
Rechnernetze und Telekommunikation

Routing

Übersicht

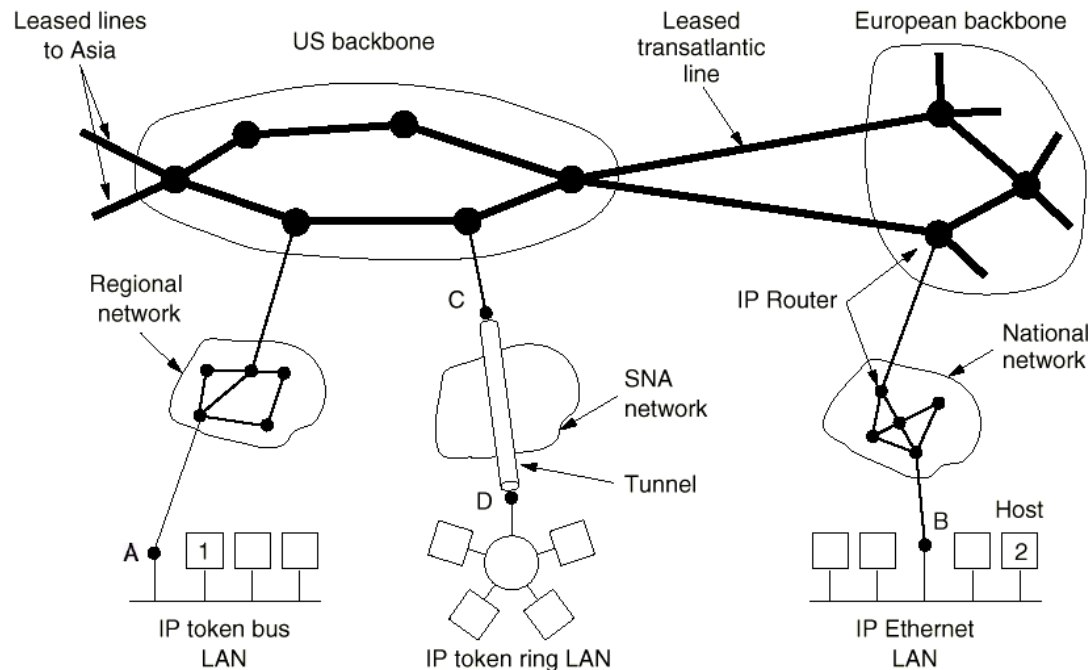
- ◆ **Definition und Prinzipien des Routings**
- ◆ **Statisches und dynamisches Routen**
- ◆ **Distance Vector Routing**
- ◆ **Link State Routing**
- ◆ **Routing Protokolle und Software**
- ◆ **Network Address Translation**

Wo findet überall Routing statt?

- ◆ **Zwischen AS**
 - zwischen Carriern
- ◆ **Innerhalb eines AS**
 - zwischen verschiedenen Standorten
 - zur Bildung von Subnetzen
- ◆ **Innerhalb eines Subnetzes**
 - zur Trennung von Netz-Segmenten
 - z.B. LAN-Segmente, VLANs
 - z.B. zur Anbindung von privaten Netzen (z.B. Home-Router mit NAT)
- ◆ **Innerhalb eines Rechners**
 - z.B. bei mehreren Netzwerk-Interfaces
 - Z.B. bei mehreren Virtual Machines auf einem Rechner

Wiederholung: "Struktur" des Internet

- ◆ Besteht aus zusammengeführten Netzen unterschiedlicher Organisationen
 - ◆ Sog. "Autonomen Systeme" (AS)
- ◆ IP, das "Internet Protocol" hält alles zusammen

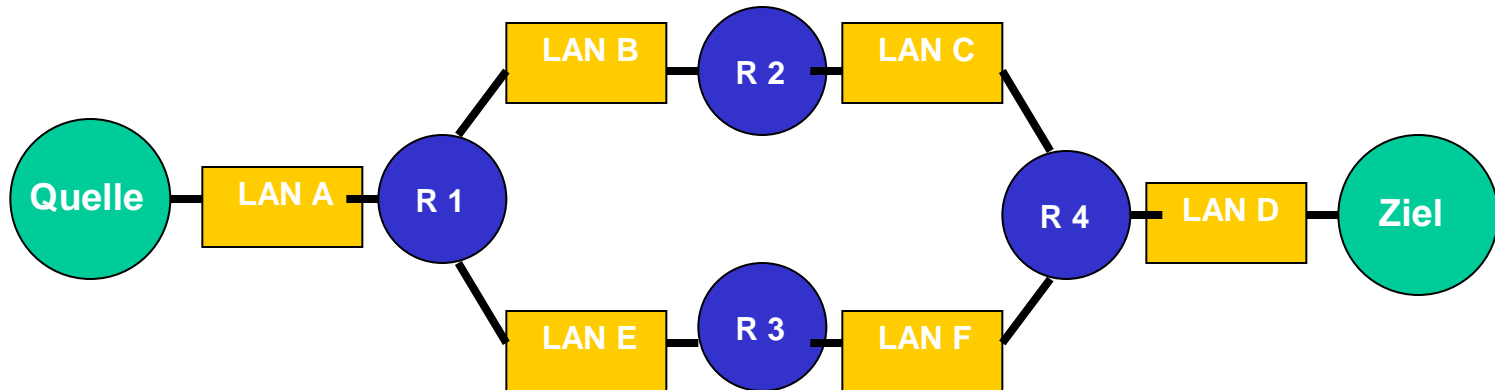


Begriff Autonome Systeme (AS)

- ◆ **AS = Administrativ „abgeschlossene“ Einheiten in einem Internet**
 - d.h. abgeschlossen im Sinne der Verteilung von interner IP-Routinginformationen
 - typische AS: IP Provider Netzwerke
 - AS sind durch eine 16-bittige Nr. gekennzeichnet (ASN)
 - öffentliche ASN, die im Internet benutzt werden dürfen: 1 – 64511, z.B.:
 - AS3320 DTAG Deutsche Telekom
 - AS24639 InfraServ GmbH & Co.Hoechst KG
 - private ASN, nur innerhalb einer Organisation: 64512 - 65535
 - Routen innerhalb eines AS werden nicht an andere AS propagiert
 - es gibt keine Default-Routen zwischen AS

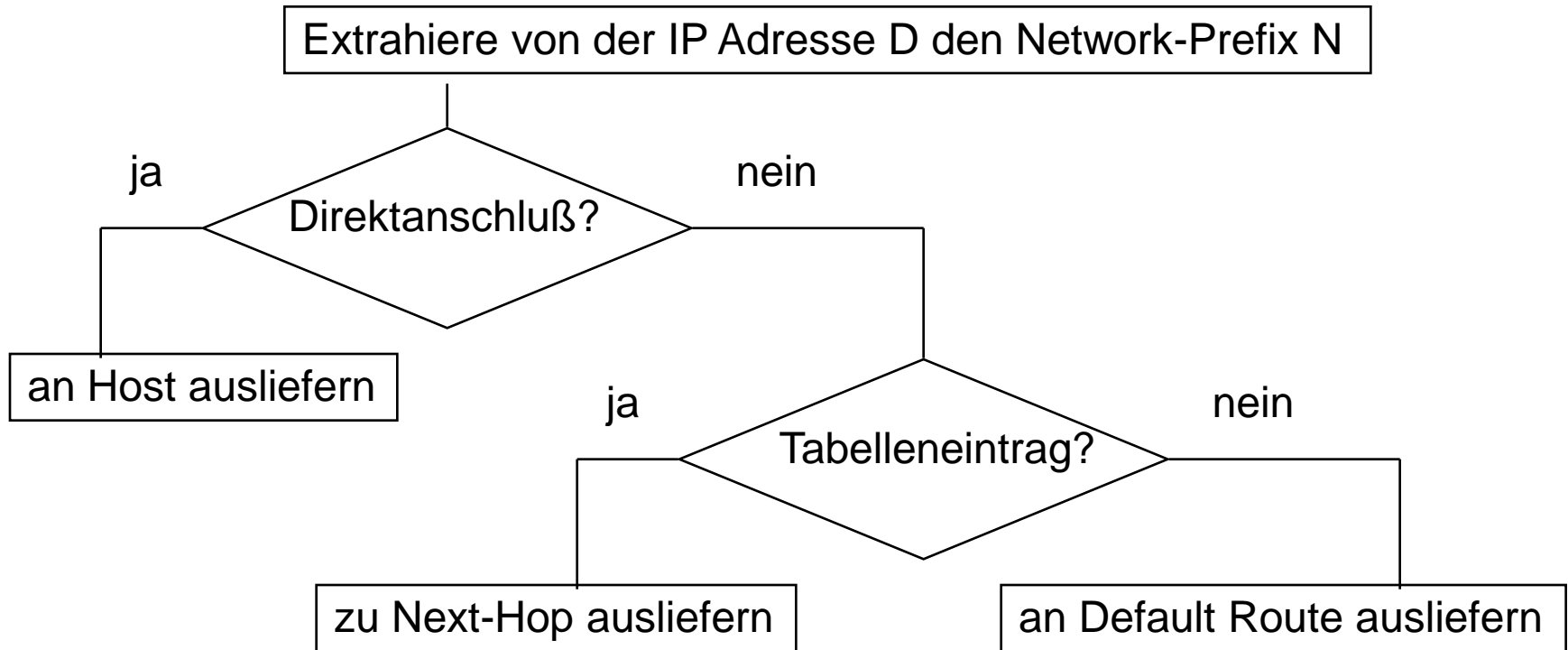
Prinzip des Routings

- ◆ Ein Router empfängt IP-Pakete von einem Netz und überträgt sie auf ein anderes
- ◆ Alle für das Routing erforderlichen Informationen sind in jedem IP-Paket enthalten.
- ◆ Der Router muss wissen:
 - welche Netze angeschlossen sind (Netznummer, Netzmaske)
 - welche anderen Netze über welche "Gateways" (nächster Router, der direkt erreichbar ist) erreichbar sind
 - wohin Pakete zu senden sind, für die kein direktes Routing möglich ist



Prinzip des Routings

Algorithmus



Prinzip des Routings

Routingtabelle

- ♦ IP-Routing Tabelle enthält „Next-Hop“ Information, d.h.
- ♦ grundsätzlich Zeilen der Art (N, R) wobei:
 - **N: IP Adresse eines Zielnetzwerkes oder einer Zielstation**
 - **R: IP Adresse des „nächsten“ Routers entlang des Pfades zum Ziel der über ein direkt angeschlossenes Schicht 2 Netzwerk erreicht werden kann**

Beispiel für eine Routingtabelle

Netznummer	Netzmaske	Ziel
193.174.12.0	255.255.255.240	eth0
194.121.202.160	255.255.255.248	sl0
194.174.11.176	255.255.255.240	gw 193.174.12.10
default		gw 193.174.12.1

Statisches Routing

Festlegungen:

- ◆ **IP Routing Tabelle wird manuell oder höchstens teilautomatisiert (ICMP-Redirect, SNMP) auf jedem System getrennt verwaltet**
- ◆ **Verwaltungsaufwand steigt mit Größe des Netzwerks, Zahl der Routen, Geschwindigkeit des Wachstums**
- ◆ **keine automatische Rekonfiguration, d.h. keine alternative Pfadwahl z.B. in Ausfallsituationen**

- ◆ **Vorteile:**
 - **in kleinen, sich seltenen ändernden Netzwerken ohne redundante Router etc. leicht wartbar**
 - **keine Sicherheitsprobleme durch Routingprotokolle**

Dynamisches Routing

- ♦ IP Routing Tabellen werden mit Hilfe von Routing Protokollen automatisch zwischen den beteiligten Systemen aktualisiert
- ♦ Ziele:
 - Routing Tabellen in allen beteiligten Systemen möglichst zu jedem Zeitpunkt aktuell halten
 - Änderungen im Netzwerk (bei Ausfall, Wartungsarbeiten etc.) so schnell wie möglich an alle beteiligten Systeme verbreiten
 - d.h. Erhöhung der Zuverlässigkeit und Ausfallsicherheit, Verringerung des Wartungsaufwands
 - Lastverteilung (Diensttypen etc.)

Routingprotokolle

Unterteilung der Routingprotokolle nach:

- ◆ **Einsatzgebiet (im administrativen Sinne)**
 - **Interior Gateway Protokolle (IGP's)**
 - für dynamisches Routing innerhalb eines AS
 - **Exterior Gateway Protokolle (EGP's)**
 - für dynamisches Routing zwischen verschiedenen AS

- ◆ **verwendeten Protokollalgorithmen**
 - **Distance Vector (Bellman-Ford)**
 - **Path Vector**
 - **Link State (Shortest Path First; SPF)**

- ◆ **Multicast oder Unicast Routing Protokoll**

Distance Vector Routing (1)

Grundlagen

◆ Typischer verteilter Algorithmus

- Kein zentrales Wissen oder eine globale Sicht des Netzes

◆ Idee Distance-Vector Routing (*DVA*)

- Jeder Router unterhält eine Tabelle mit „Richtungen“ und „Distanzen“ für alle möglichen anderen Ziele
- Alle bekannten Ziele/Distanzen werden zeitlich periodisch benachbarten Routern „angezeigt“
 - per broad-, multi- oder unicast Nachrichten
- Aus den regelmäßig empfangenen Paketen konstruiert bzw. aktualisiert der DVA. die Einträge für die Routing Tabelle
 - d.h. sucht die Richtung mit der kleinsten Distanz zu dem jeweiligen Ziel

Distance Vector Routing (2)

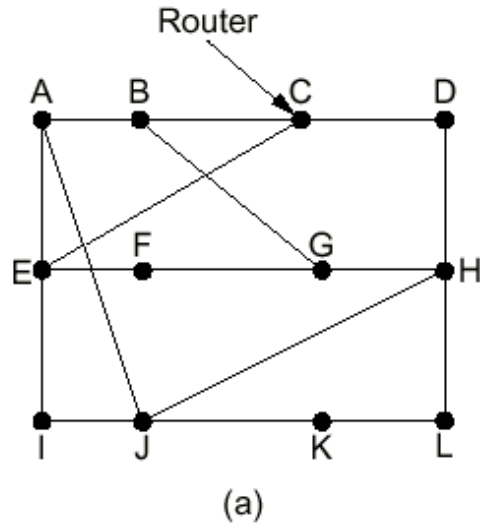
Details

- ◆ Routing Updates werden nur an benachbarte Router an direkt angeschlossenen Segmenten („direkte Links“) versendet
- ◆ jeder Router kennt immer nur den „Next Hop“ für jedes mögliche Ziel
- ◆ verwendete Distanzen in DVAs: „Metriken“
 - z.B. Zahl der „Hops“ zum Ziel, oder administrativ festgesetzte oder protokollspezifische Werte
- ◆ „beste“ Distanz (Metrik 0)
 - normalerweise direkte Links
- ◆ bei Änderungen werden sofort Updates gesendet
 - z.B. wenn ein Interface ausfällt
- ◆ Routen, für die eine bestimmte Zeitlang kein Update empfangen wurde, werden entfernt; optional abschaltbar

Distance Vector Routing (3)

Beispiel

◆ Für Router J:



					New estimated delay from J	
					↓	Line
To	A	I	H	K		
A	0	24	20	21	8	A
B	12	36	31	28	20	A
C	25	18	19	36	28	I
D	40	27	8	24	20	H
E	14	7	30	22	17	I
F	23	20	19	40	30	I
G	18	31	6	31	18	H
H	17	20	0	19	12	H
I	21	0	14	22	10	I
J	9	11	7	10	0	–
K	24	22	22	0	6	K
L	29	33	9	9	15	K

JA delay is 8	JI delay is 10	JH delay is 12	JK delay is 6
------------------------	-------------------------	-------------------------	------------------------

Vectors received from J's four neighbors

New routing table for J	
-------------------------	--

(b)

Distance Vector Routing (4)

Bewertung

Vorteile:

- ◆ **Wartung typischerweise relativ leicht**
- ◆ **weit verbreitet, auf vielen Plattformen verfügbar (d.h. insbesondere RIP)**

Nachteile:

- ◆ **skalieren sich schlecht für große Netzwerke**
- ◆ **Updates pflanzen sich nur langsam fort**
- ◆ **es können daher Routing-Schleifen auftreten**
- ◆ **Routing-Update-Pakete können bei vielen Zielen sehr groß werden**

RIP (1)

◆ *Routing Information Protocol*

- RIP nutzt DVA
- IGP (Verwendung innerhalb von AS)
- war erstes verfügbares IGP
- ursprünglich sehr weit verbreitet durch Distribution mit BSD Unix (*routed* Software)
- entwickelt für relativ kleine Netzwerke
- immer noch sehr weit verbreitet, nahezu auf jeder Plattform implementiert
- Aktuell: RIP Version 2 (RFC 2453)

RIP (2)

Parameter

- ◆ als Distanz (Metrik): die Zahl der „Hops“ zum Ziel
 - Maximum: 15 „Hops“
 - Metrik 16 = „unendlich“, d.h. RIP ist nicht geeignet für Netzwerke mit mehr 15 Routern in einem Pfad
- ◆ RIP sendet standardmäßig alle 30 Sek. einen Update
- ◆ Wenn nach 180 Sekunden kein Update empfangen wurde
 - RIP sendet dann selber einen Request und fragt nach der Route
 - nach 270 Sekunden ohne Antwort wird die Route entfernt
- ◆ Wenn RIP lernt, dass eine Topologie-Änderung aufgetreten ist,
 - wartet es nicht bis zum nächsten periodischen Route-Updating-Zeitpunkt
 - sondern sendet sofort (Triggered Update)

Probleme des DVA (1)

◆ Count-to-Infinity bei Ausfall einzelner Verbindungen:

- Beispiel: Entfernung zu A

a) Im Normalfall (jeder Hop zählt 1)

b) Link A-B ist ausgefallen

A	B	C	D	E	
●	●	●	●	●	
	∞	∞	∞	∞	Initially
	1	∞	∞	∞	After 1 exchange
	1	2	∞	∞	After 2 exchanges
	1	2	3	∞	After 3 exchanges
	1	2	3	4	After 4 exchanges

(a)

A	B	C	D	E	
●	●	●	●	●	
	1	2	3	4	Initially
	3	2	3	4	After 1 exchange
	3	4	3	4	After 2 exchanges
	5	4	5	4	After 3 exchanges
	5	6	5	6	After 4 exchanges
	7	6	7	6	After 5 exchanges
	7	8	7	8	After 6 exchanges
	\vdots				
	∞	∞	∞	∞	

(b)

- Problem: Schlechte Nachrichten verbreiten sich langsam

Probleme des DVA (2)

◆ Pfadschleifen

- Ein Paket wird im Kreis geroutet
- Kann im stabilen Zustand eigentlich nicht auftreten
- Können aber durch langsame Verbreitung temporär entstehen

◆ Da im DVA kein Knoten eine globale Sicht hat, wird dies nicht bemerkt

- Kein Router schaut über den Horizont des nächsten Hops hinaus und weiß, wie der Pfad weiter geht

Path Vector Routing

Grundlagen

- ◆ Funktionsweise ähnelt sehr stark dem DVA
- ◆ Routingschleifen wird vorgebeugt
 - Router teilt dem Nachbarn nicht nur mit, dass er ein bestimmtes Netz zu bestimmten Kosten erreichen kann,
 - sondern auch den kompletten Pfad, den er nutzen würde
- ◆ Ein Router
 - kann so verschiedene Pfade zu einem Ziel kennen und unterscheiden
- ◆ Merkt ein Router nun, dass er bereits in diesem Pfad vorhanden ist, verwirft er das Update und vermeidet so, dass eine Routingschleife entsteht

◆ *Border Gateway Protocol*

- Nutzt Path Vector Routing
- Aktuelle Version 4 definiert in RFC 4271
- DAS EGP Protokoll zum Routing zwischen AS
- Nutzt für die Verbindungen zwischen den Routern TCP

Link-State Routing (1)

Grundlagen

- ◆ **Lokaler Algorithmus**
- ◆ **Jeder Router wird über alle verfügbaren Links (Link-State) informiert**
 - mittels broad-, multi-, oder unicast Nachrichten
- ◆ **Jeder Router unterhält eine komplette Topologieinformation über das Netzwerk**
 - d.h. jeder Router kennt jeden anderen Router und die an diesen angeschlossenen Netzwerke (Link-Graph)
 - Auch „Full Topology Routing „ genannt

Link-State Routing (2)

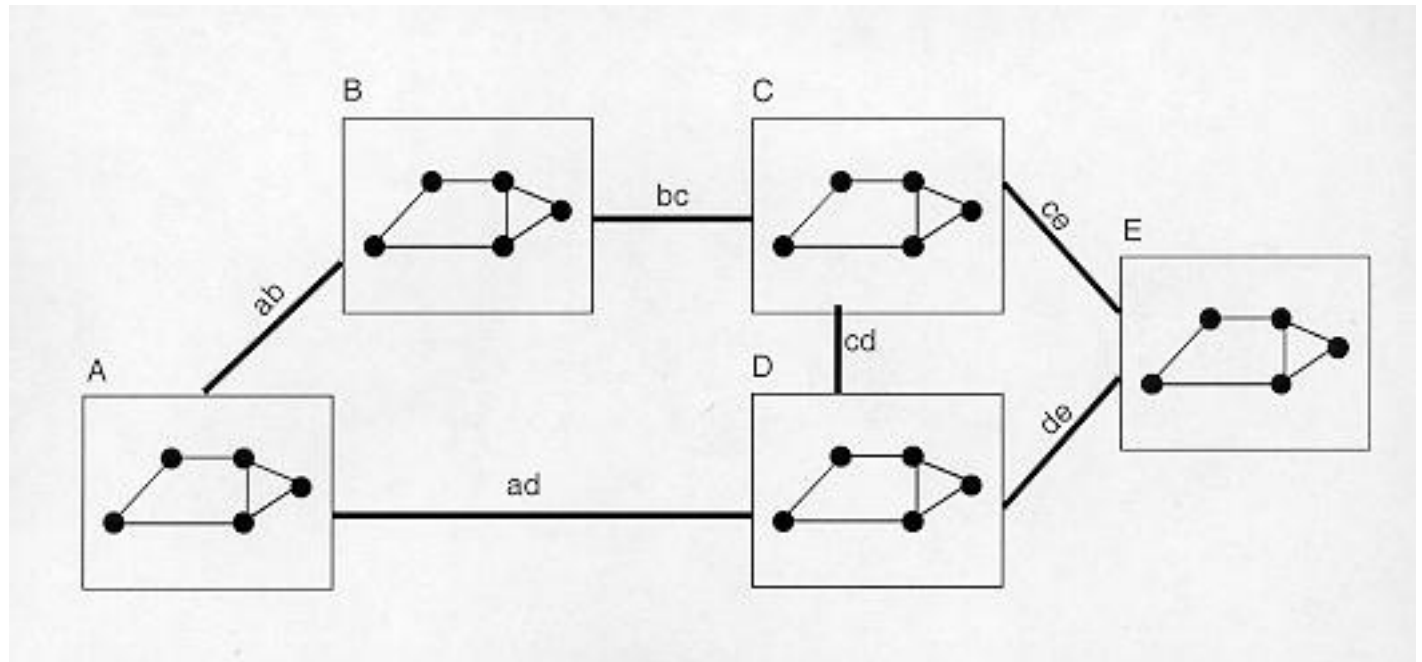
Algorithmus

- ◆ Ermittlung aller direkten Nachbar-Router
 - ◆ Jeder Router testet aktiv und zeitlich periodisch den Status aller benachbarten Router (d.h. direkte Links)
 - ◆ Die gesamte Link-Status Information werden zeitlich periodisch *allen* anderen beteiligten Routern im Netzwerk mitgeteilt
 - ◆ Router aktualisiert seine eigene Topologie Datenbasis, indem Links als „up“ bzw. „down“ markiert werden
 - ◆ Werden Änderungen bei Links festgestellt, werden die betroffenen Routen neu berechnet und die eigene IP Routingtabelle aktualisiert
 - Berechnung mittels Shortest Path Algorithmus nach Dijkstra
-

Link-State Routing (3)

Beispiel

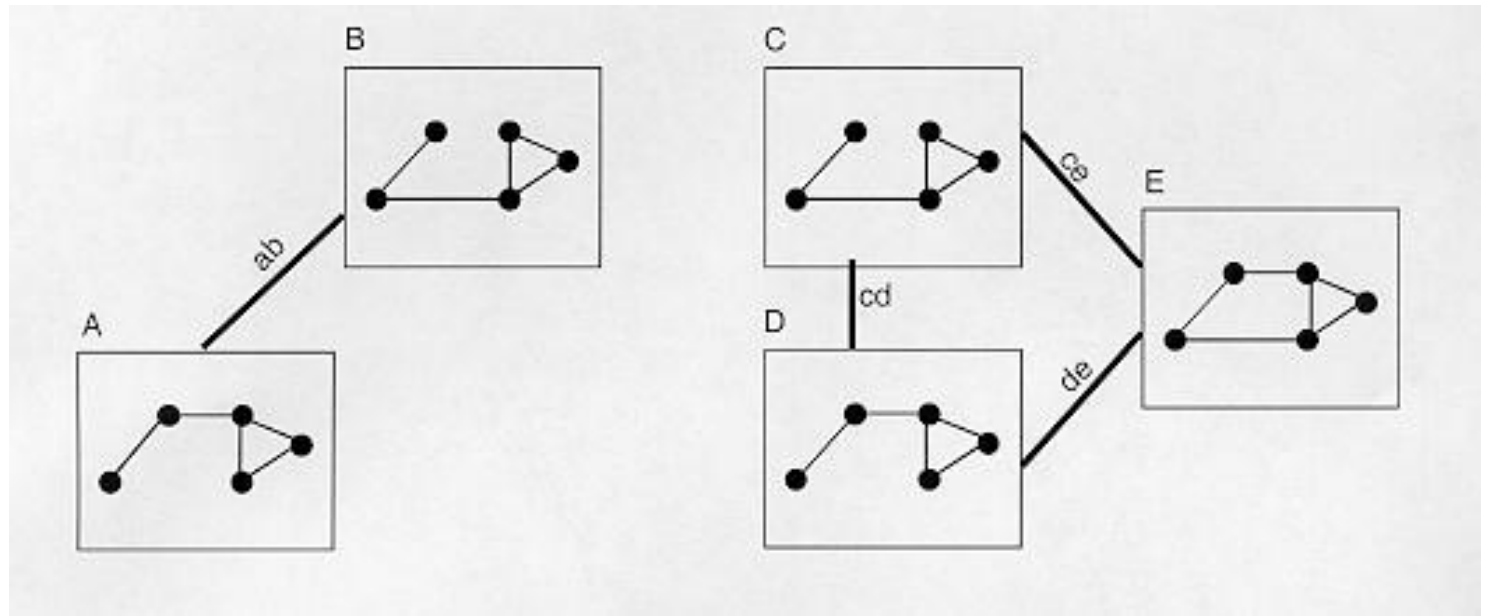
Netz im stabilen Zustand



Link-State Routing (4)

Beispiel

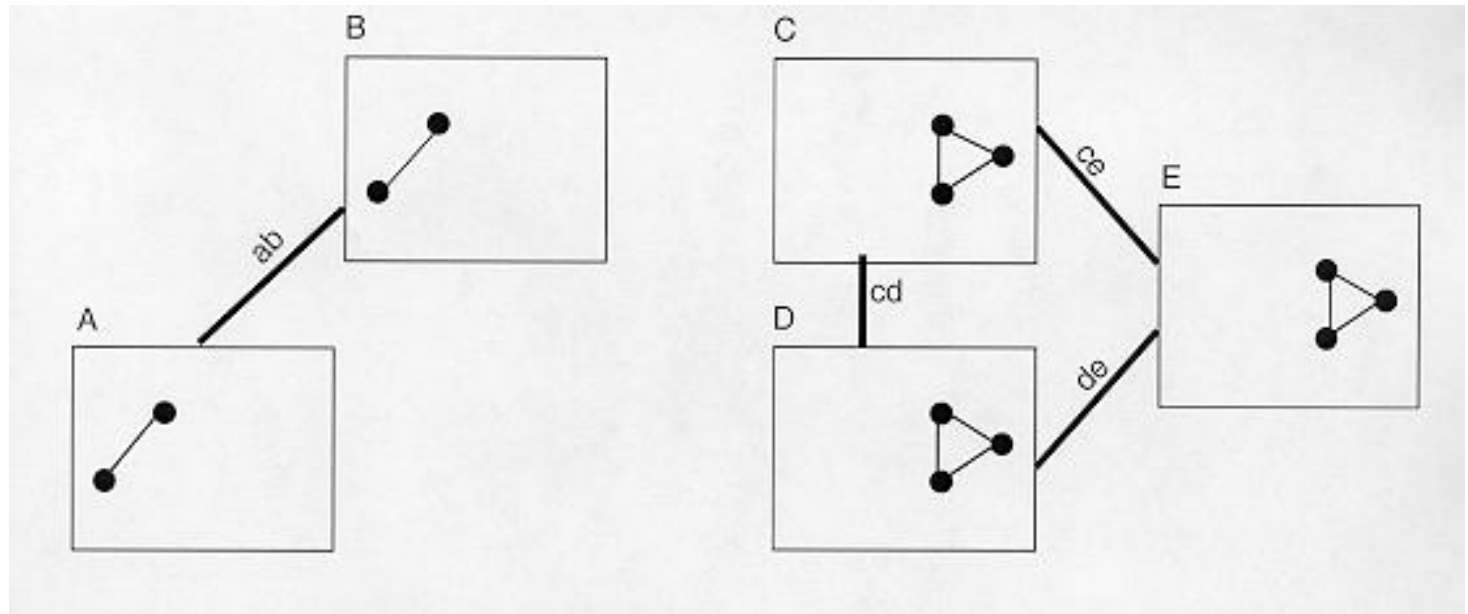
Links bc und ad sind ausgefallen



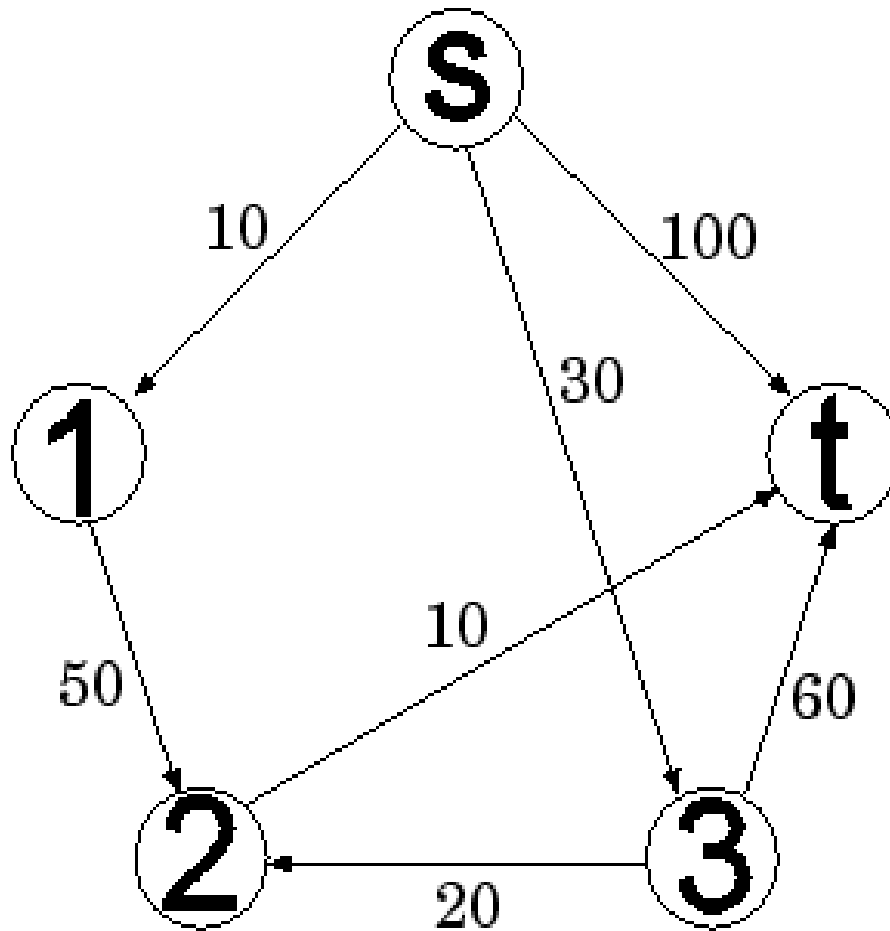
Link-State Routing (5)

Beispiel

Nach einer Nachrichtenrunde



Shortest Path: Algorithmus nach Dijkstra – Das Problem



Shortest Path: Algorithmus

V = Menge aller Knoten; E = Menge aller Kanten;

S = {s}; // Menge von Knoten

// Invariante: kürzeste Weglänge zu jedem

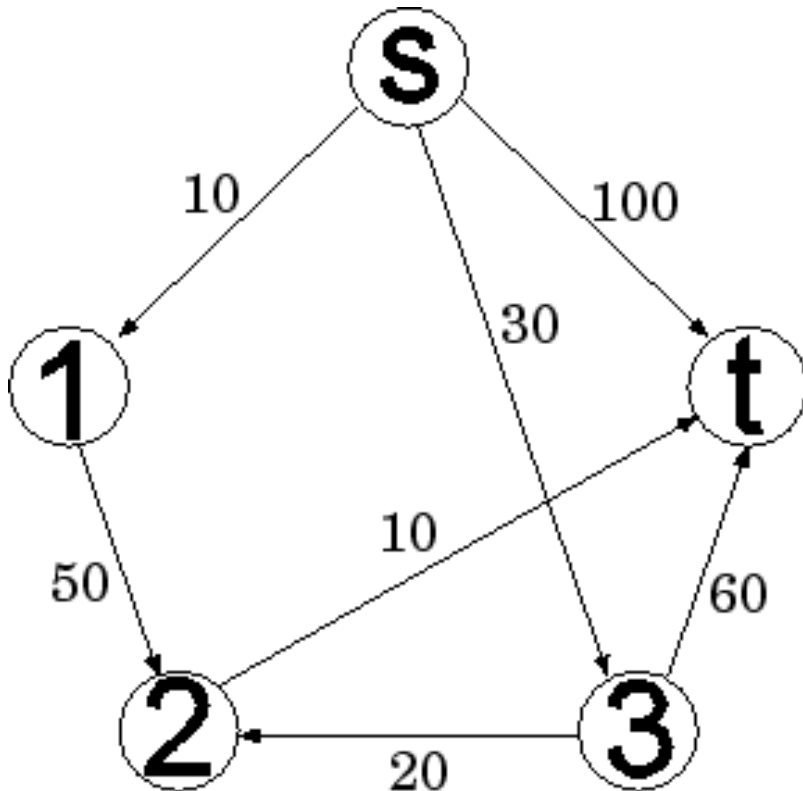
// Knoten in S bekannt

while (t \notin S) {

füge zu S den Knoten aus (V \ S) hinzu, der mit kleinstem Aufwand zu erreichen ist

}

Shortest Path: Beispiel



S	d(1)	d(2)	d(3)	d(t)
{s}	10	∞	30	100
{s,1}	10	60	30	100
{s,1,3}	10	50	30	90
{s,1,3,2}	10	50	30	60
{s,1,3,2,t}	10	50	30	60

Link-State Routing (6)

Bewertung

Vorteile:

- ♦ jeder Router berechnet seine Routingtabelle unabhängig von anderen, mit der originalen Link-Status-Info des „anzeigenden“ Routers
- ♦ d.h. keine Abhängigkeit von den Berechnungen von „Zwischen“-Routern
- ♦ Probleme leichter zu finden
- ♦ Größe der Pakete hängt nicht von der Zahl der gerouteten Netzwerke ab (d.h. L.S.A.'s skalieren sich besser)
- ♦ Link-Status kann zusätzliche Information, wie Qualität des Links („cost“) enthalten, dadurch optimale Pfadwahl möglich

Nachteile:

- ♦ meist aufwendiger zu warten
- ♦ meist höhere Rechnerleistung auf dem Router erforderlich bei großen „Gebieten“

OSPF (1)

◆ *Open Shortest Path First*

- **Link-State-Routing-Protokoll**
- **Ist im RFC 2328 definiert**
- **IGP (Verwendung innerhalb von AS), auch EGP möglich**
 - Unterteilt das Netz in separate *Areas*
 - Area 0 ist der Backbone
- **Standard definiert nicht wie die Kosten zu berechnen sind**
 - Cisco nutzt z.B. die Bandbreite des Links als Kosten

OSPF (2)

Weitere Features

◆ Route Aggregation

- Zusammenfassung von Routen mit gleichem Präfix (classless)
- kann Größe der Routing Tabelle und Protokoll Traffic erheblich minimieren

◆ Type of Service Routing

- mehrfache Routen zum gleichen Ziel installierbar, für verschiedene Servicetypen (Pfadwahl dann durch Felder IP-Header)

◆ Load Balancing

- bei mehrfachen Routen zum gleichen Ziel mit gleicher „Cost“ kann OSPF Traffic über diese Pfade gleich verteilen

◆ Authentication

- Routing Pakete können mit verschiedenen Verfahren authentifiziert werden

Übersicht Routingprotokolle

Internet Routingprotokolle

- ◆ **RIP, RIP2:** IGP, Distance Vector
- ◆ **IGRP:** IGP, Distance Vector
- ◆ **OSPF:** IGP/EGP, Link State
- ◆ **EIGRP:** IGP/EGP, Hybrid Distance Vector/Link State
- ◆ **BGP** EGP, Path Vector

Routingsoftware (1)

- ◆ Router können als dedizierte Geräte oder als Software auf Standard-Betriebssystemen laufen (typ. Linux)

- ◆ Moderne Routingsoftware gestattet üblicherweise sehr weitgehende administrative Eingriffe
 - z.B. das Erlauben oder Verbieten bestimmter Routen
 - das Festlegen von administrativen „Weights“, d.h. z.B. Bevorzugung bestimmter Routen
 - das Akzeptieren von Updates nur von bestimmten Nachbar Routern
 - peer-to-peer Betrieb (d.h. z.B. kein RIP-Broadcast) passiv (nur „Lernen“, kein aktives Anzeigen)
 - konfigurierbaren Routenaustausch zwischen allen auf dem gleichen System laufenden Routing Protokollen

Routingsoftware (2)

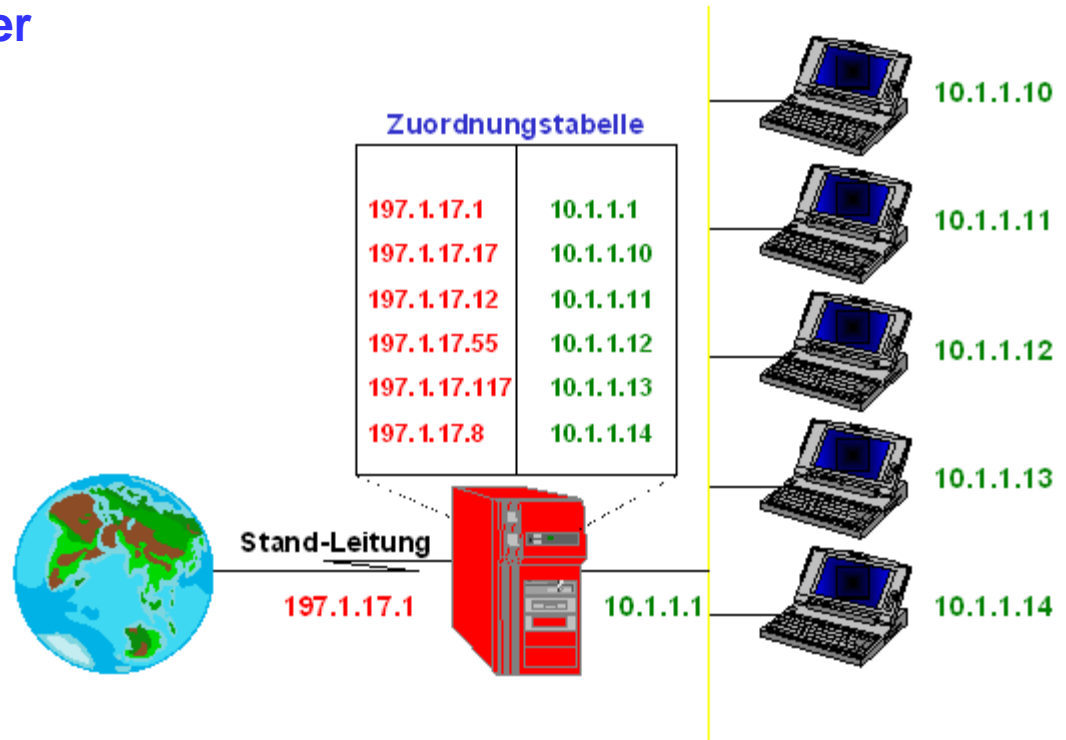
- ◆ **unterschiedlichste Routingsoftware für verschiedenste Plattformen am Markt, sehr weit verbreitet sind u.a.:**
 - **Cisco IOS**
 - Betriebssystem nahezu der gesamten Cisco Router und Switch Produktpalette, große Zahl von unterstützten Routingprotokollen
 - **gated Software**
 - auf nahezu allen Unix'en vorhanden, unterstützt alle wichtigen Routingprotokolle, einschließlich RIP, OSPF und BGP
 - **Quagga**
 - unter der GPL lizenziertes Softwarepaket für unix-artige Betriebssysteme, unterstützt OSPF, RIP und BGP
- ◆ **Unterscheiden sich in Features, Performance, Skalierbarkeit**

NAT (Network Address Translation)

- ◆ Kann auf Routern zusätzlich stattfinden
- ◆ Sammelbegriff für Verfahren, die
 - automatisiert Adressinformationen in Datenpaketen durch andere ersetzen
 - um verschiedene Netze zu verbinden
- ◆ Kann zu Problemen führen, wenn IP-Adressen auch in den Nutzdaten der Nachrichten verwendet werden
 - Adressen in den Paketen passen dann nicht mehr zu den im Protokoll sichtbaren Adressen
 - Problem bei (sog. „active“) FTP und VoIP (SIP)

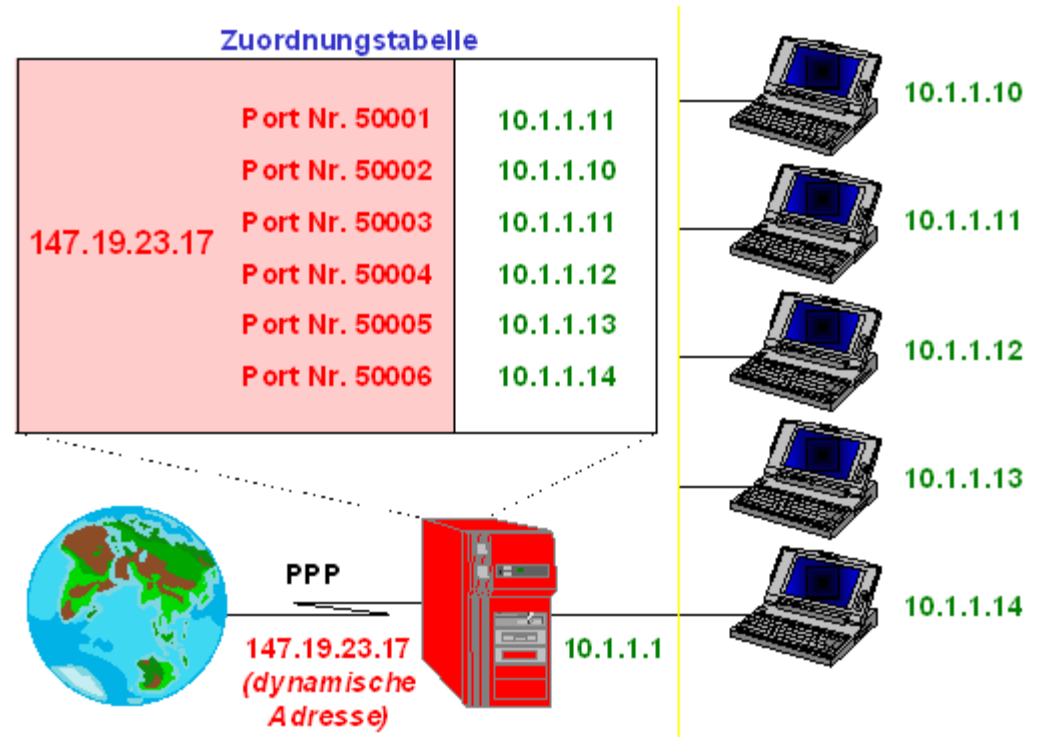
Basic NAT (Static NAT)

- ◆ Jede interne IP wird durch eine andere externe IP ersetzt
- ◆ Sinn: Zusammenführung von Netzen (z.B. bei Firmenfusionen)
- ◆ Sicherheit: keine direkten Verbindungen möglich
 - Nur über den NAT-Router



PAT (Port Address Translation)

- ◆ Auch Hiding NAT oder NAPT (Network Address Port Translation)
- ◆ Socket-Paar (IP-Adresse und Port-Nummer) wird umkodiert
- ◆ Sinn: ganze Netzwerke werden hinter einer IP-Adresse verborgen
 - Typisch für DSL-Router zu Hause
 - Mittel gegen Adress-Knappheit in IPv4!



Zusammenfassung

- ◆ **Routing entscheidet, welchen Weg ein Paket auf dem Weg zum Ziel nimmt**
- ◆ **Statisches Routing nur machbar für kleine Netze, große Netze bestimmen Routen dynamisch mit Routing Protokollen**
- ◆ **Es gibt verschiedene Verfahren und Protokolle zum dyn. Routen:**
 - **Distance Vector Routing (z.B. RIP)**
 - **Path Vector Routing (z.B. BGP)**
 - **Link State Routing (z.B. OSPF)**
- ◆ **NAT ist ein Verfahren, um IP-Adressen beim Routing umzuschreiben**