
Datenkommunikation

Vermittlungsschicht
Routing im Internet

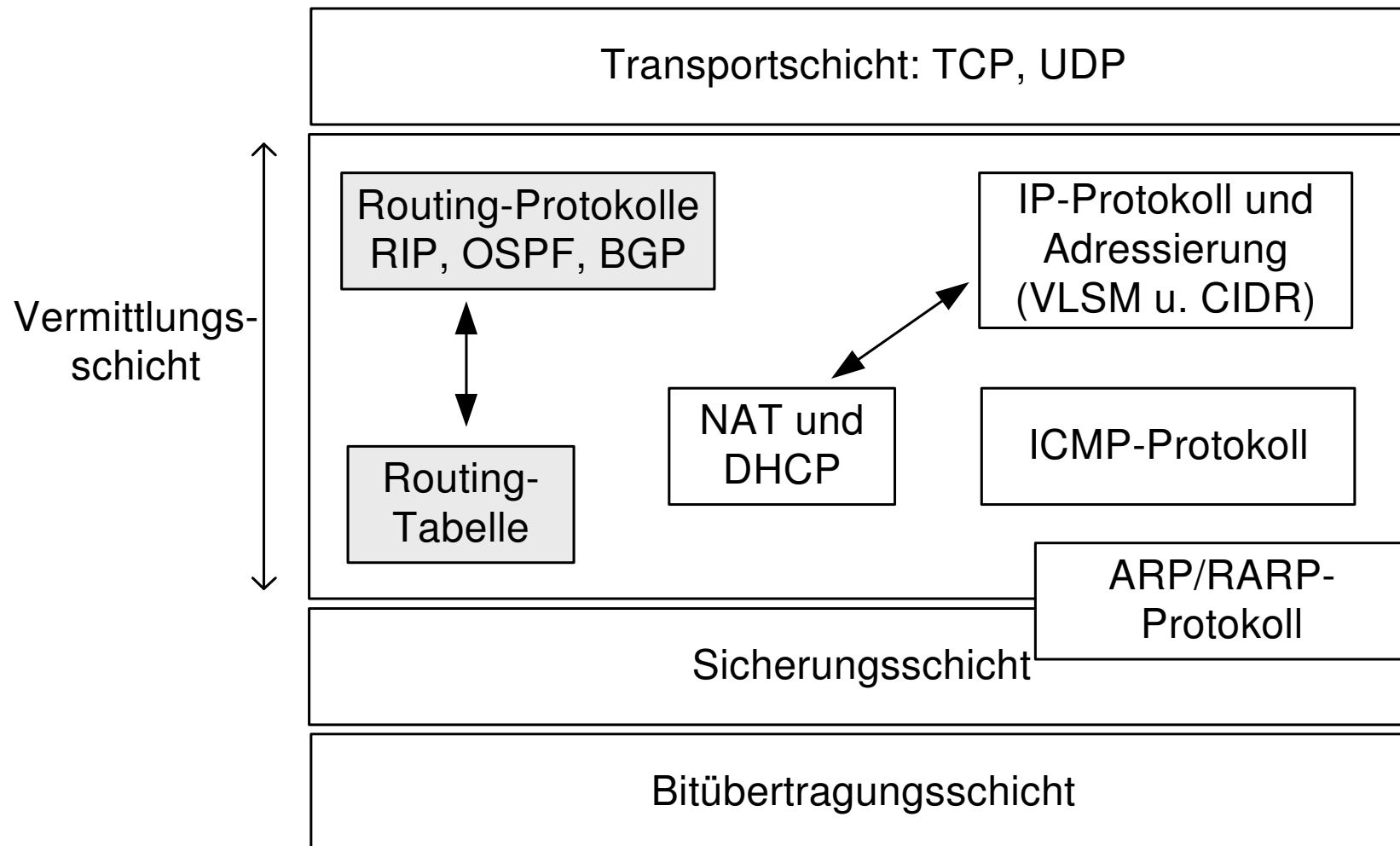
Wintersemester 2011/2012

Überblick

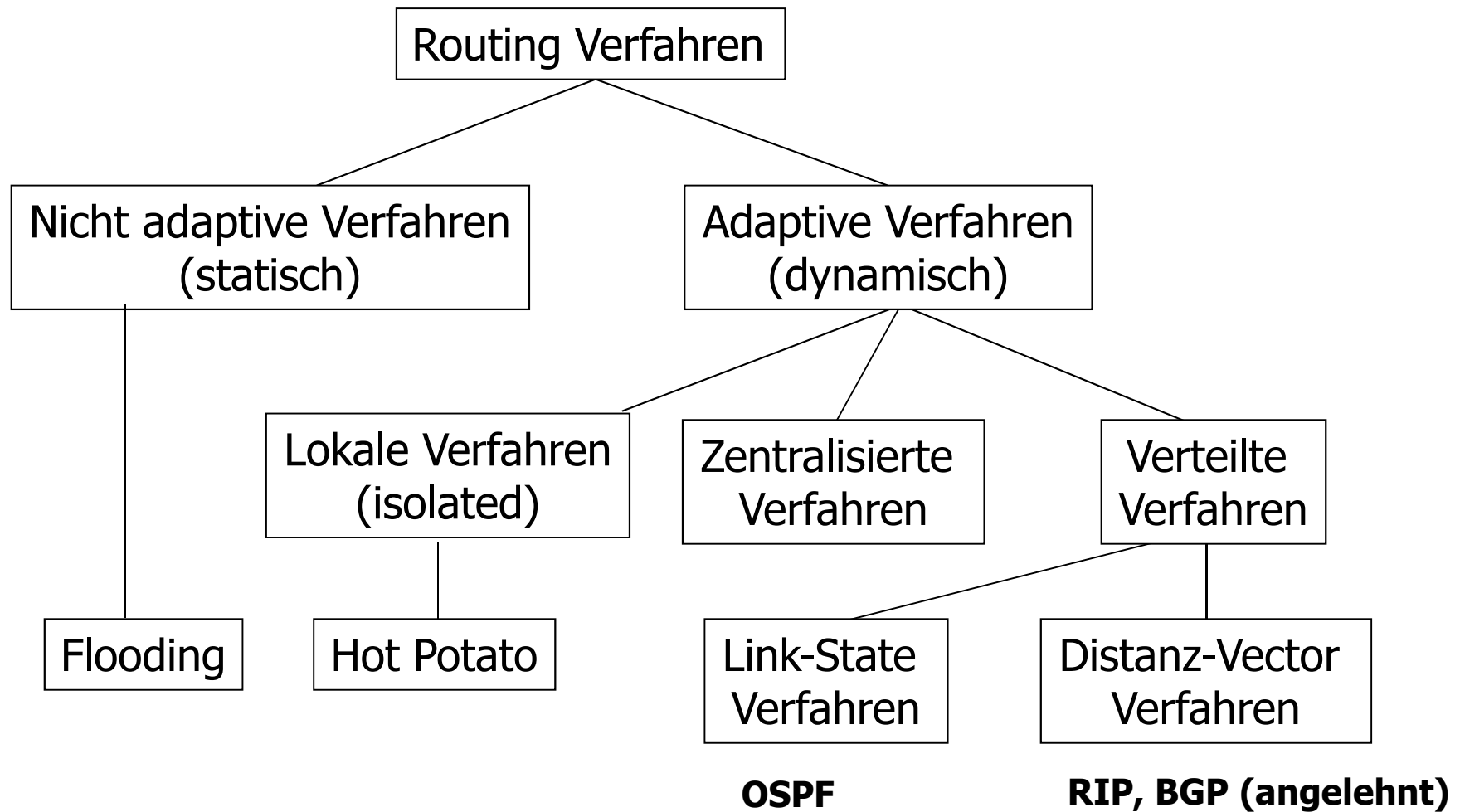
1	Grundlagen von Rechnernetzen, Teil 1
2	Grundlagen von Rechnernetzen, Teil 2
3	Transportzugriff
4	Transportschicht, Grundlagen
5	Transportschicht, TCP (1)
6	Transportschicht, TCP (2) und UDP
7	Vermittlungsschicht, Grundlagen
8	Vermittlungsschicht, Internet
9	Vermittlungsschicht, Routing
10	Vermittlungsschicht, Steuerprotokolle und IPv6
11	Anwendungsschicht, Fallstudien
12	Mobile IP und TCP

- 1. Überblick, Routing-Tabellen**
2. IGP und EGP: Überblick
3. RIP-1 und RIP-2
4. OSPF und OSPFv2
5. BGP

Überblick: Die Internet-Vermittlungsschicht



Überblick: Routing – Einordnung der Verfahren



Internet Protocol: Routing-Tabellen

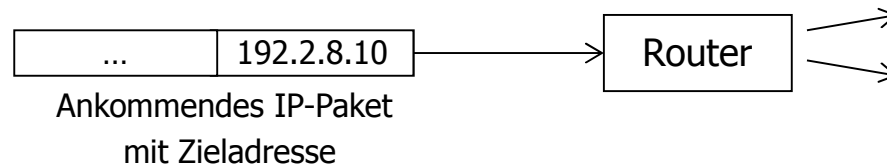
- Jeder IP-Router verwaltet eine Routing-Tabelle

Netzwerk- ziel	Netzwerk- maske	Nächster Router	Ausgangsport	Metrik
...

- Ausgangsport = die dem Interface zugeordnete IP-Adresse
- Metrik = Anzahl der Hops zum Ziel
- Hinweis:
 - Die Netzwerkmaske ist erst seit der Einführung von CIDR notwendig, vorher hat man aus den ersten drei Bits der Zieladresse die Netzwerkklassse ermittelt

Internet Protocol: Routenbestimmung: Regelwerk

- IP-Paket kommt am Router an. Was passiert?
 - Zieladresse des Pakets wird mit Einträgen in den Routing-Tabellen verglichen
 - Bitweise Und-Verknüpfung zwischen Zieladresse aus IP-Paket und Netzwerkmaske aus Routeneintrag (für alle Einträge)
 - Vergleich des Ergebnisses mit Netzwerkziel aus Routeneintrag
 - Übereinstimmung → potenzielle Route gefunden!
 - Die Route mit der größten Übereinstimmung (Bits von links nach rechts) wird ausgewählt
 - Bei gleichwertigen Einträgen: Beste Metrik entscheidet!
 - Keine Übereinstimmung → Standardroute



Internet Protocol:

Routing-Tabellen: Beispiel IPv4-Routing-Tabelle

> **netstat -r (oder route print unter Windows)**

Aktive Routen:

Netzwerkziel	Netzwerkmaske	Gateway	Schnittstelle	Metrik
0.0.0.0	0.0.0.0	10.28.1.253	10.28.16.21	20
127.0.0.0	255.0.0.0	127.0.0.1	127.0.0.1	1
10.28.16.21	255.255.255.255	127.0.0.1	127.0.0.1	20
224.0.0.0	240.0.0.0	10.28.16.21	10.28.16.21	20
255.255.255.255	255.255.255.255	10.28.16.21	10.28.16.21	1

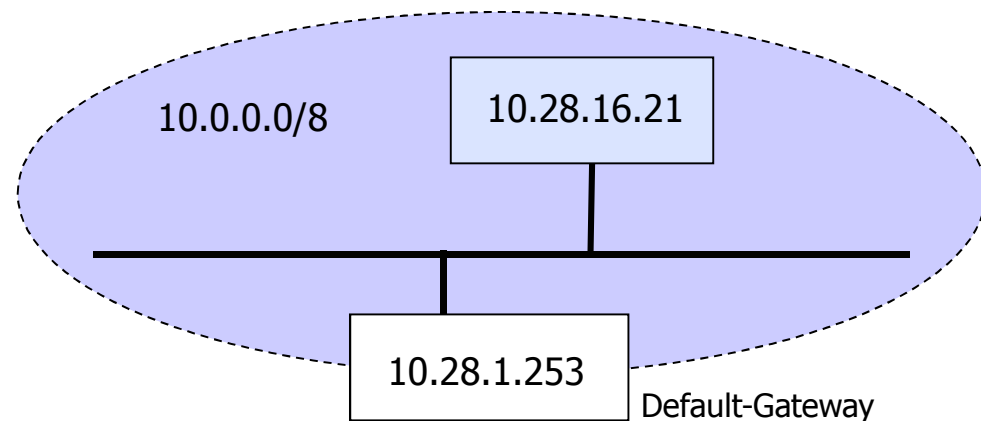
Standardgateway: 10.28.1.253

Annahmen:

- Eigene IP-Adresse: 10.28.16.21
- Nur eine Ethernet-Karte im Rechner
Standard-Gateway: 10.28.1.253

Anmerkungen:

- „Gateway“ entspricht „Nächster Router“
- „Schnittstelle“ entspricht „Ausgangsport“



Internet Protocol: Routing-Tabellen: Beispiel - Interpretation

> netstat -r

Aktive Routen:

Netzwerkziel	Netzwerkmaske	Gateway	Schnittstelle	Metrik
0.0.0.0	0.0.0.0	10.28.1.253	10.28.16.21	20

- Dies ist die **Standardroute**: Immer Netzwerkziel 0.0.0.0 und Netzwerkmaske 0.0.0.0 (/0)
- Jede IPv4-Zieladresse, für die eine bitweise logische UND-Operation mit 0.0.0.0 ausgeführt wird, führt zu dem Ergebnis 0.0.0.0
- Die Standardroute führt daher zu einer Übereinstimmung mit jeder IPv4-Zieladresse
- Wenn die Standardroute die längste übereinstimmende Route ist, lautet die Adresse des nächsten Knotens 10.28.1.253 (Standard-Gateway) und die Schnittstelle für den nächsten Knoten ist der Netzwerkadapter mit der IPv4-Adresse 10.28.16.21 (einziger LAN-Adapter)

Internet Protocol: Routing-Tabellen: Beispiel - Interpretation

> netstat -r

Aktive Routen:

Netzwerkziel	Netzwerkmaske	Gateway	Schnittstelle	Metrik
0.0.0.0	0.0.0.0	10.28.1.253	10.28.16.21	20
127.0.0.0	255.0.0.0	127.0.0.1	127.0.0.1	1

- **Loopback-Route:** Netzwerkziel 127.0.0.0 und der Netzwerkmaske 255.0.0.0 (/8)
- Für alle Pakete, die an Adressen in der Form 127.x.y.z gesendet werden, wird die Adresse des nächsten Knotens auf 127.0.0.1 (die Loopback-Adresse) gesetzt
- Die Schnittstelle für den nächsten Knoten ist die Schnittstelle mit der Adresse 127.0.0.1 (die IP-Loopback-Schnittstelle)
- Das Paket wird nicht in das Netzwerk gesendet

Internet Protocol:

Routing-Tabellen: Beispiel - Interpretation

> netstat -r

Aktive Routen:

Netzwerkziel	Netzwerkmaske	Gateway	Schnittstelle	Metrik
0.0.0.0	0.0.0.0	10.28.1.253	10.28.16.21	20
127.0.0.0	255.0.0.0	127.0.0.1	127.0.0.1	1
10.28.16.21	255.255.255.255	127.0.0.1	127.0.0.1	20

- **Hostroute:** Netzwerkziel 10.28.16.21 und Netzwerkmaske 255.255.255.255 (/32) für die IPv4-Adresse des Hosts
- Für alle (von einer lokalen Anwendung) an die Adresse 10.28.16.21 (eigene IP-Adresse) gesendeten IPv4-Pakete wird die Adresse des nächsten Knotens auf 127.0.0.1 gesetzt
- Die Schnittstelle für den nächsten Knoten ist also die Loopback-Schnittstelle
- Das Paket wird nicht in das Netzwerk gesendet

Internet Protocol:

Routing-Tabellen: Beispiel - Interpretation

> netstat -r

Aktive Routen:

Netzwerkziel	Netzwerkmaske	Gateway	Schnittstelle	Metrik
...				
224.0.0.0	240.0.0.0	10.28.16.21	10.28.16.21	20
255.255.255.255	255.255.255.255	10.28.16.21	10.28.16.21	1

- Der Eintrag mit dem Netzwerkziel 224.0.0.0 und der Netzwerkmaske 240.0.0.0 (/4) ist eine Route für **Multicast-Verkehr**, der von diesem Host gesendet wird
- Für alle Multicast-Pakete wird die Adresse des nächsten Knotens auf die Zieladresse gesetzt und für die Schnittstelle des nächsten Knotens wird der LAN-Adapter festgelegt
- Der Eintrag mit dem Netzwerkziel 255.255.255.255 und der Netzwerkmaske 255.255.255.255 (/32) ist eine Hostroute, die der **limited Broadcast-Adresse** entspricht
- Für alle an 255.255.255.255 gesendeten IPv4-Pakete wird die Adresse des nächsten Knotens auf 255.255.255.255 gesetzt und die Schnittstelle des nächsten Knotens ist der LAN-Adapter

Internet Protocol:

Routing-Tabellen: Beispiel 2 – iSYS-Netz

route print

=====

Schnittstellenliste

0x1MS TCP Loopback interface

0x2 ...00 15 f2 16 ee 5a VIA-kompatibler Fast Ethernet-Adapter - Paketplaner-Miniport

=====

=====

Aktive Routen:

Netzwerkziel	Netzwerkmaske	Gateway	Schnittstelle	Anzahl
0.0.0.0	0.0.0.0	192.168.2.1	192.168.2.116	20
127.0.0.0	255.0.0.0	127.0.0.1	127.0.0.1	1
192.168.2.0	255.255.255.0	192.168.2.116	192.168.2.116	20
192.168.2.116	255.255.255.255	127.0.0.1	127.0.0.1	20
192.168.2.255	255.255.255.255	192.168.2.116	192.168.2.116	20
224.0.0.0	240.0.0.0	192.168.2.116	192.168.2.116	20
255.255.255.255	255.255.255.255	192.168.2.116	192.168.2.116	1

Standardgateway: 192.168.2.1

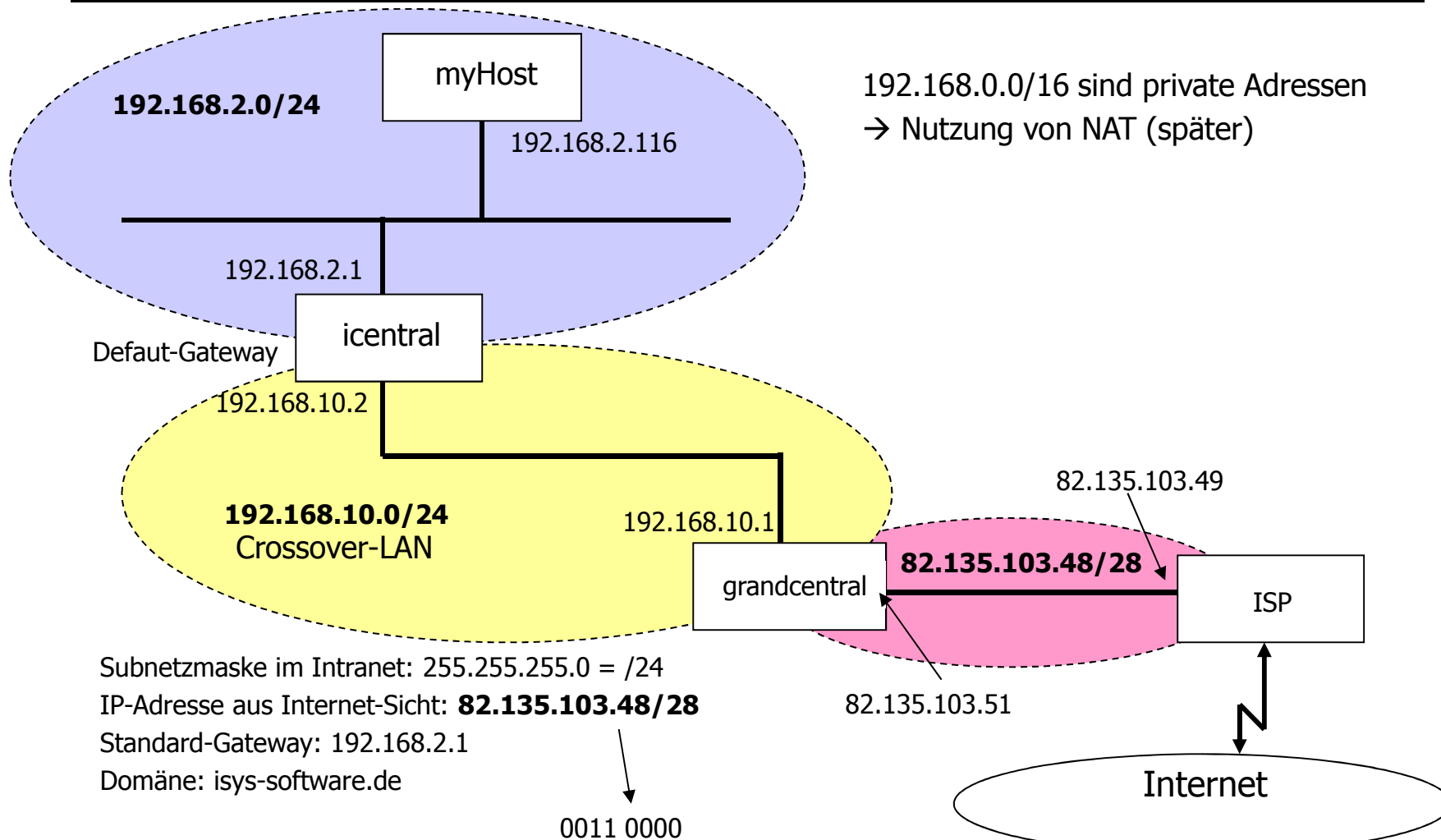
=====

Ständige Routen:

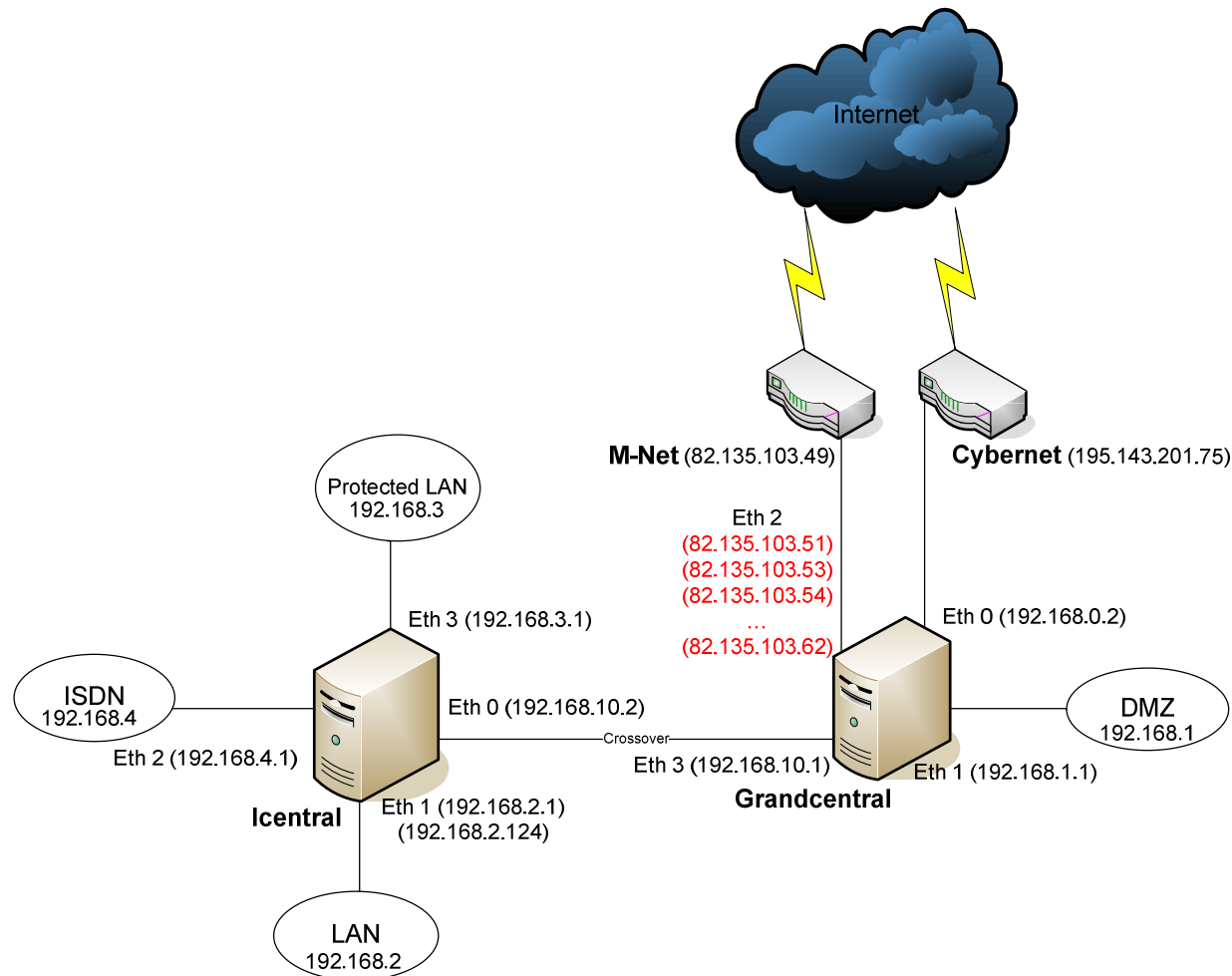
Keine

- Eigener Host, an dem Kommando abgesetzt wurde: 192.168.2.116
- Subnetzmaske: 255.255.255.0
- Eine Ethernet-LAN-Karte

Internet Protocol: Routing-Tabellen: Beispiel 2 – iSYS-Netz



Internet Protocol: Routing-Tabellen: Beispiel 2 – iSYS-Netz



Internet Protocol:

Routing-Tabellen: Beispiel 2 - Routen traceren

Kommandos tracert oder pathping unter Windows

C:\Dokumente und Einstellungen\mandl> **tracert -w 30 www.fh-muenchen.de**

Routenverfolgung zu rz.fh-muenchen.de [129.187.244.212] über maximal 30 Abschnitte:

1	<1 ms	<1 ms	<1 ms	icentral.isys-software.de [192.168.2.1]
2	<1 ms	<1 ms	<1 ms	grandcentral.isys-software.de [192.168.10.1]
3	59 ms	60 ms	60 ms	sub87-230-127-254.he-dsl.de [87.230.127.254]
4	64 ms	60 ms	*	ge-4-0-3-100.jc-blue.cgn.hosteurope.de [80.237.129.73]
5	65 ms	61 ms	60 ms	koln-s1-rou-1071.DE.eurorings.net [134.222.99.85]
6	63 ms	63 ms	63 ms	koln-s1-rou-1072.DE.eurorings.net [134.222.227.14]
7	63 ms	72 ms	*	ffm-s1-rou-1021.DE.eurorings.net [134.222.227.17]
8	63 ms	72 ms	63 ms	ffm-s2-rou-1071.DE.eurorings.net [134.222.227.146]
9	64 ms	81 ms	62 ms	ir-frankfurt2.g-win.dfn.de [80.81.192.222]
10	*	71 ms	72 ms	xr-gar1-te2-2.x-win.dfn.de [188.1.145.54]
11	71 ms	78 ms	72 ms	kr-lrz.x-win.dfn.de [188.1.37.90]
12	78 ms	70 ms	70 ms	129.187.1.226
13	*	92 ms	71 ms	rz.fh-muenchen.de [129.187.244.212]

Ablaufverfolgung beendet.

Internet Protocol:

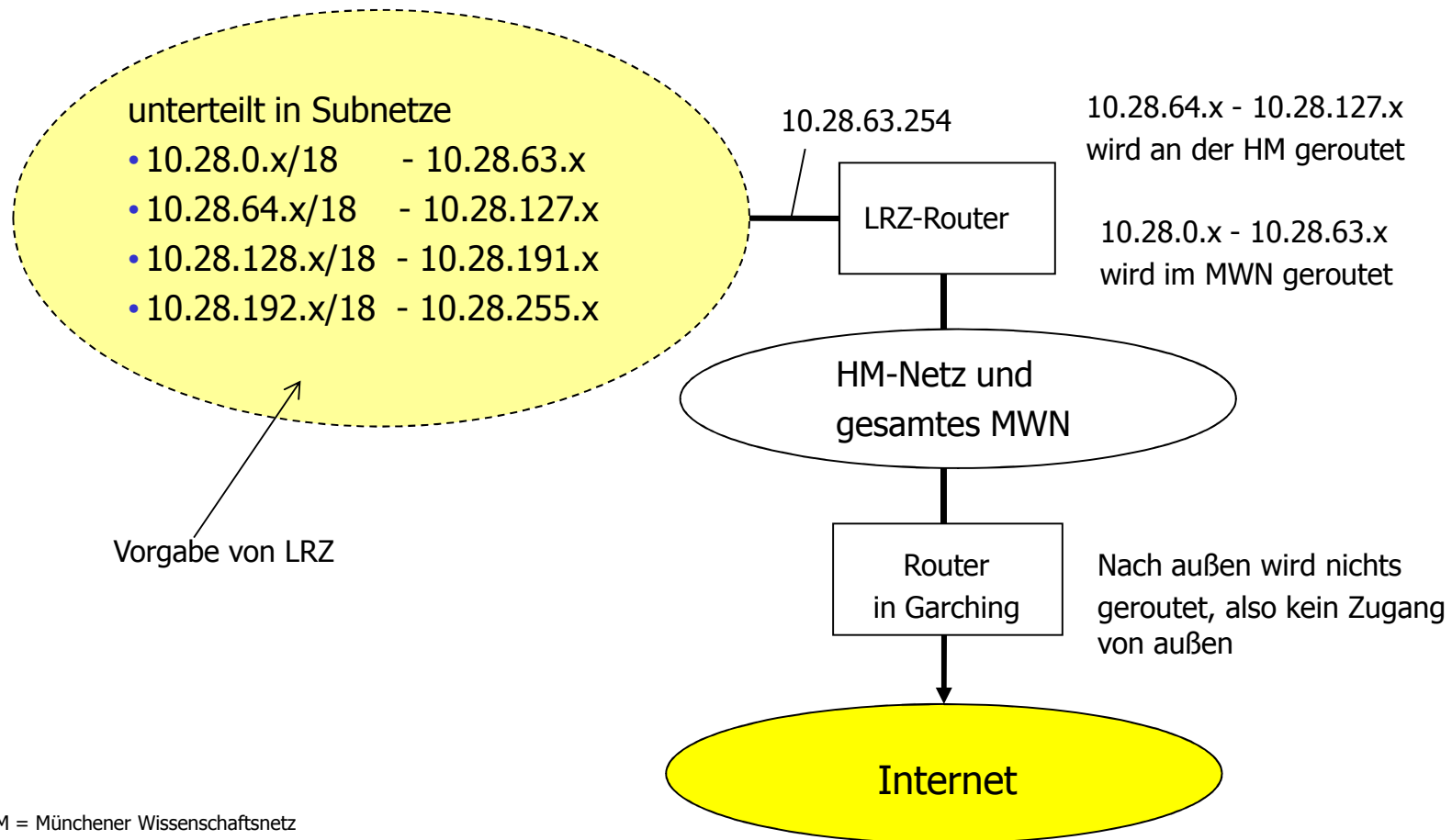
Routing-Tabellen: Beispiel 2 – iSYS-Netz

- Globale IP-Adresse von iSYS in Präfixnotation: 82.135.103.48/28 (nicht mehr ganz aktuell, nur ein Beispiel)
 - 82.135.103.48 = 0011 0000 (nicht nutzbar)
 - 82.135.103.49 = 0011 0001
 - 82.135.103.50 = 0011 0010
 - 82.135.103.51 = 0011 0011
 - 82.135.103.52 = 0011 0100 (www.isys-software.de, Webserver, siehe nslookup)
 - 82.135.103.53 = 0011 0101 (imap.isys-software.de, E-Mail-Server, siehe nslookup)
 - 82.135.103.54 = 0011 0110
 - 82.135.103.55 = 0011 0111
 - 82.135.103.56 = 0011 1000
 - 82.135.103.57 = 0011 1001
 - 82.135.103.58 = 0011 1010
 - 82.135.103.59 = 0011 1011
 - 82.135.103.60 = 0011 1100
 - 82.135.103.61 = 0011 1101
 - 82.135.103.62 = 0011 1110
 - 82.135.103.63 = 0011 1111 (nicht nutzbar)
- 14 verfügbare Adressen!!

Internet Protocol:

Routing-Tabellen: Beispiel 3 – HM - Fakultät-07-Netz

Fakultätsnetz mit IP-Adressraum 10.28.0.0/16



MWM = Münchener Wissenschaftsnetz
LRZ = Leibnitz Rechenzentrum

Internet Protocol:

Routenbestimmung: Regelwerk – Übung (1)

- Bei IP-Router R1 kommt von R5 aus dem Netzwerk 128.10.0.0/16 ein IP-Paket mit der Zieladresse 193.1.1.200 an
- Welche Route wählt R1 mit folgender Routing-Tabelle?

Routing-Tabelle R1:

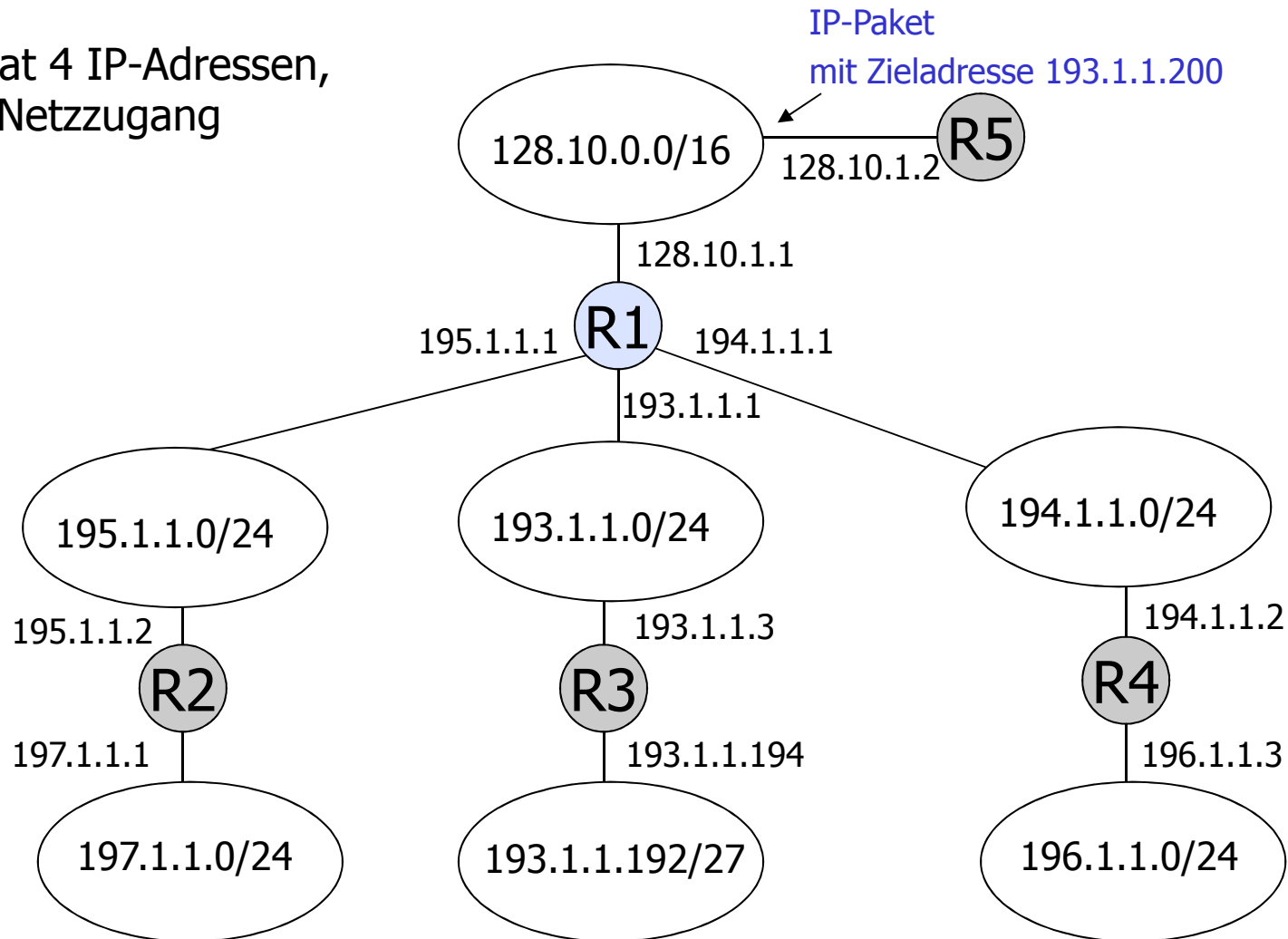
Netzwerkziel	Netzwerkmaske	Gateway	Schnittstelle	Anzahl
0.0.0.0	0.0.0.0	193.1.1.3	193.1.1.1	1
128.10.0.0	255.255.0.0	128.10.1.2	128.10.1.1	1
193.1.1.192	255.255.255.192	193.1.1.3	193.1.1.1	1
196.1.1.0	255.255.255.0	194.1.1.2	194.1.1.1	2
197.1.1.0	255.255.255.0	195.1.1.2	195.1.1.1	2

Standardgateway: 193.1.1.3

- Hinweis: Route mit größter Übereinstimmung finden!

Internet Protocol: Routenbestimmung: Regelwerk – Übung (2)

R1 hat 4 IP-Adressen,
1 je Netzzugang



Internet Protocol:

Routenbestimmung: Regelwerk – Übung (2)

■ Lösung:

- Zieladresse 193.1.1.200 = 1100 0001 . 0000 0001 . 0000 0001 . 1100 1000
- Stimmt am besten überein mit Routingtabellen-Eintrag
193.1.1.192 255.255.255.192 193.1.1.3 193.1.1.1 1

- Nachweis:

1100 0001 . 0000 0001 . 0000 0001 . 1100 1000 (Zieladresse 193.1.1.200)

1111 1111 . 1111 1111 . 1111 1111 . 1100 0000 (Netzwerkmaske 255.255.255.192)

1100 0001 . 0000 0001 . 0000 0001 . 1100 0000 (Ergebnis der Und-Operation)

1100 0001 . 0000 0001 . 0000 0001 . 1100 0000 (Netzwerkziel 193.1.1.192 in Routing-Tabelle)

Übereinstimmung mit Zieladresse 193.1.1.192 aus der Routing-Tabelle an
26 Stellen des Netzwerkanteils → beste Route!

→ Ausgewählte Schnittstelle: 193.1.1.3

Überblick

1. Überblick, Routing-Tabellen
- 2. IGP und EGP: Überblick**
3. RIPv1 und RIPv2
4. OSPF und OSPFv2
5. BGP

Internet Protocol: Routing in autonomen Systemen

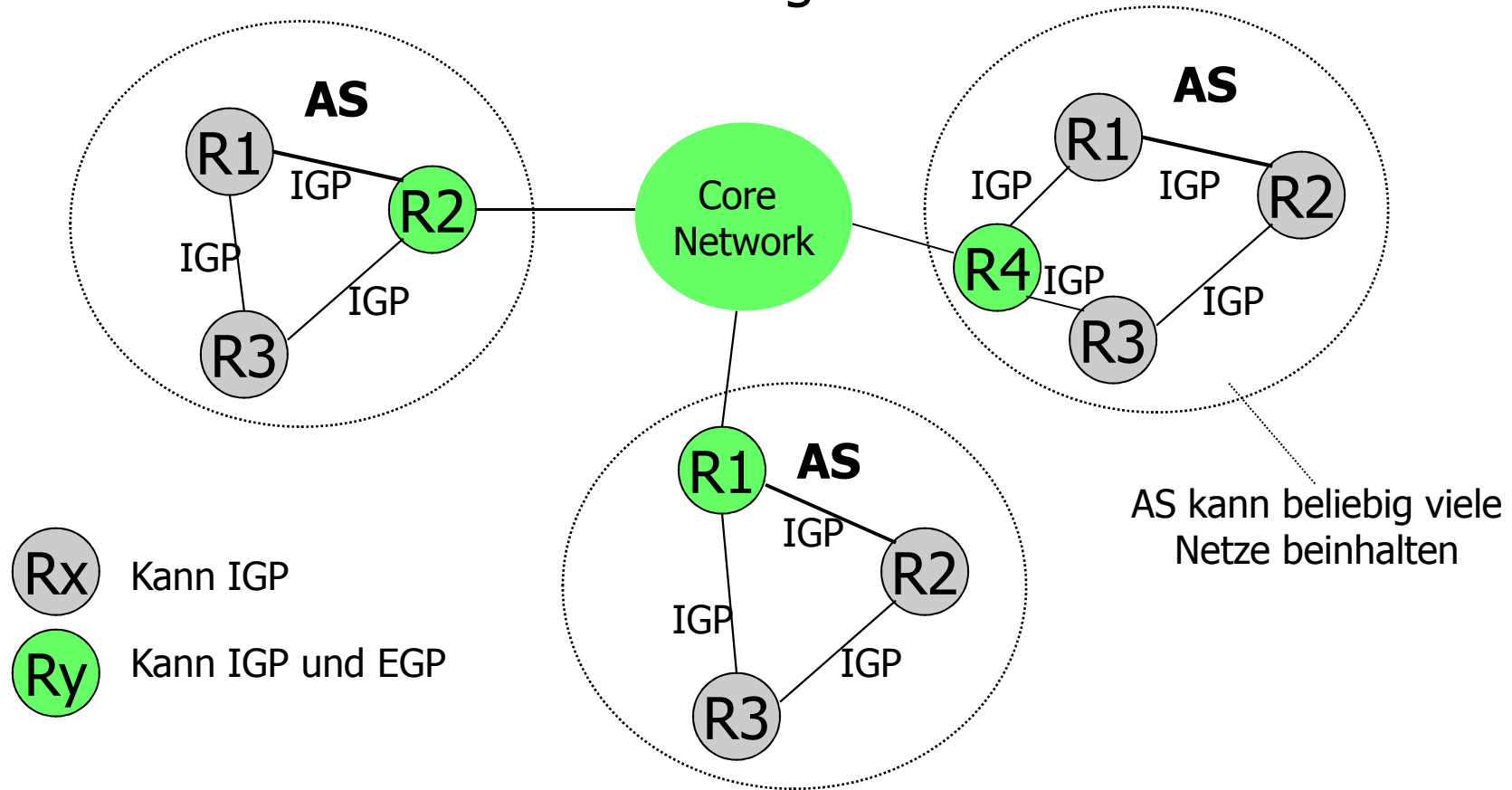
- Jedes autonome System kann intern eigene Routing-Algorithmen verwenden
- Routing-Protokolle für autonome Systeme werden als Interior Gateway Protokolle (**IGP**) bezeichnet
- Älteres Verfahren für kleinere Netze: **RIP**
 - Distance-Vector-Protokoll, aber: Count-to-Infinity-Problem
- Nachfolger von RIP seit 1990 ist **OSPF** (Open Shortest Path First), RFC 1247
 - Wird von der Internet-Gemeinde empfohlen
 - Netz wird als gerichteter Graph abstrahiert
 - Kanten zwischen den Knoten werden mit Kosten gewichtet (Bandbreite, Entfernung, Verzögerung,...)
 - Entscheidung über das Routing anhand der Kosten

Internet Protocol: Routing zwischen autonomen Systemen

- Zwischen AS werden andere Routing-Protokolle benötigt (Exterior Gateway Protocol, **EGP**)
 - Andere Ziele werden verfolgt, Beispiele:
 - Nicht alle Pakete sollen befördert werden
 - Für Transitverkehr muss bezahlt werden
 - Wichtige Informationen nicht durch unsichere autonome Systeme senden
 - ...
 - Routing-Regeln sind erforderlich, die vom Routing-Protokoll unterstützt werden müssen
 - Im Internet wird das Border Gateway Protokoll (**BGP**) empfohlen
 - Pfadvektorprotokoll, verwandt zu Distance-Vector-Protokollen
 - Im Gegensatz zum Distance-Vector-Protokoll werden ganze Pfade ausgetauscht und damit können Routing-Schleifen vermieden werden

Internet Protocol: Routing in autonomen Systemen

- IGP innerhalb eines AS muss gleich sein
- Router in einem AS werden gemeinsam administriert



Überblick

1. Überblick, Routing-Tabellen
2. IGP und EGP: Überblick
- 3. RIPv1 und RIPv2**
4. OSPF und OSPFv2
5. BGP

Internet Protocol: Routing in autonomen Systemen, RIP

- RIP (Routing Information Protocol) wurde ursprünglich von XEROX entwickelt
- Wird in kleinen AS immer noch stark verwendet
- Einfach und leicht zu implementierendes **Distance-Vector-Protocol**
- Als Metrik wird „**Hop-Count**“ verwendet
- RIPv1 ist **klassenorientiert** und ermittelt das Zielnetzwerk anhand der ersten Bits der Ziel-IP-Adresse
 - 0 = Klasse A, 10 = Klasse B, 110 = Klasse C, ...
- Implementierung unter Unix durch **routed**-Prozess
- Routing-Tabelle anschauen: **netstat -r**

Internet Protocol: Routing in autonomen Systemen, RIP

- RIP versendet die Routing-Einträge alle 30 s in sog. Advertisement-PDUs
 - RIPv1 über MAC-Broadcast
 - RIPv2 über Multicast auf Subnetzebene
- Weitere Timer für das Deaktivieren (180 s) und Entfernen (240 s) von Routing-Einträgen definiert
- Nicht geeignet für WAN-Routing, eher im LAN wegen Broadcast/Multicast
- Max. 25 Routeneinträge pro RIP-Nachricht und es werden immer alle Routen übertragen
 - Ggf. mehrere RIP-PDUs senden

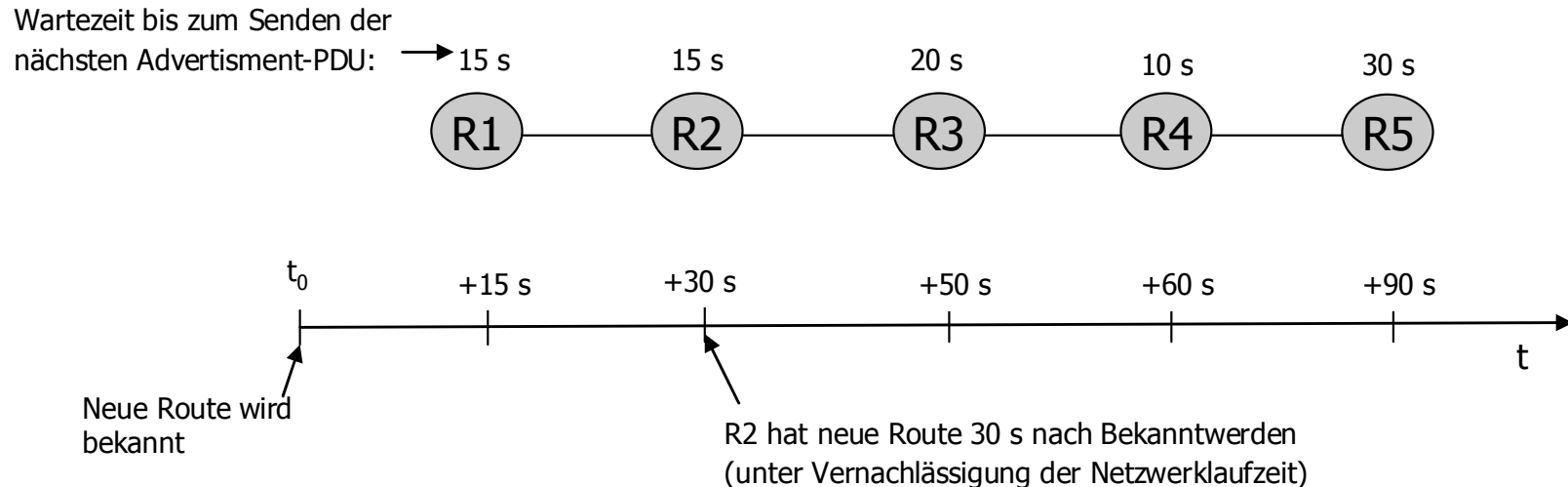
Internet Protocol: Routing in autonomen Systemen, RIP

- **Konvergenzzeit:** Zeit, die erforderlich ist, bis alle Router die aktuelle Struktur eines Netzes kennen gelernt haben → Konsistentes Netzwerk
 - Ist bei RIP relativ lange, da RIP-Router Änderungen erst verarbeiten und dann an die Nachbarn propagieren
- **Split Horizon** ist eine Methode, um die Konvergenzzeit kürzer zu halten und um Routing-Schleifen zu vermeiden
- Anm: Max. 15 Hops wurden gewählt, um die Konvergenzzeit zu beschränken

Internet Protocol:

Routing in autonomen Systemen, RIP

- Konvergenzzeit und das Problem der langsamen Konvergenz
- Verbreitung von Routing-Tabellen-Einträgen in mehreren Takten
a` 30 s bestimmt die Konvergenzzeit
- Bis zum nächsten Senden einer Advertisement-PDU dauert es im Mittel 15 s, zufallsabhängig

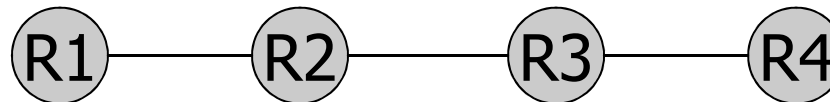


Internet Protocol:

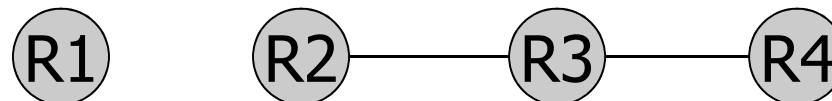
Routing in autonomen Systemen, RIP-Beispiel (1)

- **Routing-Schleifen** („Count-to-Infinity-Problem“) möglich
 - Lösung 1: **Split-Horizon-Technik** → Routing-Tabellen enthalten **zusätzlich** die Info, woher die Routing-Info kommt
 - Lösung 2: **Poison-Reverse** (vergifteter Rückweg) → Alle Routen werden propagiert, aber zum Ursprungsnetz hin als „nicht erreichbar“ („vergiftet“)
- Beispiel:

a) Alle Verbindungen R1-R2, R2-R3 und R3-R4 intakt



b) Verbindung R1-R2 fällt aus

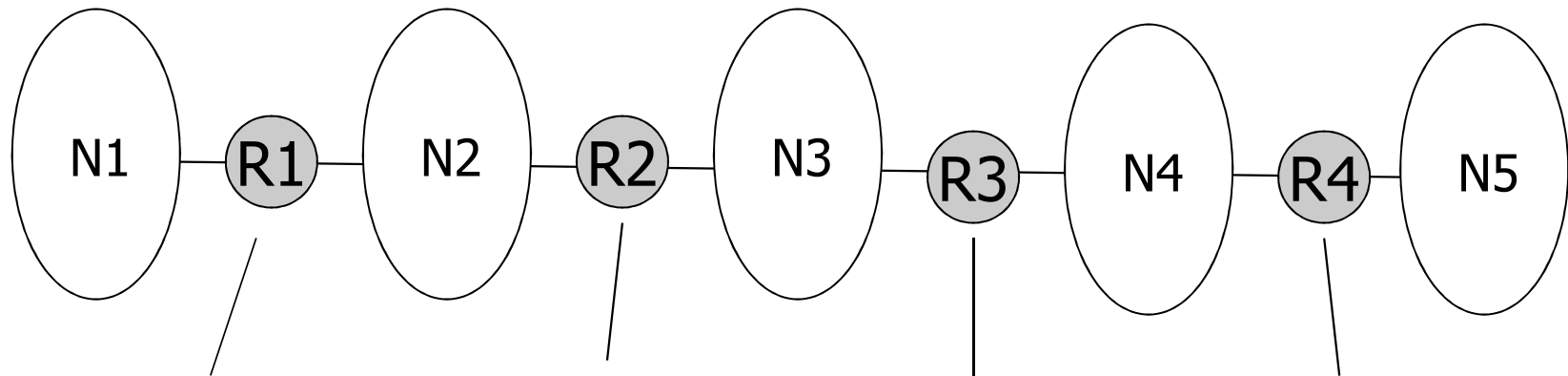


- Was passiert mit und ohne Split-Horizon?

Internet Protocol:

Routing in autonomen Systemen, RIP-Beispiel (2)

- Routing-Tabellen im eingeschwungenen Zustand (nach einer angemessenen Konvergenzzeit)

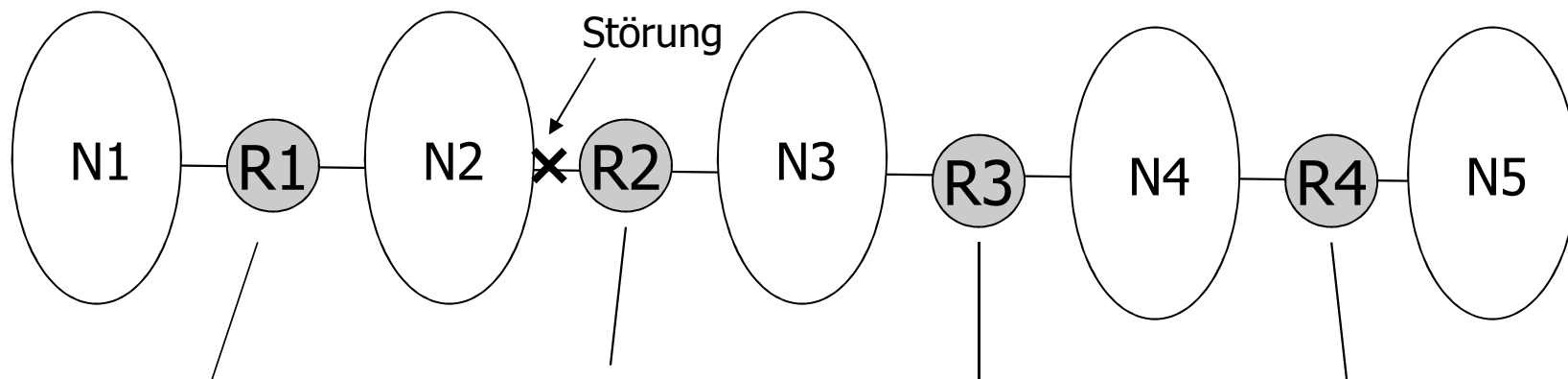


Router R1			Router R2			Router R3			Router R4		
Ziel-netz	Anzahl Hops	Über Router	Ziel-netz	Anzahl Hops	Über Router	Ziel-netz	Anzahl Hops	Über Router	Ziel-netz	Anzahl Hops	Über Router
N1	1	direkt	N1	2	R1	N1	3	R2	N1	4	R3
N2	1	direkt	N2	1	direkt	N2	2	R2	N2	3	R3
N3	2	R2	N3	1	direkt	N3	1	direkt	N3	2	R3
N4	3	R2	N4	2	R3	N4	1	direkt	N4	1	direkt
N5	4	R2	N5	3	R3	N5	2	R4	N5	1	direkt

Internet Protocol:

Routing in autonomen Systemen, RIP-Beispiel (3)

- Störung im Netzwerkzugang von R2 zu N2: R2 korrigiert sofort



Router R1			Router R2			Router R3			Router R4		
Ziel-netz	Anzahl Hops	Über Router	Ziel-netz	Anzahl Hops	Über Router	Ziel-netz	Anzahl Hops	Über Router	Ziel-netz	Anzahl Hops	Über Router
N1	1	direkt	N1	16	---	N1	3	R2	N1	4	R3
N2	1	direkt	N2	16	---	N2	2	R2	N2	3	R3
N3	2	R2	N3	1	direkt	N3	1	direkt	N3	2	R3
N4	3	R2	N4	2	R3	N4	1	direkt	N4	1	direkt
N5	4	R2	N5	3	R3	N5	2	R4	N5	1	direkt

Internet Protocol: Routing in autonomen Systemen, RIP-Beispiel (4)

■ Ohne Split Horizon:

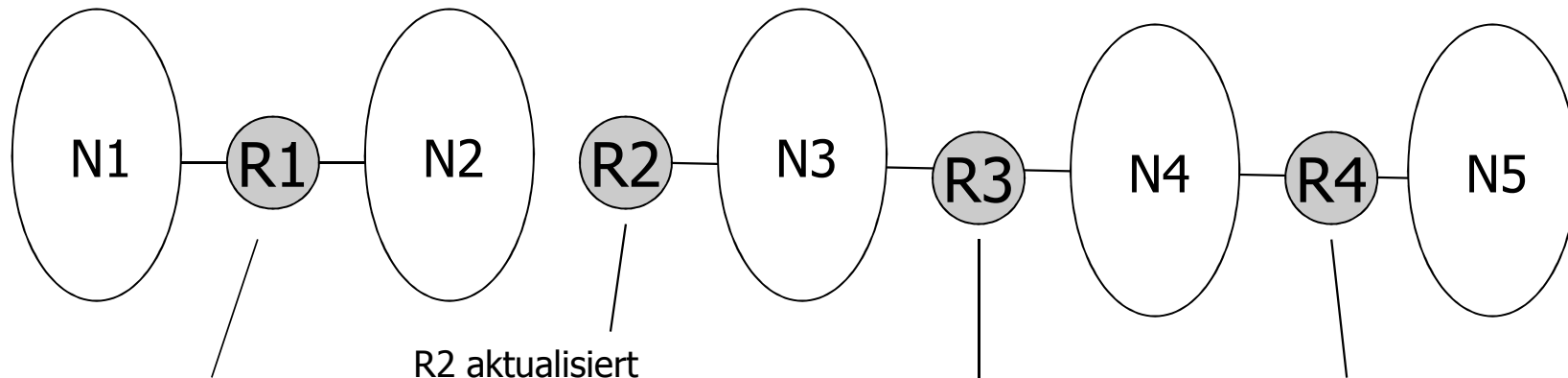
- R3 hat noch die Routing-Info, **dass N1 über drei Hops** erreichbar ist
- R3 propagiert diese Info an R2, also an den Router, über den R1 erreicht wurde
- R2 glaubt dies und sendet Pakete zu R1 nun über R3
- Ping-Pong-Effekt, Routing-Schleife bis Hop-Count = 16, dann erst wird R1 als nicht erreichbar markiert

- Im Folgenden aus Sicht von R2 und R3 skizziert!

Internet Protocol:

Routing in autonomen Systemen, RIP-Beispiel (5)

- Nun sendet R3 eine RIPv1-Advertisement-PDU an seinen Nachbarn R2 → {(N1, 3), (N2, 2), (N3, 1), (N4, 1), (N5, 2)}

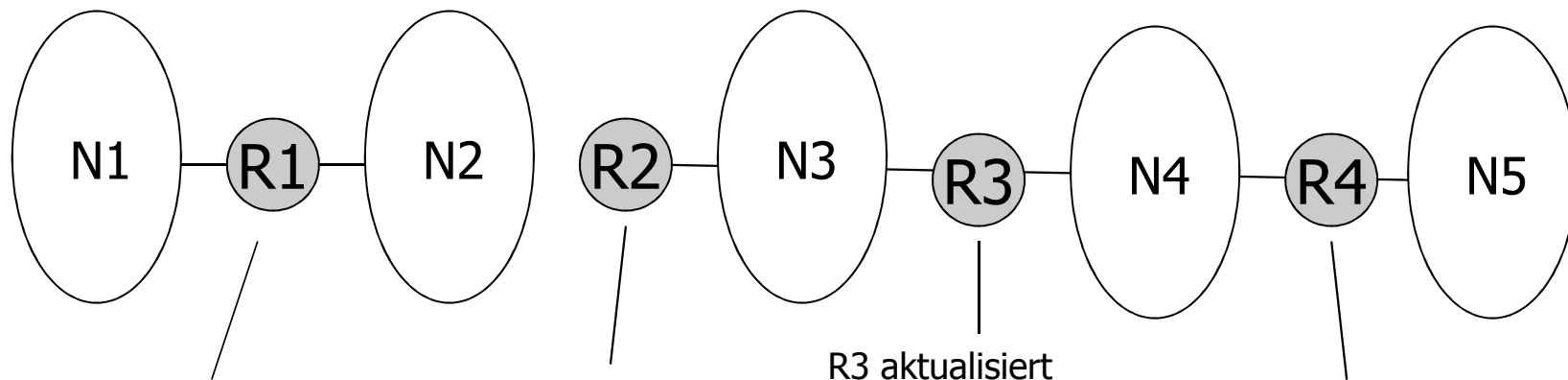


Router R1			Router R2			Router R3			Router R4		
Ziel-netz	Anzahl Hops	Über Router	Ziel-netz	Anzahl Hops	Über Router	Ziel-netz	Anzahl Hops	Über Router	Ziel-netz	Anzahl Hops	Über Router
N1	1	direkt	N1	4	R3	N1	3	R2	N1	4	R3
N2	1	direkt	N2	3	R3	N2	2	R2	N2	3	R3
N3	2	R2	N3	1	direkt	N3	1	direkt	N3	2	R3
N4	3	R2	N4	2	R3	N4	1	direkt	N4	1	direkt
N5	4	R2	N5	3	R3	N5	2	R4	N5	1	direkt

Internet Protocol:

Routing in autonomen Systemen, RIP-Beispiel (6)

- Als nächstes sendet R2 eine RIPv1-Advertisement-PDU an seinen Nachbarn R3 → {(N1, 4), (N2, 3), (N3, 1), (N4, 2), (N5, 3)}

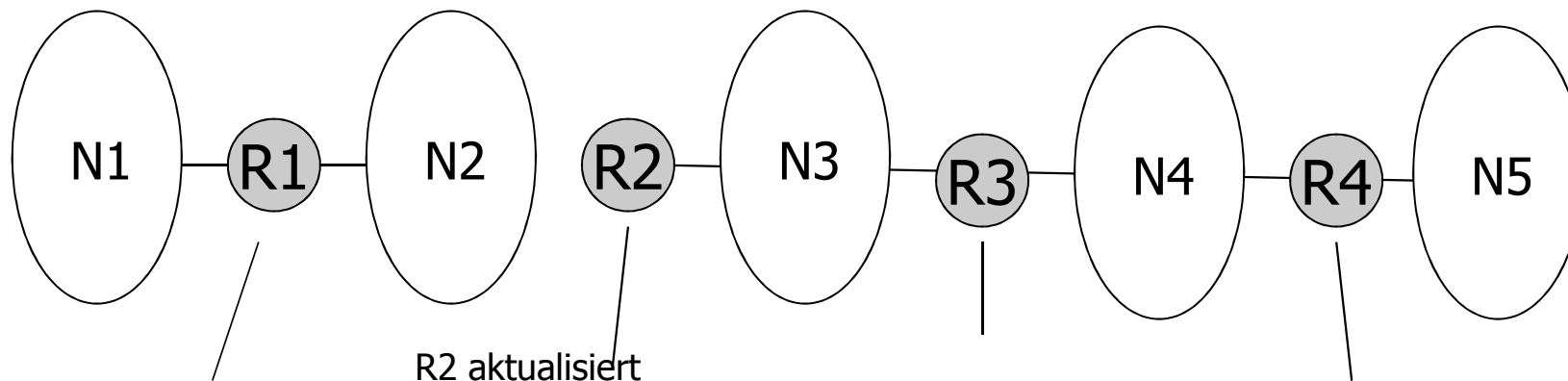


Router R1			Router R2			Router R3			Router R4		
Ziel-netz	Anzahl Hops	Über Router	Ziel-netz	Anzahl Hops	Über Router	Ziel-netz	Anzahl Hops	Über Router	Ziel-netz	Anzahl Hops	Über Router
N1	1	direkt	N1	4	R3	N1	5	R2	N1	4	R3
N2	1	direkt	N2	3	R3	N2	4	R2	N2	3	R3
N3	2	R2	N3	1	direkt	N3	1	direkt	N3	2	R3
N4	3	R2	N4	2	R3	N4	1	direkt	N4	1	direkt
N5	4	R2	N5	3	R3	N5	2	R4	N5	1	direkt

Internet Protocol:

Routing in autonomen Systemen, RIP-Beispiel (7)

- Nun sendet R3 wieder eine RIPv1-Advertisement-PDU an seinen Nachbarn R2 → {(N1, 5), (N2, 4), (N3, 1), (N4, 1), (N5, 2)}



Router R1			Router R2			Router R3			Router R4		
Ziel-netz	Anzahl Hops	Über Router	Ziel-netz	Anzahl Hops	Über Router	Ziel-netz	Anzahl Hops	Über Router	Ziel-netz	Anzahl Hops	Über Router
N1	1	direkt	N1	6	R3	N1	5	R2	N1	4	R3
N2	1	direkt	N2	5	R3	N2	4	R2	N2	3	R3
N3	2	R2	N3	1	direkt	N3	1	direkt	N3	2	R3
N4	3	R2	N4	2	R3	N4	1	direkt	N4	1	direkt
N5	4	R2	N5	3	R3	N5	2	R4	N5	1	direkt

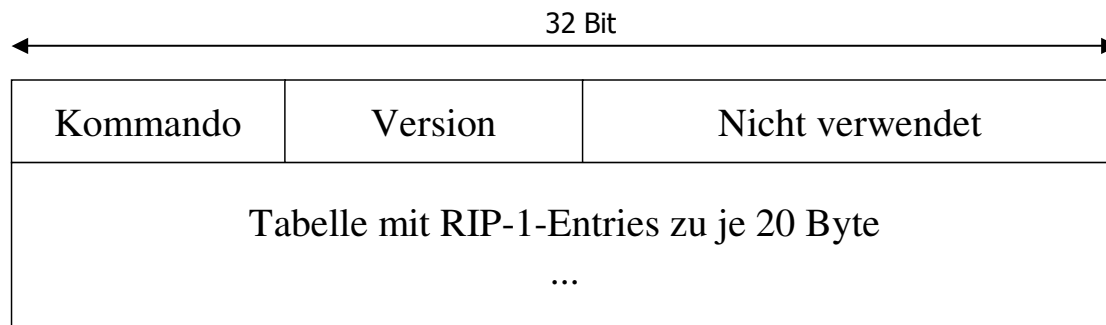
USW.

Internet Protocol: Routing in autonomen Systemen, RIP-Beispiel (8)

- **Mit Split Horizon:**
 - R3 weiß, woher die Routing-Info für **N1** kommt (von R2)
 - Route mit höheren Kosten wird nicht zurückpropagiert
 - Keine Routing-Schleife (in diesem Fall)

Internet Protocol: Routing in autonomen Systemen, RIPv1-PDU

- Metrik = 16 → Netzwerkziel nicht erreichbar
- AFI = Adressierungsart, bei IP-Adressen immer 0x02

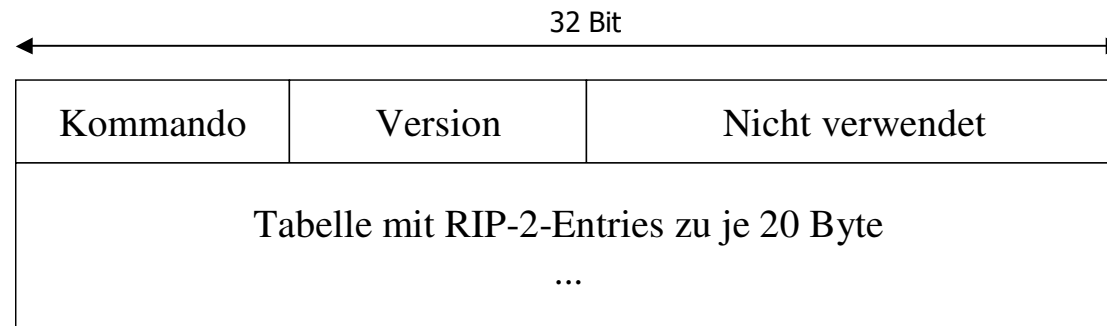


RIP-1-Entry:

Address-Family-Identifizier	Nicht verwendet
IPv4-Adresse	
Nicht verwendet	
Nicht verwendet	
Metrik	

Internet Protocol: Routing in autonomen Systemen, RIPv2-PDU

- Next-Hop: Direkte Angabe eines Zielhosts möglich



RIP-2-Entry:

Address-Family-Identifizier	Route-Tag
IPv4-Adresse	
Subnet-Mask	
Next-Hop	
Metrik	

Internet Protocol: Routing in autonomen Systemen, RIP

■ Sonstiges zu RIP

- RIPv1 **unterstützt** CIDR/VLSM **nicht**
 - Subnetzmaske wird in RIPv1 **nicht** übermittelt
 - Klasse wird aus den ersten Bits der Ziel-IP-Adresse ermittelt
- RIPv2 **unterstützt** CIDR/VLSM
- RIPv2 kann **Split-Horizon** und Split-Horizon mit Poisson-Reverse
- RIPv2 kann selbst ausgelöste Router-Aktualisierungen (**Triggered Updates**) bei Ankunft einer Advertisement-PDU
 - Höhere, aber immer noch nicht perfekte Konvergenz, mehr Netzwerklast
- RIPv1 kommuniziert über **Broadcast**, RIPv2 über **Multicast**

Überblick

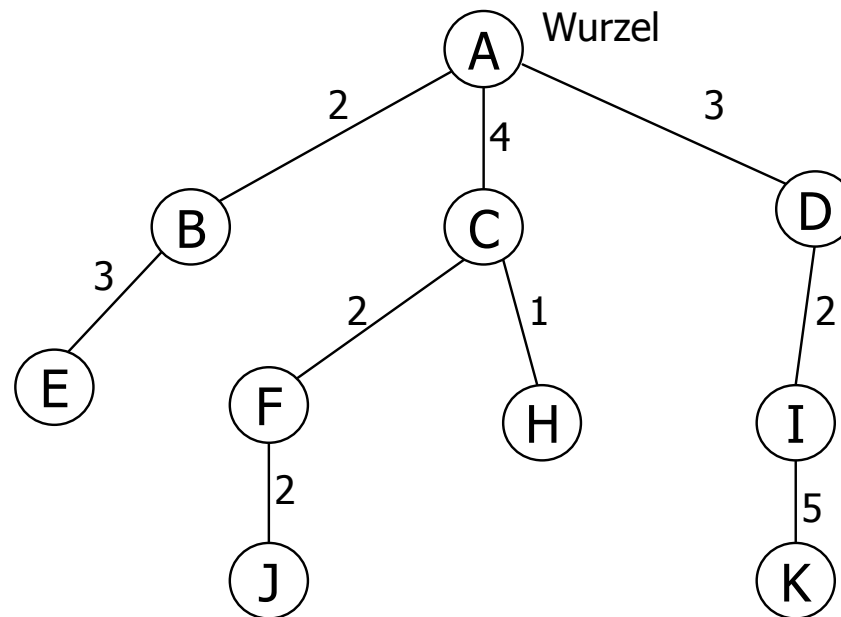
1. Überblick, Routing-Tabellen
2. IGP und EGP: Überblick
3. RIPv1 und RIPv2
- 4. OSPF und OSPFv2**
5. BGP

Internet Protocol: Routing in autonomen Systemen, OSPF

- OSPF ist **für große Unternehmensnetze** gedacht, für kleine wird noch RIP bzw. statische Routing-Tabellen verwendet
- **Offener** Standard (Open SPF), RFC 1247 u. 2328
- OSPF ist ein **Link-State-Protocol**
 - „Link State“ ist der Zustand einer Verbindung zweier Router
→ zustandsorientiert statt entfernungsorientiert (RIP)
- Kommunikation mit unmittelbaren, **designierten Nachbarn** zum Austausch der Routing-Information
- Jeder Router führt **eigene Datenbasis** (Link-State-Datenbank) mit allen Routing-Einträgen des Netzes

Internet Protocol: Routing in autonomen Systemen, OSPF, SPF-Baum

- Jeder IP-Router erzeugt aus seiner Sicht einen Spanning Tree (SPF-Baum) für das ganze Netzwerk
- Wurzel ist der Router selbst
- Verzweigung = günstigste Route



Internet Protocol: Routing in autonomen Systemen, OSPF, Sonst. Features

- **Load Balancing** bei Pfaden mit gleichen Kosten
 - gleichmäßige Verteilung, besser als bei RIP
- Nutzung spezieller **Multicast-Adressen** zur Kommunikation
- Unterstützung der Router-**Authentifizierung** zur Vermeidung von Angriffen (mehr Sicherheit)

- Metriken (Kosten) in RFCs nicht festgelegt
 - Cisco IOS (Internet Operating System) verwendet z.B. als Metrik die Gesamtbandbreite aller Ausgangsschnittstellen vom aktuellen Router bis zum Zielnetzwerk

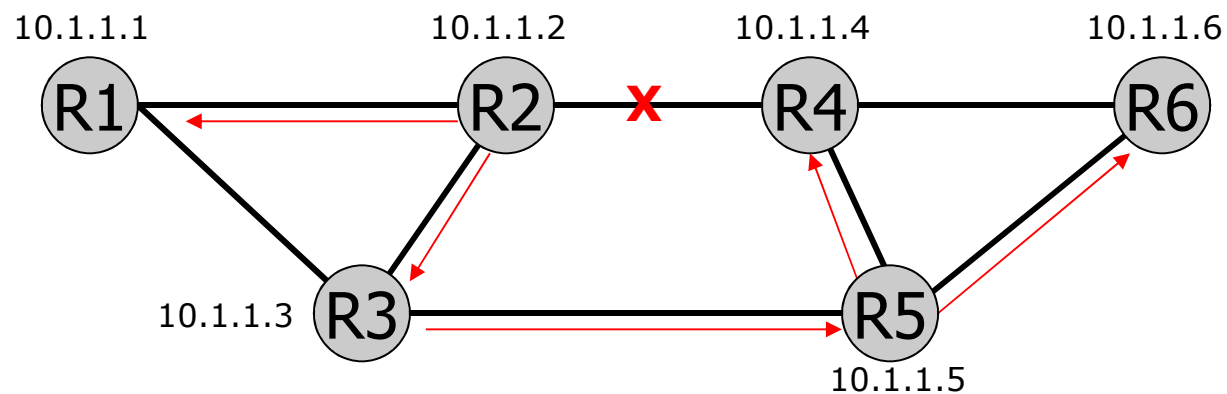
Internet Protocol: Routing in autonomen Systemen, OSPF, Funktionalität

- Alle Router suchen beim Start ihre Nachbarn mit **Hello-PDUs**, aber nicht alle angrenzenden Router werden auch zu Nachbarn (sog. **adjacents**)
- **Zyklischer Abgleich** der Link-State-Datenbanken mit den Nachbarn
- **Lebendüberwachung** periodisch unter den Nachbarn
- **Link State Updates** (Konsistente Datenhaltung in allen Routern) periodisch **und** bei Topologieänderungen
- **Refreshing** spätestens alle 30 Minuten

Internet Protocol:

Routing in autonomen Systemen, OSPF-Konvergenz

- Verteilung einer Veränderung im Netz geht schnell und Information wird vor der Verarbeitung weiterkommuniziert
 - Hohe Konvergenz
- Beispiel für Routen-Austausch:
 - Verbindung zwischen 10.1.1.2 und 10.1.1.4 fällt aus
 - Link-State Updates werden über das ganze Netz verteilt
 - Nachdem DB synchronisiert ist, gibt es nur noch eine kürzeste Route



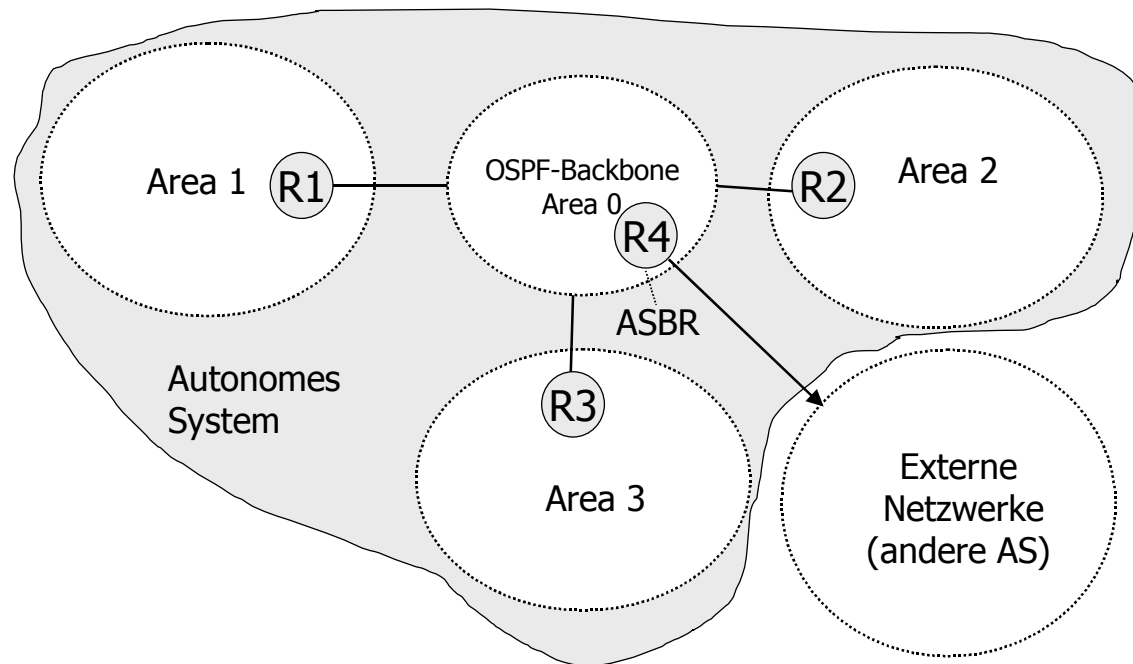
Vgl. Dirk Jakob, Folienvortrag

Internet Protocol:

Routing in autonomen Systemen, OSPF-Routertypen

- Bei OSPF gibt es vier Router-Klassen
 - Interne Router der Area
 - Router an Bereichsgrenzen (Area-Grenzen)
 - Verbinden zwei oder mehrere Areas
 - Backbone-Router
 - Befinden sich im Backbone
 - AS-Grenz-Router (ASBR)
 - Vermitteln zwischen autonomen Systemen
- Bei Einsatz in Broadcast-orientierten LANs:
Verwendung von sog. designierten Routern
 - Alle Router bauen eine Nachbarschaft (Adjacencies) zu diesem Router auf → Reduzierung der Kommunikation

Internet Protocol: Routing in autonomen Systemen, OSPF-Backbone



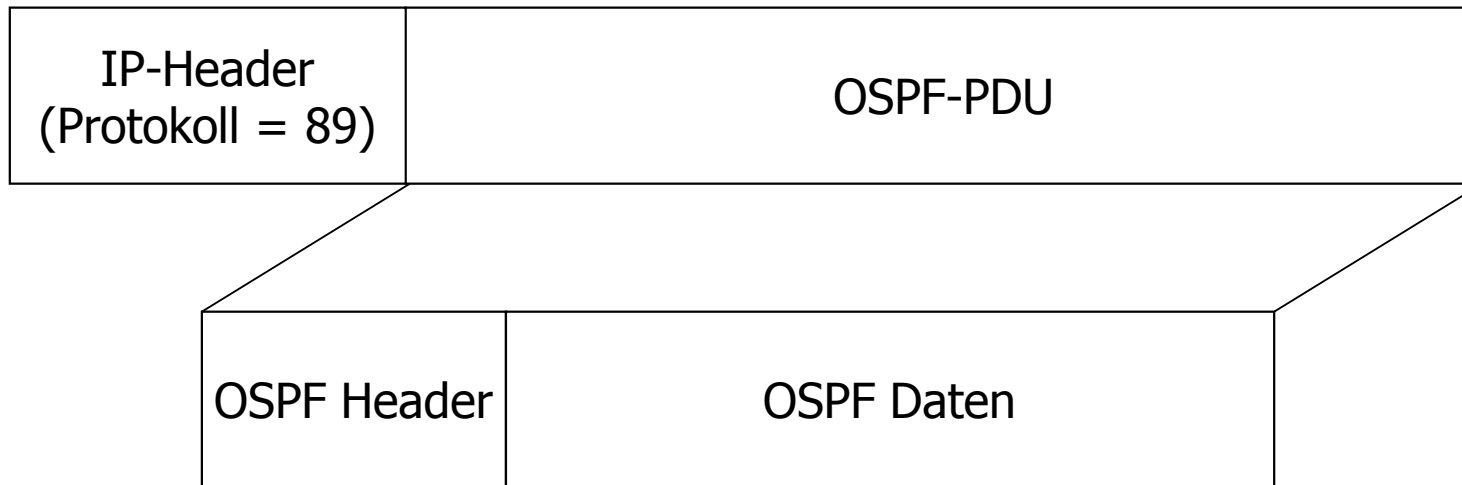
- R1, R2, R3 = Router an Bereichsgrenzen
- R4 = AS-Grenz-Router (ASBR), vermittelt zwischen autonomen Systemen

Internet Protocol: Routing in autonomen Systemen, OSPF-Nachbarschaften

- Nachbarschaften werden bei der Initialisierung aufgebaut
 - Senden von Hello-PDUs alle 10 s
 - Hello-PDUs enthalten bekannte Nachbar-Router
- Wenn Nachbarschaft aufgebaut ist, wird alle 40 s eine Hello-PDU als Heartbeat gesendet
 - Bleibt diese aus, wird Nachbar für ausgefallen erklärt
- Die Verteilung von Änderungen der Routing-Tabellen erfolgt immer zu allen Nachbarn

Internet Protocol: Routing in autonomen Systemen, OSPF-PDUs

- Es gibt fünf OSPF-PDU-Typen:
 - **Hello:** Feststellung der Nachbarn, Aufbau von Nachbarschaften
 - **Database Description:** Bekanntgabe der neuesten Daten
 - **Link State Request:** Informationen vom Partner anfordern
 - **Link State Update:** Informationen an Nachbarn verteilen
 - **Link State Acknowledgement:** Bestätigung eines Updates



Internet Protocol: Routing in autonomen Systemen, OSPF-PDUs

- PDUs werden direkt über IP gesendet, (siehe IP-Header, Protokoll = 89)
- Direkte Übertragung an Nachbarn oder über spezielle Multicast-Adressen
- OSPF-PDUs werden nur zwischen Nachbarn ausgetauscht
- Kein Weiterleiten außerhalb des eigenen Netzes (IP-Header, TTL=1)

Vgl. Comer, Volume I, S. 255 ff für weitere Informationen zu den PDU-Inhalten

Übungen (1)

- Welche Routing-Informationen verwaltet RIP und welche OSPF?
 - RIP verwaltet als Distanz-Vektor-Protokoll die Entfernung (Anzahl Hops) und Richtung zum Ziel (Vektor)
 - OSPF verwaltet sog. Links in einer sog. Link-State-Datenbasis. In dieser wird die gesamte Topologie des Netzes verwaltet
 - Bei OSPF sind also alle Routen im Netz genau bekannt, bei RIP nicht
- Warum konvergiert OSPF im Vergleich zu RIPv2 besser?
 - Beide senden Veränderungen sofort (Triggered Update)
 - RIPv2 verarbeitet die Routing-Updates zuerst und dann werden sie an die Nachbarn weitergereicht, bei OSPF ist dies genau umgekehrt

Übungen (2)

- Wie werden bei RIP und bei OSPF die Kosten (Metrik) berechnet?
 - Bei RIP: Anzahl Hops ist die verwendete Metrik
 - Bei OSPF: Nicht festgelegt, Cisco nutzt z.B. die Bandbreite des Gesamtpfades als Metrik, je größer, umso besser. Dies geht, da die Gesamttopologie bekannt ist.

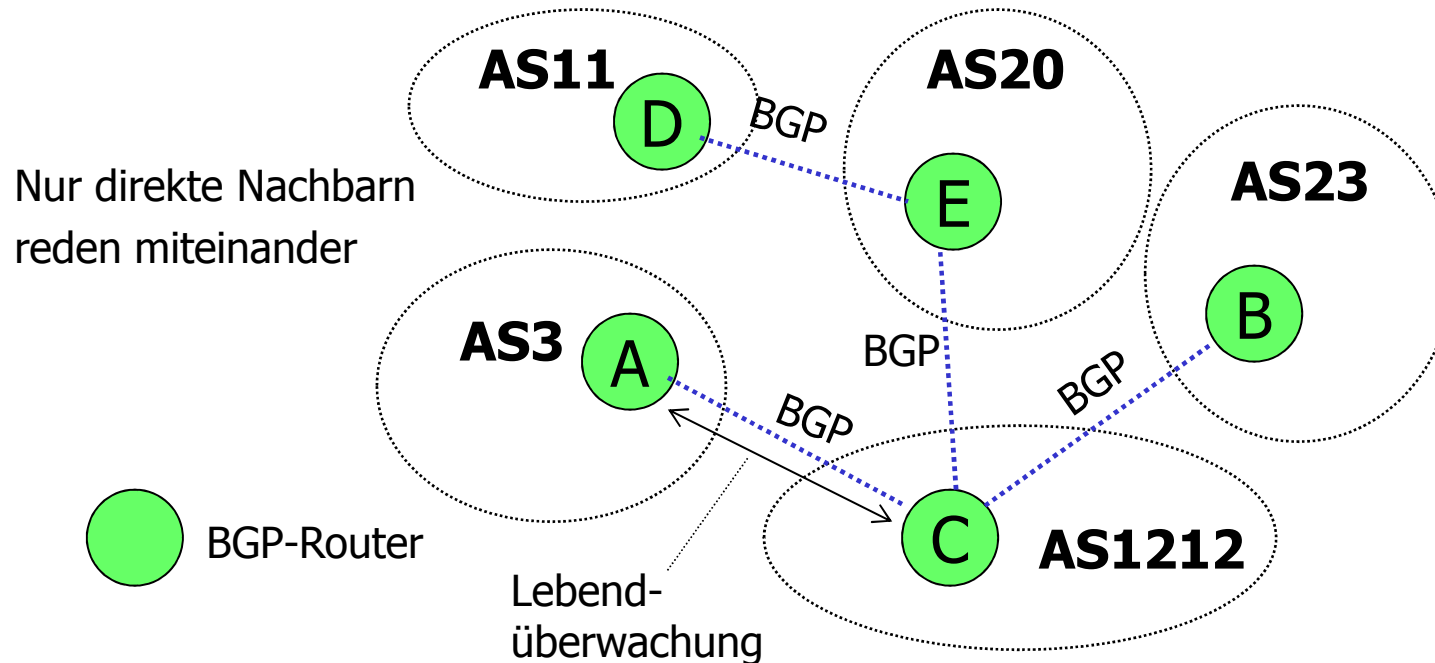
Überblick

1. Überblick, Routing-Tabellen
2. IGP und EGP: Überblick
3. RIP-1 und RIP-2
4. OSPF und OSPFv2
- 5. BGP**

Internet Protocol:

Routing über autonome Systeme hinweg, BGP

- BGP (= Border Gateway Protocol) ist ein EGP (RFC 1654), derzeit im Internet nur BGP im Einsatz
- BGP ermöglicht das Routing zwischen verschiedenen autonomen Systemen (AS)
- Aktuelle Version: BGP 4

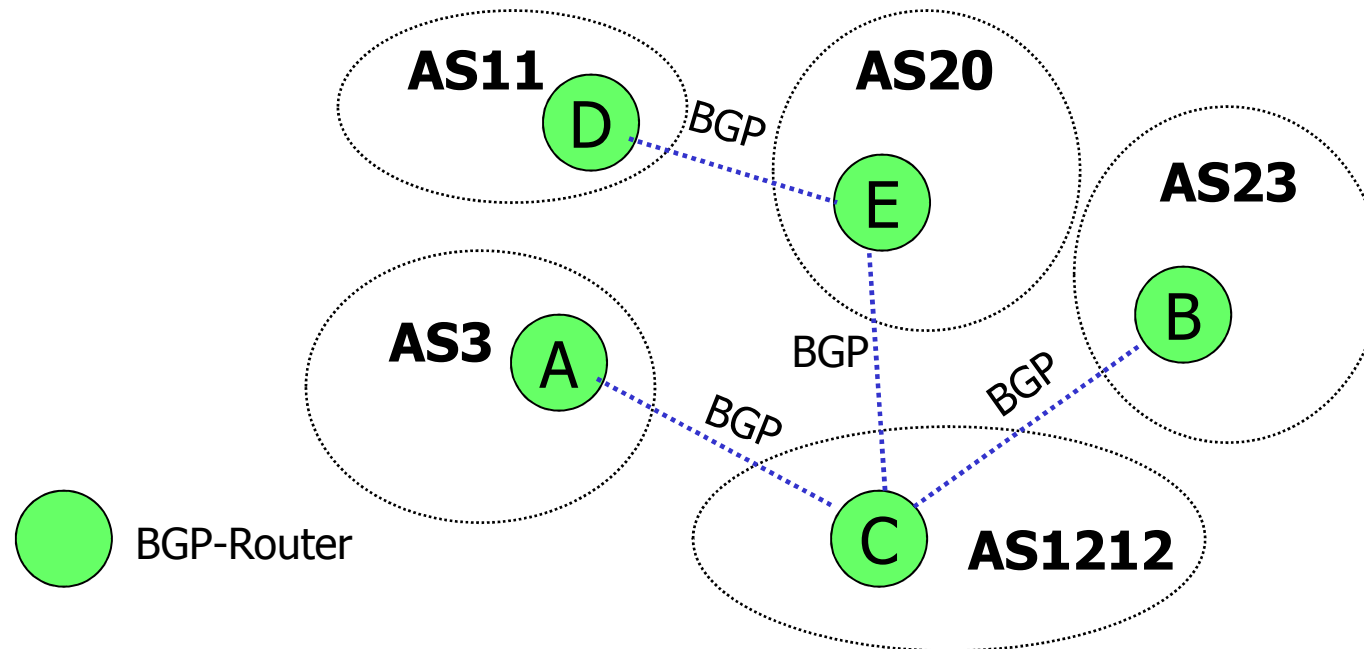


Internet Protocol: Routing über autonome Systeme hinweg, BGP

- BGP ist ein **Pfadvektorprotokoll** (Path Vector Protocol), ähnelt dem Distance-Vector-Protokoll
- BGP-Router kennen die besten Route zu anderen AS als **vollständigen** Pfad (**auf AS-Ebene**)
- Jeder BGP-Router führt eine **Datenbank** mit Routen zu allen erreichbaren autonomen Systemen
- Routing-Tabellengröße:
 - ~ 200.000 Einträge und mehr nicht selten

Internet Protocol: Routing über autonome Systeme hinweg, BGP

- Routing-Tabelle von D enthält folgende Routen:
 - AS11 – AS20
 - AS11 – AS20 – AS1212
 - AS11 – AS20 – AS1212 – AS23
 - AS11 – AS20 – AS1212 – AS3



Internet Protocol: Routing über autonome Systeme hinweg, BGP

- Ein BGP-Router informiert **periodisch** alle **Nachbar-**BGP-Router **genau** über die zu nutzenden Routen
 - UPDATE-PDUs werden versendet, sog. Advertisements
- Zyklen in Routen (Routing-Schleifen) werden bei Übernahme der Information geprüft
 - Eigene AS-Nummer darf nicht in Route sein
 - Count-to-Infinity-Problem tritt nicht auf
- BGP-Router überwachen sich gegenseitig (Heartbeat-Protokoll → KEEPALIVE-PDU)

Internet Protocol: Routing über autonome Systeme hinweg, BGP

- BGP-Router verwendet zur Auswahl der besten Routen eine **Routing-Policy**
- Routing-Policy (Regeln), Beispiele:
 - Kein Verkehr über einen bestimmten Knoten
 - Sicherheitsaspekte
 - Kostenaspekte
 - ...
- Eine Route, die die Regeln verletzt, wird auf „unendlich“ gesetzt
- BGP nutzt TCP (Port 179) als Transportprotokoll für seine Nachrichten (verbindungsorientiert!)

Rückblick

1. Überblick, Routing-Tabellen
 2. IGP und EGP: Überblick
 3. RIPv1 und RIPv2
 4. OSPF und OSPFv2
 5. BGP
-
- Interessant wäre auch
 - Routing für mobile Systeme, Ad-hoc Routing,...
 - Routing für Multicast
 - OSPF for IPv6 (OSPFv3)