweg ändert. Welches Problem entsteht, wenn die programmierten Flowtable-Einträge zur Anpassung des Load-Balancings periodisch entfernt werden und die getSubnet-Methode anschließend andere IP-Subnetze für die gleichen IP-Quelladressen zurück gibt als zuvor?

3

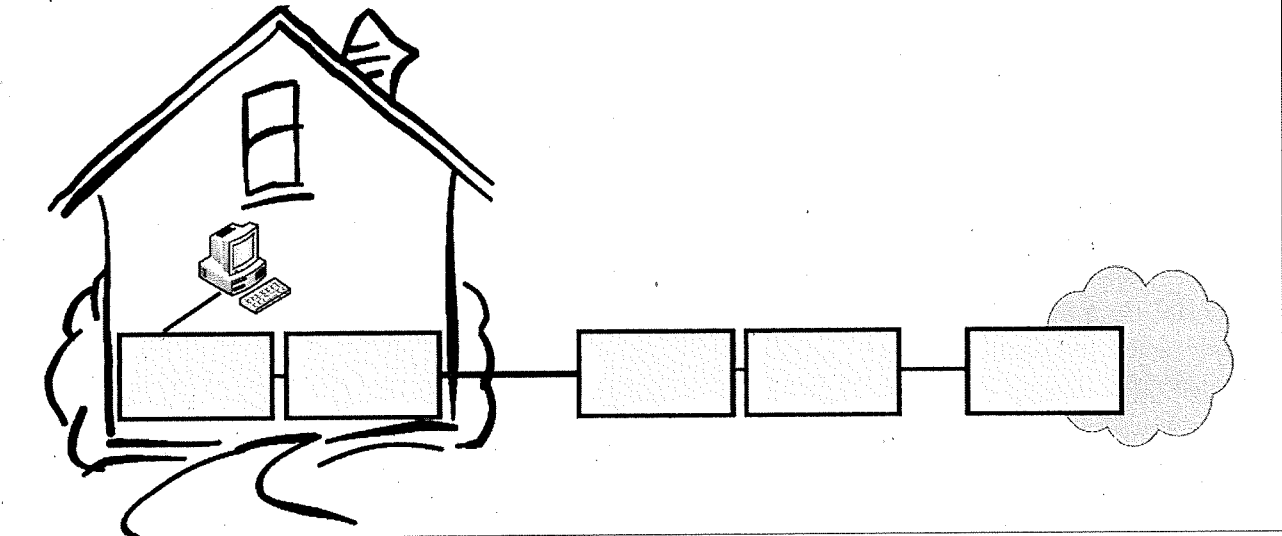
Aufgabe 6 Zugangsnetze (Access Networks) (10 Punkte)

10

In der Vorlesung wurde DSL als eine mögliche Technologie zur Realisierung von Zugangsnetzen vorgestellt. Im Folgenden werden die Struktur sowie verschiedene Varianten von DSL-Netzen eingehender betrachtet.

a) Benennen Sie die Komponenten eines DSL-Netzes in den freien Feldern der nachfolgenden Skizze.

2



b) Nennen Sie vier Aufgaben, die ein BRAS in einem DSL-Netz erfüllt.

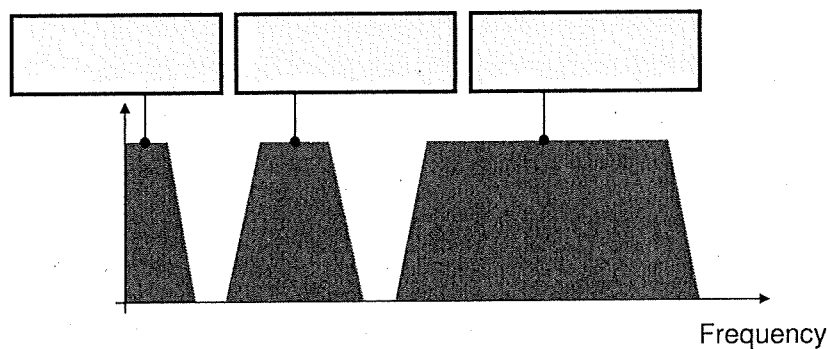
2

c) Erläutern Sie, weshalb die maximal erreichbaren Datenraten bei DSL von der Länge der verwendeten Kupferkabel abhängen.

1

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

2



e) Nennen sie zwei technische Maßnahmen, mit denen die maximal erreichbare Datenrate bei der Einführung neuer DSL-Varianten gesteigert werden konnte. Begründen Sie für jede Maßnahme, weshalb dadurch eine Verbesserung der Datenrate erzielt werden konnte.

3

□□□ Beispiele für Antworten (weitere korrekte Nennungen möglich):

- Maximum Segment Size: Änderung der max. Segmentgröße
- Window Scaling: Skalierung der Empfangsfenstergröße
- Selective ACKs: Anforderung individueller verlorener Pakete (SACK-Permitted, SACK-Option)
- Timestamps: Zeitstempel für TCP-Segmente, beispielsweise zur Messung der RTT
- MPTCP: Signalisierung von MPTCP-Subflows (MP_JOIN, MP_CAPABLE, etc.)
- TCP Fast Open: Initiator einer TCP-Verbindung kann den Handshake verkürzen, indem er ein Cookie in der SYN-Nachricht schickt, das er bei einer vorherigen Verbindung erhalten hat.

□□□□

- Dual-Homed: Zwei redundante Verbindungen zu **einem** autonomen System.
- Multi-Homed: Zwei Verbindungen zu **unterschiedlichen** autonomen Systemen.

□□□ Content-Delivery-Network : weltweites, geographisch verteiltes Netz mit vielen verteilten Servern (Points of Presence (PoP)) , das Inhalte nah am Kunden bereitstellt.

Vorteil: Verringerung von Latenzen, höhere Verfügbarkeit, etc.

□□□ Exponential Backoff wird bei Ethernet mit CSMA/CD eingesetzt und vermeidet erneute Kollisionen bei Sendewiederholungen.

Funktionsweise:

1. Bei Sendewiederholungen wartet eine Station zunächst eine zufällig bestimmte Zeitspanne.
2. Das Zeitintervall , aus dem diese Zeitspanne bestimmt wird, wird bei erfolglosem Senden verdoppelt.

□□□ Mögliche Antworten:

- Ressourcen-Sharing
- Flexibilität/Agilität
- Schnelle Bereitstellung (Rapid Deployment)
- Reduzierte Kosten
- Kürzere Entwicklungszyklen
- Einfache VNF-Migration

□□□

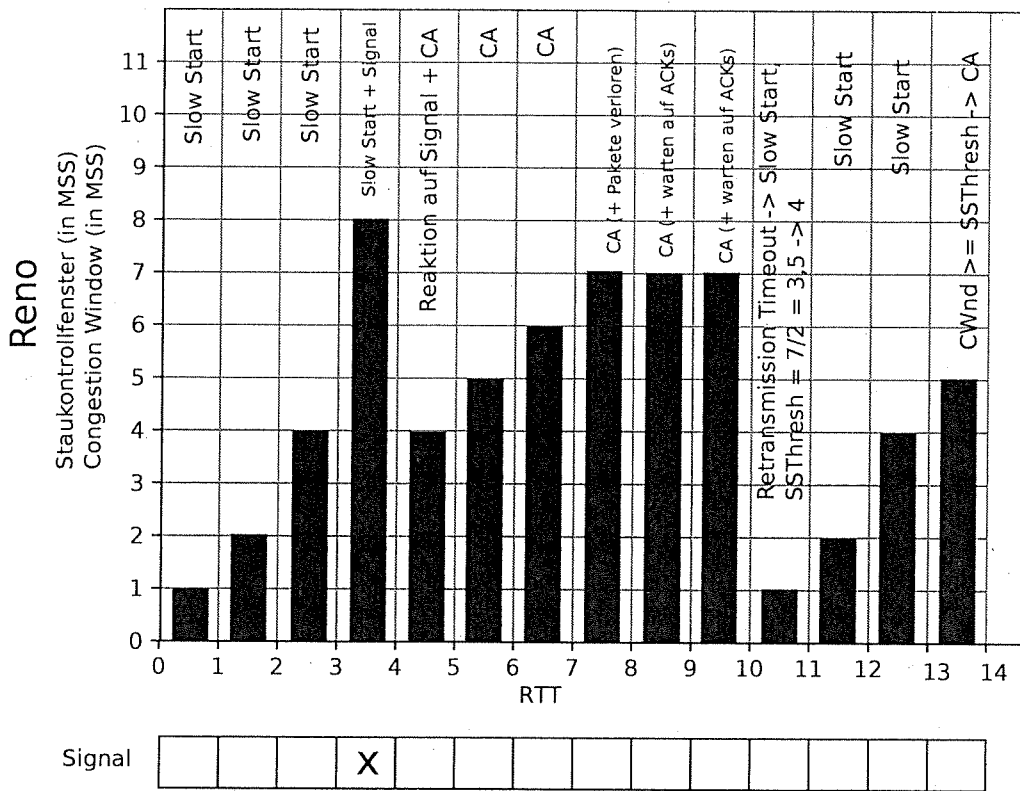
Packet	t1	t2	t3
a			
b			
c			
d			
e	x	x	
f			
g			
h			
i			
j		x	x
k			
l			

□□□ Multibit-Trie

Erklärung: Mit dem Stride wird angegeben, wie viele Bits im Lookup auf einmal angeschaut werden.

□□□

- Lookup-Geschwindigkeit : Zeit (in Speicherzugriffen auf Knoten im Baum), die nötig ist, um ein Suchwort zu prüfen
- Speicherverbrauch : Anzahl zu speichernder Knoten im Baum
- Update-Geschwindigkeit : Zeit (bzw. Anzahl der Änderungsvorgänge) die nötig ist, um ein neues Präfix in den Trie einzufügen



Die 8. RTT geht zwar verloren, die Daten werden aber trotzdem gesendet. Es muss beachtet werden, dass für RTT 9 und 10 keine Übertragung erfolgt, weil auf die ACKs der verlorenen Pakete gewartet wird.

$$RTT 1 - 8: 1 + 2 + 4 + 8 + 4 + 5 + 6 + 7 = 37 MSS$$

$$RTT 9 - 10: 0 + 0 = 0 MSS$$

$$RTT 11 - 14: 1 + 2 + 4 + 5 = 12 MSS$$

$$Insgesamt: 12 + 0 + 37 = 49 MSS$$

Das Verfahren heißt ECN (Explicit Congestion Notification).

Es arbeitet auf der Transport- und auf der Vermittlungsschicht (Layer 3 und 4 bzw. IP und TCP).

X-Achse: Durchschnittlicher Pufferfüllstand

Y-Achse: Verwurfswahrscheinlichkeit (auch akzeptiert: Markierungswahrscheinlichkeit)

Random Early Detection ist ein AQM (active queue management). Es verwirft (oder markiert) Pakete in Abhängigkeit vom durchschnittlichen Pufferfüllstand. q_{min} ist der untere Schwellenwert des durchschnittlichen Puffer-Füllstands, ab dem der RED-AQM anfängt, Pakete zu verwerfen. Die Verwurfswahrscheinlichkeit steigt zum Maximum max_p , bis der Füllstand q_{max} erreicht wurde. Sollte der Pufferstand den Wert q_{max} oder größer erreichen, werden alle Pakete verworfen.

Flowtable von S1

Priorität (priority)	Match-Felder (match fields)	Aktion (action)
1	IN_PORT = 1	Output 4
1	IN_PORT = 2	Output 4
1	IN_PORT = 3	Output 4
0	*	Controller


```

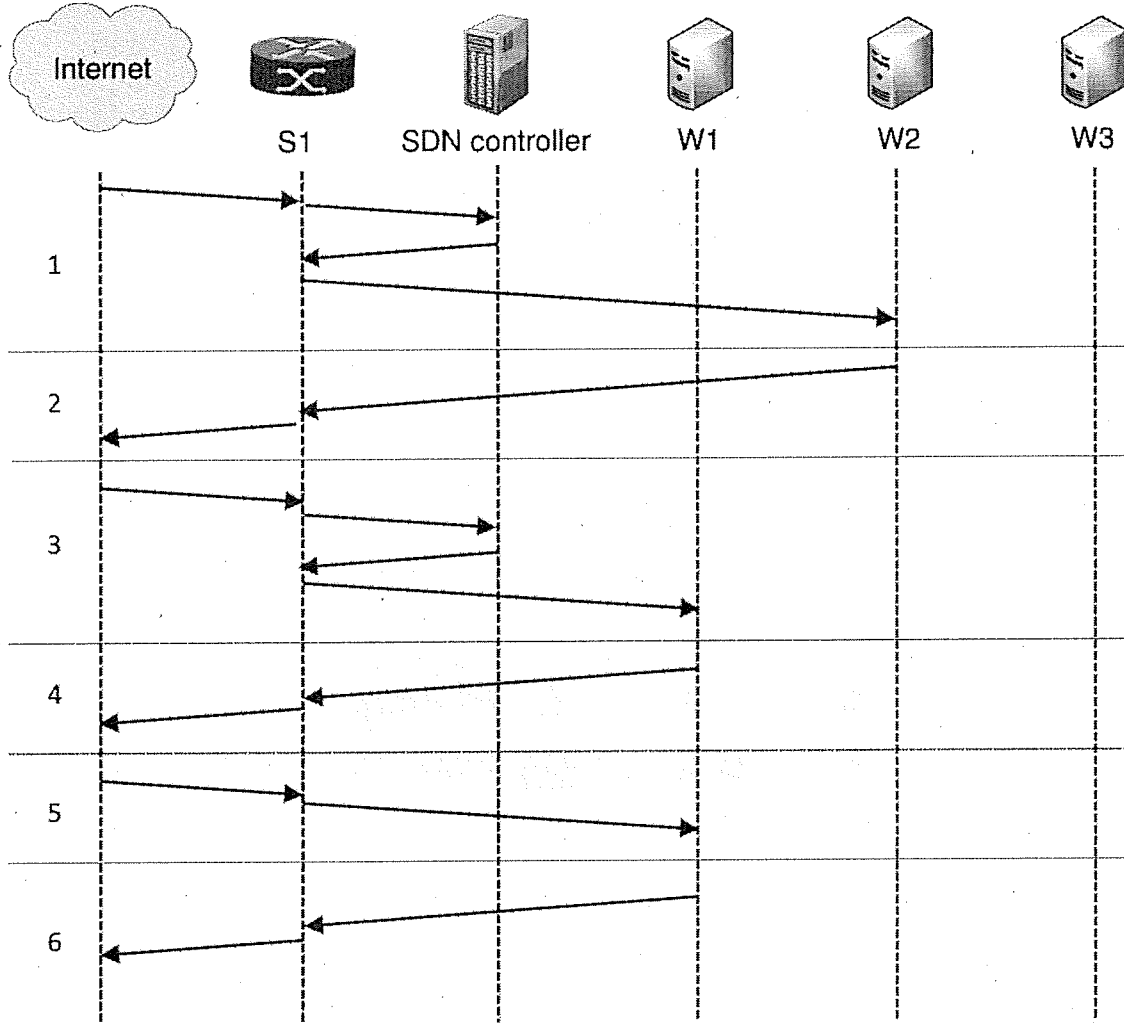
onPacketIn(packet, switch, port) {
    rule = Rule()

    port = getPort(packet.IP_SRC)
    subnet = getSubnet(packet.IP_SRC)

    rule.MATCH('IP_SRC', subnet)
    rule.ACTION('Output', port)
    rule.PRIORITY(2)

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

```



Mögliche Antworten:

- Verbindungen auf der Transport- und Sitzungsschicht können unterbrochen werden, da deren Verkehr zu anderen Webservern umgeleitet wird.
- Es können Konflikte zwischen neuen und nicht gelöschten Flowtable-Einträgen entstehen.
- Durch die erneute Programmierung der Flowtable-Einträge entstehen zusätzliche Latenzen.

