CoNe Freiburg

IIF INSTITUT FÜR INFORMATIK FREIBURG

Systeme II

4. Die Vermittlungsschicht

Christian Schindelhauer
Technische Fakultät
Rechnernetze und Telematik
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

Version 27.05.2013

UNI FREIBURG

Circuit Switching oder Packet Switching

- Circuit Switching
  - Etablierung einer Verbindung zwischen lokalen Benutzern durch Schaltstellen
    - mit expliziter Zuordnung von realen Schaltkreisen
    - oder expliziter Zuordnung von virtuellen Ressourcen, z.B. Slots
  - Quality of Service einfach, außer bei
    - Leitungsaufbau
    - Leitungsdauer
  - Problem
    - Statische Zuordnung
    - Ineffiziente Ausnutzung des Kommunikationsmedium bei dynamischer Last
  - Anwendung
    - Telefon
    - Telegraf
    - Funkverbindung

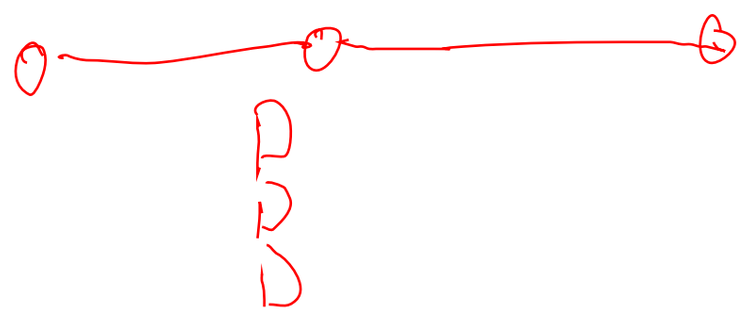
Circuit Switching oder Packet Switching

- Packet Switching
  - Grundprinzip von IP
    - Daten werden in Pakete aufgeteilt und mit Absender/Ziel-Information unabhängig versandt
  - Problem: Quality of Service
    - Die Qualität der Verbindung hängt von einzelnen Paketen ab
    - Entweder Zwischenspeichern oder Paketverlust
  - Vorteil:
    - Effiziente Ausnutzung des Mediums bei dynamischer Last
- Resümee
  - Packet Switching hat Circuit Switching in praktisch allen Anwendungen abgelöst
  - Grund:
    - Effiziente Ausnutzung des Mediums

Taktik der Schichten

- Transport
  - muss gewisse Flusskontrolle gewährleisten
  - z.B. Fairness zwischen gleichzeiten Datenströmen
- Vermittlung
  - Quality of Service (virtuelles Circuit Switching)
- Sicherung
  - Flusskontrolle zur Auslastung des Kanals

Layer	Policies
Transport	• Retransmission policy • Out-of-order caching policy • Acknowledgement policy • Flow control policy • Timeout determination
Network	• Virtual circuits versus datagram inside the subnet • Packet queueing and service policy • Packet discard policy • Routing algorithm • Packet lifetime management
Data link	• Retransmission policy • Out-of-order caching policy • Acknowledgement policy • Flow control policy



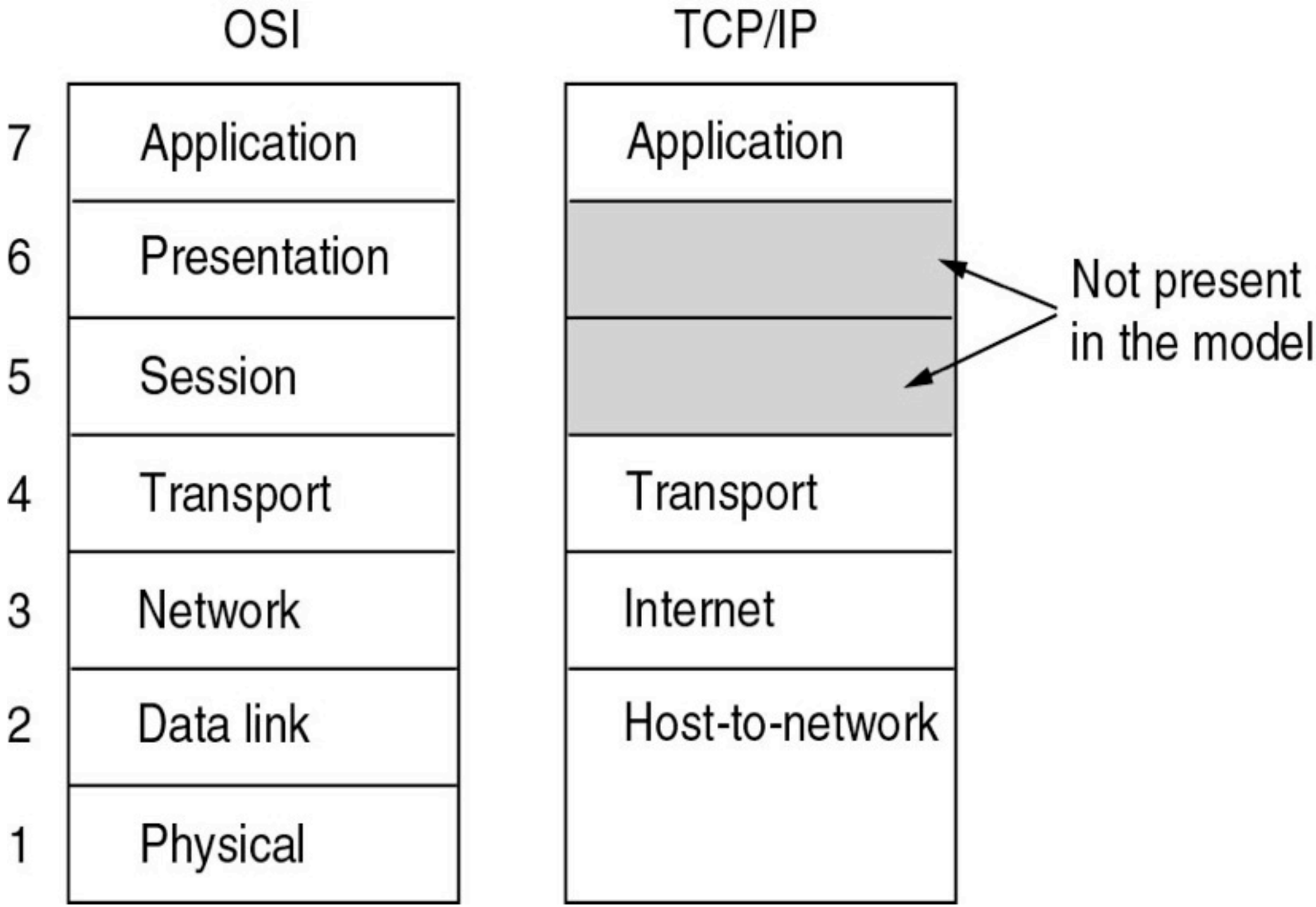
CoNe Freiburg

Die Schichtung des Internets - TCP/IP-Layer

Anwendung	Application	Telnet, FTP, HTTP, SMTP (E-Mail), ...
Transport	Transport	TCP (Transmission Control Protocol) UDP (User Datagram Protocol)
Vermittlung	Network	IP (Internet Protocol) + ICMP (Internet Control Message Protocol) + IGMP (Internet Group Management Protoccol)
Verbindung	Host-to-network	LAN (z.B. Ethernet, Token Ring etc.)

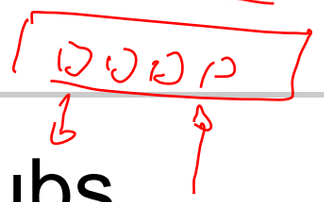
CoNe Freiburg

OSI versus TCP/IP



UNI FREIBURG

Warum eine Vermittlungsschicht



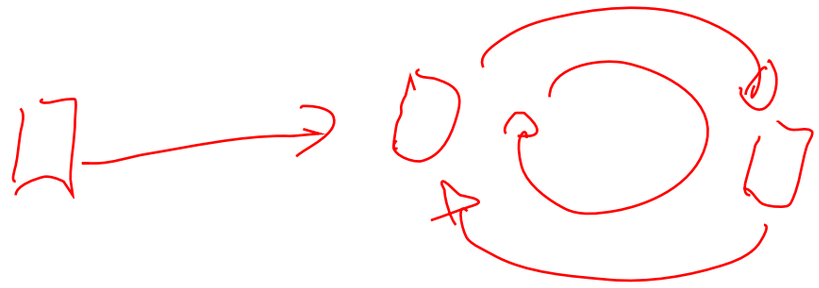
- Lokale Netzwerke können nicht nur über Hubs, Switches oder Bridges verknüpft werden
  - Hubs: Kollisionen nehmen überhand
  - Switches:
    - Routen-Information durch Beobachtung der Daten ineffizient
    - Broadcast aller Nachrichten schafft Probleme
  - Es gibt über 100 Mio. lokale Netzwerke im Internet...
- Zur Beförderung von Paketen in großen Netzwerken braucht man Routeninformationen
  - Wie baut man diese auf?
  - Wie leitet man Pakete weiter?
- Das Internet-Protokoll ist im wesentlich ein Vermittlungsschichtprotokoll

Routing-Tabelle und Paket-Weiterleitung

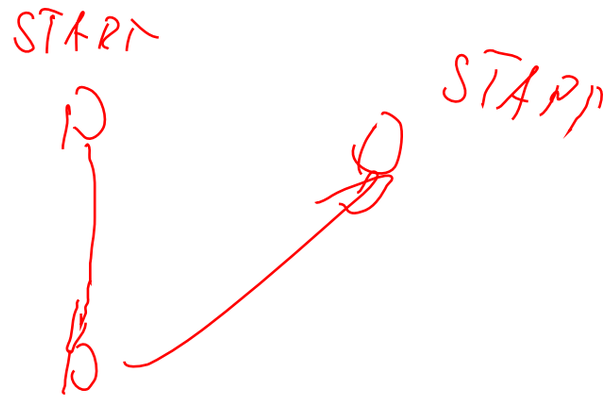
- IP-Routing-Tabelle
  - enthält für Ziel (Destination) die Adresse des nächsten Rechners (Gateway)
  - Destination kann einen Rechner oder ganze Sub-nets beschreiben
  - Zusätzlich wird ein Default-Gateway angegeben
- Packet Forwarding
  - früher Packet Routing genannt
  - IP-Paket (datagram) enthält Start-IP-Adresse und Ziel-IP-Adresse
    - Ist Ziel-IP-Adresse = eigene Rechneradresse dann Nachricht ausgeliefert
    - Ist Ziel-IP-Adresse in Routing-Tabelle dann leite Paket zum angegeben Gateway
    - Ist Ziel-IP-Subnetz in Routing-Tabelle dann leite Paket zum angegeben Gateway
    - Ansonsten leite zum Default-Gateway

Paket-Weiterleitung im Internet Protokoll

- IP-Paket (datagram) enthält unter anderen
  - TTL (Time-to-Live): Anzahl der Hops
  - Start-IP-Adresse
  - Ziel-IP-Adresse



- Behandlung eines Pakets
  - Verringere TTL (Time to Live) um 1
  - Falls TTL ≠ 0 dann Packet-Forwarding aufgrund der Routing-Tabelle
  - Falls TTL = 0 oder bei Problemen in Packet-Forwarding:
    - Lösche Paket
    - Falls Paket ist kein ICMP-Paket dann
      - Sende ICMP-Paket mit
        - Start= aktuelle IP-Adresse und
        - Ziel = alte Start-IP-Adresse



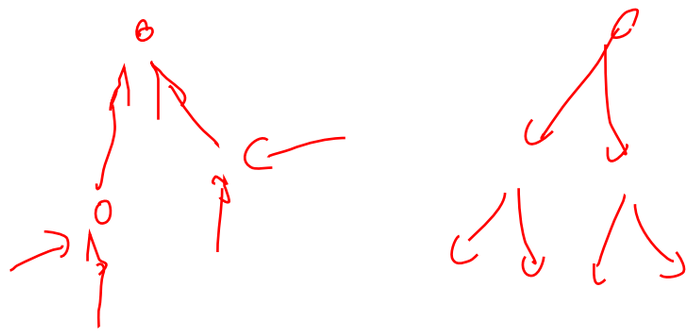
Statisches und Dynamisches Routing

CoNe Freiburg

- Forwarding:
  - Weiterleiten von Paketen
- Routing:
  - Erstellen Routen, d.h.
    - Erstellen der Routing-Tabelle
- Statisches Routing
  - Tabelle wird manuell erstellt
  - sinnvoll für kleine und stabile LANs
- Dynamisches Routing
  - Tabellen werden durch Routing-Algorithmus erstellt
  - Zentraler Algorithmus, z.B. Link State
    - Einer/jeder kennt alle Information, muss diese erfahren
  - Dezentraler Algorithmus, z.B. Distance Vector
    - arbeitet lokal in jedem Router
    - verbreitet lokale Information im Netzwerk

Das Kürzeste-Wege-Problem

- Gegeben:
  - Ein gerichteter Graph G=(V,E)
  - Startknoten
  - mit Kantengewichtungen $w : E \rightarrow \mathbb{R}$



- Definiere Gewicht des kürzesten Pfades
  - δ(u,v) = minimales Gewicht w(p) eines Pfades p von u nach v
  - w(p) = Summe aller Kantengewichte w(e) der Kanten e des Pfades
- Gesucht:
  - Die kürzesten Wege vom Startknoten s zu allen Knoten in G
    - also jeweils ein Pfad mit dem geringsten Gewicht zu jedem anderen Knoten
- Lösungsmenge:
  - wird beschrieben durch einen Baum mit Wurzel s
  - Jeder Knoten zeigt in Richtung der Wurzel

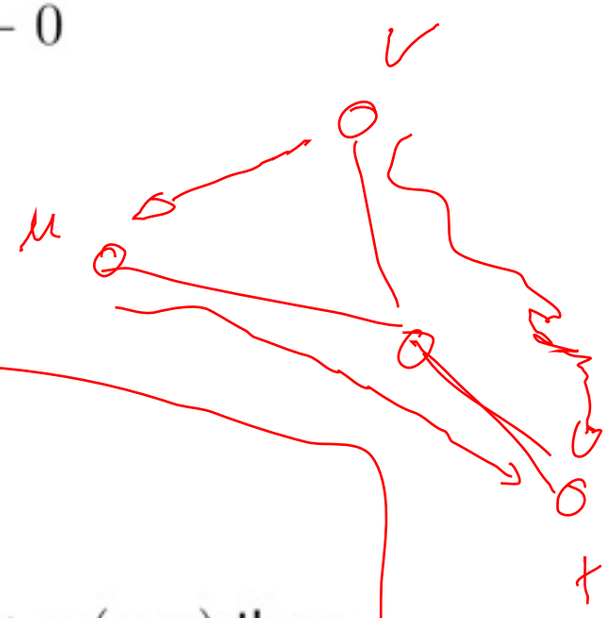
CoNe Freiburg

Kürzeste Wege mit Edsger Wybe Dijkstra

- Dijkstras Kürzeste-Wege-Algorithmus kann mit Laufzeit Θ(|E| + |V| log |V|) implementiert werden.

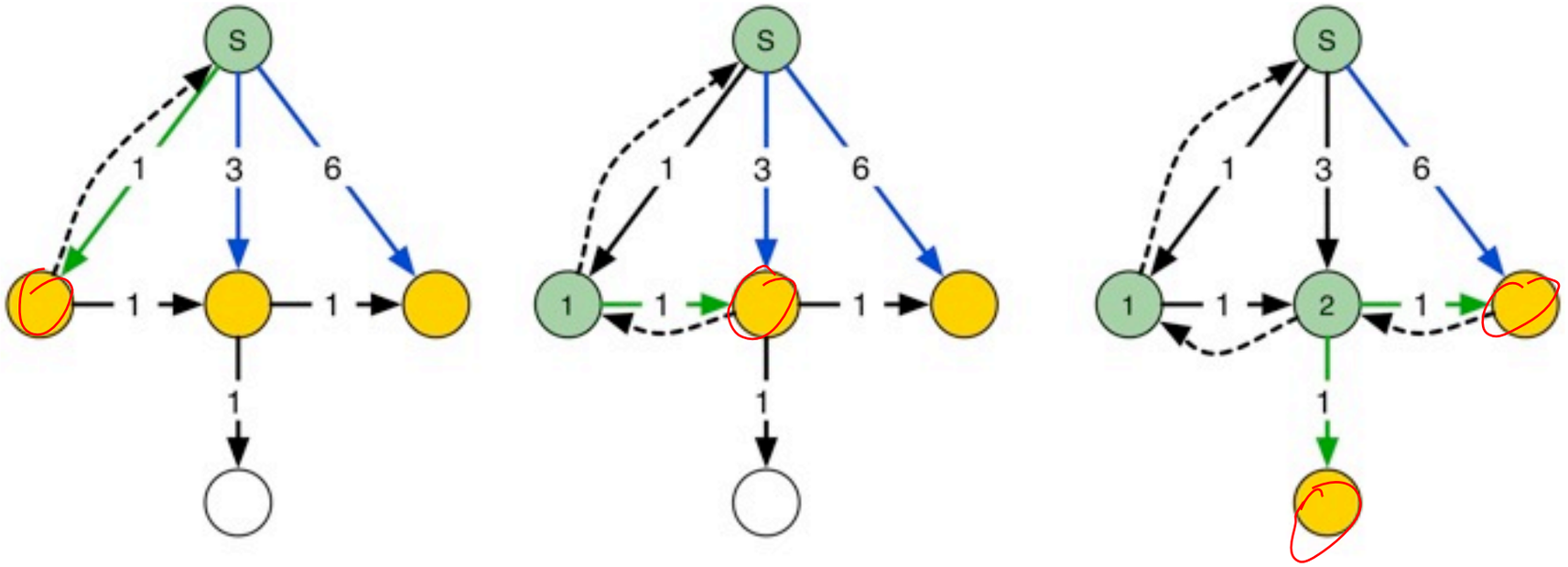
Dijkstra(G, w, s)
begin
    Init-Single-Source(G, w)
    $S \leftarrow \emptyset$
    $Q \leftarrow V$
    while $Q \neq \emptyset$ do
        $u \leftarrow$ Element aus Q mit minimalen Wert $d(u)$
        $S \leftarrow S \cup \{u\}$
        $Q \leftarrow Q \setminus \{u\}$
        for all $v \in$ Adj(u) do
            Relax(u, v)
        od
    od
end

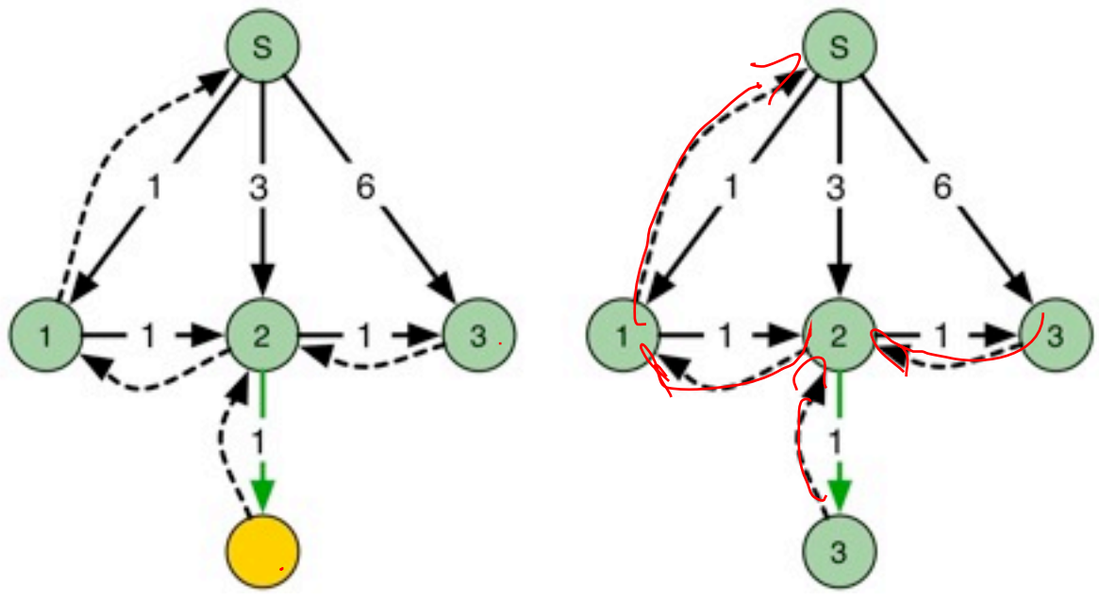
Init-Single-Source(G, w, s)
begin
    for all $v \in V$ do
        $d(v) \leftarrow \infty$
        $\pi(v) \leftarrow v$
    od
    $d(s) \leftarrow 0$
end



Relax(u, v)
begin
    if $d(v) > d(u) + w(u, v)$ then
        $d(v) \leftarrow d(u) + w(u, v)$
        $\pi(v) \leftarrow u$
    fi
end

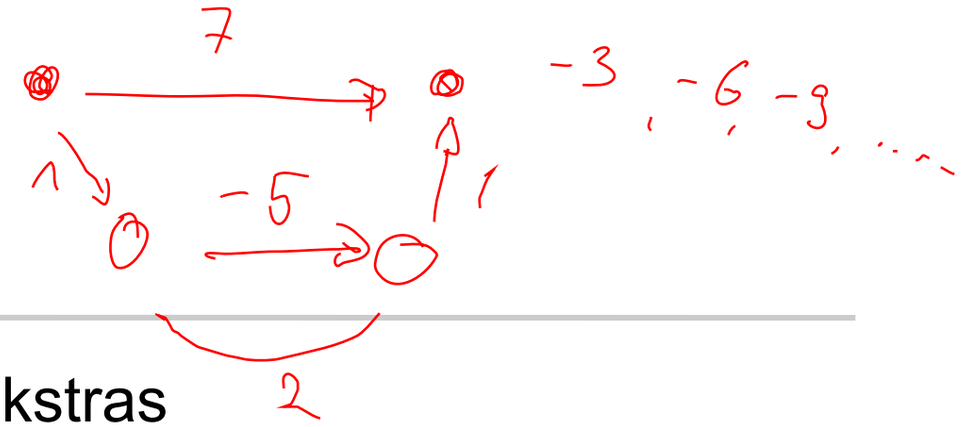
Dijkstra: Beispiel





CoNe Freiburg

Bellman-Ford



- Bei negativen Kantengewichten versagt Dijkstras Algorithmus
- Bellman-Ford
  - löst dies in Laufzeit O(|V| |E|).

Bellman-Ford(G, w, s)

- **Init-Target**(G, w)
- loop $|V| - 1$ times:
  - for all $(u, v) \in E$ do
    - **Relax**(u, v)
- for all $(u, v) \in E$ do
  - if $d(u) > d(v) + w(u, v)$ then return false

Init-Target(G, w, t)

- **Init-Target**(G, w)
- for all $v \in V$ do
  - $d(v) \leftarrow \infty$
  - $\pi(v) \leftarrow v$
- $d(t) \leftarrow 0$

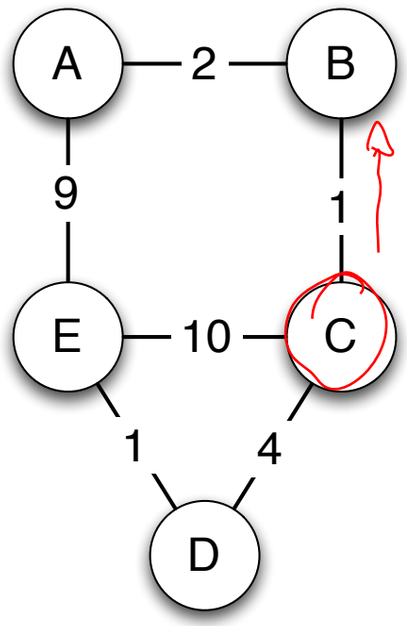
Relax(u, v)

- **Relax**(u, v)
- if $d(u) > w(u, v) + d(v)$ then
  - $d(u) \leftarrow w(u, v) + d(v)$
  - $\pi(u) \leftarrow v$

UNI FREIBURG

Distance Vector Routing Protocol

- Distance Table Datenstruktur
  - Jeder Knoten besitzt eine
    - Zeile für jedes mögliches Ziel
    - Spalte für jeden direkten Nachbarn
- Verteilter Algorithmus
  - Jeder Knoten kommuniziert nur mit seinem Nachbarn
- Asynchroner Betrieb
  - Knoten müssen nicht Informationen austauschen in einer Runde
- Selbst Terminierend
  - läuft bis die Knoten keine Informationen mehr austauschen



Distance Table für A

von A	über B	über E	Routing Tabellen-eintrag
nach B	**2**	11	B
C	**3**	19	B
D	**7**	10	B
E	**8**	9	B

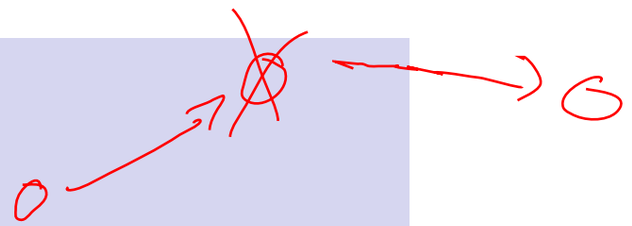
Distance Table für C

von C	über B	über D	über E	Routing Tabellen Eintrag
nach A	**3**	14	18	B
B	**1**	9	9	B
D	6	**4**	11	D
E	7	**5**	10	D

CoNe Freiburg

Distance Vector für ein Ziel t

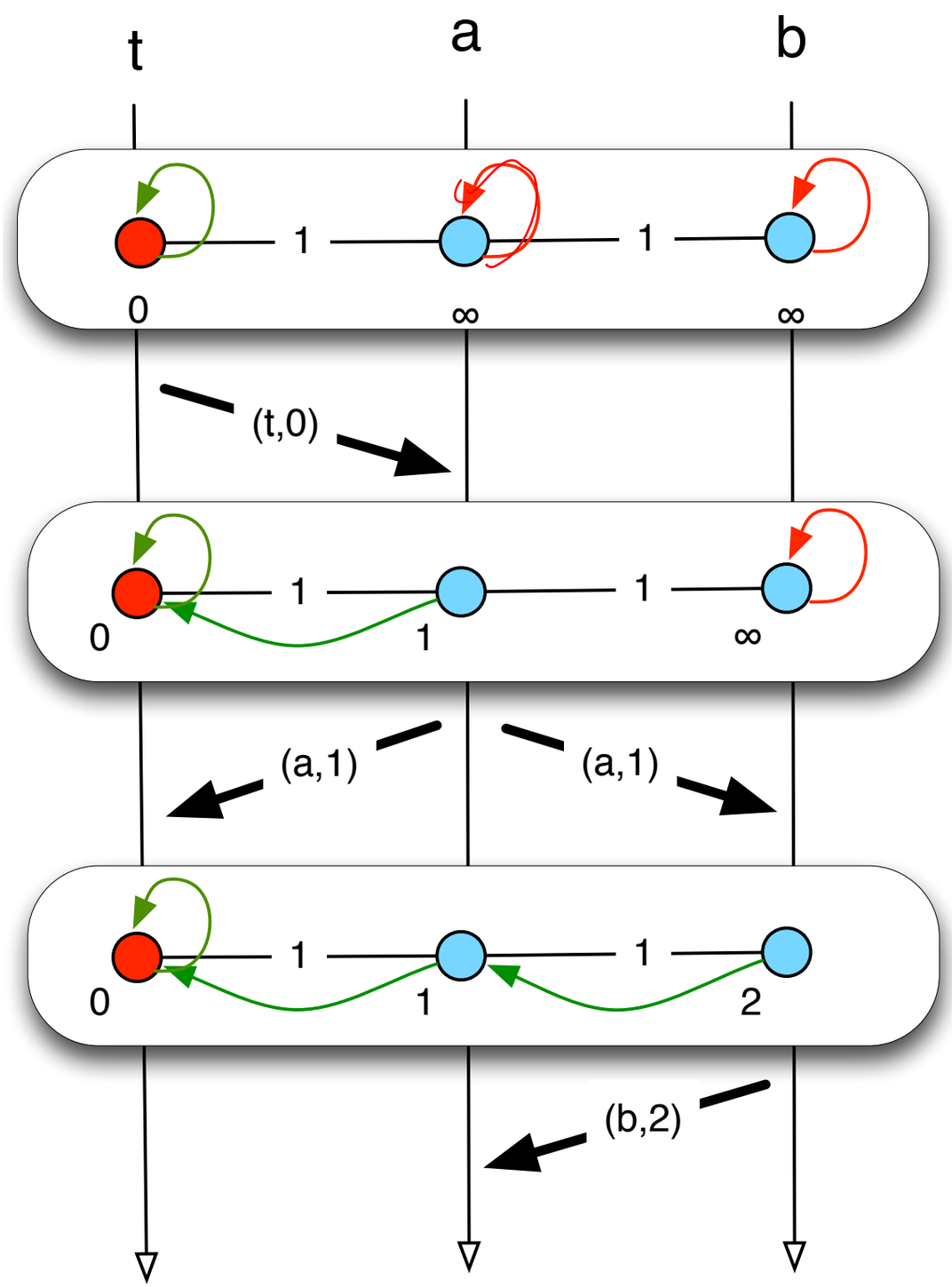
Distributed Bellman Ford for target t (Distance-Vector Routing)



- If node is t then $d(t) \leftarrow 0$; $\pi(t) \leftarrow t$
- If a message from u to $\pi(u)$ fails then
  - $d(u) \leftarrow \infty$
- If u detects a new neighbor v then
  - send $(u, d(u))$ to v
- If u receives $(v, d(v))$ from v
  - if $d(u) > d(v) + w(u, v)$ or $v = \pi(u)$ then
    - $d(u) \leftarrow d(v) + w(u, v)$
    - $\pi(u) \leftarrow v$
- if $d(u) = \infty$ then $\pi(u) \leftarrow u$
- Every time $d(u)$ or $\pi(u)$ has changed u sends $(u, d(u))$ to all neighbors

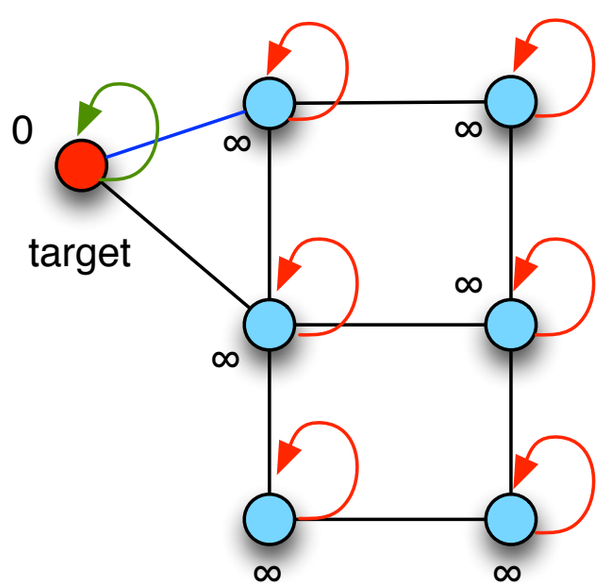
CoNe Freiburg

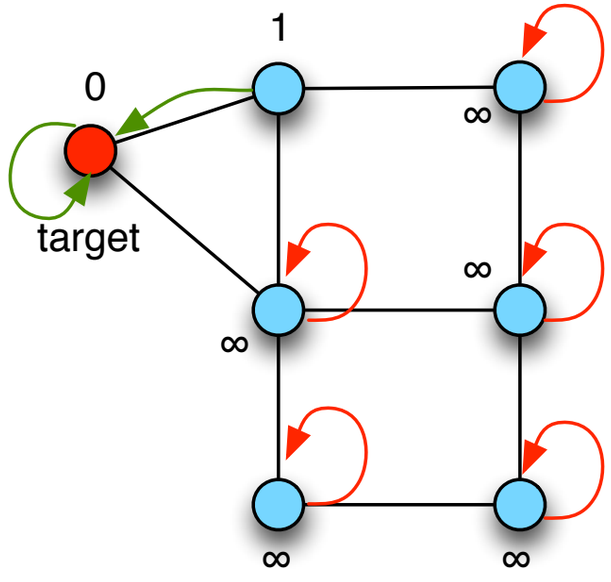
Beispiel für Distance-Vector für Ziel t

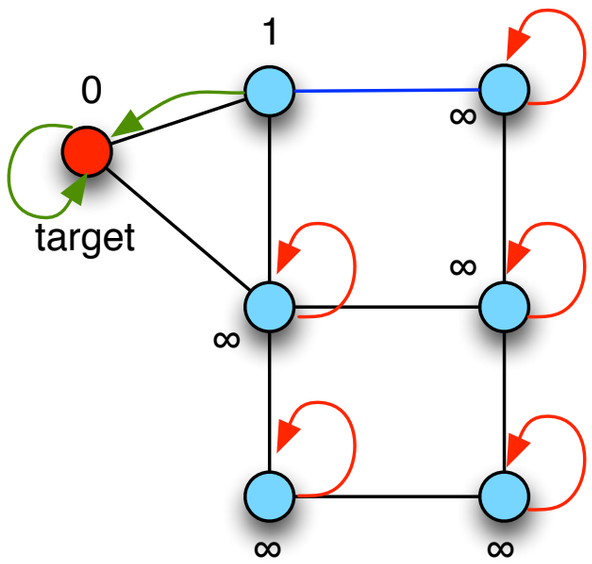


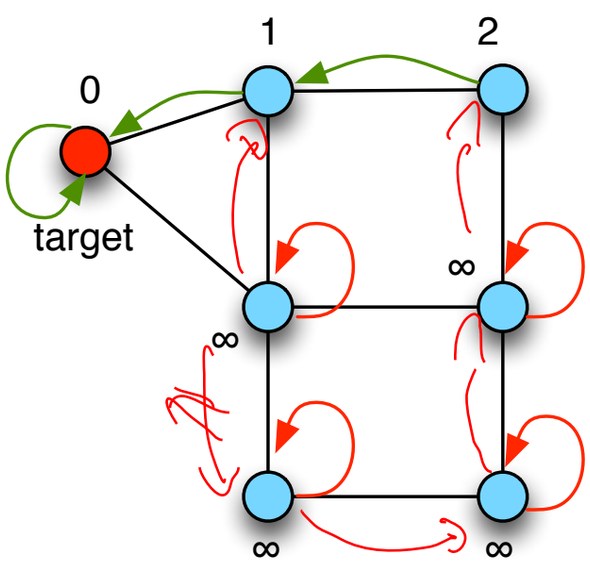
UNI FREIBURG

Distance-Vector für ein Ziel



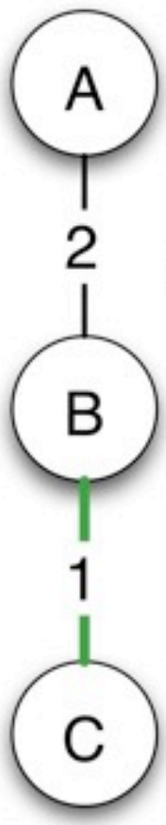






Das “Count to Infinity” - Problem

- Gute Nachrichten verbreiten sich schnell
  - Neue Verbindung wird schnell veröffentlicht



Distance Table für A

	über	
von A	B	Routing Tabellen Eintrag
nach B	**2**	B
C	-	B

Distance Table für B

	über		
von B	A	C	Routing Tabellen Eintrag
nach A	2	-	A
C	-	1	C

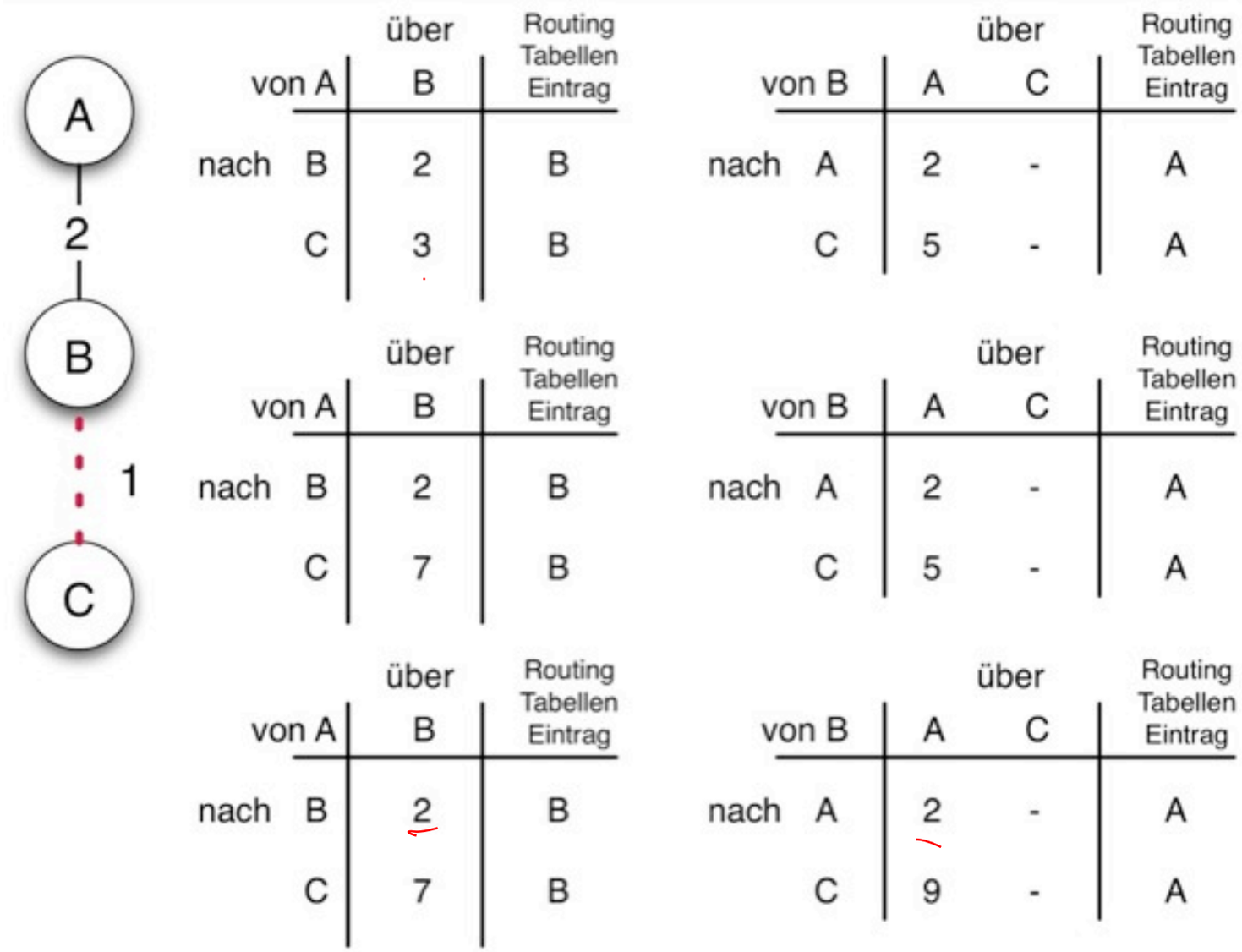
nach kurzer Zeit

	über	
von A	B	Routing Tabellen Eintrag
nach B	**2**	B
C	**3**	B

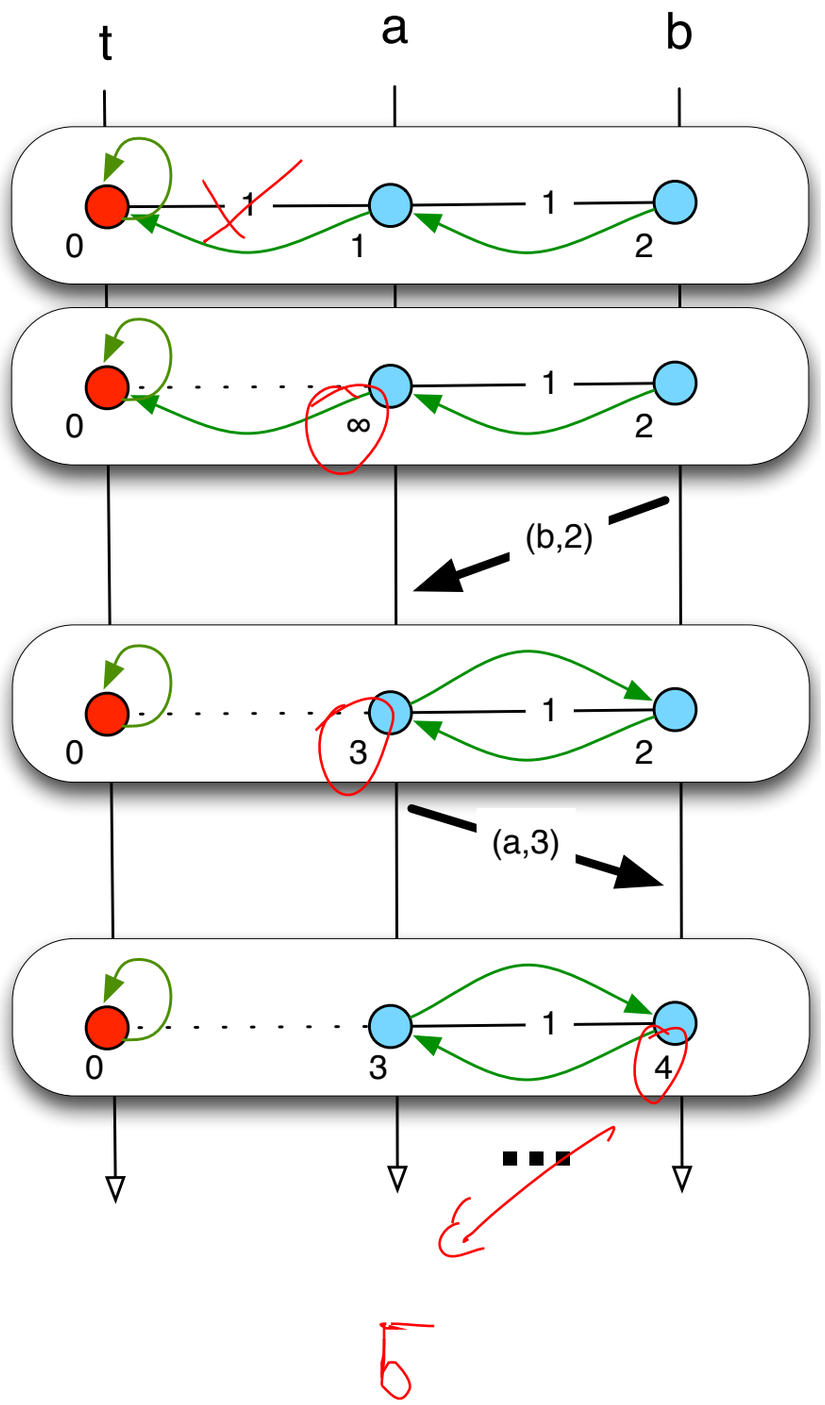
	über		
von B	A	C	Routing Tabellen Eintrag
nach A	2	4	A
C	5	1	C

Das “Count to Infinity” - Problem

- Schlechte Nachrichten verbreiten sich langsam
  - Verbindung fällt aus
  - Nachbarn erhöhen wechselseitig ihre Entfernung
  - “Count to Infinity”-Problem



Das “Count to Infinity” - Problem für Ziel t



CoNe Freiburg

Link-State Protocol

- Link State Router
  - tauschen Information mittels Link State Packets (LSP) aus
  - Jeder verwendet einen eigenen Kürzeste-Wege-Algorithmus zu Anpassung der Routing-Tabelle
- LSP enthält
  - ID des LSP erzeugenden Knotens
  - Kosten dieses Knotens zu jedem direkten Nachbarn
  - Sequenznr. (SEQNO)
  - TTL-Feld für dieses Feld (time to live)
- Verlässliches Fluten (Reliable Flooding)
  - Die aktuellen LSP jedes Knoten werden gespeichert
  - Weiterleitung der LSP zu allen Nachbarn
    - bis auf den Knoten der diese ausgeliefert hat
  - Periodisches Erzeugen neuer LSPs
    - mit steigender SEQNOs
  - Verringern der TTL bei jedem Weiterleiten

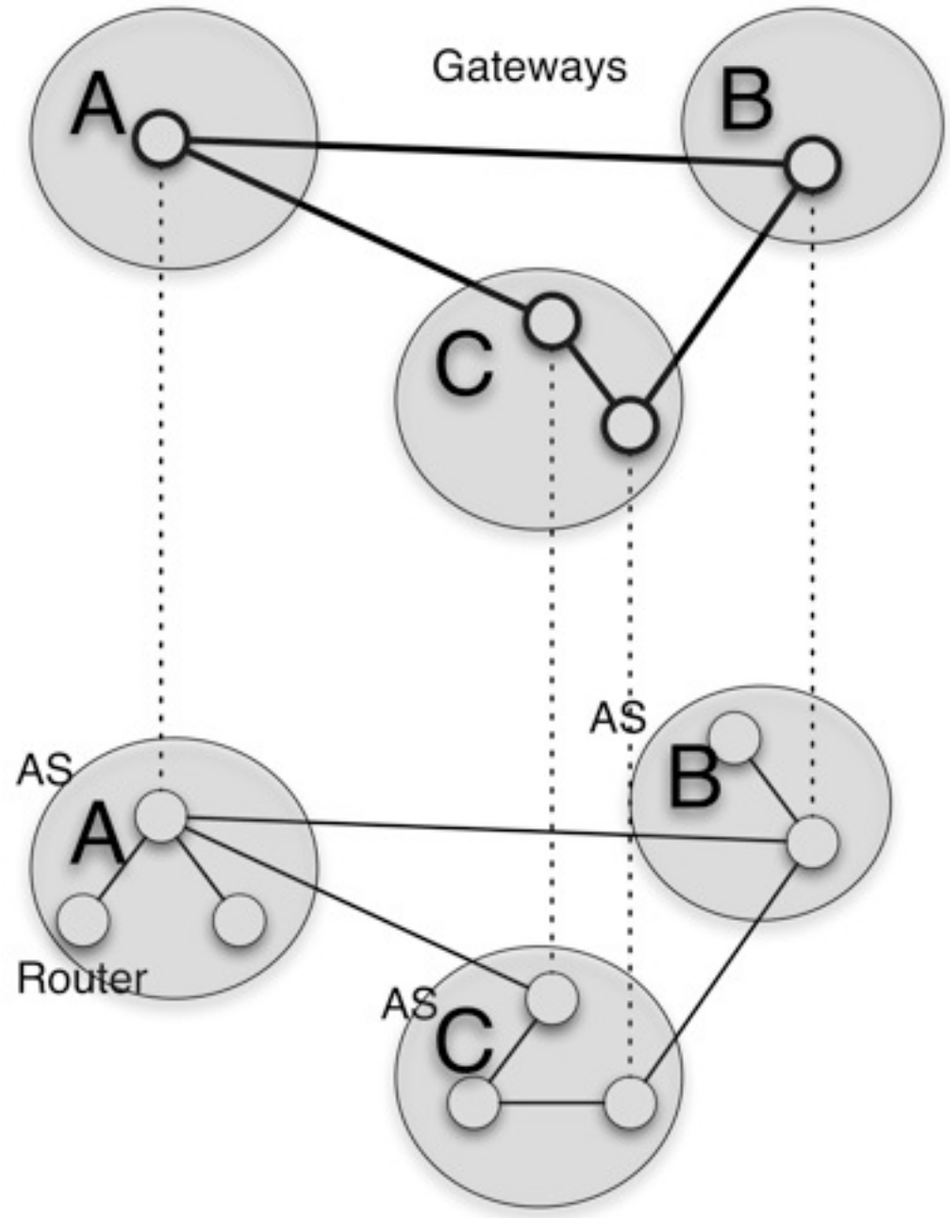
CoNe Freiburg

Die Grenzen des flachen Routing

- Link State Routing
  - benötigt O(g n) Einträge für n Router mit maximalen Grad g
  - Jeder Knoten muss an jeden anderen seine Informationen senden
- Distance Vector
  - benötigt O(g n) Einträge
  - kann Schleifen einrichten
  - Konvergenzzeit steigt mit Netzwerkgröße
- Im Internet gibt es mehr als 10^6 Router
  - damit sind diese so genannten flachen Verfahren nicht einsetzbar
- Lösung:
  - Hierarchisches Routing

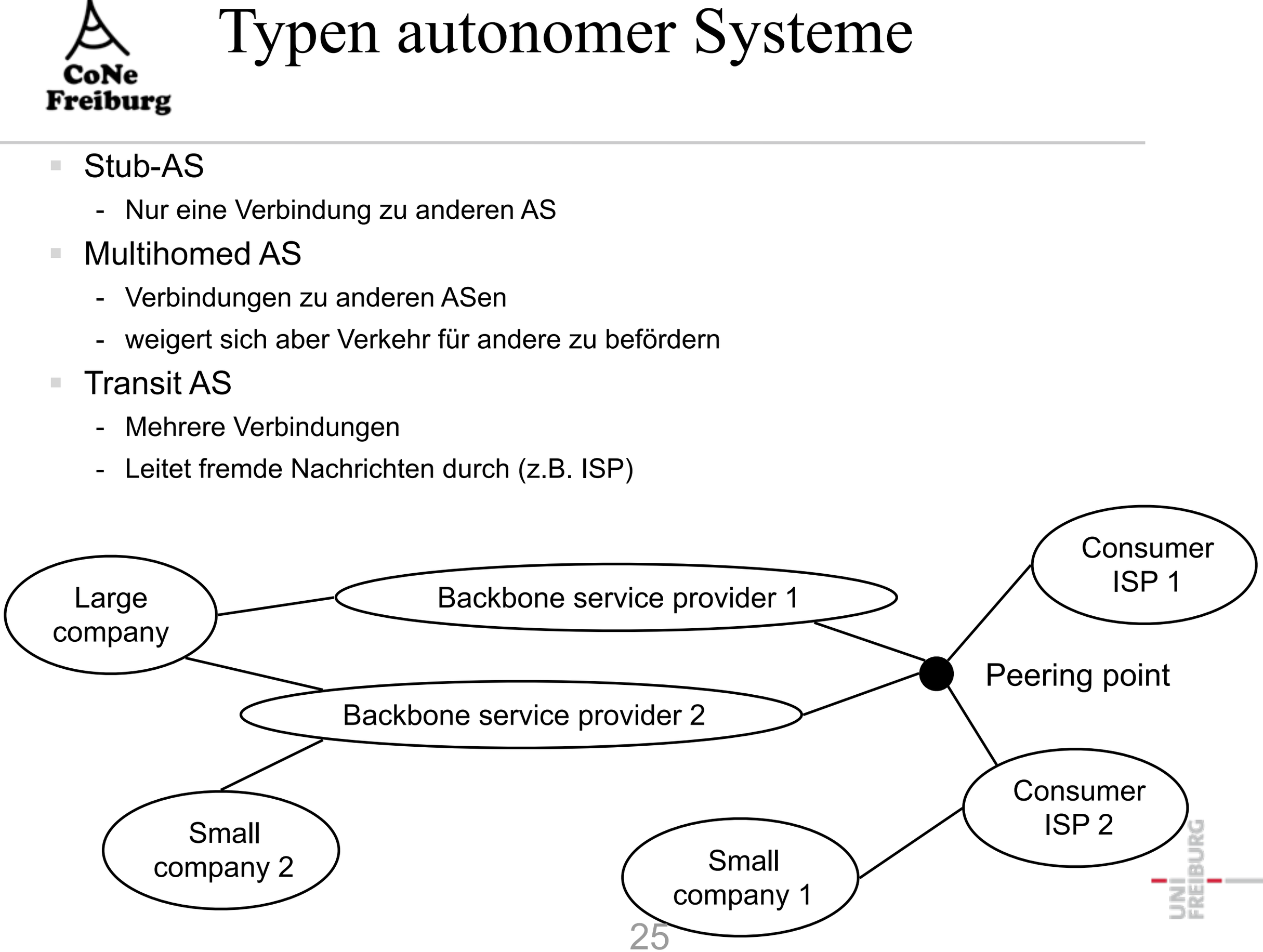
AS, Intra-AS und Inter-AS

- Autonomous System (AS)
  - liefert ein zwei Schichten-Modell des Routing im Internet
  - Beispiele für AS:
    - uni-freiburg.de
- Intra-AS-Routing (Interior Gateway Protocol)
  - ist Routing innerhalb der AS
  - z.B. RIP, OSPF, IGRP, ...
- Inter-AS-Routing (Exterior Gateway Protocol)
  - Übergabepunkte sind Gateways
  - ist vollkommen dezentrales Routing
  - Jeder kann seine Optimierungskriterien vorgeben
  - z.B. EGP (früher), BGP



Typen autonomer Systeme

- Stub-AS
  - Nur eine Verbindung zu anderen AS
- Multihomed AS
  - Verbindungen zu anderen ASen
  - weigert sich aber Verkehr für andere zu befördern
- Transit AS
  - Mehrere Verbindungen
  - Leitet fremde Nachrichten durch (z.B. ISP)



Intra-AS: RIP
Routing Information Protocol

- Distance Vector Algorithmus
  - Distanzmetrik = Hop-Anzahl
- Distanzvektoren
  - werden alle 30s durch Response-Nachricht (advertisement) ausgetauscht
- Für jedes Advertisement
  - Für bis zu 25 Zielnetze werden Routen veröffentlicht per UDP
- Falls kein Advertisement nach 180s empfangen wurde
  - Routen über Nachbarn werden für ungültig erklärt
  - Neue Advertisments werden zu den Nachbarn geschickt
  - Diese antworten auch mit neuen Advertisements
    - falls die Tabellen sich ändern
  - Rückverbindungen werden unterdrückt um Ping-Pong-Schleifen zu verhindern (poison reverse) gegen Count-to-Infinity-Problem
    - Unendliche Distanz = 16 Hops

Intra-AS OSPF (Open Shortest Path First)

- “open” = öffentlich verfügbar
- Link-State-Algorithmus
  - LS Paket-Verbreitung
  - Topologie wird in jedem Knoten abgebildet
  - Routenberechnung mit Dijkstras Algorithmus
- OSPF-Advertisment
  - per TCP, erhöht Sicherheit (security)
  - werden in die gesamte AS geflutet
  - Mehrere Wege gleicher Kosten möglich

Intra-AS
Hierarchisches OSPF

- Für große Netzwerke zwei Ebenen:
  - Lokales Gebiet und Rückgrat (backbone)
    - Lokal: Link-state advertisement
    - Jeder Knoten berechnet nur in Richtung zu den Netzen in anderen lokalen Gebieten
- Local Area Border Router:
  - Fassen die Distanzen in das eigene lokale Gebiet zusammen
  - Bieten diese den anderen Area Border Routern an (per Advertisement)
- Backbone Routers
  - verwenden OSPF beschränkt auf das Rückgrat (backbone)
- Boundary Routers:
  - verbinden zu anderen AS

Intra-AS: IGRP (Interior Gateway Routing Protocol)

- CISCO-Protokoll, Nachfolger von RIP (1980er)
- Distance-Vector-Protokoll, wie RIP
  - Hold Down
  - Split Horizon
  - Poison Reverse
- Verschiedene Kostenmetriken
  - Delay, Bandwidth, Reliability, Load etc.
- Verwendet TCP für den Austausch von Routing Updates

CoNe Freiburg

Inter-AS-Routing

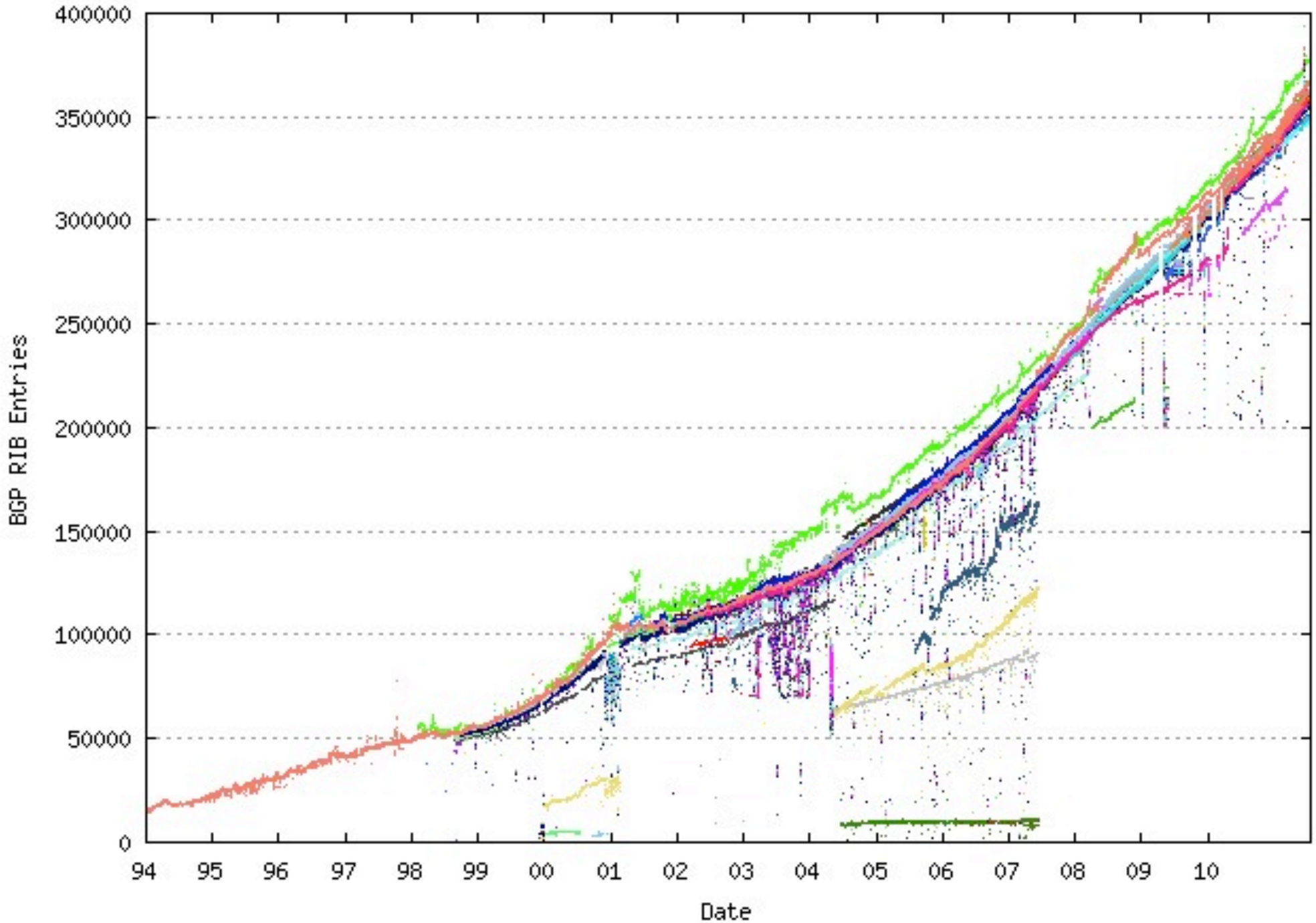
- Inter-AS-Routing ist schwierig...
  - Organisationen können Durchleitung von Nachrichten verweigern
  - Politische Anforderungen
    - Weiterleitung durch andere Länder?
  - Routing-Metriken der verschiedenen autonomen Systeme sind oftmals unvergleichbar
    - Wegeoptimierung unmöglich!
    - Inter-AS-Routing versucht wenigstens Erreichbarkeit der Knoten zu ermöglichen
  - Größe: momentan müssen Inter-Domain-Router mehr als 300.000 Einträge verwalten

Inter-AS: BGPv4 (Border Gateway Protocol)

- Ist faktisch der Standard
- Path-Vector-Protocol
  - ähnlich wie Distance Vector Protocol
    - es werden aber ganze Pfade zum Ziel gespeichert
  - jeder Border Gateway teilt all seinen Nachbarn (peers) den gesamten Pfad (Folge von ASen) zum Ziel mit (advertisement) (per TCP)
- Falls Gateway X den Pfad zum Peer-Gateway W sendet
  - dann kann W den Pfad wählen oder auch nicht
  - Optimierungskriterien:
    - Kosten, Politik, etc.
  - Falls W den Pfad von X wählt, dann publiziert er
    - Path(W,Z) = (W, Path (X,Z))
- Anmerkung
  - X kann den eingehenden Verkehr kontrollieren durch Senden von Advertisements
  - Sehr kompliziertes Protokoll

CoNe Freiburg

BGP-Routing Tabellengröße 1994-2011



http://bgp.potaroo.net/

UNI FREIBURG

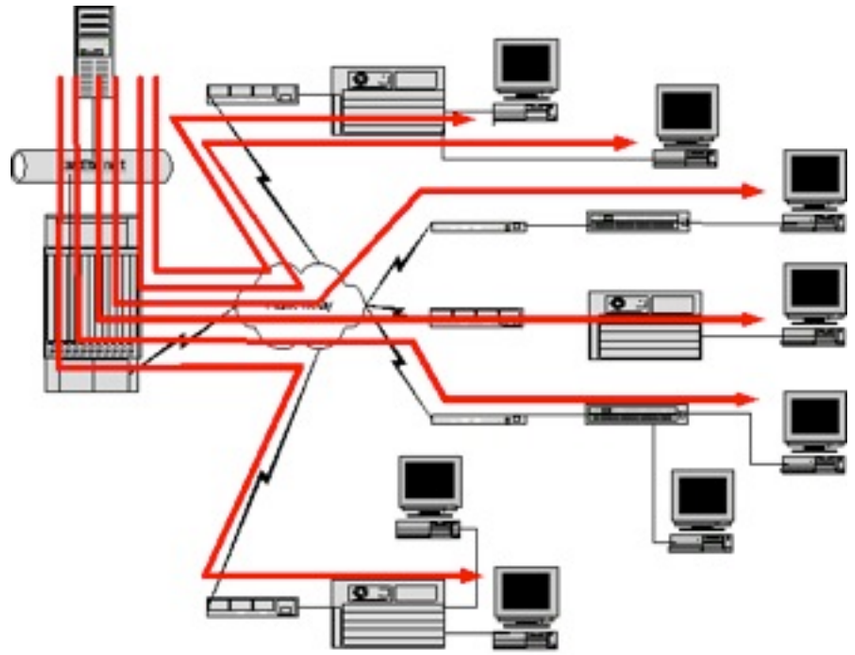
CoNe Freiburg

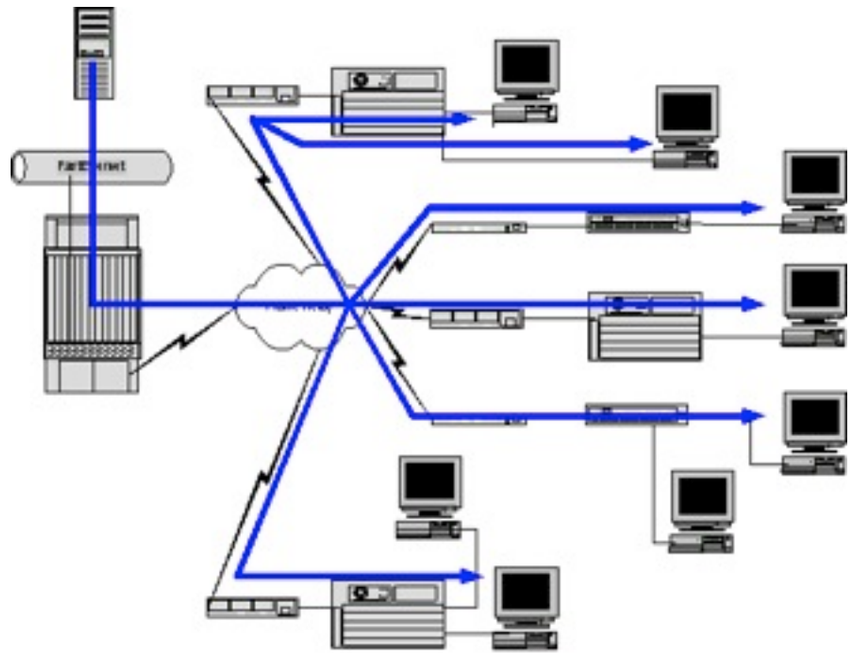
Broadcast & Multicast

- Broadcast routing
  - Ein Paket soll (in Kopie) an alle ausgeliefert werden
  - Lösungen:
    - Fluten des Netzwerks
    - Besser: Konstruktion eines minimalen Spannbaums
- Multicast routing
  - Ein Paket soll an eine gegebene Teilmenge der Knoten ausgeliefert werden (in Kopie)
  - Lösung:
    - Optimal: Steiner Baum Problem (bis heute nicht lösbar)
    - Andere (nicht-optimale) Baum-konstruktionen

IP Multicast

- Motivation
  - Übertragung eines Stroms an viele Empfänger
- Unicast
  - Strom muss mehrfach einzeln übertragen werden
  - Bottleneck am Sender
- Multicast
  - Strom wird über die Router vervielfältigt
  - Kein Bottleneck mehr





Bilder von Peter J. Welcher

Funktionsprinzip

- IPv4 Multicast-Adressen
  - in der Klasse D (außerhalb des CIDR - Classless Interdomain Routings)
  - 224.0.0.0 - 239.255.255.255
- Hosts melden sich per IGMP bei der Adresse an
  - IGMP = Internet Group Management Protocol
  - Nach der Anmeldung wird der Multicast-Tree aktualisiert
- Source sendet an die Multicast-Adresse
  - Router duplizieren die Nachrichten an den Routern
  - und verteilen sie in die Bäume
- Angemeldete Hosts erhalten diese Nachrichten
  - bis zu einem Time-Out
  - oder bis sie sich abmelden
- Achtung:
  - Kein TCP, nur UDP
  - Viele Router lehnen die Beförderung von Multicast-Nachrichten ab
    - Lösung: Tunneln

Routing Protokolle

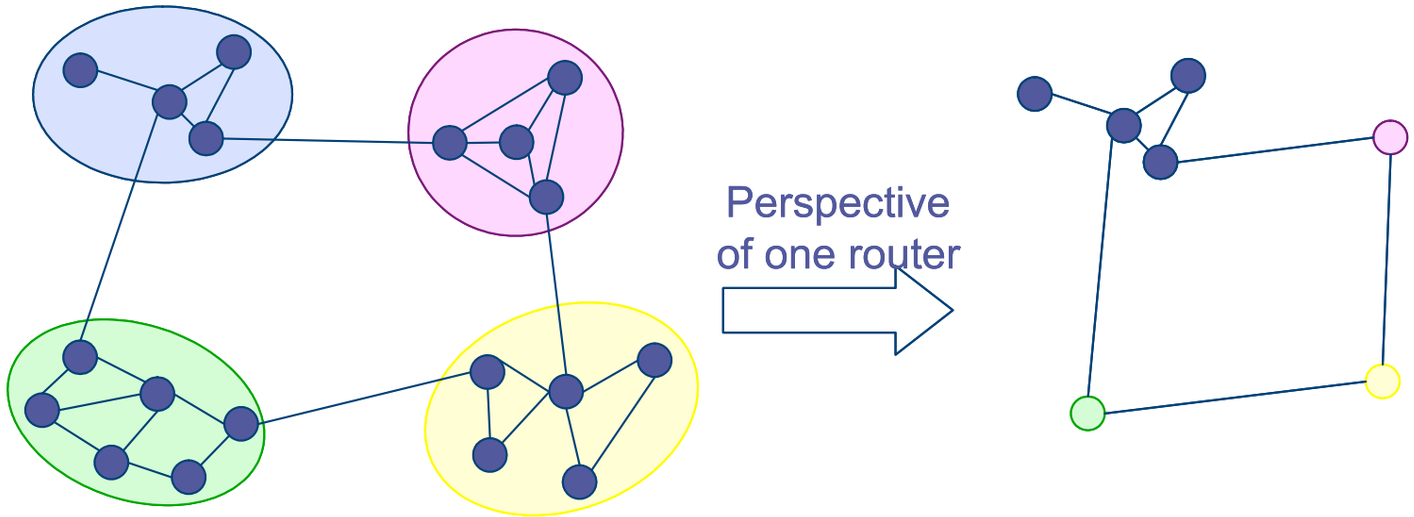
- Distance Vector Multicast Routing Protocol (DVMRP)
  - jahrelang eingesetzt in MBONE (insbesondere in Freiburg)
  - Eigene Routing-Tabelle für Multicast
- Protocol Independent Multicast (PIM)
  - im Sparse Mode (PIM-SM)
  - aktueller Standard
  - beschneidet den Multicast Baum
  - benutzt Unicast-Routing-Tabellen
  - ist damit weitestgehend protokollunabhängig
- Voraussetzung PIM-SM:
  - benötigt Rendevous-Point (RP) in ein-Hop-Entfernung
  - RP muss PIM-SM unterstützen
  - oder Tunneling zu einem Proxy in der Nähe eines RP

Warum so wenig IP Multicast?

- Trotz erfolgreichen Einsatz
  - in Video-Übertragung von IETF-Meetings
  - MBONE (Multicast Backbone)
- gibt es wenig ISP welche IP Multicast in den Routern unterstützen
- Zusätzlicher Wartungsaufwand
  - Schwierig zu konfigurieren
  - Verschiedene Protokolle
- Gefahr von Denial-of-Service-Attacken
  - Implikationen größer als bei Unicast
- Transport-Protokoll
  - Nur UDP einsetzbar
  - Zuverlässige Protokolle
    - Vorwärtsfehlerkorrektur
    - Oder propertiäre Protokolle in den Routern (z.B. CISCO)
- Marktsituation
  - Endkunden fragen kaum Multicast nach (benutzen lieber P2P-Netzwerke)
  - Wegen einzelner Dateien und weniger Abnehmer erscheint ein Multicast wenig erstrebenswert (Adressenknappheit!)

Adressierung und Hierarchisches Routing

- Flache (MAC-) Adressen haben keine Strukturinformation



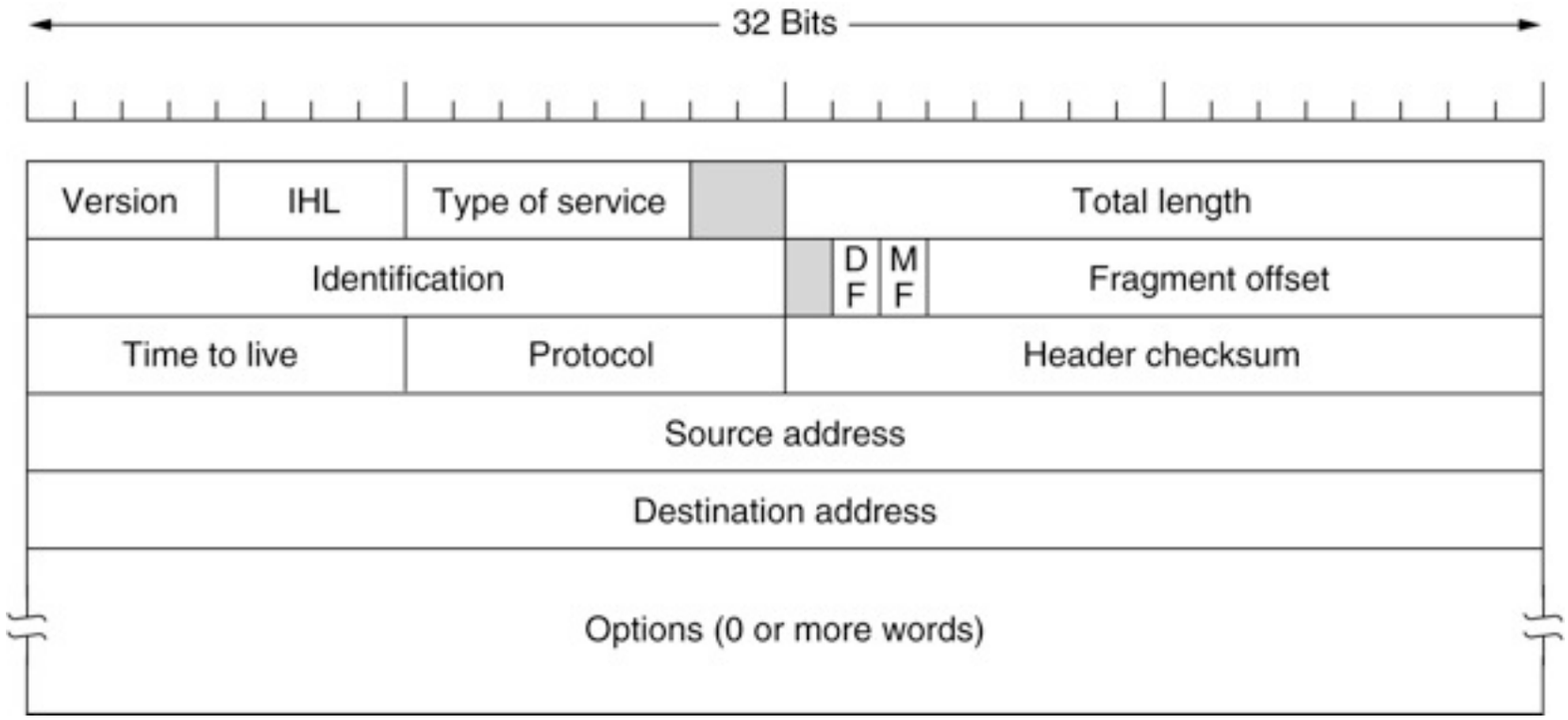
- Hierarchische Adressen
  - Routing wird vereinfacht wenn Adressen hierarchische Routing-Struktur abbilden
  - Group-ID$_n$:Group-ID$_{n-1}$:…:Group-ID$_1$:Device-ID

IP-Adressen und Domain Name System

- IP-Adressen
  - Jedes Interface in einem Netzwerk hat weltweit eindeutige IP-Adresse
  - 32 Bits unterteilt in Net-ID und Host-ID
  - Net-ID vergeben durch Internet Network Information Center
  - Host-ID durch lokale Netzwerkadministration
- Domain Name System (DNS)
  - Ersetzt IP-Adressen wie z.B. 132.230.167.230 durch Namen wie z.B. falcon.informatik.uni-freiburg.de und umgekehrt
  - Verteilte robuste Datenbank

IPv4-Header (RFC 791)

- Version: 4 = IPv4
- IHL: IP Headerlänge
  - in 32 Bit-Wörtern (>5)
- Type of Service
  - Optimiere delay, throughput, reliability, monetary cost



- Checksum (nur für IP-Header)
- Source and destination IP-address
- Protocol, identifiziert passendes Protokoll
  - Z.B. TCP, UDP, ICMP, IGMP
- Time to Live:
  - maximale Anzahl Hops

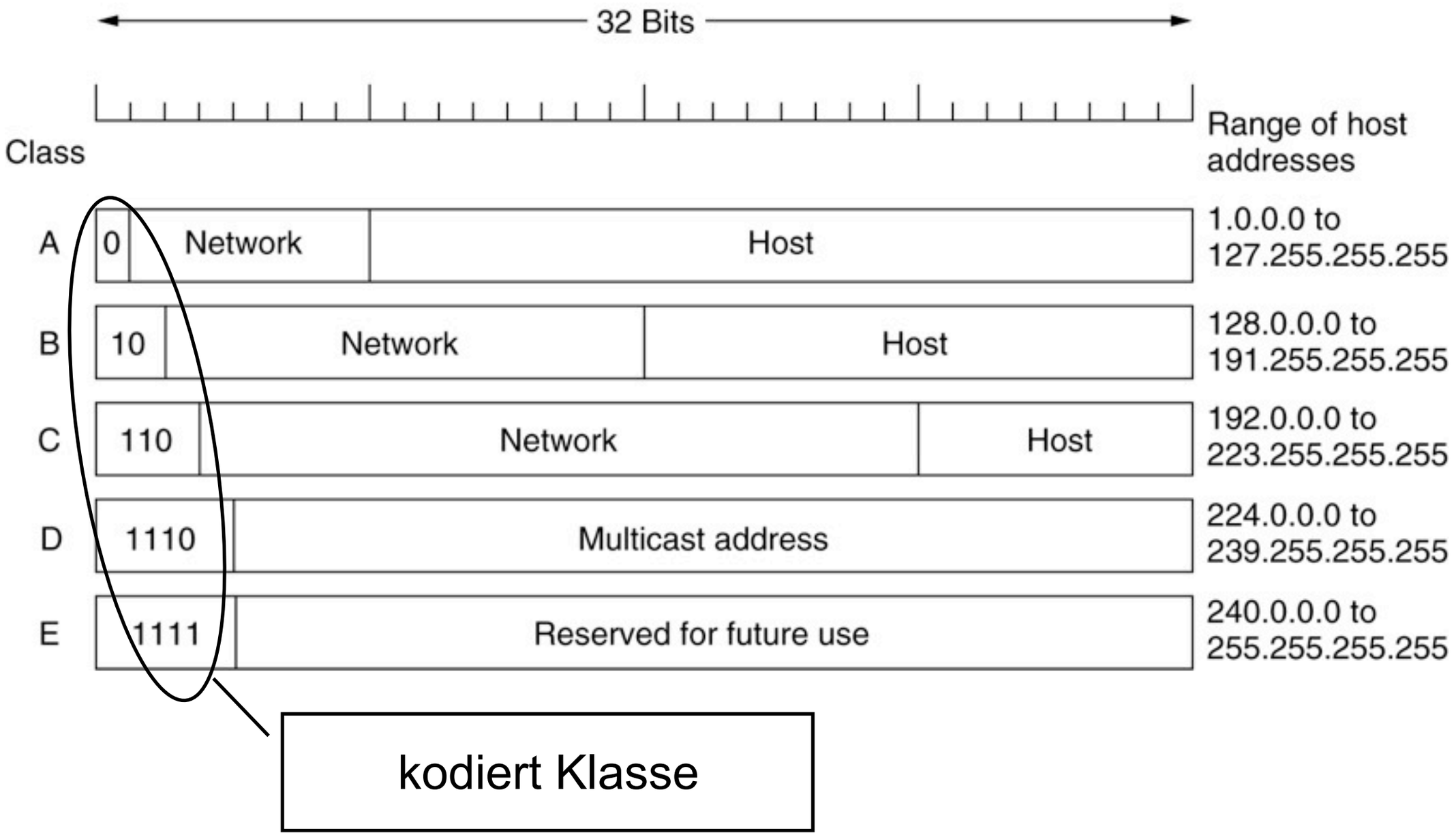
CoNe Freiburg

Internet IP Adressen bis 1993

- IP-Adressen unterscheiden zwei Hierarchien
  - Netzwerk-Interfaces
  - Netzwerke
    - Verschiedene Netzwerkgrößen
    - Netzwerkklassen:
      - Groß - mittel - klein (Klasse A, B, and C)
- Eine IP-Adresse hat 32 Bits
  - Erster Teil: Netzwerkadresse
  - Zweiter Teil: Interface

IP-Klassen bis 1993

- Klassen A, B, and C
- D für multicast; E: “reserved”



128 NWs;
16 M hosts

16K NWs;
64K hosts

2M NWs;
256 hosts

IPv4-Adressen

- Bis 1993 (heutzutage veraltet)
  - 5 Klassen gekennzeichnet durch Präfix
  - Dann Subnetzpräfix fester Länge und Host-ID (Geräteteil)
- Seit 1993
  - Classless Inter-Domain-Routing (CIDR)
  - Die Netzwerk-Adresse und die Host-ID (Geräteteil) werden variabel durch die Netzwerkmaske aufgeteilt.
  - Z.B.:
    - Die Netzwerkmaske 11111111.11111111.11111111.00000000
    - Besagt, dass die IP-Adresse
      - 10000100. 11100110. 10010110. 11110011
      - Aus dem Netzwerk 10000100. 11100110. 10010110
      - den Host 11110011 bezeichnet
- Route aggregation
  - Die Routing-Protokolle BGP, RIP v2 und OSPF können verschiedene Netzwerke unter einer ID anbieten
    - Z.B. alle Netzwerke mit Präfix 10010101010* werden über Host X erreicht

Umwandlung in MAC-Adressen: ARP

- Address Resolution Protocol (ARP)
- Umwandlung: IP-Adresse in MAC-Adresse
  - Broadcast im LAN, um nach Rechner mit passender IP-Adresse zu fragen
  - Knoten antwortet mit MAC-Adresse
  - Router kann dann das Paket dorthin ausliefern

IPv6

- Wozu IPv6:
- IP-Adressen sind knapp
  - Zwar gibt es 4 Milliarden in IPv4 (32 Bit)
  - Diese sind aber statisch organisiert in Netzwerk- und Rechnerteil
    - Adressen für Funktelefone, Kühlschränke, Autos, Tastaturen, etc...
- Autokonfiguration
  - DHCP, Mobile IP, Umnummerierung
- Neue Dienste
  - Sicherheit (IPSec)
  - Qualitätssicherung (QoS)
  - Multicast
- Vereinfachungen für Router
  - keine IP-Prüfsummen
  - Keine Partitionierung von IP-Paketen

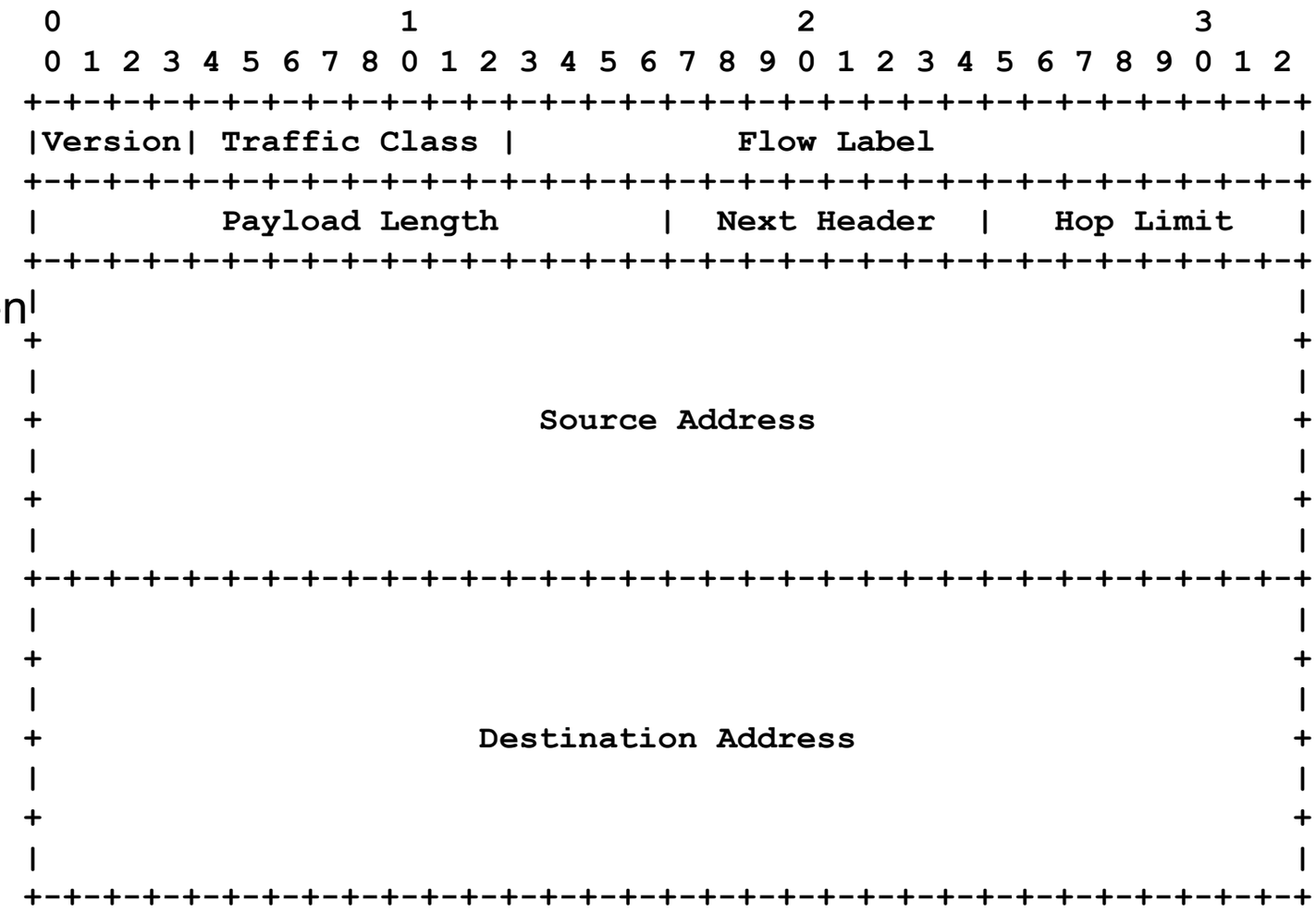
CoNe Freiburg

Lösung der Adressenknappheit: DHCP

- DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol)
  - Manuelle Zuordnung (Bindung an die MAC-Adresse, z.B. für Server)
  - Automatische Zuordnung (feste Zuordnung, nicht voreingestellt)
  - Dynamische Zuordnung (Neuvergabe möglich)
- Einbindung neuer Rechner ohne Konfiguration
  - Rechner „holt“ sich die IP-Adresse von einem DHCP-Server
  - Dieser weist dem Rechner die IP-Adressen dynamisch zu
  - Nachdem der Rechner das Netzwerk verlässt, kann die IP-Adresse wieder vergeben werden
  - Bei dynamischer Zuordnung, müssen IP-Adressen auch „aufgefrischt“ werden
  - Versucht ein Rechner eine alte IP-Adresse zu verwenden,
    - die abgelaufen ist oder
    - schon neu vergeben ist
  - Dann werden entsprechende Anfragen zurückgewiesen
  - Problem: Stehlen von IP-Adressen

IPv6-Header (RFC 2460)

- Version: 6 = IPv6
- Traffic Class
  - Für QoS (Prioritätsvergabe)
- Flow Label
  - Für QoS oder Echtzeitanwendungen
- Payload Length
  - Größe des Rests des IP-Pakets (Datagramms)
- Next Header (wie bei IPv4: protocol)
  - Z.B. ICMP, IGMP, TCP, EGP, UDP, Multiplexing, ...
- Hop Limit (Time to Live)
  - maximale Anzahl Hops
- Source Address
- Destination Address
  - 128 Bit IPv6-Adresse



CoNe Freiburg

IPsec (RFC 2401)

- Schutz vor Replay-Attacken
- IKE (Internet Key Exchange) Protokoll
  - Vereinbarung einer Security Association
    - Identifikation, Festlegung von Schlüsseln, Netzwerke, Erneuerungszeiträume für Authentifizierung und IPsec Schlüssel
  - Erzeugung einer SA im Schnellmodus (nach Etablierung)
- Encapsulating Security Payload (ESP)
  - IP-Kopf unverschlüsselt, Nutzdaten verschlüsselt, mit Authentifizierung
- IPsec im Transportmodus (für direkte Verbindungen)
  - IPsec Header zwischen IP-Header und Nutzdaten
  - Überprüfung in den IP-Routern (dort muss IPsec vorhanden sein)
- IPsec im Tunnelmodus (falls mindestens ein Router dazwischen ist)
  - Das komplette IP-Paket wird verschlüsselt und mit dem IPsec-Header in einen neuen IP-Header verpackt
  - Nur an den Enden muss IPsec vorhanden sein.
- IPsec ist Bestandteil von IPv6
- Rückportierungen nach IPv4 existieren

CoNe Freiburg

Firewalls

- Typen von Firewalls
  - Host-Firewall
  - Netzwerk-Firewall
- Netzwerk-Firewall
  - unterscheidet
    - Externes Netz
      (Internet - feindselig)
    - Internes Netz
      (LAN - vertrauenswürdig)
    - Demilitarisierte Zone
      (vom externen Netz erreichbare Server)
- Host-Firewall
  - z.B. Personal Firewall
  - kontrolliert den gesamten Datenverkehr eines Rechners
  - Schutz vor Attacken von außerhalb und von innen (Trojanern)

Firewalls - Methoden

- Paketfilter
  - Sperren von Ports oder IP-Adressen
  - Content-Filter
  - Filtern von SPAM-Mails, Viren, ActiveX oder JavaScript aus HTML-Seiten
- Proxy
  - Transparente (extern sichtbare) Hosts
  - Kanalisierung der Kommunikation und möglicher Attacken auf gesicherte Rechner
- NAT, PAT
  - Network Address Translation
  - Port Address Translation
- Bastion Host
- Proxy

Firewalls: Begriffe

- (Network) Firewall
  - beschränkt den Zugriff auf ein geschütztes Netzwerk aus dem Internet
- Paket-Filter
  - wählen Pakete aus dem Datenfluss in oder aus dem Netzwerk aus
  - Zweck des Eingangsfilter:
    - z.B. Verletzung der Zugriffskontrolle
  - Zweck des Ausgangsfilter:
    - z.B. Trojaner
- Bastion Host
  - ist ein Rechner an der Peripherie, der besonderen Gefahren ausgesetzt ist
  - und daher besonders geschützt ist
- Dual-homed host
  - Normaler Rechner mit zwei Interfaces (verbindet zwei Netzwerke)

Firewalls: Begriffe

- Proxy (Stellvertreter)
  - Spezieller Rechner, über den Anfragen umgeleitet werden
  - Anfragen und Antworten werden über den Proxy geleitet
  - Vorteil
    - Nur dort müssen Abwehrmaßnahmen getroffen werden
- Perimeter Network:
  - Ein Teilnetzwerk, das zwischen gesicherter und ungesichter Zone eine zusätzliche Schutzschicht bietet
  - Synonym demilitarisierte Zone (DMZ)

CoNe Freiburg

NAT und PAT

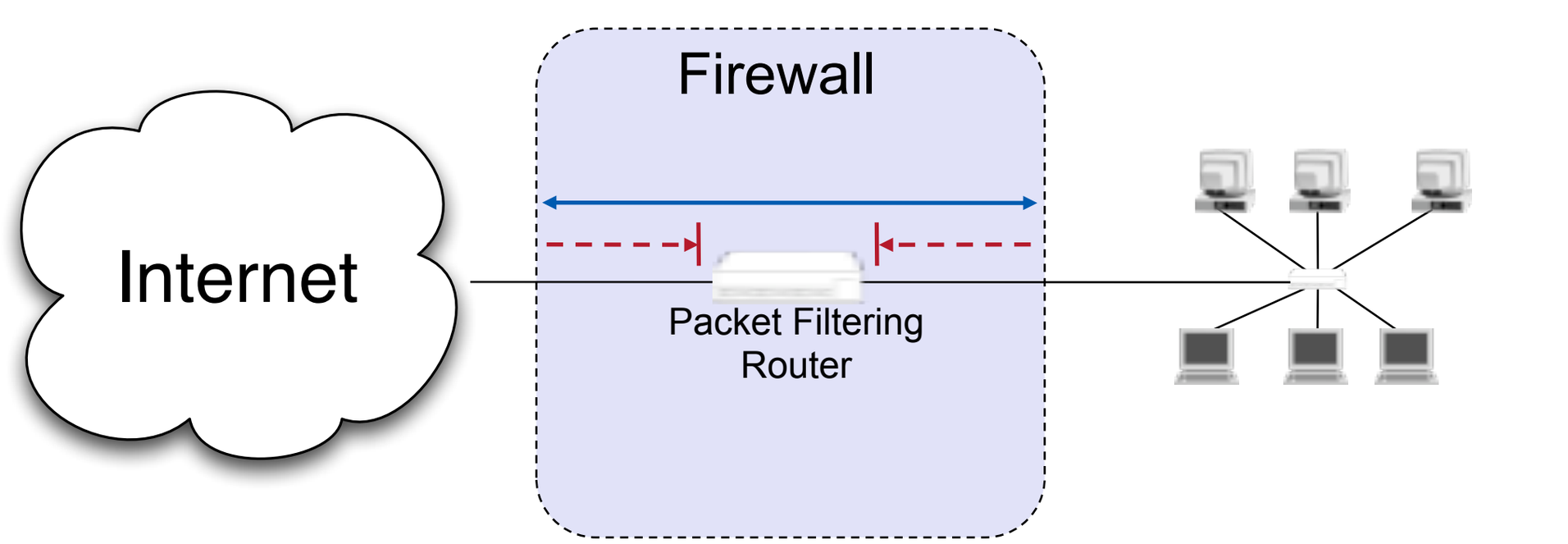
- NAT (Network Address Translation)
- Basic NAT (Static NAT)
  - Jede interne IP wird durch eine externe IP ersetzt
- Hiding NAT = PAT (Port Address Translation) = NAPT (Network Address Port Translation)
  - Das Socket-Paar (IP-Addresse und Port-Nummer) wird umkodiert

NAT und PAT

- Verfahren
  - Die verschiedenen lokalen Rechner werden in den Ports kodiert
  - Diese werden im Router an der Verbindung zum WAN dann geeignet kodiert
  - Bei ausgehenden Paketen wird die LAN-IP-Adresse und ein kodierter Port als Quelle angegeben
  - Bei eingehenden Paketen (mit der LAN-IP-Adresse als Ziel), kann dann aus dem kodierten Port der lokale Rechner und der passende Port aus einer Tabelle zurückgerechnet werden
- Sicherheitsvorteile
  - Rechner im lokalen Netzwerk können nicht direkt angesprochen werden
  - Löst auch das Problem knapper IPv4-Adressen
  - Lokale Rechner können nicht als Server dienen
- DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol)
  - bringt ähnliche Vorteile

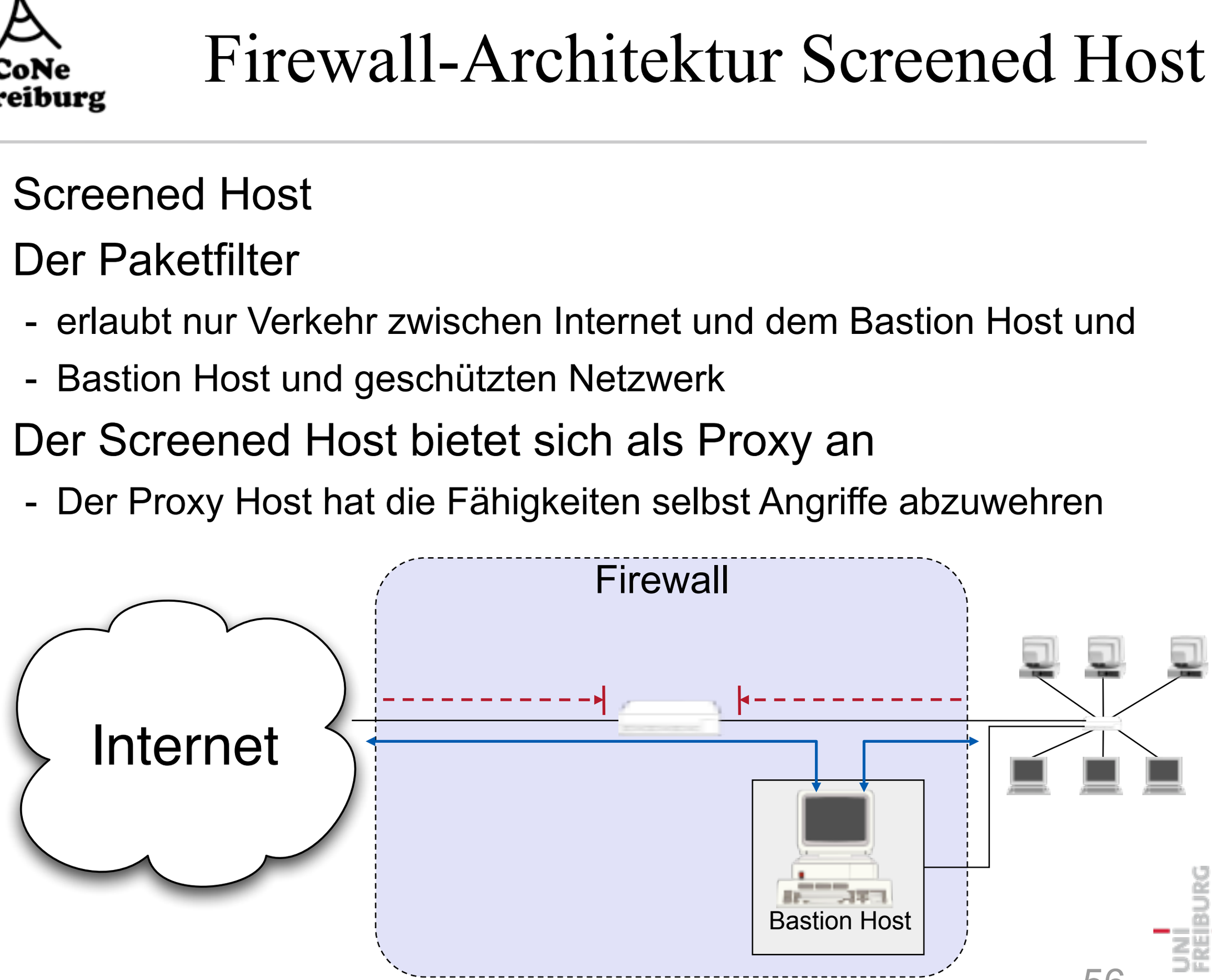
Firewall-Architektur Einfacher Paketfilter

- Realisiert durch
  - Eine Standard-Workstation (e.g. Linux PC) mit zwei Netzwerk-Interfaces und Filter-Software oder
  - Spezielles Router-Gerät mit Filterfähigkeiten



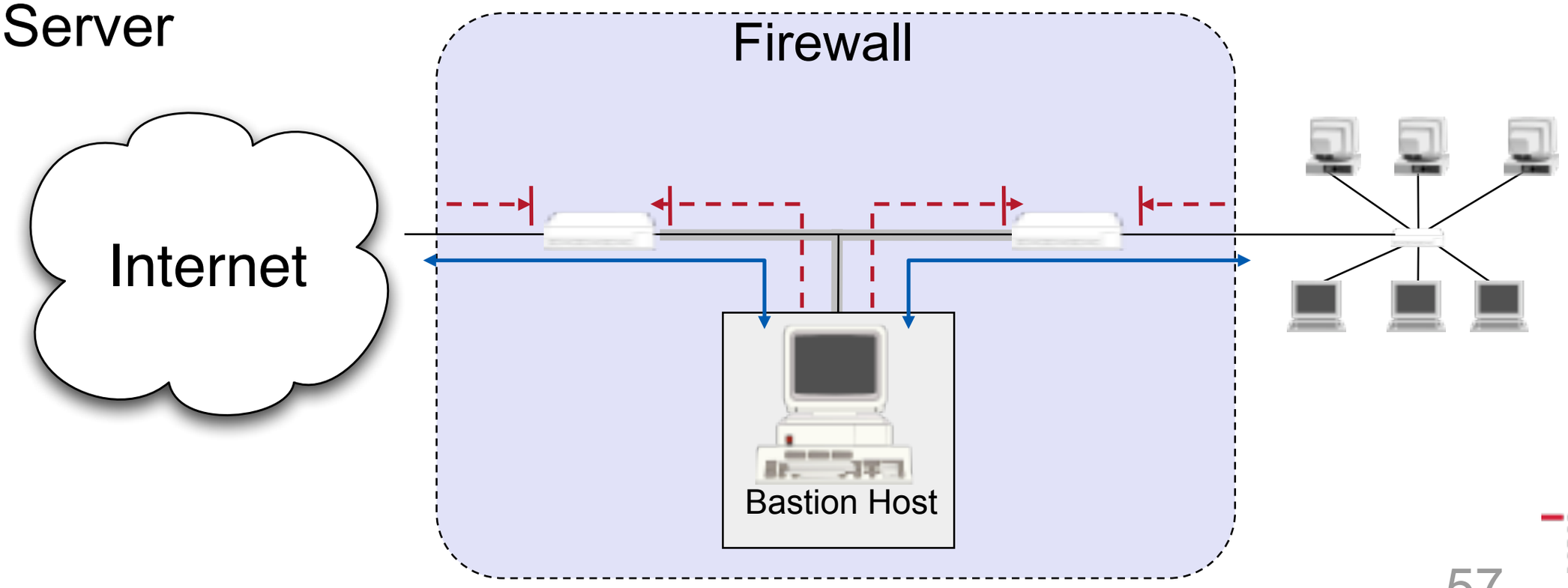
Firewall-Architektur Screened Host

- Screened Host
- Der Paketfilter
  - erlaubt nur Verkehr zwischen Internet und dem Bastion Host und
  - Bastion Host und geschützten Netzwerk
- Der Screened Host bietet sich als Proxy an
  - Der Proxy Host hat die Fähigkeiten selbst Angriffe abzuwehren



Firewall-Architektur Screened Subnet

- Perimeter network zwischen Paketfiltern
- Der innere Paketfilter schützt das innere Netzwerk, falls das Perimeter-Network in Schwierigkeiten kommt
  - Ein gehackter Bastion Host kann so das Netzwerk nicht ausspionieren
- Perimeter Netzwerke sind besonders geeignet für die Bereitstellung öffentlicher Dienste, z.B. FTP, oder WWW-Server

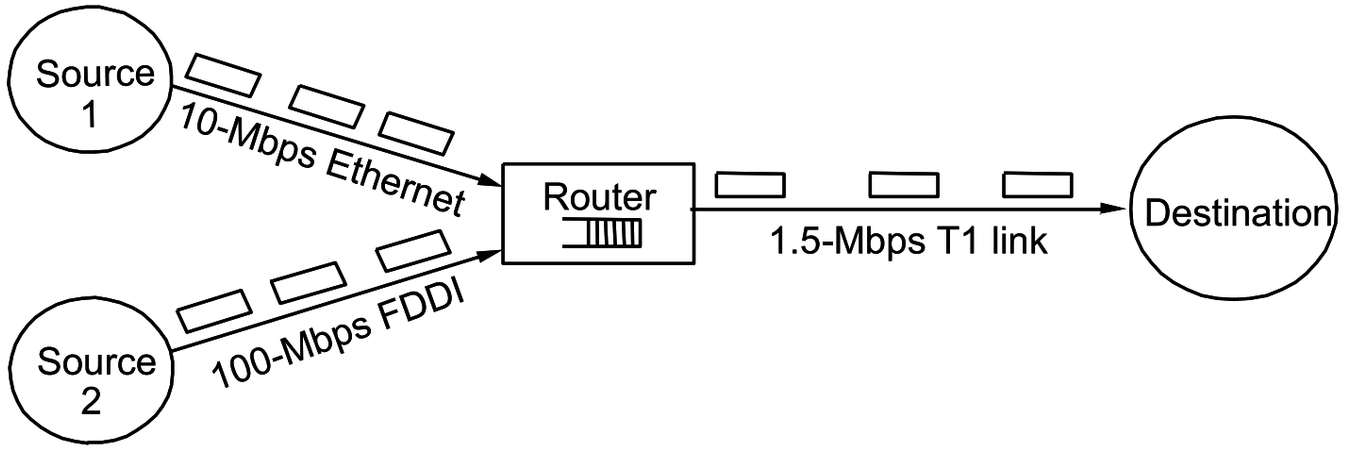


Firewall und Paketfilter

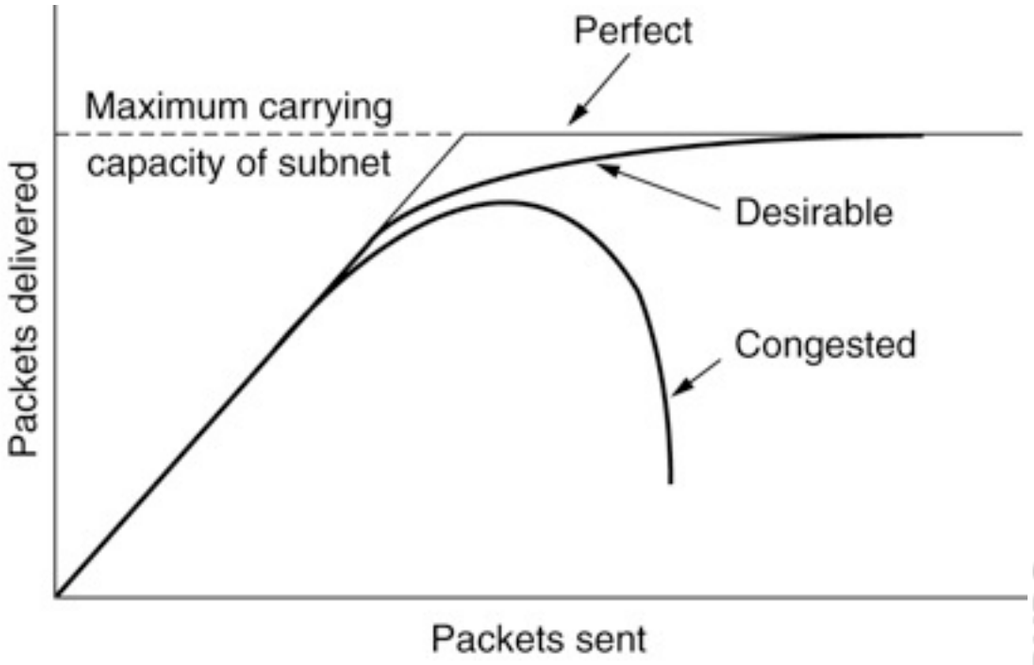
- Fähigkeiten von Paketfilter
  - Erkennung von Typ möglich (Demultiplexing-Information)
- Verkehrskontrolle durch
  - Source IP Address
  - Destination IP Address
  - Transport protocol
  - Source/destination application port
- Grenzen von Paketfiltern (und Firewalls)
  - Tunnel-Algorithmen sind aber mitunter nicht erkennbar
  - Möglich ist aber auch Eindringen über andere Verbindungen
    - z.B. Laptops, UMTS, GSM, Memory Sticks

Congestion Control
Stauvermeidung

- Jedes Netzwerk hat eine eingeschränkte Übertragungs-Bandbreite



- Wenn mehr Daten in das Netzwerk eingeleitet werden, führt das zum
  - Datenstau (congestion) oder gar
  - Netzwerkzusammenbruch (congestive collapse)



- Folge: Datenpakete werden nicht ausgeliefert

Schneeballeffekt

- Congestion control soll Schneeballeffekte vermeiden
  - Netzwerküberlast führt zu Paketverlust (Pufferüberlauf, ...)
  - Paketverlust führt zu Neuversand
  - Neuversand erhöht Netzwerklast
  - Höherer Paketverlust
  - Mehr neu versandte Pakete
  - ...

Anforderungen an Congestion Control

- Effizienz
  - Verzögerung klein
  - Durchsatz hoch
- Fairness
  - Jeder Fluss bekommt einen fairen Anteil
  - Priorisierung möglich
    - gemäß Anwendung
    - und Bedarf

Mittel der Stauvermeidung

- Erhöhung der Kapazität
  - Aktivierung weiterer Verbindungen, Router
  - Benötigt Zeit und in der Regel den Eingriff der Systemadministration
- Reservierung und Zugangskontrolle
  - Verhinderung neuen Verkehrs an der Kapazitätsgrenze
  - Typisch für (Virtual) Circuit Switching
- Verringerung und Steuerung der Last
  - (Dezentrale) Verringerung der angeforderten Last bestehender Verbindungen
  - Benötigt Feedback aus dem Netzwerk
  - Typisch für Packet Switching
    - wird in TCP verwendet

Orte und Maße

- Router- oder Host-orientiert
  - Messpunkt (wo wird der Stau bemerkt)
  - Steuerung (wo werden die Entscheidungen gefällt)
  - Aktion (wo werden Maßnahmen ergriffen)
- Fenster-basiert oder Raten-basiert
  - Rate: x Bytes pro Sekunde
  - Fenster: siehe Fenstermechanismen in der Sicherungsschicht
    - wird im Internet verwendet

Routeraktion: Paket löschen

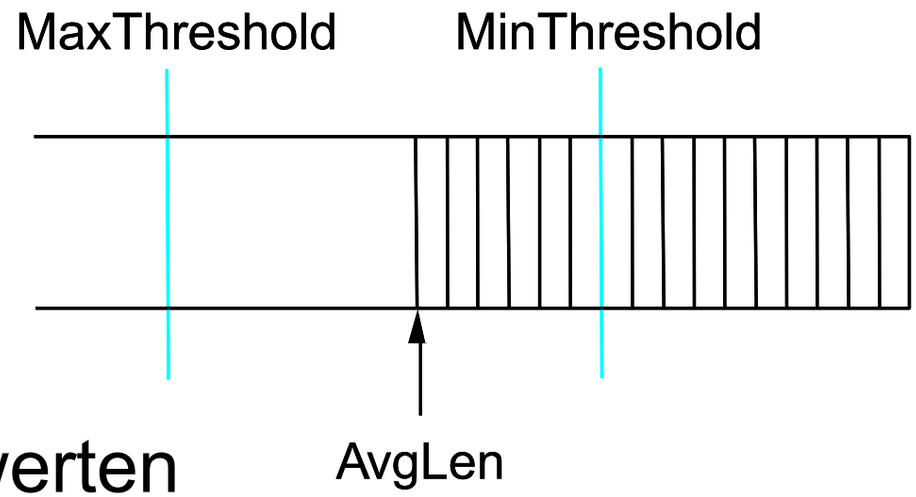
- Bei Pufferüberlauf im Router
  - muss (mindestens) ein Paket gelöscht werden
- Das zuletzt angekommene Paket löschen (*drop-tail queue*)
  - Intuition: “Alte” Pakete sind wichtiger als neue (Wein)
    - z.B. für go-back-n-Strategie
- Ein älteres Paket im Puffer löschen
  - Intuition: Für Multimedia-Verkehr sind neue Pakete wichtiger als alte (Milch)

Paketverlust erzeugt implizites Feedback

- Paketverlust durch Pufferüberlauf im Router erzeugt Feedback in der Transportschicht beim Sender durch ausstehende Bestätigungen
  - Internet
- Annahme:
  - Paketverlust wird hauptsächlich durch Stau ausgelöst
- Maßnahme:
  - Transport-Protokoll passt Senderate an die neue Situation an

Proaktive Methoden

- Pufferüberlauf deutet auf Netzwerküberlast hin
- Idee: Proaktives Feedback = Stauvermeidung (Congestion avoidance)



- Aktion bereits bei kritischen Anzeigewerten
- z.B. bei Überschreitung einer Puffergröße
- z.B. wenn kontinuierlich mehr Verkehr eingeht als ausgeliefert werden kann
- ...
- Router ist dann in einem Warn-Zustand

Proactive Aktion: Pakete drosseln (Choke packets)

- Wenn der Router in dem Warnzustand ist:
  - Sendet er Choke-Pakete (Drossel-Pakete) zum Sender
- Choke-Pakete fordern den Sender auf die Sende-Rate zu verringern

- Problem:
  - Im kritischen Zustand werden noch mehr Pakete erzeugt
  - Bis zur Reaktion beim Sender vergrößert sich das Problem

CoNe Freiburg

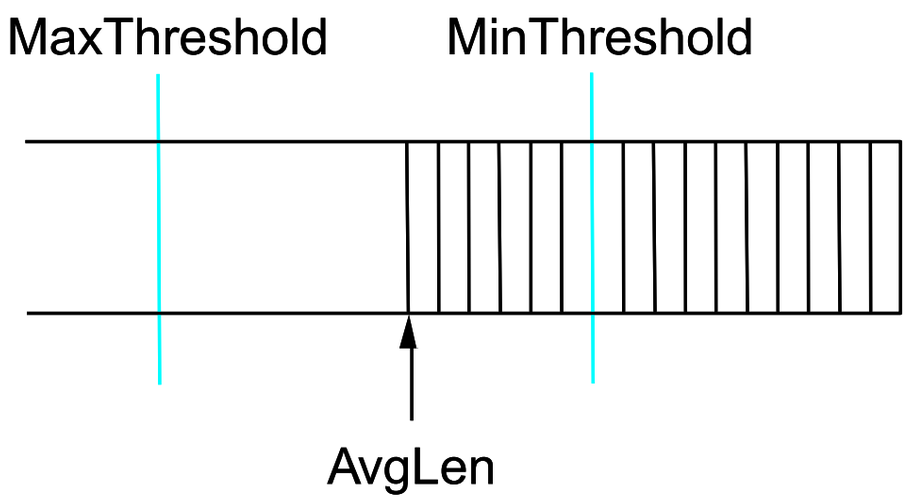
Proaktive Aktion: Warnbits

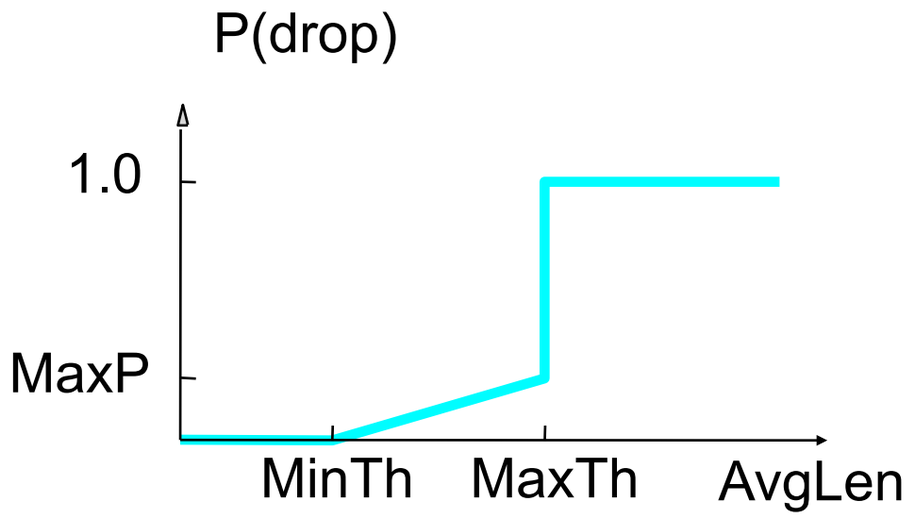
- Wenn der Router in dem Warnzustand ist:
  - Sendet er Warn-Bits in allen Paketen zum Ziel-Host
- Ziel-Host sendet diese Warn-Bits in den Bestätigungs-Bits zurück zum Sender
  - Quelle erhält Warnung und reduziert Sende-Rate

UNI FREIBURG

Proaktive Aktion: Random early detection (RED)

- Verlorene Pakete werden als Indiz aufgefasst
- Router löschen Pakete willkürlich im Warnzustand
- Löschrate kann mit der Puffergröße steigen





CoNe Freiburg

Reaktion des Senders

- Raten-basierte Protokolle
  - Reduzierung der Sende-Rate
  - Problem: Um wieviel?

- Fenster-basierte Protokolle:
  - Verringerung des Congestion-Fensters
  - z.B. mit AIMD (additive increase, multiplicative decrease)

CoNe Freiburg

IIF INSTITUT FÜR INFORMATIK FREIBURG

Systeme II

4. Die Vermittlungsschicht

Christian Schindelhauer
Technische Fakultät
Rechnernetze und Telematik
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

UNI FREIBURG