

Systeme II



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

Christian Schindelhauer

Sommersemester 2006

14. Vorlesung

22.06.2006

schindel@informatik.uni-freiburg.de



Evaluation der Lehre im SS2006

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

- **Umfrage zur Qualitätssicherung und -verbesserung der Lehre**
 - unter den Studierenden
 - in anonymer Form
 - Online-Fragebogen oder zum Ausdrucken

- **[http://www.unipark.de/uc/lehrevaluation_ss2006/?a=Systeme II%0A](http://www.unipark.de/uc/lehrevaluation_ss2006/?a=Systeme%II%0A)**

- **Frist bis zum 30. Juni (das ist nächste Woche...)**

- **Gedruckte Bögen bitte in die Übungskästen werfen.**
 - Bitte vergessen, den Namen draufzuschreiben!

- **Sprechstunde:**
 - Dienstag 14-15 Uhr



Die Grenzen des flachen Routing

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

➤ Link State Routing

- benötigt $O(g \cdot n)$ Einträge für n Router mit maximalen Grad g
- Jeder Knoten muss an jeden anderen seine Informationen senden

➤ Distance Vector

- benötigt $O(g \cdot n)$ 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)

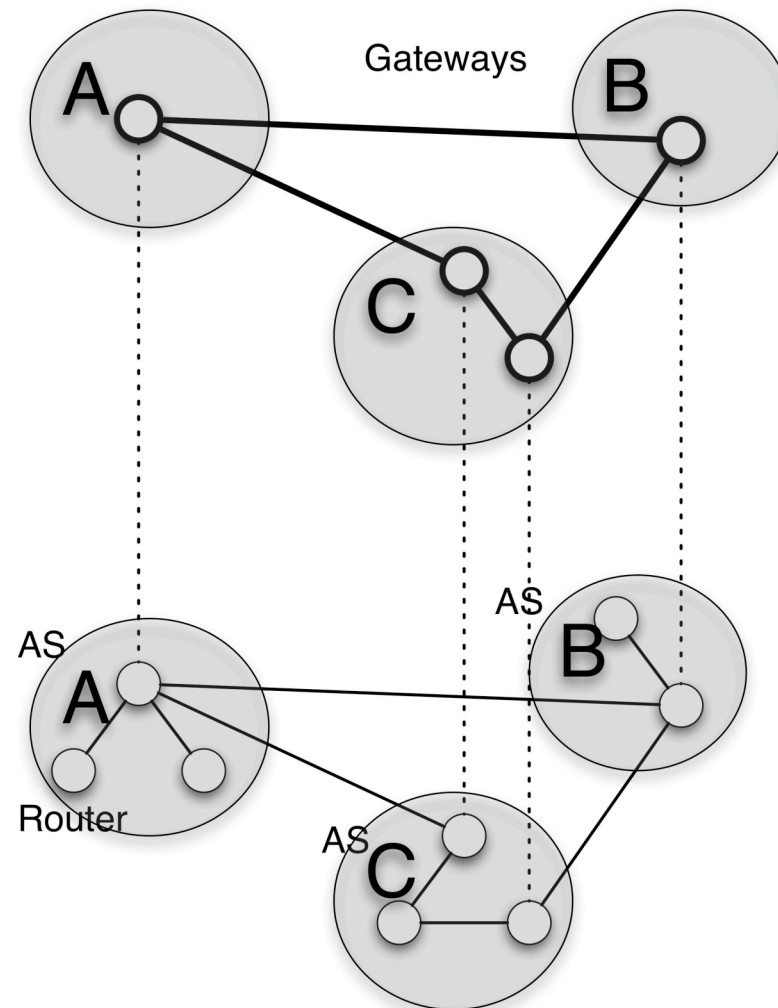
- liefert ein zwei Schichten-Modell des Routing im Internet
- Beispiele für AS:
 - uni-paderborn.de

➤ 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

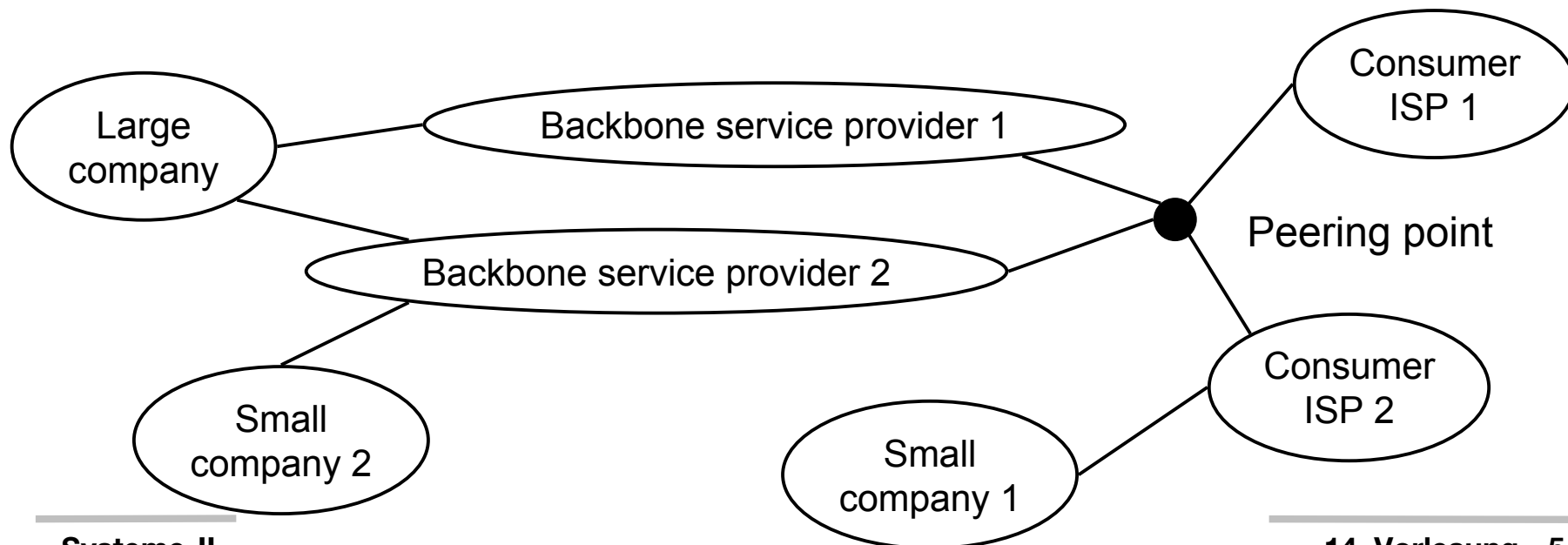
- Nur eine Verbindung zu anderen AS

➤ Multihomed AS

- Verbindungen zu anderen ASen
- 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 Schindelbauer

➤ 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 Advertisements 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**
 - vorherrschendes Protokoll
- **Link-State-Algorithmus**
 - LS Paket-Verbreitung
 - Topologie wird in jedem Knoten abgebildet
 - Routenberechnung mit Dijkstras Algorithmus
- **OSPF-Advertisement**
 - per TCP, erhöht Sicherheit (security)
 - periodisch oder ausgelöst
 - werden in die gesamte AS geflutet
 - Mehre 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 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



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 140.000 Netzwerke kennen



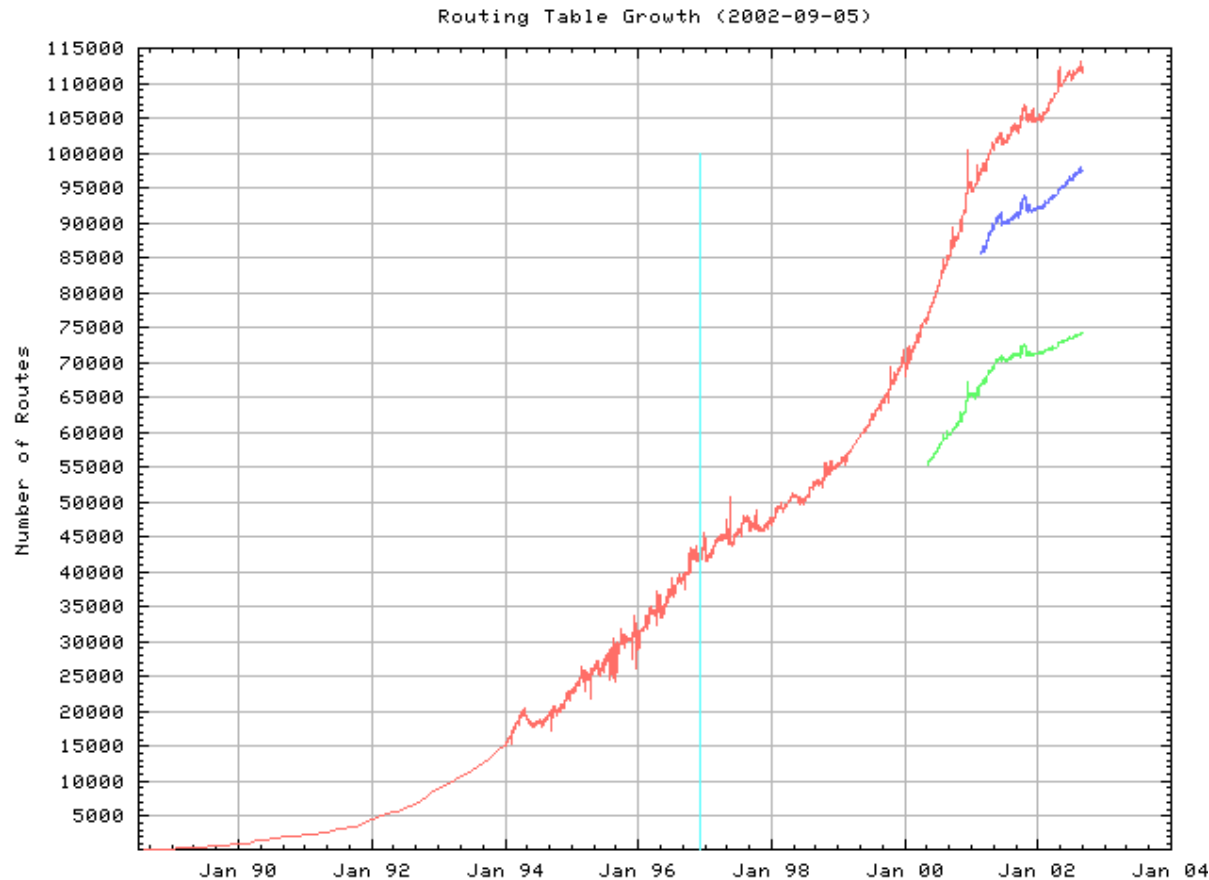
Inter-AS: BGPv4 (Border Gateway Protocol)

- **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
 - $\text{Path}(W,Z) = (W, \text{Path}(X,Z))$
- **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 Schindelbauer



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



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

Ende der 14. Vorlesung



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

Systeme II
Christian Schindelhauer
schindel@informatik.uni-freiburg.de