

Routing

Verbindungsorientiert vs. Verbindungslos

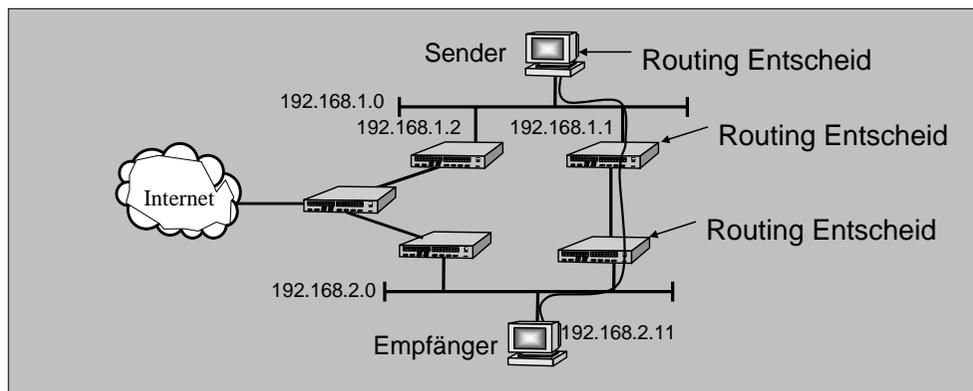
- Verbindungsorientiert (virtual circuit):
Routing nur beim Verbindungsaufbau.
- Verbindungslos (Datengramme):
Routing betrifft jedes Datenpaket.

Dienstmodell

- Findet den 'günstigsten' Pfad um ein Datenpaket vom Sender zum Empfänger zu leiten.
 - Tolerant gegenüber Ausfällen von Verbindungen und Netzknoten (Routern).

Routing vs. Forwarding

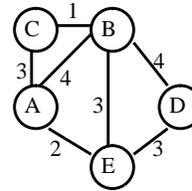
- Routing:
Verteilter Prozess, der in den Routern Routing- und Forwardingtabellen aufbaut.
- Forwarding:
Lokaler Prozess, der ein Datenpaket nach Konsultation der Forwardingtabelle an den korrekten Ausgangsport des Routers weiterleitet.



Routing Algorithmen

- Verteilter Algorithmus für das Erzeugen von Routingtabellen in Routern
- Kriterien:
 - Skalierbarkeit
 - Konvergenz
 - Stabilität
- Zwei wichtige Klassen von Algorithmen
 - Distanzvektor
 - Link State

Distanzvektor Routing Beispiel



Knoten A		
Destination	Distanz	Nächster Knoten
B	4	B
C	3	C
E	2	E
D	5	E

Routing Updates:

B->A: [(D,4) (E,3) (C,1) (A,4)]

E->A: [(D,3)(B,3)(A,2)]

Distanzvektor Routing

- Jeder Router sendet einen Vektor mit den kürzesten Distanzen zu allen erreichbaren Netzadressen an seine Nachbarn.
- Ein Router führt seine Tabellen nach, falls er von einem Nachbarn erfährt, dass eine Netzadresse auf kürzerem Weg erreicht werden kann.
- Der Distanzvektor wird periodisch gesendet oder immer, wenn die Tabellen nachgeführt werden müssen.

Implementation: RIP-2

- IETF RFC-2453
- RIP verteilt erreichbare Netzadressen mit zugehöriger Distanz (Anzahl Hops) an Nachbarn.
- Sendet Information alle 30 Sekunden oder immer, wenn die Forwardingtabelle geändert werden musste.
- Maximaler Netzdurchmesser beträgt 15 Router (Hops), um die Konvergenzzeit zu begrenzen (count to infinity Problem).
- RIP-2 verwendet UDP mit Port 520.
- Nur ein einzelner Pfad pro Zieladresse ist gespeichert. Kein Lastausgleich möglich.
- Die meisten UNIX Systeme haben RIP eingebaut (routed).

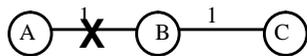
RIP-2 Paketformat

Operation	Version	Null
Adressfamilie Netz 1		Null
IP-Adresse Netz 1		
(Subnetzmaske Netz 1)		
(Next Hop Netz 1)		
Distanz zu Netz 1		
Adressfamilie Netz 2		Null
IP-Adresse Netz 2		
(Subnetzmaske Netz 2)		
(Next Hop Netz 2)		
Distanz zu Netz 2		
...		

Format eines Routing-Update in RIP (Version 1; in Klammern: Zusatz in Version 2)

Ein anderer Ansatz: Link state routing

Count-to-infinity Problem



Knoten A		
Destination	Distanz	Nächster Knoten
B	N.E.	
C	N.E.	

Knoten B		
Destination	Distanz	Nächster Knoten
A	5	C
C	1	C

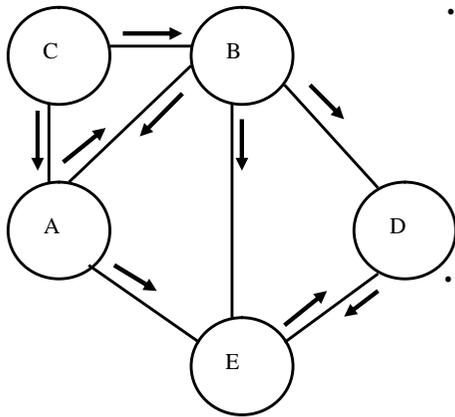
Knoten C		
Destination	Distanz	Nächster Knoten
B	1	B
A	6	B

- Gegenmassnahmen
 - Nur für Schleifen mit 2 Knoten
 - 'Unendlich' limitieren
 - Split horizon

Flooding

- Verteilen von Datenpaketen im ganzen Netz
 - Jeder Knoten soll das Paket mindestens einmal erhalten.
 - Die Verteilung soll möglichst effizient erfolgen.
 - Die Zieladressen sind nicht bekannt.

Flooding Beispiel



- Probleme:
 - Kopien von Datenpaketen
 - Alte Datenpakete
 - Ueberlauf der Sequenznummern
 - Crash eines Routers
- Mechanismen:
 - Absenderkennung
 - Sequenznummern
 - Registrierung von Absender und Sequenznummer
 - Altern gespeicherter Information

Link State Paket

- ID des Routers, der das Paket erzeugt hat.
- Liste von direkten Nachbarn des Routers, mit der zugehörigen Metrik des Links.
- Sequenznummer
- Lebensdauer (time to live)

Link State Routing

- Jeder Router sendet eine Liste seiner Links mit der zugehörigen Routing-Metrik an alle anderen Router im Netz.
- Router konstruiert die vollständige Topologie des Netzes mit der Metrik für jeden Link.
- Router berechnet den optimalen Weg für jedes Zielnetz mit Hilfe des Dijkstra-Algorithmus.

Implementation: OSPF V2

- OSPF: Open Shortest Path First
- IETF RFC-2328
- OSPF gebraucht eine einzige, statische Linkmetrik ("weight").
Es gibt Vorschläge für dynamische Metriken!
- Detektion von Verbindungsunterbrüchen durch Ausbleiben von 'Hello' Nachrichten.
- Link State Ankündigungen alle 30 Minuten oder immer, wenn eine Änderung bei den direkten Links eintreten ist.
- Lastausgleich über mehrere gleichzeitige Pfade ist möglich.
- OSPF setzt direkt auf IP auf.

Distanzvektor vs. Link State Routing

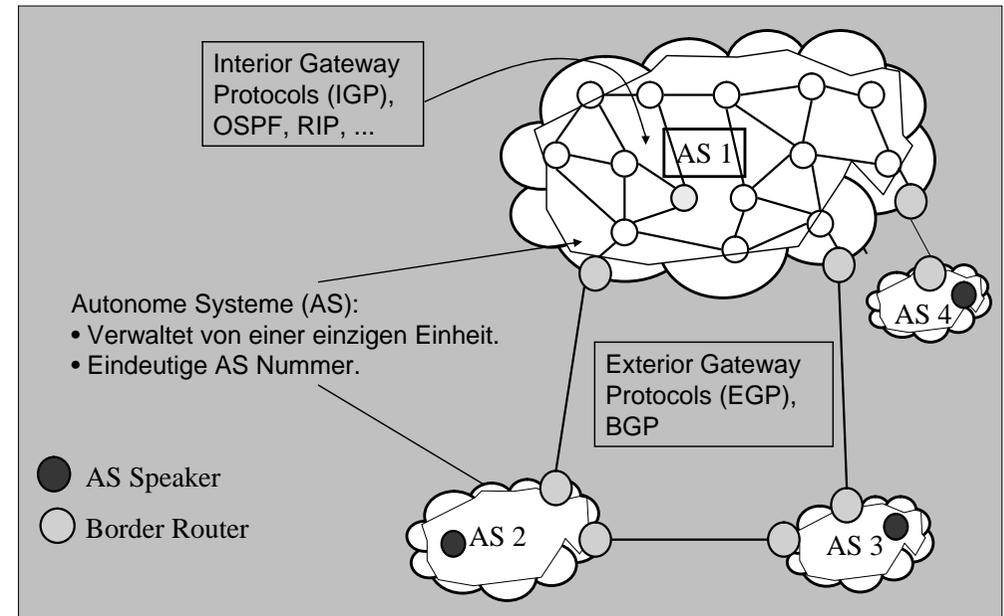
Distanzvektor

- Router sendet die (Destination, Distanz)-Tupel aus der Routingtabelle an seine Nachbarn (alle oder nur geänderte Einträge)
- Einfache Implementation
- Einfache Konfiguration
- Problem der Skalierung

Link State

- Router sendet eine Liste seiner Links mit den dazugehörigen Distanzen an alle Router.
- Stabilisiert schnell
- Generiert wenig Verkehr
- Schnelle Reaktion auf Topologieveränderungen
- Schnelle Reaktion auf Verbindungsunterbrüche
- Problem der Skalierung

Autonome Systeme



Motivation für Hierarchisches Routing

- Skalierbarkeit
 - Distanzvektor: Routing-Updates $O(k*n*n)$
 - Speicherbedarf: Routes zu allen Netzen $O(n*k)$
- Administration
 - Routing Policies
 - Metrik
 - Vertrauen

Network Address Translation (NAT)

Prof. B. Plattner

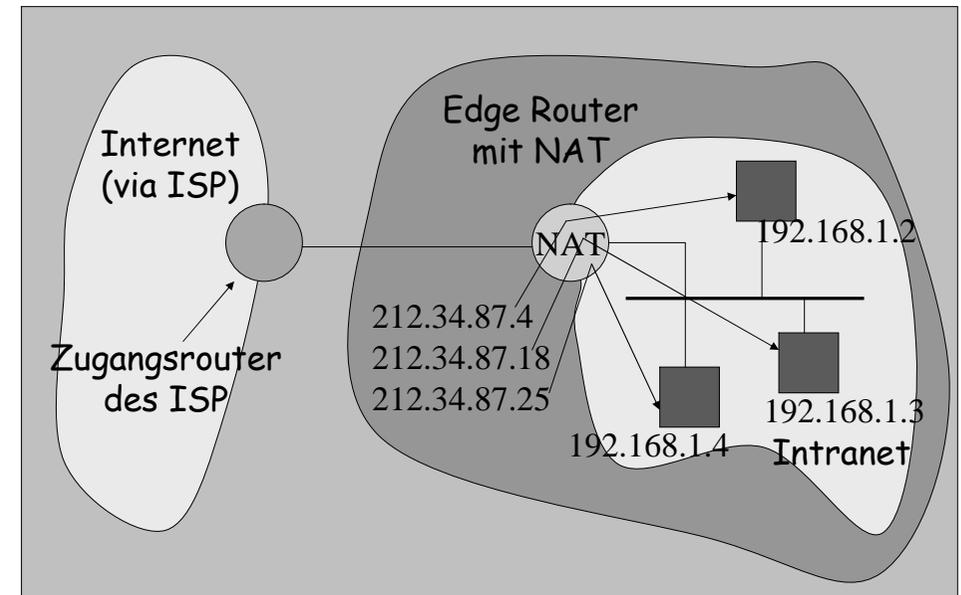
Warum eine Übersetzung von Adressen?

Problem der Adressknappheit im Internet!

Lösungen

- langfristig: IPv6 mit 128-bit Adressen einsetzen
- kurzfristig (und implementiert): Classless Inter-Domain Routing (CIDR)
- ebenfalls kurzfristig und implementiert: Verwendung privater, nicht global sichtbarer Adressen innerhalb eines Intranets
 - Vergabe einiger weniger "globaler" Adressen pro Intranet
 - Abbildung der "lokalen" Adressen der Hosts im Intranet auf eine globale Adresse

Beispiel: Basic NAT

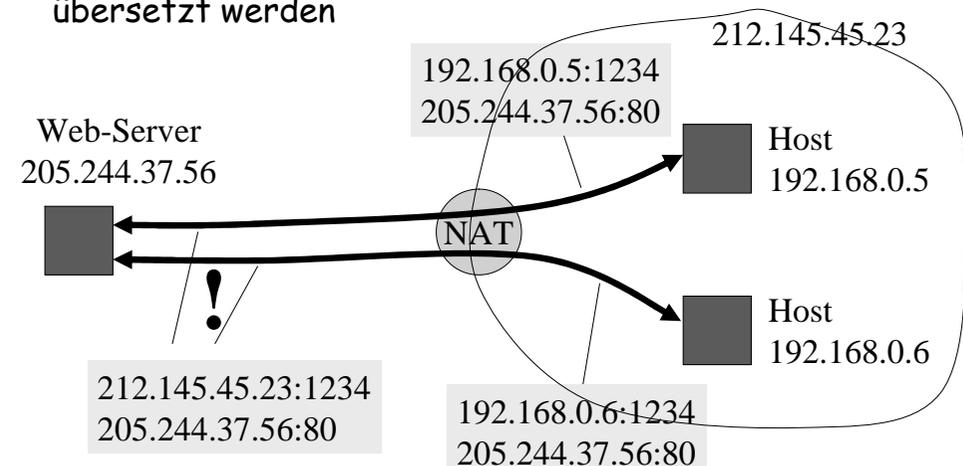


Voraussetzungen für die Umsetzung

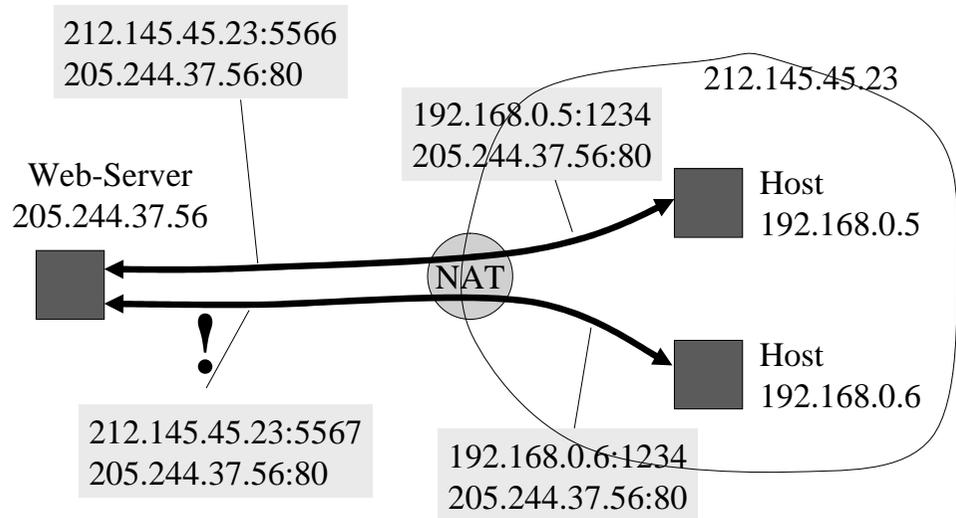
- Internet-Adressraum muss einen Teil mit global eindeutigen und einen Teil mit wiederverwendbaren, lokalen Adressen aufgeteilt werden
- Wiederverwendbar, nur lokal geroutet:
 - Klasse A: Netz 10.0.0.0 (10/8)
 - Klasse B: Netze 172.16.0.0 bis 172.31.0.0 (172.16/12)
 - Klasse C: Netze 192.168.0.0 bis 192.168.255.0 (192.168/16)
- Lokale Adressen werden nach aussen nicht bekannt gemacht, nur die zugehörigen globalen Adressen
- Routing-Protokoll innerhalb des Intranet arbeitet mit den lokalen Adressen

Mehrere private Hosts, eine externe Adresse

- Eine einzige IP-Adresse wird mehreren Hosts zugeordnet
- Neben den IP-Adressen müssen auch Port-Nummern übersetzt werden



Network Address and Port Translation



NAT ordnet neue Port-Nummern zu