

Versuch 5: Statisches und dynamisches Routing

(Packet Tracer Version)

Ziel dieses Versuches ist es, den Einsatz statischer Routen in einer einfachen Topologie kennenzulernen und am Beispiel des OSPF ein dynamisches Routing-Protokoll zu konfigurieren und dessen Funktionsweise zu analysieren.

Versuchsvorbereitung

Die grundlegende Konfiguration von OSPF ist in Anhang A dieses Versuchs zusammengefasst.

Bearbeiten Sie außerdem die folgenden Aufgaben:

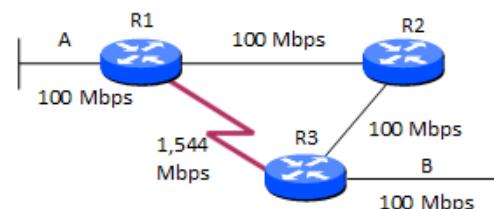
- 1) Wie lautet die allgemeine Syntax zu Konfiguration einer statischen Route unter Cisco IOS?
- 2) Mit welchem Befehl wird eine statische **Default**-Route konfiguriert? Erläutern Sie die Funktionsweise des resultierenden Eintrags in der Routing-Tabelle.
- 3) Welche Netze müssen bei der Konfiguration von OSPF auf einem Router mit dem Befehl `network ...` berücksichtigt werden?
- 4) Die Clock-Rate eines seriellen Interfaces betrage 128.000 bit/s. Welcher Wert muss für die `bandwidth` auf den seriellen Interfaces konfiguriert werden, damit die OSPF-Metrik aus der richtigen Geschwindigkeit berechnet wird? _____
Welcher der beiden Befehle legt die Geschwindigkeit fest, mit der das Interface arbeitet?

Wozu dient der andere Befehl? _____

- 5) Berechnen Sie die OSPF-Metriken für die Interfaces in der folgenden Tabelle:

Schnittstelle	OSPF-Metrik bei der Default-Referenzbandbreite	OSPF-Metrik bei einer Referenzbandbreite 1 Gbit/s
Seriell, 64 kbit/s		
Seriell, 128 kbit/s		
Seriell, 1,544 Mbit/s		
Fastethernet, 100 Mbit/s		
GigabitEthernet, 1 Gbit/s		

- 6) In dem nebenstehend dargestellten Netz arbeitet OSPF mit den Default-Einstellungen für die Metrik-Berechnung. Welchen Weg wählt OSPF zwischen Netz A und Netz B aus? Begründung?



Welche Metrik wird für **Netz B** auf Router **R1** eingetragen? _____

1)

```
Router(config) #ip route <Zielnetz> <Netzmaske> <Next-Hop-IP/Ausgabeinterface>
```

2)

```
Router(config) #ip route 0.0.0.0 <Default-Gateway> <Interface>
```

Die Default-Route ist praktisch das Auffangbecken aller Pakete, dessen Ziel-Adresse nicht in der Routing-Tabelle des Gerätes verzeichnet sind. Diese zielt üblicherweise auf den Default-Gateway des aktuellen (Sub-)Netzes ab.

3)

Es müssen die direkt angeschlossenen Netze des Routers berücksichtigt werden.

6)

OSPF wählt den Weg über R2, da die Metrik am kleinsten ist und die geringsten „Kosten“ entstehen.

2 a)

Die Router kennen zu diesem Zeitpunkt nur ihre jeweiligen direkt angeschlossenen Netze, da noch kein Routing-Protokoll etabliert wurde.

b)

Weil, wie in a) erwähnt, noch kein Routing-Protokoll etabliert wurde, findet keine Kommunikation über nicht direkt angeschlossene Netze statt.

e)

```
R1: S 192.168.2.0/24 [1/0] via 192.168.12.2  
R2: S 192.168.1.0/24 [1/0] via 192.168.12.1
```

f)

Die zuvor eingerichteten statischen Routen sind nicht mehr verfügbar.

3.1 c)

Der Loopback ist nicht erreichbar, da die Adresse nicht Teil der OSPF Area ist.

3.3 a)

Durch die unterschiedlichen Bandbreiten wird nur die Route mit höherer Bandbreite in Betracht gezogen.

b)

```
R1(config-if)#bandwidth 128  
R2(config-if)#bandwidth 128
```

c)

Da sich jetzt beide Routen gleichen, werden beide Routen als mögliche Optionen gesehen, um im Fall noch die Auslastung zu balancieren.

Versuchsdurchführung

1. Aufbau der Netztopologie und Konfiguration der Netzelemente

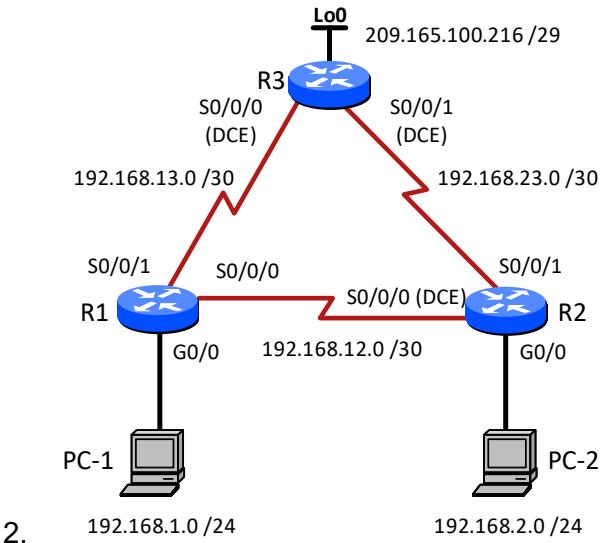


Abbildung 1: Netztopologie (Interface-Bez. für 2900er Router)

Gerät	Interface	IP-Adresse	Subnetzmaske	Standard-Gateway
R1	G0/0	192.168.1.1	255.255.255.0	N/A
	S0/0/0	192.168.12.1	255.255.255.252	N/A
	S0/0/1	192.168.13.1	255.255.255.252	N/A
R2	G0/0	192.168.2.1	255.255.255.0	N/A
	S0/0/0 (DCE)	192.168.12.2	255.255.255.252	N/A
	S0/0/1	192.168.23.1	255.255.255.252	N/A
R3	S0/0/0 (DCE)	192.168.13.2	255.255.255.252	N/A
	S0/0/1 (DCE)	192.168.23.2	255.255.255.252	N/A
	Lo0	209.165.100.222 ¹	255.255.255.248	N/A
PC-1	NIC	192.168.1.3	255.255.255.0	192.168.1.1
PC-2	NIC	192.168.2.3	255.255.255.0	192.168.2.1

Tabelle 1: Adressstabelle zur Topologie für Versuch 6 (Interface-Bez. für 2900er Router)

Bauen Sie zunächst die Topologie nach Abbildung 1 mit Packet Tracer auf, indem Sie die Geräte wie in Abbildung 1 dargestellt verbinden. Verwenden Sie 2911 Router. Ergänzen Sie in den Routern für die seriellen Interfaces HWIC-2T Karten im rechten Slot. Das Netz 219.165.100.216/29 wird auf R3 mit einem Loopback-Interface simuliert. Es benötigt keine Verkabelung in der Packet-Tracer-Topologie.

1.1 Konfiguration der PCs

Konfigurieren Sie Ihren PC mit IP-Adresse, Subnetzmaske und Standard-Gateway nach Tab. 1.

¹ Das Loopback Interface Lo0 hat die Host-Adresse 209.165.100.222 im Netz 209.165.100.216 /29!

1.2 Basiskonfiguration der Router

Sie brauchen die Basiskonfiguration der Geräte in diesem Versuch **nicht eigenhändig** vorzunehmen, sondern können diese stattdessen aus der vorgefertigten Konfigurationsdatei einspielen. Diese Konfigurationen beinhalten jeweils bereits:

- den Namen des Routers
- **class** als Passwort für den Privileged Exec Mode.
- **cisco** als Passwort für die Konsole
- **cisco** als Passwort für die virtuellen Terminals.
- Die Konfiguration aller Router-Interfaces nach der oben angegebenen Adresstabelle.
- Eine Clock-Rate von **128000** auf den DCE-Interfaces der seriellen Interfaces
- Den zugehörigen **bandwidth** Wert für alle ser. Interfaces **außer für S0/0/0 auf R1 und R2**
- Das Aktivieren der verwendeten Router-Interfaces (**no shutdown**)

Sie müssen also im Versuch nur noch die für das Routing relevanten Aspekte ergänzen.

Zum Einspielen der Konfigurationen gehen sie wie folgt vor:

1. Gehen Sie im Packet-Tracer auf den betreffenden Router auf die Kommandozeile (CLI). Beantworten Sie die Startfrage mit **no!** Wechseln Sie in den globalen Konfigurationsmodus.

```
Router>enable
Router#config t
```

Der Routerprompt wechselt zu: Router(config)#.

2. Öffnen Sie die Datei mit den Router Konfigurationen in einem Texteditor. Markieren Sie die Konfiguration des betreffenden Routers und kopieren Sie diese in die Zwischenablage (z.B. mit Strg + c).

Fügen Sie die Konfiguration aus der Zwischenablage in der Router CLI per rechtem Mausklick und Auswahl von **Paste** ein.

Nun sollte die Konfiguration Schritt für Schritt eingelesen und direkt umgesetzt werden, so dass der Router anschließend die gewünschte Basiskonfiguration aufweist.

Hinweis: Sollten bei diesem Vorgang durchgehend Fehlermeldungen angezeigt worden sein, so haben Sie die Texteinspielung wahrscheinlich in einem anderen als dem globalen Konfigurationsmodus begonnen. Dann korrigieren Sie dieses bitte und wiederholen Sie den beschriebenen Vorgang.

Nachdem Sie auf diese Weise alle drei Router Ihrer Topologie konfiguriert haben, können Sie überprüfen, ob alles funktioniert hat, indem Sie auf den Routern **R1** und **R2** den Status der Interfaces überprüfen (Befehl `show ip interface brief`): Sind jeweils alle verwendeten Interfaces aktiv (up/up)? Falls nicht, suchen und beheben Sie mögliche Fehler.

Hintergrund: Die seriellen Verbindungen der Router sind nur aktiv, wenn beide Seiten korrekt konfiguriert und aktiviert wurden. Ist dieses der Fall, können Sie hier von einer korrekt konfigurierten Topologie ausgehen.

2. Konfiguration von statischen Routen

- a) Geben Sie auf den Routern R1 und R2 den Inhalt der Routing-Tabellen aus (`show ip route`). Welche Netze sind den Routern zu diesem Zeitpunkt bekannt? Begründung?
- b) Überprüfen Sie von PC1 aus mittels ping die Erreichbarkeit der Router-Interfaces G0/0 und S0/0/0 auf R1 sowie S0/0/0 auf R2. Bis zu welchem dieser Interfaces ist ping noch erfolgreich, ab welchen nicht mehr? Begründung?

Von PC1 aus erfolgreich (ping): _____, nicht mehr erfolgreich: _____
 Begründung:

- c) Nun sollen auf den Routern R1 und R2 statische Routen für den direkten Weg über diese Router konfiguriert werden, so dass sich die beiden PCs in den Netzen 192.168.1.0/24 und 192.168.2.0/24 gegenseitig erreichen können. (Alle anderen Netze sollen hier der Einfachheit halber nicht betrachtet werden.)

Konfigurieren Sie dazu auf den Routern R1 und R2 jeweils eine statische Route zu dem entfernten Netz 192.168.1.0/24 bzw. 192.168.2.0/24, in der Sie das entsprechende *Exit-Interface* angeben. Notieren Sie den Befehl:

	Befehl
R1:	
R2:	

- d) Testen Sie mit `ping`, ob die PCs sich erreichen können.
- e) Sehen Sie sich mit `show ip route` die Routing-Tabellen von R1 und R2 an. Welche Routen sind nun vorhanden?
- f) Deaktivieren Sie nun das Interface S0/0/0 auf Router R1 mit Hilfe des Interface-Kommandos `shutdown`. Welche Auswirkungen hat das auf die Routing-Tabellen der beiden Router?
- g) Aktivieren Sie das deaktivierte Interface wieder (`no shutdown`).
- h) Entfernen Sie für den weiteren Versuchsablauf auf R1 und R2 die statischen Routen zu den Netzen 192.168.1.0/24 und 192.168.2.0/24 wieder, indem Sie die entsprechende Befehlszeile aus c) mit dem vorangestellten `no` eingeben.
 Überprüfen Sie mit `show run`, ob wirklich keine statischen Routen mehr vorhanden sind.

3. Konfiguration von OSPF

Nun soll anstelle des statischen Routings auf allen Routern ein dynamisches Routing mit OSPF konfiguriert werden. Ziel ist, dass alle Netze der Topologie außer 209.165.100.216/29 in einer OSPF Domäne untereinander erreichbar sind. (Das Netz 209.165.100.216/29 soll in diesem Beispiel ein Netz außerhalb der eigenen OSPF-Domäne, z.B. im Internet, darstellen. Solche Netze außerhalb der OSPF-Domäne werden üblicherweise über Default-Routen erreicht).

3.1 OSPF Konfiguration der Router

- a) Konfigurieren Sie OSPF auf den Routern R1, R2 und R3 so, dass alle Netze **außer 209.165.100.216/29** zur OSPF Area 0 gehören (zur Anleitung s. **Anhang A** dieser Unterlagen)

Notieren Sie die erforderlichen Befehle (exemplarisch für Router R1):

Prompt	Befehl

- b) Nachdem Sie alle drei Router entsprechend konfiguriert haben, sehen Sie sich die Routing-Tabellen der Router an. Sind jeweils alle Netze der OSPF-Domäne in der Tabelle enthalten?

Hinweis: Das Netz 209.165.100.216/29 darf nur auf R3 als direkt angeschlossenes Netz bekannt sein, auf R1 und R2 darf es nicht in der Routing Tabelle stehen (siehe Vorgabe: «nicht in der OSPF Domäne»).

- c) Überprüfen Sie, ob Sie von den PCs aus die Adresse 209.165.100.222 erreichen können. Warum ist das bei der bisherigen Konfiguration noch nicht möglich?

3.2 Einrichten und Verteilen einer Default-Route

- a) Konfigurieren Sie auf dem Router R3 eine statische Default-Route mit dem Ausgabe-Interface Lo0. Notieren Sie den Befehl:

- b) Diese auf R3 konfigurierte Default-Route soll von OSPF automatisch an die anderen Router der Domäne (R1 und R2) verteilt werden. Wie lautet der zugehörige Befehl?

- c) Verifizieren Sie in den Routing-Tabellen von R1 und R2, dass dort nun die Default-Route über R3 vorhanden ist.

- d) Verifizieren Sie, dass Sie nun von den PCs aus die Adresse 209.165.100.222 erreichen können.

3.3 Analyse der von OSPF ermittelten Routen

- a) Wie bei der Basiskonfiguration unter 1.2 beschrieben, wurde für die serielle Verbindung zwischen R1 und R2 der *bandwidth*-Wert noch nicht korrekt konfiguriert. Da die seriellen Verbindungen hier physikalisch alle gleich schnell (128 kbit/s) sind, sollten auf den Routern eigentlich auch jeweils zwei gleichwertige Routen vorhanden sein. Wenn Sie sich die aktuellen Routing-Tabellen von R1 und R2 ansehen, ist das dort aber infolge der falschen *bandwidth* Einstellung zwischen R1 und R2 bislang noch nicht der Fall.

Überlegen Sie sich anhand der Topologie (Abbildung 1), zu welchen Netzen auf den Routern R1 und R2 eigentlich zwei Einträge vorhanden sein müssten :

Auf R1: zu Netz _____ ; auf R2: zu Netz _____

Sehen Sie sich mit `show interfaces S0/0/0` an, welche Bandbreite (*bandwidth*) hier aktuell für die Berechnung der OSPF-Metrik für den Link zwischen R1 und R2 zugrunde gelegt wird.

Aktuelle (falsch zugeordnete) Bandbreite: _____

Begründen Sie, warum es deshalb hier nur einen Routeneintrag gibt.

- b) Ändern Sie auf den S0/0/0-Interfaces von R1 und R2 jeweils den *bandwidth*-Wert auf den korrekten Wert für die hier verwendete Geschwindigkeit von 128 kbit/s. Wie lautet der Befehl?
- c) Sehen Sie sich erneut die Routing-Tabellen der beiden Router an. Sind nun die doppelten Einträge zu den betroffenen Netzen vorhanden? Begründung ?

3.4 Weitere Untersuchungen zu den OSPF-Metriken und -Eigenschaften

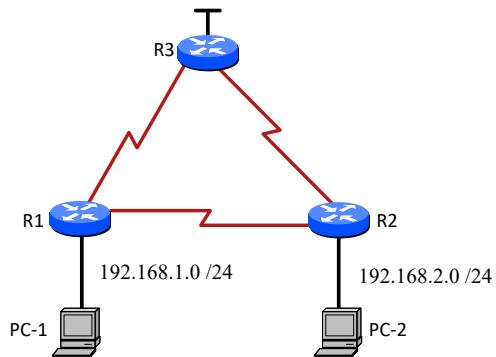
- a) Lassen Sie sich exemplarisch auf R1 mit dem Kommando `show ip ospf interface` die OSPF-Metrik jedes Interfaces anzeigen. Welcher Bandbreite entsprechen diese Daten, wenn die Kosten mit der Standardeinstellung (Referenzbandbreite 100 Mbit/s) berechnet wurden?

Interface	OSPF-Metrik	zugehörige Bandbreite inkl. Berechnung
G0/0		
S0/0/0 bzw. S0/0/1		

Hinweis: Die in den PCs verwendete Netzwerkkarte weist nur eine Geschwindigkeit von 100 Mbit/s (FastEthernet) auf, daher werden auch die Gigabit Ethernet Interfaces der 2900er Router auf 100 Mbit/s heruntergehandelt (Ethernet auto-negotiation Funktion).

- b) Analysieren Sie die Metriken für die Netze 192.168.1.0/24 und 192.168.2.0/24 in der Routing-Tabelle von **Router R3**. Wie kommen die Werte zustande?

Tragen Sie dazu in die in a) ermittelten Metriken für die einzelnen an den Routen beteiligten Netze und die passenden Summen für den gesamten Pfad in die folgende Abbildung ein und vergleichen Sie die von Ihnen berechneten Werte mit den Metrik-Werten in der Routing Tabelle von R3.



Hinweis: Die Berechnung der Kosten mit der Referenzbandbreite 100 Mbit/s bereitet in modernen Netzen oft Schwierigkeiten, weil Geschwindigkeiten von 100 Mbit/s und höher dann immer auf die gleiche Metrik (1) abgebildet werden und nicht mehr unterschieden werden können. Deshalb kann man inzwischen die Referenzbandbreite bei der Konfiguration auch höher setzen, wenn dies erforderlich ist. Dann würden sich die Kosten z.B. so ändern, wie Sie dieses in der Vorbereitung für eine Referenzbandbreite von 1 Gbit/s exemplarisch berechnet haben.

Anhang A: Grundlegende Konfiguration von OSPF

OSPF arbeitet mit klassenlosem Routing und kann große Netze zur Reduktion der Komplexität in mehrere Areas unterteilen.

Bei der grundlegenden Konfiguration von OSPF muss auf einem Router das Routing Protokoll OSPF gestartet werden und anschließend muss mit dem Befehl `network` angegeben werden, welche der direkt angeschlossenen Netze des Routers in der OSPF Domäne propagiert werden sollen. Dabei muss jeweils durch Angabe der Area ID ergänzt werden, zu welcher OSPF-Area dieses Netz gehört. Da wir hier in der gesamten Topologie nur eine Area betrachten, ist diese auf allen Routern immer gleich (Area 0).

OSPF wird mit dem Befehl `Router(config#) router OSPF <OSPF Process-ID>` aktiviert. Die OSPF Prozess ID ist die lokale Kennung für den OSPF-Prozess (i.d.R. wählt man 1, wenn im Normalfall nur ein Prozess läuft).

Die allgemeine Syntax für den `network` Befehl lautet dann

```
R(config-router#) network <Netzadresse> <Wildcard-Maske> <area area-id>
```

Beispiel: An einem Router seien die Netze 10.11.12.0 /25 und die Netze 10.11.12.128 /29 angeschlossen, die am Routing mit OSPF teilnehmen sollen:

```
Router(config#) router OSPF 1
Router(config-router#) network 10.11.12.0 0.0.0.127 area 0
Router(config-router#) network 10.11.12.128 0.0.0.7 area 0
```

Das Beispiel zeigt zum einen, dass OSPF konsequent klassenlos arbeitet und alle teilnehmenden Netze grundsätzlich einzeln unter Verwendung des passenden Präfix (der Subnetzmaske) konfiguriert werden müssen (und nicht wie z.B. bei RIP mit den zugehörigen klassenbehafteten Netzadressen).

Zum anderen erkennt man, dass OSPF für die Angabe der Präfixes nach der Netzadresse eine eigene Syntax mit der sogenannten Wildcard-Maske verwendet. Diese ergibt sich aus der Negation der binären Subnetzmaske.

Im Beispiel:

Netz 10.11.12.0 /25 (Subnetzmaske 255.255.255.128) -> Wildcard-Maske 0.0.0.127

Netz 10.11.12.128 /29 (Subnetzmaske 255.255.255.248) -> Wildcard-Maske 0.0.0.7

Propagieren der Default-Route:

OSPF kann auch statische Default-Routen dynamisch an andere Router der Domäne verteilen. Dieses muss auf dem Router mit der Default-Route konfiguriert werden:

```
Router(config-router#) default-information originate
```

Damit ist die für diesen Versuch erforderliche Grundkonfiguration von OSPF abgedeckt.

Üblicherweise würde man auf den Routern außerdem noch eine eindeutige Router-ID konfigurieren, was aber für IPv4 nicht zwingend erforderlich ist, da diese bei IPv4 automatisch aus den IP-Adressen der verwendeten Interfaces abgeleitet wird, wenn keine explizite Konfiguration vorgenommen wird. Dieses und weitere Details zu OSPF (z.B. das Ändern der Referenzbandbreite oder die Einführung mehrerer Areas) werden im Rahmen dieser Vorlesung nicht weiter behandelt, sondern würden im Wahlpflichtmodul «Weiterführende Internettechnologien» vertieft werden.