



Netzwerkgrundlagen (NWG2)

Übungsaufgaben – Routing

Musterlösung

Markus Zeilinger

SoSe 2023

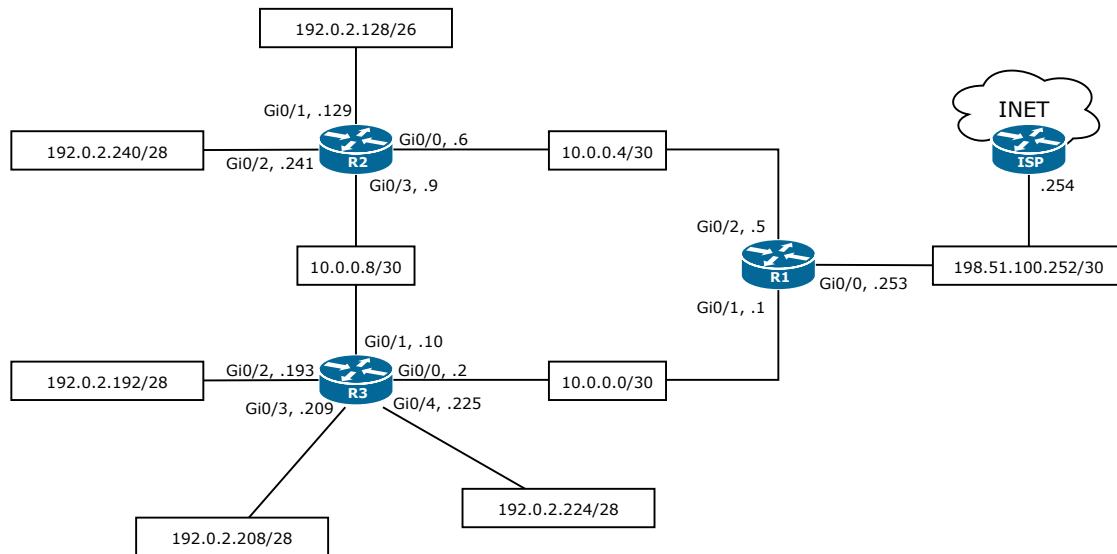


Abbildung 1: Netzplan Beispiel 1

1 Beispiel 1

1.1 Teilaufgabe 1

Erstelle gemäß dem Netzplan in Abbildung 1 Routing-Tabellen für die Router R1, R2 und R3 (alle notwendigen direkten und Gateway Routen). Router R1 fungiert für R2 und R3 als (Default) Gateway in Richtung Internet. Router R1 muss alle Netze hinter R2 und R3 erreichen können.

Routing-Tabelle R1:

#	Destination	Gateway	Netmask	Metric	Iface
1	0.0.0.0	198.51.100.254	0.0.0.0 (/0)	0	Gi0/0
2	198.51.100.252	0.0.0.0	255.255.255.252 (/30)	0	Gi0/0
3	10.0.0.0	0.0.0.0	255.255.255.252 (/30)	0	Gi0/1
4	10.0.0.4	0.0.0.0	255.255.255.252 (/30)	0	Gi0/2
5	192.0.2.128	10.0.0.6	255.255.255.192 (/26)	100	Gi0/2
6	192.0.2.240	10.0.0.6	255.255.255.240 (/28)	100	Gi0/2
7	192.0.2.192	10.0.0.2	255.255.255.224 (/27)	100	Gi0/1
8	192.0.2.224	10.0.0.2	255.255.255.240 (/28)	100	Gi0/1
9	192.0.2.128	10.0.0.2	255.255.255.192 (/26)	200	Gi0/1
10	192.0.2.240	10.0.0.2	255.255.255.240 (/28)	200	Gi0/1
11	192.0.2.192	10.0.0.6	255.255.255.224 (/27)	200	Gi0/2
12	192.0.2.224	10.0.0.6	255.255.255.240 (/28)	200	Gi0/2

Routing-Tabelle R2:

#	Destination	Gateway	Netmask	Metric	Iface
1	0.0.0.0	10.0.0.5	0.0.0.0 (/0)	100	Gi0/0
2	0.0.0.0	10.0.0.10	0.0.0.0 (/0)	200	Gi0/3
3	10.0.0.4	0.0.0.0	255.255.255.252 (/30)	0	Gi0/0
4	10.0.0.8	0.0.0.0	255.255.255.252 (/30)	0	Gi0/3
5	192.0.2.128	0.0.0.0	255.255.255.192 (/26)	0	Gi0/1
6	192.0.2.240	0.0.0.0	255.255.255.240 (/28)	0	Gi0/2
7	192.0.2.192	10.0.0.10	255.255.255.224 (/27)	0	Gi0/3
8	192.0.2.224	10.0.0.10	255.255.255.240 (/28)	0	Gi0/3

Routing-Tabelle R3:

#	Destination	Gateway	Netmask	Metric	Iface
1	0.0.0.0	10.0.0.1	0.0.0.0 (/0)	100	Gi0/0
2	0.0.0.0	10.0.0.9	0.0.0.0 (/0)	200	Gi0/1
3	10.0.0.0	0.0.0.0	255.255.255.252 (/30)	0	Gi0/0
4	10.0.0.8	0.0.0.0	255.255.255.252 (/30)	0	Gi0/1
5	192.0.2.192	0.0.0.0	255.255.255.240 (/28)	0	Gi0/2
6	192.0.2.208	0.0.0.0	255.255.255.240 (/28)	0	Gi0/3
7	192.0.2.224	0.0.0.0	255.255.255.240 (/28)	0	Gi0/4
8	192.0.2.128	10.0.0.9	255.255.255.192 (/26)	0	Gi0/1
9	192.0.2.240	10.0.0.9	255.255.255.240 (/28)	0	Gi0/1

Anmerkungen:

- Die Routing-Tabellen sind so gebaut, dass ein Ausfall der Transportstrecken zw. den Routern (R1 ↔ R2: 10.0.0.4/30, R1 ↔ R3: 10.0.0.0/30, R2 ↔ R3: 10.0.0.8/30) jeweils kompensiert werden kann. Fällt z. B. die Strecke zw. R1 und R2 aus, könnten Pakete in Netze hinter R2 von R1 auch über R3 weitergeleitet werden. Die kürzere Strecke hat dabei immer die Metrik 100, die längere die Metrik 200.
- Die Transportnetze zwischen den Routern sind nur für die direkte Weiterleitung zw. den Routern notwendig. Es gibt eigentlich keinen Grund, warum Systeme in diesen Netzen von außen erreichbar sein sollten. Aus diesem Grund werden dafür private Adresse nach RFC 1918 verwendet und es gibt z. B. bei Router R1 keine Route nach 10.0.0.8/30 (Transportnetz zw. Router R2 und R3).
- Die beiden Netze 192.0.2.208/28 und 192.0.2.192/28 lassen sich auf 192.0.2.192/27 aggregieren und werden in den Routing-Tabellen der Router R1 und R2 auch so geroutet.

Optional: Führe für die Routing-Tabellen von R1, R2 und R3 soweit als möglich Route Aggregation durch!

Ist durch die in Teilaufgabe 1 gezeigt Lösung bereits realisiert.

1.2 Teilaufgabe 2

Beschreibe detailliert, wie die Weiterleitung eines auf Gi0/0 bei Router R1 eingehenden Pakets zu 192.0.2.212 erfolgt! Konkret ist zu dokumentieren und zu begründen, welche Routen auf den einzelnen beteiligten Routern prinzipiell passen würden und welche Routen dann tatsächlich zur Weiterleitung gewählt wird!

Weiterleitung eines auf Gi0/0 bei Router R1 eingehenden Pakets zu 192.0.2.212 (Annahme: auf allen Teilstrecken wird Ethernet als Netztechnologie verwendet):

- Auf Router R1 wird das Frame entpackt und der Inhalt (IP Paket) an IP weitergeleitet.
- IP auf Router R1 trifft auf Basis der Routing Tabelle eine Routing-Entscheidung (Longest-Prefix-Match-Verfahren, LPM). Folgende Gateway-Routen (= indirekte Zustellung) würden aufgrund Netzadresse und -maske grundsätzlich passen:

7	192.0.2.192	10.0.0.2	255.255.255.224 (/27)	100	Gi0/1
11	192.0.2.192	10.0.0.6	255.255.255.224 (/27)	200	Gi0/2

Beide Routen haben die gleiche Präfixlänge (/27). Aufgrund der niedrigeren Metrik (= höhere Priorität) wird die erste Route über 10.0.0.2 ausgewählt.

3. Nun muss zur direkten Zustellung an 10.0.0.2, dessen MAC-Adresse ermittelt werden. Zu diesem Zweck versucht Router R1 in seinem ARP-Cache einen passenden Eintrag zu finden. Wird ein passender Eintrag gefunden, wird die damit assoziierte MAC-Adresse verwendet. Ansonsten wird die Ermittlung der MAC-Adresse zur IP 10.0.0.2 mittels ARP durchgeführt (ARP-Request/Response).
4. IP auf Router R1 gibt das Paket an Ethernet weiter, welches das Paket in ein Frame einpackt und in weiterer Folge über Gi0/1 versendet.
5. Router R3 empfängt die PDU, entpackt das Frame und leitet den Inhalt (IP Paket) an IP weiter.
6. IP auf Router R3 trifft auf Basis der Routing Tabelle eine Routing-Entscheidung (Longest-Prefix-Match-Verfahren, LPM). Dabei wird folgende Route als passend identifiziert:

6	192.0.2.208	0.0.0.0	255.255.255.240	(/28)	0	Gi0/3
---	-------------	---------	-----------------	-------	---	-------

Da es sich um eine direkte Route handelt (= direkt an Router R3 angeschlossenes Netz), muss direkte Zustellung durchgeführt werden.

7. Dazu muss die MAC-Adresse zur Ziel-IP 192.0.2.212 ermittelt werden. Zu diesem Zweck versucht Router R3 in seinem ARP-Cache einen passenden Eintrag zu finden. Wird ein passender Eintrag gefunden, wird die damit assoziierte MAC-Adresse verwendet. Ansonsten wird die Ermittlung der MAC-Adresse zur IP 192.0.2.212 mittels ARP durchgeführt (ARP-Request/Response).
8. IP auf Router R3 gibt das Paket an Ethernet weiter, welches das Paket in ein Frame einpackt und in weiterer Folge über Gi0/3 versendet.
9. Das Endgerät 192.0.2.212 empfängt die PDU, entpackt das Frame und leitet den Inhalt (IP Paket) an IP weiter. Dieses erkennt, dass das Ziel des Pakets das System selbst ist und leitet es zur Weiterbehandlung an das entsprechende Transportprotokoll (lt. IP-Protocol-Feld im IP-Header) weiter.

1.3 Teilaufgabe 3

Welchem /25-Netz entstammen die bei Router R2 und R3 direkt angeschlossenen Netze? Sind in diesem /25-Netz noch Blöcke frei und wenn ja, welche sind das?

```

192.0.2.192/28 = 192.0.2.[1100|0000]
192.0.2.208/28 = 192.0.2.[1101|0000]
192.0.2.224/28 = 192.0.2.[1110|0000]
192.0.2.240/28 = 192.0.2.[1111|0000]
Entstammt:    192.0.2.[11|000000] = 192.0.2.192/26

192.0.2.128/26 = 192.0.2.[10|000000]
192.0.2.192/26 = 192.0.2.[11|000000]
Entstammt:    192.0.2.[1|0000000] = 192.0.2.128/25

```

Die Netze hinter den Routern R2 und R3 entstammen dem Block 192.0.2.128/25. In diesem Block stehen, außer den im Netzplan verwendeten, keine weiteren Blöcke zur Verfügung.

2 Beispiel 2

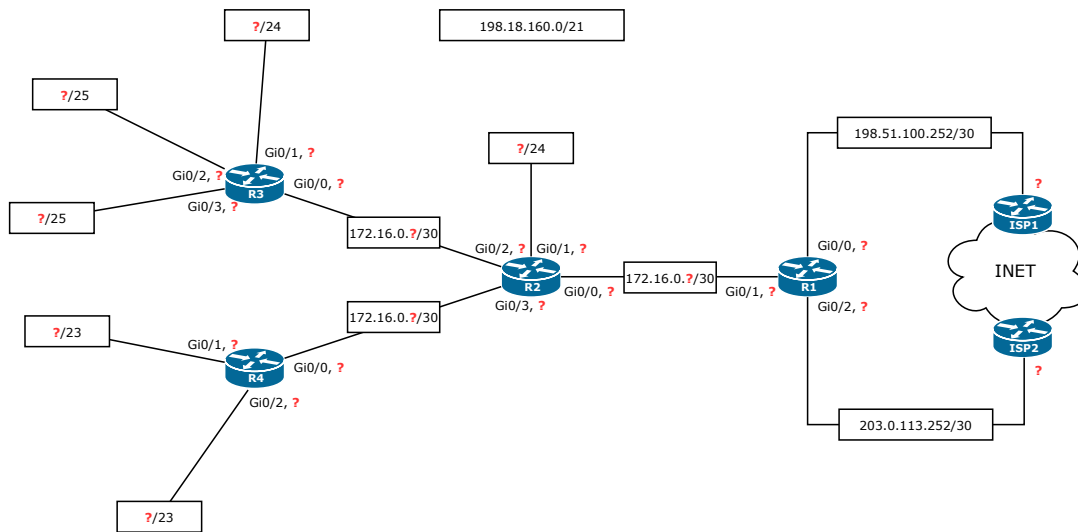


Abbildung 2: Netzplan Beispiel 2

2.1 Teilaufgabe 1

Ergänze die im in Abbildung 2 gegebenen Netzplan fehlenden Informationen (gekennzeichnet durch „?“)! Die fehlenden Netze (Größe durch Netzmasken angegeben) sind aus 198.18.160.0/21 zu bilden! Die IP-Adressen der verschiedenen Router-Interfaces in den Netzen sind jeweils absteigend von der letztmöglichen Adresse im jeweiligen Netz zu wählen! (Anmerkung: Es gibt hierfür mehr als eine gültige Lösung!)

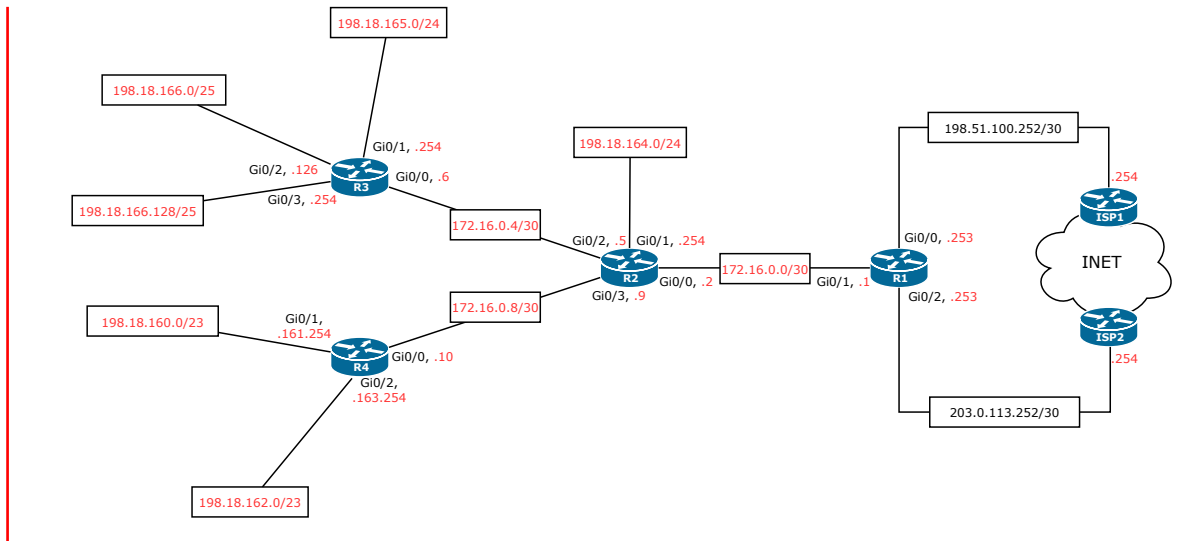
Optional: Ordne die Netze so zu, dass in Teilaufgabe 3 dann gut aggregiert werden kann!

Subnettierung aus 198.18.160.0/21:

```

198.18.160.0/21          198.18.[10100|000].0
|
|--198.18.160.0/22       198.18.[10100|0|00].0
|  |--198.18.160.0/23    198.18.[10100|0|0|0].0 => Gi0/1 R4
|  |--198.18.162.0/23    198.18.[10100|0|1|0].0 => Gi0/2 R4
|
|--198.18.164.0/22       198.18.[10100|1|00].0
|  |--198.18.164.0/23    198.18.[10100|1|0|0].0
|  |--198.18.164.0/24    198.18.[10100|1|0|0].0 => Gi0/1 R2
|  |--198.18.165.0/24    198.18.[10100|1|0|1].0 => Gi0/1 R3
|
|--198.18.166.0/23       198.18.[10100|1|1|0].0
|  |--198.18.166.0/24    198.18.[10100|1|1|0].0
|  |--198.18.166.0/25    198.18.[10100|1|1|0].0[0|0000000] => Gi0/2 R3
|  |--198.18.166.128/25  198.18.[10100|1|1|0].0[1|0000000] => Gi0/3 R3
|  |--198.18.167.0/24    198.18.[10100|1|1|1].0 => FREI

```



2.2 Teilaufgabe 2

Bleiben nach der vollständigen Ergänzung des Netzplans noch Netze aus 198.18.160.0/21 übrig und wenn ja, welche sind das?

Ja: 198.18.167.0/24 (s. Berechnung in Teilaufgabe 1, Abschnitt 2.1).

2.3 Teilaufgabe 3

Erstelle für den Router R1 nun eine vollständige Routing Tabelle! Dazu sind folgende Punkte zu beachten:

- Router R1 muss alle Netze hinter R2, R3 und R4 erreichen können (ausgenommen die Transportnetze zwischen den Routern R2 und R3 bzw. R2 und R4) und er fungiert für R2, R3 und R4 als Default Gateway in Richtung Internet.
- Der Router R1 verfügt über zwei Uplinks zum Internet über zwei verschiedene Provider (ISP1 und ISP2). Der Uplink über ISP2 ist zu bevorzugen.
- **Optional:** Route Aggregation soll dort durchgeführt werden, wo diese vollständig möglich ist!

Routing-Tabelle R1:

#	Destination	Gateway	Netmask	Metric	Iface
1	0.0.0.0	198.51.100.254	0.0.0.0 (/0)	200	Gi0/0
2	0.0.0.0	203.0.113.254	0.0.0.0 (/0)	100	Gi0/2
3	198.51.100.252	0.0.0.0	255.255.255.252 (/30)	0	Gi0/0
4	203.0.113.252	0.0.0.0	255.255.255.252 (/30)	0	Gi0/2
5	172.16.0.0	0.0.0.0	255.255.255.252 (/30)	0	Gi0/1
6	198.18.160.0	172.16.0.2	255.255.252.0 (/22)	0	Gi0/1
7	198.18.164.0	172.16.0.2	255.255.254.0 (/23)	0	Gi0/1
8	198.18.166.0	172.16.0.2	255.255.255.0 (/24)	0	Gi0/1

Route Aggregation:

- 198.18.160.0/23 und 198.18.162.0/23 werden auf 198.18.160.0/22 aggregiert.
- 198.18.164.0/24 und 198.18.165.0/24 werden auf 198.18.164.0/23 aggregiert.
- 198.18.166.0/25 und 198.18.166.128/25 werden auf 198.18.166.0/24 aggregiert.

3 Beispiel 3

Gegeben ist die folgende Routing-Tabelle eines Systems A:

#	Destination	Gateway	Netmask	Metric	Iface
1	0.0.0.0	188.12.33.254	0.0.0.0 (/0)	100	Fa0/1
2	0.0.0.0	208.112.31.254	0.0.0.0 (/0)	200	Fa0/2
3	188.12.33.252	0.0.0.0	255.255.255.252 (/30)	0	Fa0/1
4	208.112.31.252	0.0.0.0	255.255.255.252 (/30)	0	Fa0/2
5	172.16.100.0	0.0.0.0	255.255.255.252 (/30)	0	Fa0/3
6	172.16.100.4	0.0.0.0	255.255.255.252 (/30)	0	Fa0/4
7	172.16.100.8	0.0.0.0	255.255.255.252 (/30)	0	Fa0/5
8	8.63.112.176	172.16.100.2	255.255.255.248 (/29)	0	Fa0/3
9	8.63.112.184	172.16.100.2	255.255.255.248 (/29)	0	Fa0/3
10	8.63.112.160	172.16.100.6	255.255.255.240 (/28)	0	Fa0/4
11	138.58.32.0	172.16.100.6	255.255.240.0 (/20)	0	Fa0/4
12	138.58.48.0	172.16.100.6	255.255.240.0 (/20)	0	Fa0/4
13	78.152.20.144	172.16.100.2	255.255.255.240 (/28)	0	Fa0/3
14	8.63.112.0	172.16.100.10	255.255.255.0 (/24)	0	Fa0/5

3.1 Teilaufgabe 1

Welche Routen würden jeweils zur Weiterleitung eines Pakets an die folgenden Adressen passen, welche Route würde tatsächlich ausgewählt werden und warum?

1. 8.63.112.166

Prinzipiell passende Routen: 1, 2, 10 und 14

Im folgenden wird exemplarisch gezeigt, warum diese Routen passend sind und andere Routen in der Routing-Tabelle von System A nicht. Grundsätzlich gilt, dass für jede Route die Ziel-IP-Adresse mit der mit der Route assoziierten Netzmaske bitweise & verknüpft werden muss. Matcht diese Ergebnis mit der IP-Adresse der Route (Spalte Destination) dann ist die Route für die Ziel-IP-Adresse passend, ansonsten nicht.

- **Routen 1 und 2:** Default-Routen passen immer; jede beliebige Ziel-IP-Adresse bitweise & verknüpft mit der Netzmaske /0 ergibt 0.0.0.0.
- **Routen 3 bis 7 sowie Routen 11 bis 13:** Diese Routen zeigen schon im ersten Oktett (gehört basierend auf der jeweiligen Netzmaske bei allen diesen Routen vollständig zum Netz-Anteil) keine Übereinstimmung mit der Ziel-IP-Adresse.
- **Routen 8 und 9:** $8.63.112.[10100110] \&\& 255.255.255.[11111000] = 8.63.112.[10100|000] = 8.63.112.160$; matcht nicht mit der IP-Adresse der Route → Routen 8 und 9 passen nicht für die Ziel-IP-Adresse.
- **Route 10:** $8.63.112.[10100110] \&\& 255.255.255.[11110000] = 8.63.112.[1010|0000] = 8.63.112.160$; matcht mit der IP-Adresse der Route → Route 10 ist passend
- **Route 14:** $8.63.112.[10100110] \&\& 255.255.255.[00000000] = 8.63.112.[|00000000] = 8.63.112.0$; matcht mit der IP-Adresse der Route → Route 14 ist passend

Gewählte Route: 10

Begründung für Wahl: Longest Prefix Match (LPM), Route 10 hat 28 Bits Übereinstimmung mit der Ziel-IP-Adresse (Route 1: 0 Bits, Route 2: 0 Bits, Route 14: 24 Bits).

2. 138.58.55.110

Prinzipiell passende Routen: 1, 2 und 12

Gewählte Route: 12

Begründung für Wahl: Longest Prefix Match (LPM), Route 12 hat 20 Bits Übereinstimmung mit der Ziel-IP-Adresse (Route 1: 0 Bits, Route 2: 0 Bits).

3. 73.112.34.9

Prinzipiell passende Routen: 1 und 2

Gewählte Route: 1

Begründung für Wahl: Longest Prefix Match (LPM) bringt kein eindeutiges Ergebnis (beide Routen haben die gleiche Präfixlänge), Route 1 wird aufgrund des niedrigeren Metrik-Werts (= höhere Priorität) gewählt.

3.2 Teilaufgabe 2

Was passiert, wenn für ein Paket in der Routing-Tabelle von System A keine passende Route gefunden wird?

Allgemein: Wird für ein Paket keine passende Route in einer RT gefunden, dann wird eine ICMP Destination Unreachable Subtype Network Unreachable an den Absender geschickt und das Paket wird verworfen.

Konkret: In Bezug auf die RT von System A im konkreten Beispiel kann das nicht passieren, da zwei Default Routen angegeben sind und Default Routen immer passen.

3.3 Teilaufgabe 3

Optional: Führe für die Routing-Tabelle, so weit als vollständig möglich, Route Aggregation durch und schreibe die neue Routing-Tabelle an!

Aggregation von Route 8 und 9:

```
8.63.112.176/29 = 8.63.112.[10110|000]
8.63.112.184/29 = 8.63.112.[10111|000]
Aggregierbar auf: 8.63.112.[1011|0000] = 8.63.112.176/28 ()
```

Aggregation von Route 10 und (*) wäre zwar rechnerisch möglich, die beiden Routen besitzen aber nicht das gleiche Gateway.

```
Aggregation von Route 11 und 12
138.58.32.0/20 = 138.58.[0010|0000].0
138.58.48.0/20 = 138.58.[0011|0000].0
Aggregierbar auf: 138.58.[001|00000].0 = 138.58.32.0/19
```

Routing Tabelle nach Aggregation:

#	Destination	Gateway	Netmask	Metric	Iface
1	0.0.0.0	188.12.33.254	0.0.0.0 (/0)	100	Fa0/1
2	0.0.0.0	208.112.31.254	0.0.0.0 (/0)	200	Fa0/2
3	188.12.33.252	0.0.0.0	255.255.255.252 (/30)	0	Fa0/1
4	208.112.31.252	0.0.0.0	255.255.255.252 (/30)	0	Fa0/2
5	172.16.100.0	0.0.0.0	255.255.255.252 (/30)	0	Fa0/3
6	172.16.100.4	0.0.0.0	255.255.255.252 (/30)	0	Fa0/4
7	172.16.100.8	0.0.0.0	255.255.255.252 (/30)	0	Fa0/5

8	8.63.112.176	172.16.100.2	255.255.255.240 (/28)	0	Fa0/3
9	8.63.112.160	172.16.100.6	255.255.255.240 (/28)	0	Fa0/4
10	138.58.32.0	172.16.100.6	255.255.224.0 (/19)	0	Fa0/4
11	78.152.20.144	172.16.100.2	255.255.255.240 (/28)	0	Fa0/3
12	8.63.112.0	172.16.100.10	255.255.255.0 (/24)	0	Fa0/5