

---

# IP - Routing

## Netzwerkgrundlagen (NWG2)

Markus Zeilinger<sup>1</sup>

<sup>1</sup>FH Oberösterreich  
Department Sichere Informationssysteme

Sommersemester 2023



UNIVERSITY  
OF APPLIED SCIENCES  
UPPER AUSTRIA

*Alle Materialien, die im Rahmen dieser LVA durch den LVA-Leiter zur Verfügung gestellt werden, wie zum Beispiel **Foliensätze, Audio-Aufnahmen, Übungszettel, Musterlösungen, ...** dürfen **ohne explizite Genehmigung** durch den LVA-Leiter **NICHT** weitergegeben werden!*

Basics

Routen & Routing-Tabellen

Routing-Tabelle Beispiele

Routing-Entscheidungen

Routing-Protokolle

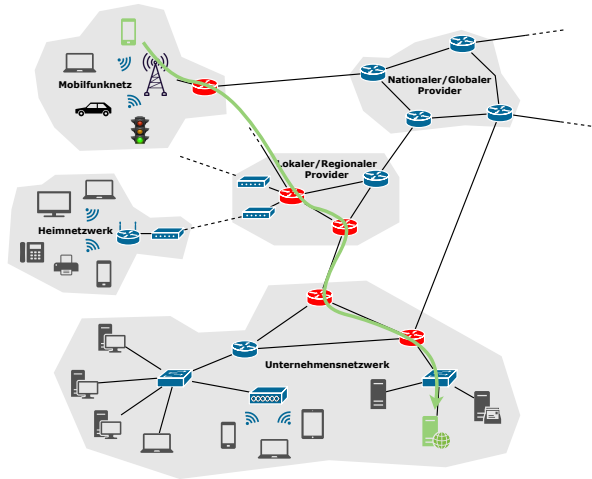
Routing/Router Praxis

Add-On

- ▶ Netzwerkschicht Service: Übertragung von Paketen zw. Systemen in beliebigen Netzwerken (→ Paketvermittlung)
- ▶ Kernaspekte: Finden eines (optimalen) Wegs von einer Quelle A zu einem Ziel B + Weiterleitung von Paketen entlang dieses Wegs
  - ▶ WICHTIG! Der Weg zwischen A und B muss nicht für alle Pakete der gleiche sein (→ Paketvermittlung)!
- ▶ Begriffe
  - ▶ Wegefindung im Netzwerk = Routing (sprich: ['ru:tɪŋ] oder ['raʊtɪŋ])
  - ▶ Weiterleitung auf einem System = Forwarding
- ▶ IPv4 und IPv6 arbeiten in Bezug auf Routing und Forwarding völlig ident.

# IP - Routing

## Basics II



- ▶ Das Routing trifft die **Entscheidung**, über welches **Netzwerk Interface** Pakete **bestimmter Art** (zumeist **Ziel-IP-Adresse**) zu versenden sind.
  - ▶ Routing ist eine **Hop-by-Hop-Entscheidung**, d. h. jedes/r System/Router trifft diese Entscheidung für sich selbst, unabhängig von allen anderen (→ Paketvermittlung).
  - ▶ Nicht nur Router treffen Routing-Entscheidungen, **alle über IP kommunizierenden Systeme** entscheiden auf diese Art und Weise.
- ▶ Routing-Entscheidungen werden auf Basis von **Routing-Tabellen** (RT) (auch: **Routing Information Base [RIB]**) getroffen.
- ▶ Ein Eintrag in einer RT ist eine **Route** und beschreibt die **Erreichbarkeit eines IP Netzwerks**.
- ▶ Routen in RTs entstehen durch **statische Konfiguration** oder durch **dynamische Routing-Protokolle**.

- ▶ Eine **Route** beschreibt die **Erreichbarkeit eines IP Netzwerks**.

### 1. Direkte Route

- ▶ Route in ein **direkt angeschlossenes Netzwerke**, d. h. das Netzwerk ist über ein Netzwerk Interface am System direkt angeschlossen.
- ▶ Notwendige Informationen: **IP-Adresse, Netzmaske, Netzwerk Interface**

### 2. Indirekte (Gateway) Route

- ▶ Route in ein **entferntes Netzwerk**, d. h. das Netzwerk ist über (zumindest) einen anderen Router (= Next Hop) erreichbar.
- ▶ Notwendige Informationen: **IP-Adresse, Netzmaske, Gateway (IP Adresse des Next Hops)**, [Metrik]
- ▶ Das Gateway muss über andere Routen in der RT erreichbar sein.

- ▶ Ein Sonderfall einer Gateway Route ist die s. g. **Default (Gateway) Route** (→ Netzkonfiguration und -Tools).
- ▶ Die Default Route wird dann verwendet, wenn es **keine ANDERE passende Route** in der RT gibt.
  - ▶ → IP Adresse und Netzmaske der Default Route sind 0.0.0.0/0 bzw. ::/0.
- ▶ Das damit assoziierte Gateway (Next Hop) muss sich dann um die Weiterleitung kümmern (Vgl. Postwesen).
- ▶ **Default Routen** werden v. a. von **Endsystemen** verwendet, damit diese nicht die Erreichbarkeit aller anderen Systeme im Internet kennen müssen.<sup>1</sup>

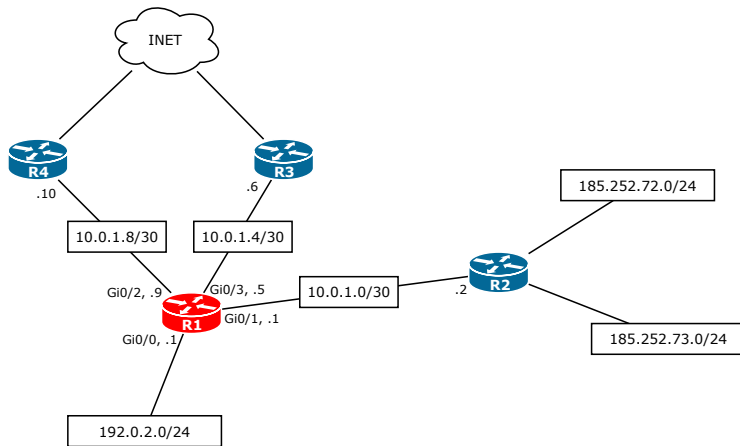
---

<sup>1</sup>Stand März 2023: 939k IPv4 und 180k IPv6 Routen in der Global Internet RT (s. g. Default-Free Zone) (Quelle: Geoff Huston, BGP Table & CIDR Report, <https://www.cidr-report.org/as2.0/> bzw. <https://www.cidr-report.org/v6/as2.0/>)



# IP - Routing

## RT - Beispiel I



Netzwerk	Netzmaske	Interface	Next Hop	Metrik
0.0.0.0	/0	Gi0/2	10.0.1.10	10
0.0.0.0	/0	Gi0/3	10.0.1.6	20
10.0.1.0	/30	Gi0/1		
10.0.1.4	/30	Gi0/3		
10.0.1.8	/30	Gi0/2		
192.0.2.0	/24	Gi0/0		
185.252.72.0	/24	Gi0/1	10.0.1.2	
185.252.73.0	/24	Gi0/1	10.0.1.2	

# IP - Routing

## RT - Beispiel III

```
R1#show ip route
```

```
Codes: L - local, C - connected, S - static, R - RIP, M - mobile, B - BGP
```

```
D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
```

```
N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
```

```
E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2, E - EGP
```

```
i - IS-IS, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2, ia - IS-IS inter area
```

```
* - candidate default, U - per-user static route, o - ODR
```

```
P - periodic downloaded static route
```

```
Gateway of last resort is 10.0.1.10 to network 0.0.0.0
```

```
10.0.0.0/8 is variably subnetted, 6 subnets, 2 masks
```

```
C    10.0.1.0/30 is directly connected, GigabitEthernet0/1
```

```
L    10.0.1.1/32 is directly connected, GigabitEthernet0/1
```

```
C    10.0.1.4/30 is directly connected, GigabitEthernet0/3
```

```
L    10.0.1.5/32 is directly connected, GigabitEthernet0/3
```

```
C    10.0.1.8/30 is directly connected, GigabitEthernet0/2
```

```
L    10.0.1.9/32 is directly connected, GigabitEthernet0/2
```

```
185.252.0.0/24 is subnetted, 2 subnets
```

```
S    185.252.72.0/24 [1/0] via 10.0.1.2
```

```
S    185.252.73.0/24 [1/0] via 10.0.1.2
```

```
192.0.2.0/24 is variably subnetted, 2 subnets, 2 masks
```

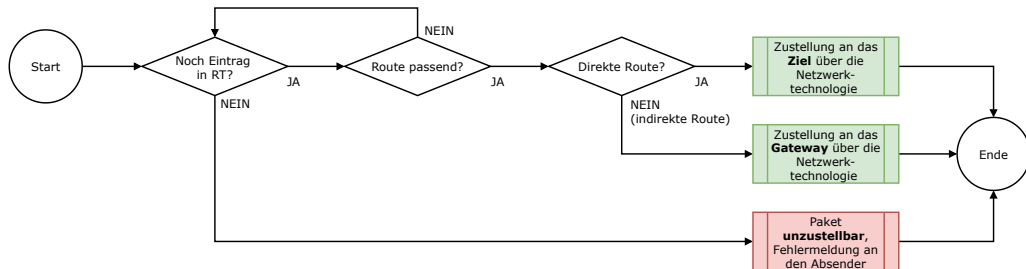
```
C    192.0.2.0/24 is directly connected, GigabitEthernet0/0
```

```
L    192.0.2.1/32 is directly connected, GigabitEthernet0/0
```

```
S*   0.0.0.0/0 [10/0] via 10.0.1.10
```

```
~$ ip route show
default via 10.0.1.10 dev eth2 proto kernel metric 10
default via 10.0.1.6 dev eth3 proto kernel metric 20
10.0.1.0/30 dev eth1 proto kernel scope link src 10.0.1.1 metric 100
10.0.1.4/30 dev eth3 proto kernel scope link src 10.0.1.5 metric 100
10.0.1.8/30 dev eth2 proto kernel scope link src 10.0.1.9 metric 100
185.252.72.0/24 via 10.0.1.2 dev eth1
185.252.73.0/24 via 10.0.1.2 dev eth1
192.0.2.0/24 dev eth0 proto kernel scope link src 192.0.2.1 metric 100
```

- ▶ Im Allgemeinen wird eine **Routing-Entscheidung** auf Basis der **Ziel-IP-Adresse** eines Pakets getroffen.
  - ▶ Weitere Möglichkeiten: Source-based Routing, Policy-based Routing (→ BGP), ...
- ▶ **Ablauf Routing-Entscheidung** (vereinfacht):



- ▶ Wann **passt eine Route zur Ziel-IP-Adresse** eines Pakets?
  - ▶ Wenn die Ziel-IP-Adresse im Netzanteil (bestimmt durch die Netzmaske der Route) mit der Route übereinstimmt.
- ▶ Was tun, wenn **mehrere Routen zur Ziel-IP-Adresse** eines Pakets passen?
  - ▶ **Longest Prefix Match (LPM)** = es wird die Route mit der größten (= Anzahl der Bits) Übereinstimmung im Netzanteil verwendet.
- ▶ Was tun, wenn **Longest Prefix Match (LPM) keine eindeutige Entscheidung** bringt (d. h. es existieren mehrere passende, gleich "lange" Routen)?
  - ▶ In diesem Fall muss eine **Route Metrik/Preference** (kleinerer Wert = höhere **Priorität**) die Entscheidung bringen.
- ▶ Was tun, wenn es **keine passende Route zur Ziel-IP-Adresse** eines Pakets gibt?
  - ▶ Das System verwirft das Paket und informiert den Absender über das Problem (→ ICMP Destination Unreachable, No Route to Host).

- ▶ Gegeben ist folgende RT (leicht modifiziert im Vgl. zu Folie 10):

Netzwerk	Netzmaske	Interface	Next Hop	Metrik
0.0.0.0	/0	Gi0/2	10.0.1.10	10
0.0.0.0	/0	Gi0/3	10.0.1.6	20
10.0.1.0	/30	Gi0/1		
10.0.1.4	/30	Gi0/3		
10.0.1.8	/30	Gi0/2		
192.0.2.0	/24	Gi0/0		
185.252.72.0	/24	Gi0/1	10.0.1.2	
185.252.64.0	/20	Gi0/2	10.0.1.10	
185.252.73.0	/24	Gi0/1	10.0.1.2	

- ▶ Routing-Entscheidung für Pakete an: 192.0.2.128, 8.8.4.4, 185.252.72.22



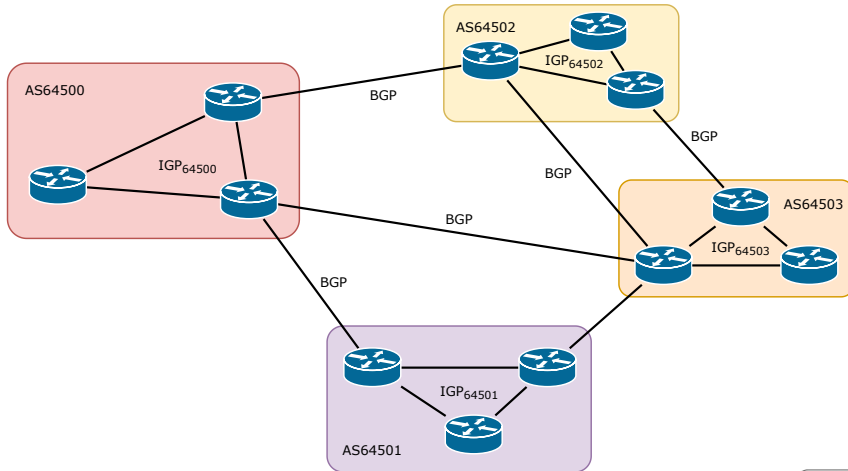


- ▶ Routen in RTs entstehen
  - ▶ durch **statische Konfiguration** oder
  - ▶ durch **dynamische Routing-Protokolle**.
- ▶ Ein **Routing-Protokoll** ist ein Verfahren zur **automatisierten Verteilung** und **Berechnung/Erstellung** von Routing-Information für RTs zwischen Routern eines Netzwerks.
- ▶ Wichtige Unterscheidungsmerkmale von Routing-Protokollen
  - ▶ **Verwendungsbereich**: Interior vs. Exterior Gateway Routing
  - ▶ **Algorithmus**: Distance Vector Routing, Link State Routing, Broadcast Routing, Anycast Routing (und weitere)
  - ▶ **Metrik** (= Entscheidungskriterium): Hop Count bzw. Pfadlänge, Link-Geschwindigkeiten, Policies (= nicht-technische, z. B. geschäftliche, politische Aspekte)
  - ▶ **Administrative Distanz**: Wertigkeit/Priorität eines Routing-Protokolls



# IP - Routing

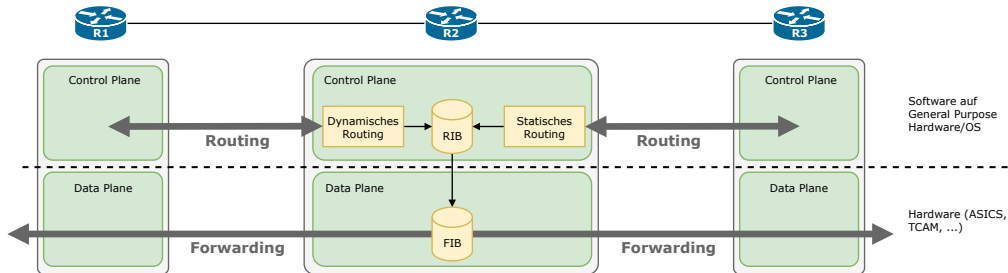
## Interior vs. Exterior Gateway Routing II



# IP - Routing

## Routing/Router in der Praxis I

- ▶ Die Netzwerk-Schicht (und damit auch Router) wird in **zwei Ebenen** geteilt:
  - ▶ **Data Plane** = Operative Paketweiterleitung (Forwarding) auf einem Router
  - ▶ **Control Plane** = Finde der Wege im Netzwerk (Routing)



- ▶ General Purpose System/CPU, angepasstes (Routing-)OS (z. B. Cisco IOS)
- ▶ Aus Routing Protokollen und statischem Routing wird die **Routing Information Base (RIB, aka RT)** erstellt (z. B. Cisco: show ip route)

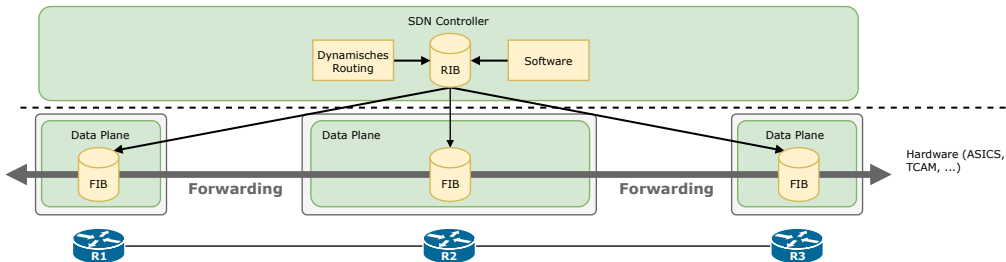
- ▶ Verwendung **spezialisierter Hardware-Bausteine** (ASICs, TCAM <sup>3</sup>).
- ▶ **Teile der RIB** und **dafür relevante Schicht-2-Informationen** werden in diese Hardware-Bausteine geladen.
- ▶ Dadurch wird das **Forwarding gesteuert** und enorm **beschleunigt**.
- ▶ Beispiel: Cisco Express Forwarding (CEF) (z. B. `show ip cef`, `show adjacency detail`)

<sup>3</sup> ASIC = Application Specific Integrated Circuit, TCAM = Ternary Content Addressable Memory

# IP - Routing

## Software Defined Networking (SDN)

- Software Defined Networking (SDN) = **Entkopplung** von Control und Data Plane, software-basierte **Steuerung** vieler Netzwerkkomponenten über einen **zentralen Controller**.



## Add-On Material

- ▶ Ziel: Reduktion von Einträgen in RTs, um Aufwand bei Verarbeitung zu reduzieren (→ IP Adressierung - Intro).
- ▶ Möglich weil
  - (a) IP Adressen hierarchisch nach geographischen Gesichtspunkten vergeben werden und
  - (b) die Granularität auf unterschiedlichen Ebenen (z. B. ISP vs. Endnutzer) unterschiedlich sein kann/darf.
- ▶ Möglicher Effekt im Internet<sup>4</sup>: 939k IPv4 in der Global Internet RT, Reduktion durch Route Aggregation/Summerization auf 511k möglich.

---

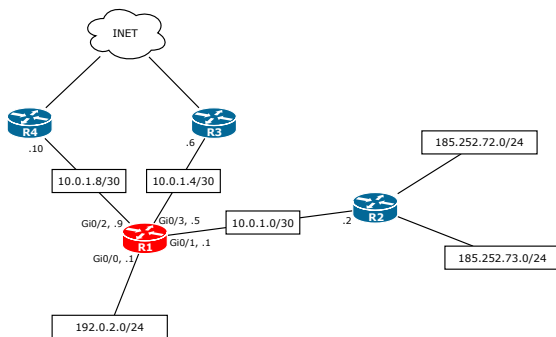
<sup>4</sup> Geoff Huston, BGP Table & CIDR Report, <https://www.cidr-report.org/as2.0/>



# IP - Routing

## Route Aggregation/Summerization - Beispiel I

- ▶ Router R1 muss nicht zwischen den Netzen hinter R2 unterscheiden können, ihm würde eine "grobere" Sicht genügen ("alles was hinter R2 liegt, wird an 10.0.1.2 weitergeleitet").



- ▶ RT von R1 (Auszug):

Netzwerk	Netzmaske	Interface	Next Hop	Metrik
...				
185.252.72.0	/24	Gi0/1	10.0.1.2	
185.252.73.0	/24	Gi0/1	10.0.1.2	

- ▶ RT von R1 (Auszug) nach Route Aggregation/Summerization:

Netzwerk	Netzmaske	Interface	Next Hop	Metrik
...				
185.252.72.0	/23	Gi0/1	10.0.1.2	

