Systeme II

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Rechnernetze und Telematik
Prof. Dr. Christian Schindelhauer

Christian Schindelhauer

Sommersemester 2007

8. Vorlesungswoche

11.06.-15.06.2007

schindel@informatik.uni-freiburg.de

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Institut für Informatik
Rechnernetze und Telematik
Prof. Dr. Christian Schindelhauer

Die Vermittlungsschicht
The Routing Layer

Circuit Switching oder Packet Switching

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Institut für Informatik
Rechnernetze und Telematik
Prof. Dr. Christian Schindelhauer

- **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

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Institut für Informatik
Rechnernetze und Telematik
Prof. Dr. Christian Schindelhauer

- **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

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Institut für Informatik
Rechnernetze und Telematik
Prof. Dr. Christian Schindelhauer

- **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

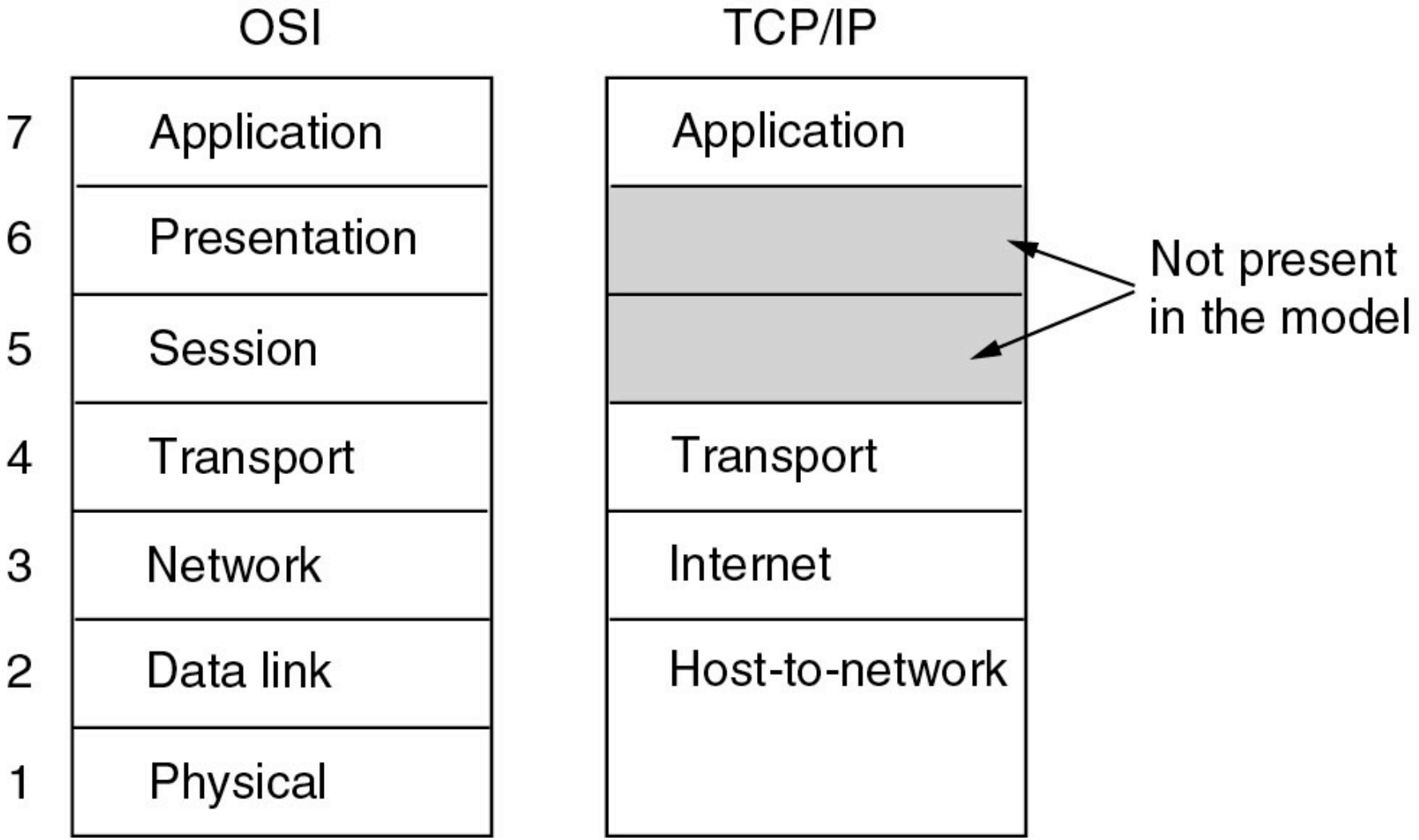
Die Schichtung des Internets - TCP/IP-Layer

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Institut für Informatik
Rechnernetze und Telematik
Prof. Dr. Christian Schindelhauer

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.)

OSI versus TCP/IP

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Institut für Informatik
Rechnernetze und Telematik
Prof. Dr. Christian Schindelhauer

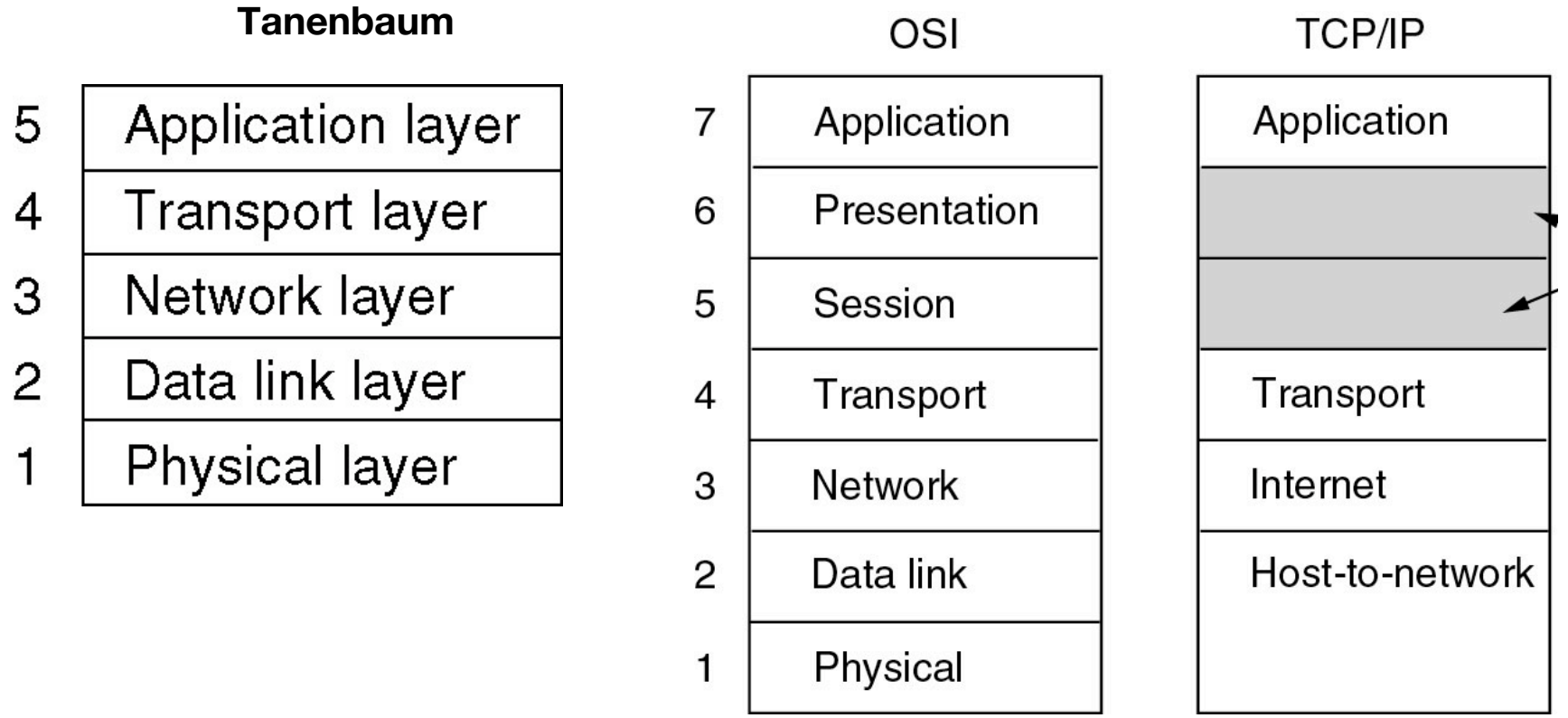


(Aus Tanenbaum)

Hybrides Modell

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Institut für Informatik
Rechnernetze und Telematik
Prof. Dr. Christian Schindelhauer

- **Wir verwenden hier Tanenbaums hybrides Modell**



(Aus Tanenbaum)

Warum eine Vermittlungsschicht

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Institut für Informatik
Rechnernetze und Telematik
Prof. Dr. Christian Schindelhauer

- **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 10 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

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Institut für Informatik
Rechnernetze und Telematik
Prof. Dr. Christian Schindelhauer

- **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

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Institut für Informatik
Rechnernetze und Telematik
Prof. Dr. Christian Schindelhauer

- **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 $\neq$ 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

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Institut für Informatik
Rechnernetze und Telematik
Prof. Dr. Christian Schindelhauer

- **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

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Institut für Informatik
Rechnernetze und Telematik
Prof. Dr. Christian Schindelhauer

- **Gegeben:**
  - Ein gerichteter Graph G=(V,E)
  - Startknoten
  - mit Kantengewichtungen $w : E \to \mathbb{R}$
- **Definiere Gewicht des kürzesten Pfades**
  - $\delta(u,v)$ = 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

Kürzeste Wege mit Edsger Wybe Dijkstra

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Institut für Informatik
Rechnernetze und Telematik
Prof. Dr. Christian Schindelhauer

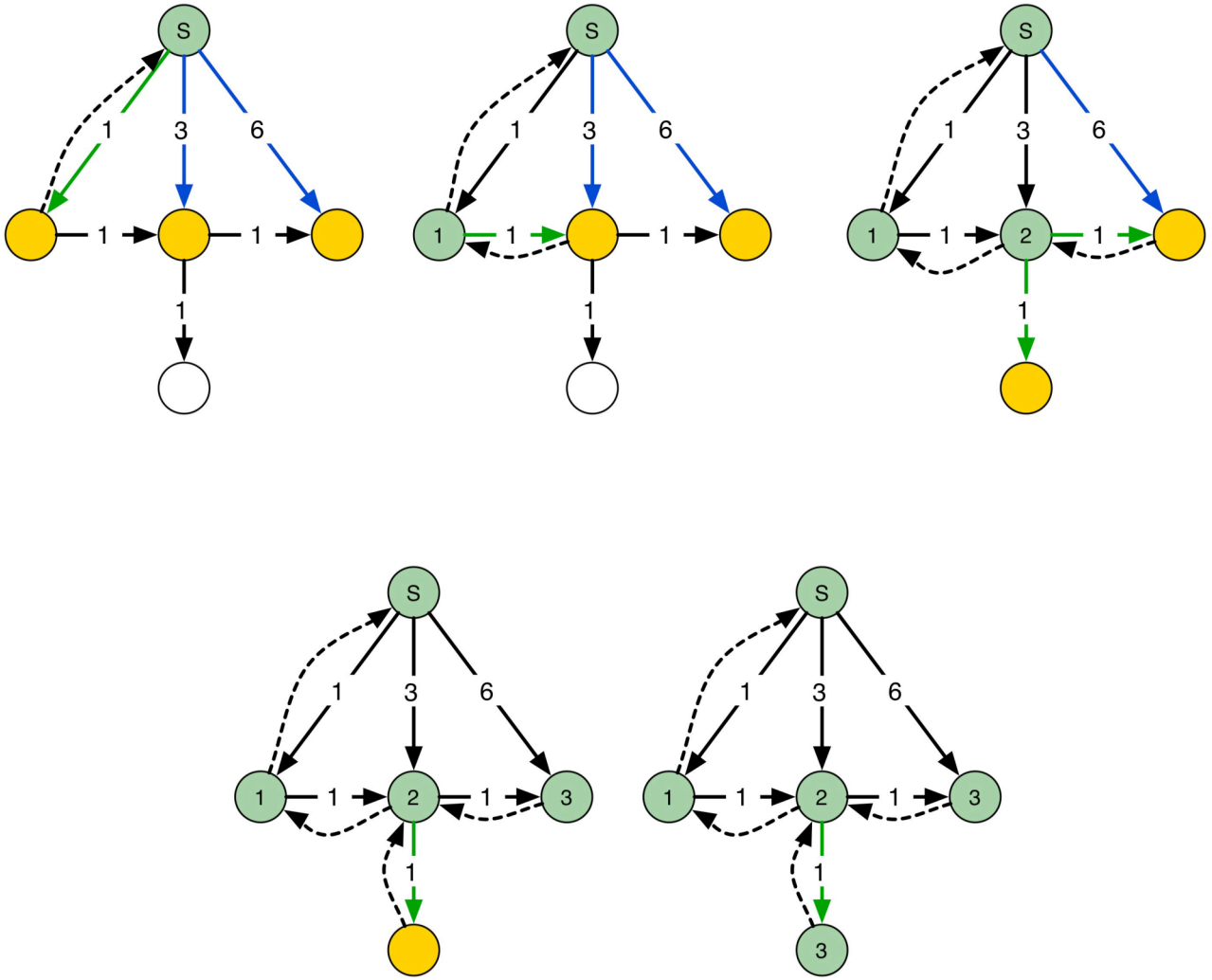
Dijkstra(G, w, s)
begin
    Init-Single-Source(G, w)
    $S \leftarrow \emptyset$
    $Q \leftarrow V$
    while $Q \neq \emptyset$ do
        $u \leftarrow$ Element aus Q mit minimalen Wert $d(u)$
        $S \leftarrow S \cup \{u\}$
        $Q \leftarrow Q \setminus \{u\}$
        for all $v \in$ Adj(u)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

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

Dijkstra: Beispiel



Bellman-Ford

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Institut für Informatik
Rechnernetze und Telematik
Prof. Dr. Christian Schindelhauer

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

Bellman-Ford(G, w, s)
begin
  Init-Single-Source(G, w)
  loop $|V| - 1$ times do
    for all $(u, v) \in E$ do
      Relax(u, v)
    od
  od
  for all $(u, v) \in E$ do
    if $d(v) > d(u) + w(u, v)$ then return false
  od
  return true
end

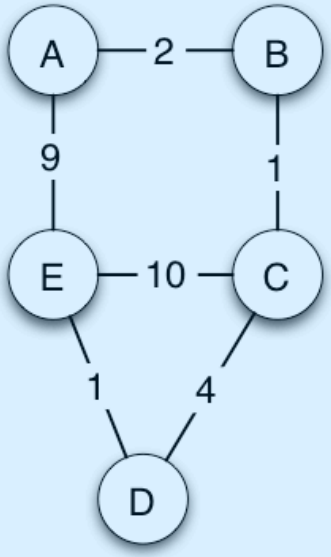
Init-Single-Source(G, w, s)
begin
  for all $v \in V$ do
    $d(v) \leftarrow \infty$
    $\pi(v) \leftarrow v$
  od
  $d(s) \leftarrow 0$
end

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

Distance Vector Routing Protocol

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Institut für Informatik
Rechnernetze und Telematik
Prof. Dr. Christian Schindelhauer

- **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

		über B	über E	Routing Tabellen Eintrag
von A				
nach	B	2	15	B
	C	3	14	B
	D	7	10	B
	E	13	9	E

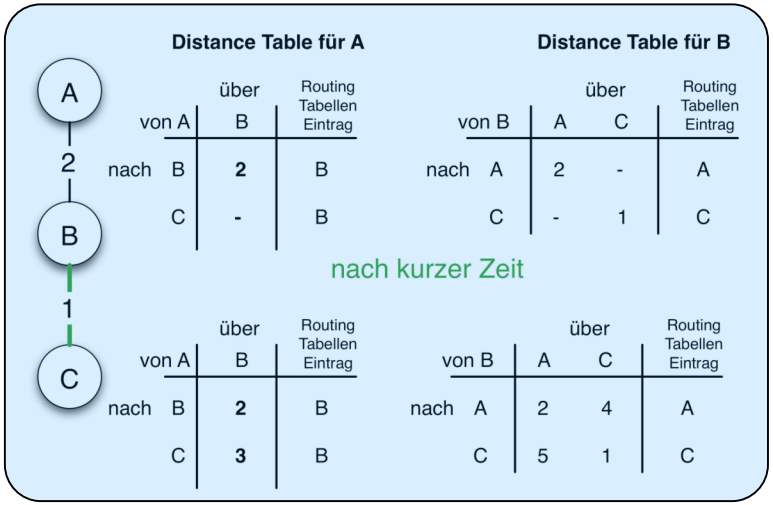
Distance Table für C

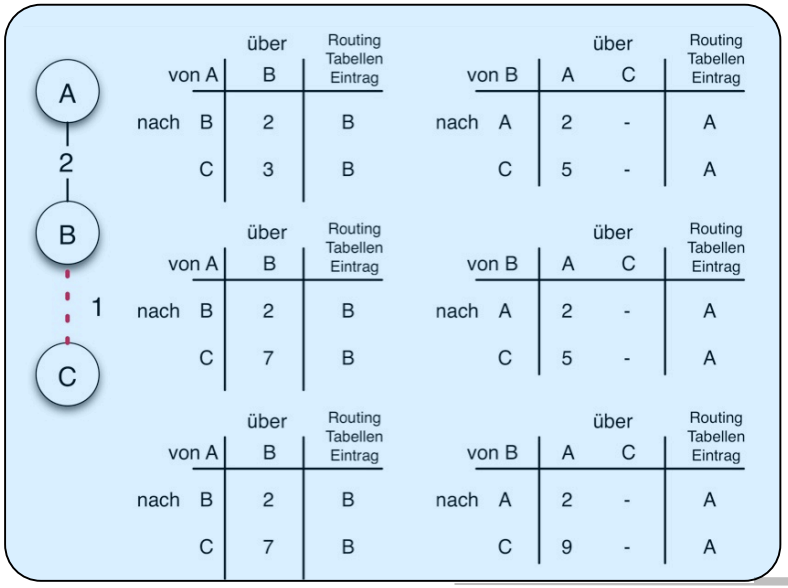
		über B	über D	über E	Routing Tabellen Eintrag
von C					
nach	A	3	11	18	B
	B	1	6	16	B
	D	5	4	11	D
	E	7	5	10	D

Das “Count to Infinity” - Problem

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Institut für Informatik
Rechnernetze und Telematik
Prof. Dr. Christian Schindelhauer

- **Gute Nachrichten verbreiten sich schnell**
  - Neue Verbindung wird schnell veröffentlicht
- **Schlechte Nachrichten verbreiten sich langsam**
  - Verbindung fällt aus
  - Nachbarn erhöhen wechselseitig ihre Entfernung
  - “Count to Infinity”-Problem





Link-State Protocol

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Institut für Informatik
Rechnernetze und Telematik
Prof. Dr. Christian Schindelhauer

- **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

Die Grenzen des flachen Routing

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Institut für Informatik
Rechnernetze und Telematik
Prof. Dr. Christian Schindelhauer

- **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

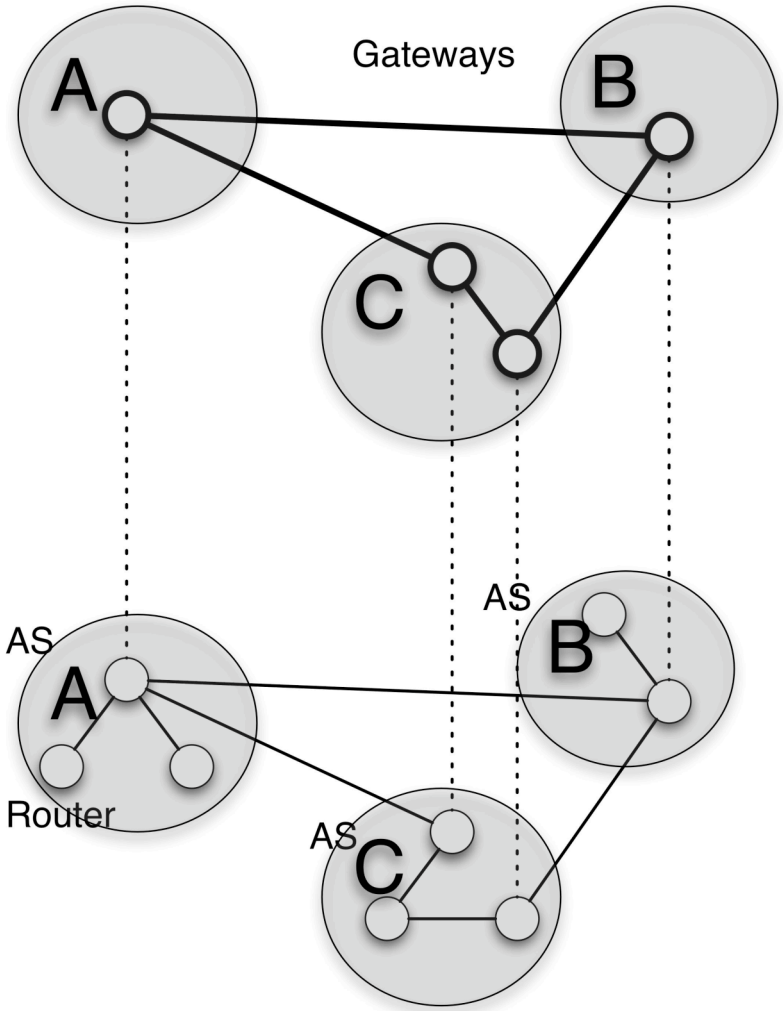
- **Im Internet gibt es mehr als 10^6 Router**
  - damit sind diese so genannten flachen Verfahren nicht einsetzbar

- **Lösung:**
  - Hierarchisches Routing

AS, Intra-AS und Inter-AS

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Institut für Informatik
Rechnernetze und Telematik
Prof. Dr. Christian Schindelhauer

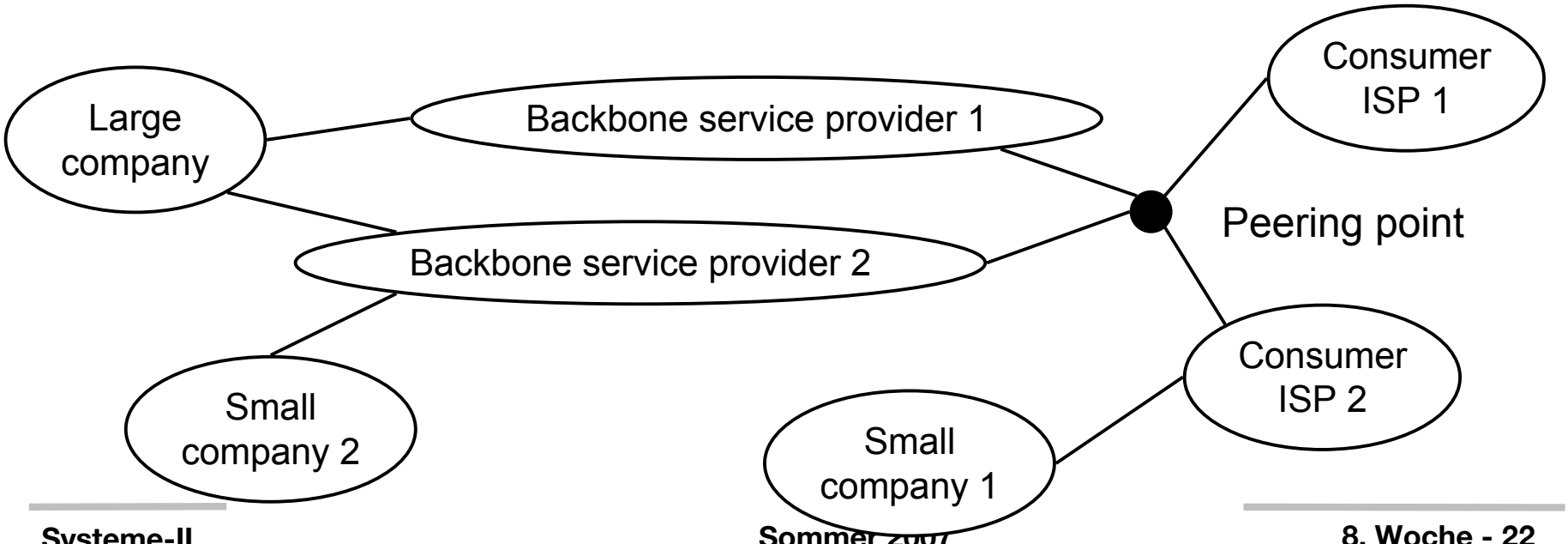
- **Autonomous System (AS)**
  - liefert ein zwei Schichten-Modell des Routing im Internet
  - Beispiele für AS:
    - uni-freiburg.de
- **Intra-AS-Routing (Interior Gateway Protocol)**
  - ist Routing innerhalb der AS
  - z.B. RIP, OSPF, IGRP, ...
- **Inter-AS-Routing (Exterior Gateway Protocol)**
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



Typen autonomer Systeme

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Institut für Informatik
Rechnernetze und Telematik
Prof. Dr. Christian Schindelhauer

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



Intra-AS: RIP
Routing Information Protocol

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Institut für Informatik
Rechnernetze und Telematik
Prof. Dr. Christian Schindelhauer

- **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)

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Institut für Informatik
Rechnernetze und Telematik
Prof. Dr. Christian Schindelhauer

- **“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
  - Mehre Wege gleicher Kosten möglich

Intra-AS Hierarchisches OSPF

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Institut für Informatik
Rechnernetze und Telematik
Prof. Dr. Christian Schindelhauer

- **Für große Netzwerke zwei Ebenen:**
  - Lokales Gebiet und Rückgrat (backbone)
    - Lokal: Link-state advertisement
    - Jeder Knoten berechnet nur 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)

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Institut für Informatik
Rechnernetze und Telematik
Prof. Dr. Christian Schindelhauer

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

Inter-AS-Routing

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Institut für Informatik
Rechnernetze und Telematik
Prof. Dr. Christian Schindelhauer

- **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 140.000 Netzwerke kennen

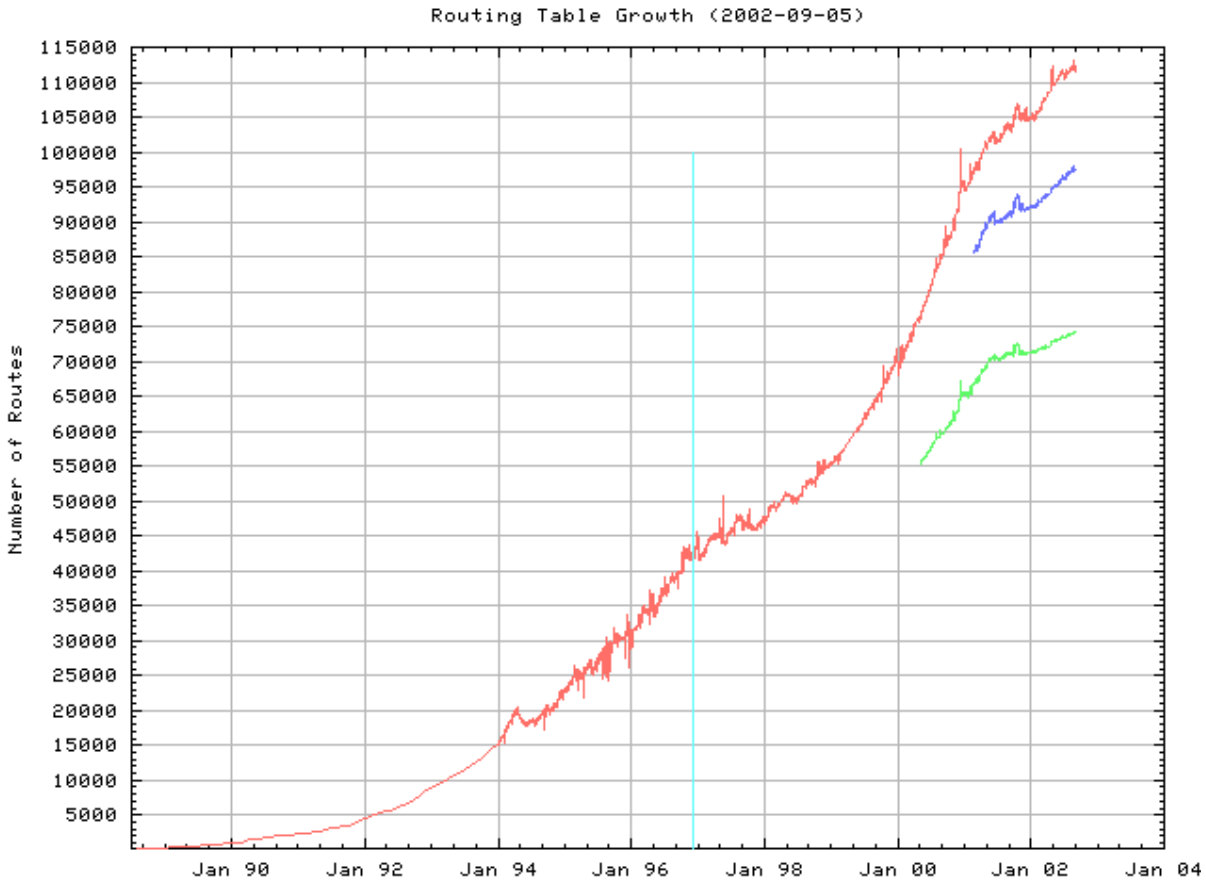
Inter-AS: BGPv4 (Border Gateway Protocol)

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Institut für Informatik
Rechnernetze und Telematik
Prof. Dr. Christian Schindelhauer

- **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

BGP-Routing Tabellengröße 1990-2002

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Institut für Informatik
Rechnernetze und Telematik
Prof. Dr. Christian Schindelhauer



http://www.mcvax.org/~jhma/routing/bgp-hist.html

Broadcast & Multicast

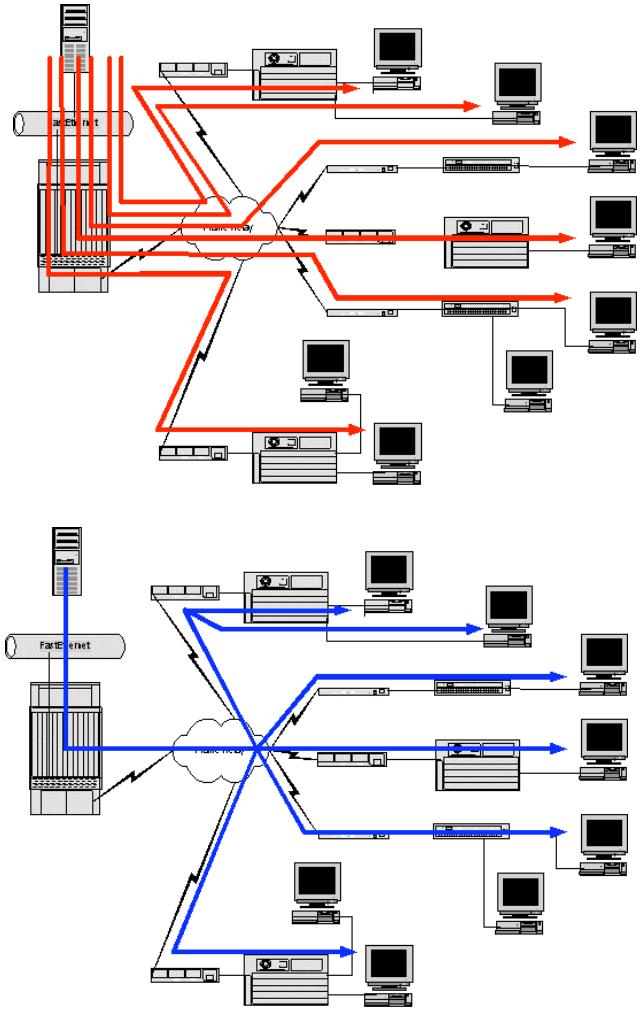
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Institut für Informatik
Rechnernetze und Telematik
Prof. Dr. Christian Schindelhauer

- **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

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Institut für Informatik
Rechnernetze und Telematik
Prof. Dr. Christian Schindelhauer

- **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
www.netcraftsmen.net/.../ papers/multicast01.html

Funktionsprinzip

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Institut für Informatik
Rechnernetze und Telematik
Prof. Dr. Christian Schindelhauer

- **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

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Institut für Informatik
Rechnernetze und Telematik
Prof. Dr. Christian Schindelhauer

- **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?

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Institut für Informatik
Rechnernetze und Telematik
Prof. Dr. Christian Schindelhauer

- **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!)

Ende der 8. Vorlesungswoche

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Rechnernetze und Telematik
Prof. Dr. Christian Schindelhauer

Systeme II

Christian Schindelhauer
schindel@informatik.uni-freiburg.de