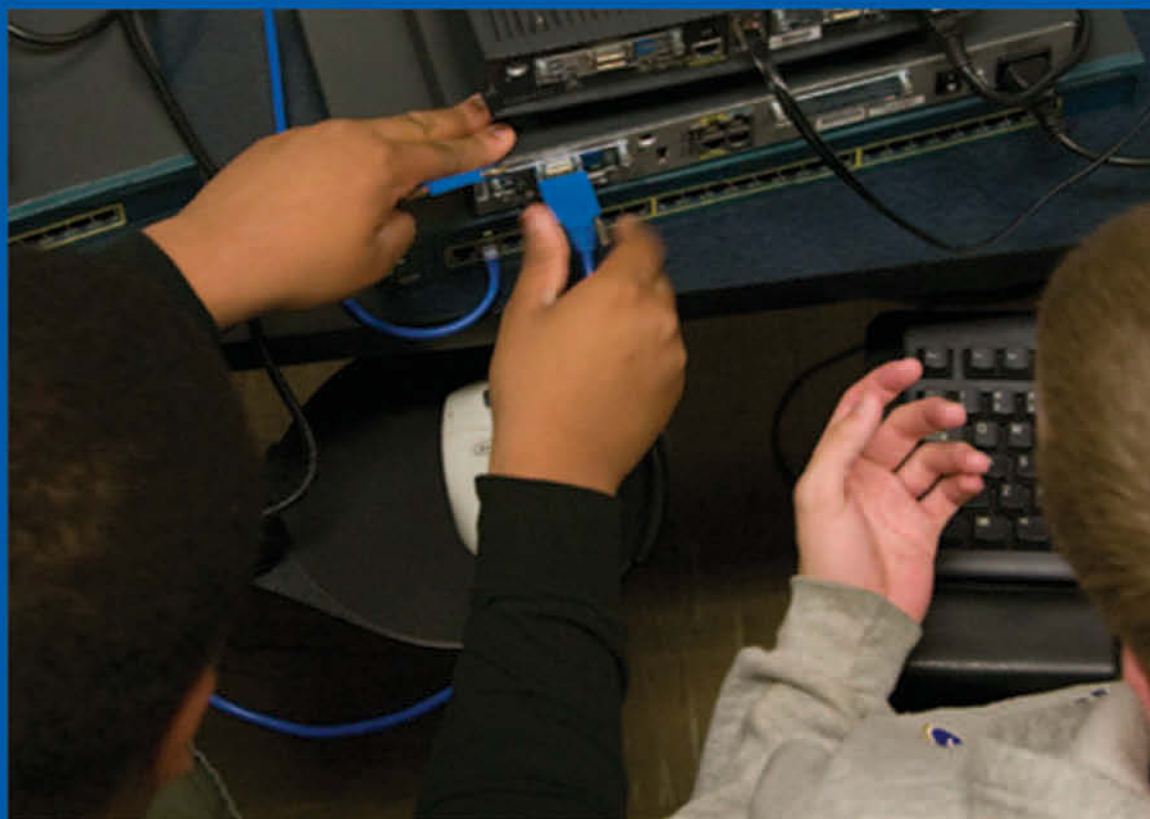




Routing-Protokolle und -Konzepte

CCNA Exploration Companion Guide



Rick Graziani • Allan Johnson

Cisco | Networking Academy
Mind Wide Open

 ADDISON-WESLEY

 Packet Tracer v4.1

Lernziele

Wenn Sie dieses Kapitel gelesen haben, sollten Sie in der Lage sein, die folgenden Fragen zu beantworten:

- Können Sie die Rolle der dynamischen Routing-Protokolle beschreiben und diese im Zusammenhang eines modernen Netzwerkdesigns darstellen?
- Welche unterschiedlichen Klassen von Routing-Protokollen gibt es?
- Welche Metrik wird jeweils von Routing-Protokollen verwendet, und welche Arten der Metrik werden von dynamischen Protokollen eingesetzt?
- Wie legen Sie die administrative Distanz einer Route fest, und welche Bedeutung hat diese im Routing-Prozess?
- Welche unterschiedlichen Elemente sind in einer Routing-Tabelle enthalten?
- Können Sie aus praxisbezogenen Vorgaben ein Subnetzschema entwerfen und anwenden?

Schlüsselbegriffe

In diesem Kapitel werden die folgenden Schlüsselbegriffe vorgestellt. Die entsprechenden Definitionen finden Sie im Glossar.

Skalieren ▪ Algorithmus ▪ autonomes System ▪ Routing-Domäne ▪ IGP ▪ EGP ▪ Pfadvektor-Protokoll ▪ Distanzvektor ▪ Vektoren ▪ Link-State ▪ Link-State-Router ▪ Konvergenz ▪ klassenbezogene Routing-Protokolle ▪ VLSM ▪ nicht zusammenhängendes Netzwerk ▪ klassenlose Routing-Protokolle ▪ Konvergenz ▪ administrative Distanz

Einführung in die dynamischen Routing-Protokolle

Die Datennetze, die wir im täglichen Leben zum Lernen, Spielen und Arbeiten einsetzen, reichen von kleinen lokalen Netzwerken bis hin zum umfangreichstem globalem Netzwerk – dem Internet. Zu Hause arbeiten Sie vielleicht mit einem Router und zwei oder mehr Computern. Bei Ihrer Firma hingegen finden Sie unter Umständen mehrere Router und Switches vor, die die Anforderung Hunderter oder Tausender PCs in puncto Datenkommunikation erfüllen müssen.

In den Kapiteln 1 und 2 haben Sie gelernt, wie Router bei der Weiterleitung von Paketen verwendet und Remote-Netzwerke mithilfe von statischen Routen und dynamischen Routing-Protokollen erreicht werden. Sie wissen außerdem, dass Routen in Remote-Netzwerke manuell mithilfe statischer Routen konfiguriert werden können.

Dieses Kapitel stellt dynamische Routing-Protokolle vor und beschreibt ihre Klassifizierung, die von ihnen zur Bestimmung des besten Pfades eingesetzte Metrik und die Vorteile der Verwendung dynamischer Protokolle.

Dynamische Routing-Protokolle werden meist in größeren Netzwerken benutzt, um den administrativen und operationalen Overhead zu vermeiden, der mit der ausschließlichen Verwendung statischer Routen einhergeht. Normalerweise verwendet ein Netzwerk eine Kombination aus dynamischen Routing-Protokollen und statischen Routen. Dabei wird in den meisten Netzwerken oft nur ein einziges dynamisches Routing-Protokoll benutzt, doch kommt es durchaus vor, dass in unterschiedlichen Teilen eines großen Netzwerks auch verschiedene Routing-Protokolle zum Einsatz kommen.

Seit den frühen 1980er-Jahren wurden diverse dynamische Routing-Protokolle entwickelt. Dieses Kapitel stellt einige dieser Protokolle mit ihren Eigenschaften und Unterschieden vor, auf die zum Teil in späteren Kapiteln genauer eingegangen wird.

Auch wenn viele Netzwerke nur ein einziges Routing-Protokoll oder sogar nur statische Routen verwenden, müssen Sie als Netzwerktechniker die Technik und den Betrieb der verschiedenen Routing-Protokolle kennen. Ein Netzwerkexperte muss in der Lage sein zu entscheiden, wann ein dynamisches Routing-Protokoll eingesetzt werden sollte und welches Protokoll die beste Wahl für eine bestimmte Umgebung ist.

3.1 Einführung in die dynamischen Routing-Protokolle

Dynamische Routing-Protokolle spielen in modernen Netzwerken eine wichtige Rolle. Die folgenden Abschnitte beschreiben die wesentlichen Vorteile, die dynamische Routing-Protokolle bieten. In vielen Netzwerken werden dynamische Routing-Protokolle gewöhnlich in Kombination mit statischen Routen verwendet.

3.1.1 Entstehung und Entwicklung

Dynamische Routing-Protokolle wurden im Laufe der Jahre entwickelt und an die sich ändernden Netzwerkanforderungen angepasst. Während zahlreiche Organisationen auf aktuellere Routing-Protokolle wie EIGRP (Enhanced Interior Gateway Routing Protocol) und OSPF (Open Shortest Path First) umgestiegen sind, werden auch ältere Protokolle wie RIP (Routing Information Protocol) nach wie vor eingesetzt.

Die Entwicklung der dynamischen Routing-Protokolle

Dynamische Routing-Protokolle werden seit den frühen 1980er-Jahren in Netzwerken eingesetzt. Die erste Version von RIP wurde 1982 veröffentlicht, doch einige der grundlegenden Algorithmen im Protokoll wurden bereits seit 1969 im ARPANET eingesetzt.

Als Netzwerke sich weiterentwickelten und immer komplexer wurden, entstanden auch neue Routing-Protokolle. Abbildung 3.1 zeigt die Klassifizierung der Routing-Protokolle.

Die Abbildung zeigt eine Zeitleiste der IP-Routing-Protokolle und eine Übersicht, um die verschiedenen Protokolle klassifizieren zu können. Wir werden in diesem Buch an vielen Stellen auf diese Übersicht Bezug nehmen.

Eines der ältesten Routing-Protokolle ist RIP (Routing Information Protocol). Mit RIPv2 wurde inzwischen eine neuere Version dieses Protokolls entwickelt. Diese lässt sich allerdings nicht auf größere Netzwerkinstallationen skalieren.

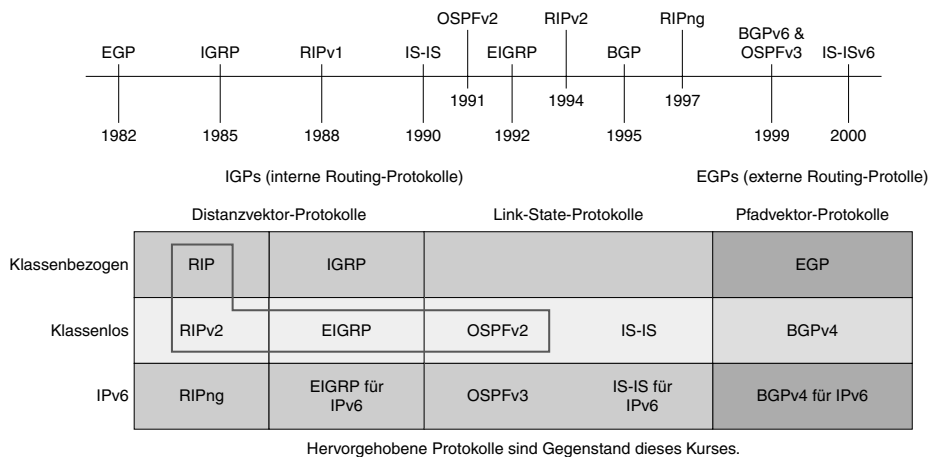


Abbildung 3.1: Entwicklung und Klassifizierung der Routing-Protokolle

Um die Anforderungen umfangreicherer Netzwerke zu erfüllen, wurden zwei weitere Protokolle entwickelt: OSPF und IS-IS (Intermediate System-to-Intermediate System). Cisco seinerseits entwickelte IGRP (Interior Gateway Routing Protocol) und EIGRP (Enhanced Interior Gateway Routing Protocol). Insbesondere EIGRP ist in größeren Netzwerkimplementierungen gut skalierbar.

Außerdem bestand die Notwendigkeit, verschiedene Netzwerke miteinander zu verbinden und das Routing zwischen ihnen zu ermöglichen. Internetprovider verwenden heute BGP (Border Gateway Protocol) zum Austausch von Routing-Daten sowohl untereinander als auch zur Anbindung großer Privatkunden.

Aufgrund des Aufkommens zahlreicher IP-fähiger Endgeräte ist der IPv4-Adressraum nahezu erschöpft. Dies hat zur Entwicklung von IPv6 geführt. Um die IPv6-basierte Kommunikation zu unterstützen, wurden zudem neuere Versionen der IP-Routing-Protokolle entworfen (vgl. die Zeile »IPv6« in Abbildung 3.1).

ANMERKUNG

In diesem Kapitel erhalten Sie einen Überblick über die verschiedenen dynamischen Routing-Protokolle. Weitere Details zu RIP, EIGRP und OSPF finden Sie in den nachfolgenden Kapiteln. Die Protokolle IS-IS und BGP hingegen sind Gegenstand des CCNP-Curriculums. IGRP als Vorgänger von EIGRP gilt heute als veraltet.

Die Rolle des dynamischen Routing-Protokolls

Was genau sind dynamische Routing-Protokolle? Routing-Protokolle sollen den Austausch von Routing-Informationen zwischen Routern ermöglichen. Routing-Protokolle gestatten Routern das dynamische Erlernen von Informationen zu Remote-Netzwerken und das automatische Hinzufügen dieser Informationen zu ihren eigenen Routing-Tabellen (siehe Abbildung 3.2).

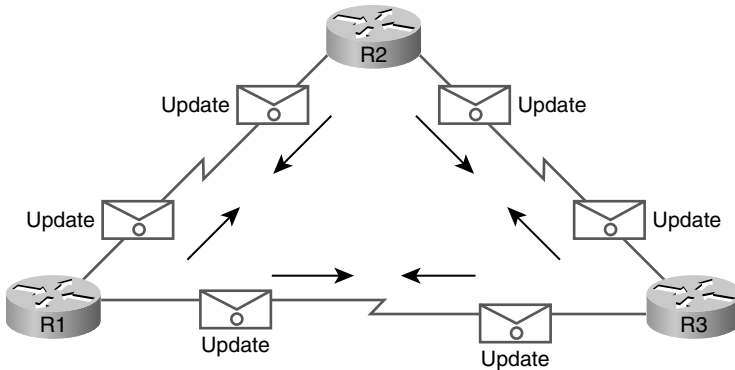


Abbildung 3.2: Router reichen Updates dynamisch weiter.

Routing-Protokolle ermitteln den besten Pfad in jedes Netzwerk, und dieser wird dann zur Routing-Tabelle hinzugefügt. Einer der wesentlichen Vorteile bei der Verwendung eines dynamischen Routing-Protokolls besteht darin, dass Router Routing-Daten bei jeder Topologieänderung austauschen. Dieser Austausch ermöglicht es Routern, neue Netzwerke automatisch zu erlernen und alternative Pfade zu finden, falls eine Verbindung zu einem aktuellen Netzwerk ausgefallen ist.

Verglichen mit statischen Routen verursacht das dynamische Routing weniger administrativen Overhead. Auf der anderen Seite benötigen dynamische Routing-Protokolle einen Teil der Router-Ressourcen (Prozessorzeit, Bandbreite usw.) für den Betrieb des Protokolls. Trotz der Vorteile des dynamischen Routings haben auch statische Routen ihre Berechtigung. Je nach Umständen ist mal die statische, mal die dynamische Routing-Variante die geeignetere Wahl. In der Regel finden Sie eine Kombination beider Typen in jedem größeren Netzwerk vor. Sie werden in diesem Kapitel die Vor- und Nachteile des statischen und des dynamischen Routings kennenlernen.

3.1.2 Netzwerkerkennung und Pflege der Routing-Tabelle

Zwei wesentliche Prozesse bei dynamischen Routing-Protokollen sind die zu Beginn stattfindende Ermittlung von Remote-Netzwerken und das Führen einer Liste dieser Netzwerke in der Routing-Tabelle.

Zweck dynamischer Routing-Protokolle

Ein Routing-Protokoll ist eine Gruppe von Prozessen, Algorithmen und Nachrichten, die verwendet werden, um Routing-Daten auszutauschen und die Routing-Tabelle mit den nach den Vorgaben des Routing-Protokolls besten Pfaden aufzufüllen. Der Zweck eines Routing-Protokolls besteht darin,

- Remote-Netzwerke zu erkennen,
- aktuelle Routing-Informationen zu verwenden,
- den besten Pfad in die Zielnetzwerke auszuwählen,
- einen neuen besten Pfad zu suchen, falls der vorhandene nicht mehr verfügbar ist.

Ein Routing-Protokoll besteht aus folgenden Komponenten:

- **Datenstrukturen.** Einige Routing-Protokolle verwenden Tabellen oder Datenbanken für den Betrieb. Diese Daten werden im RAM gehalten.
- **Algorithmus.** Ein Algorithmus ist eine Liste mit einer endlichen Anzahl von Schritten, die zur Durchführung einer Aufgabe dienen. Routing-Protokolle verwenden Algorithmen zur Verarbeitung von Routing-Daten und zur Ermittlung des besten Pfades.
- **Routing-Protokollnachrichten.** Routing-Protokolle verwenden verschiedene Arten von Nachrichten zur Erkennung benachbarter Router, zum Austausch von Routing-Daten und zur Durchführung anderer Aufgaben, um Informationen zum Netzwerk zu erlernen und zu pflegen.

Betrieb dynamischer Routing-Protokolle

Alle Routing-Protokolle haben denselben Zweck: Sie sollen Remote-Netzwerke erlernen und eine schnelle Anpassung durchführen, wann immer es zu einer Änderung in der Topologie kommt. Welche Methode ein Routing-Protokoll hierzu verwendet, hängt vom eingesetzten Algorithmus und von den Betriebseigenschaften des Protokolls ab. Der Betrieb eines dynamischen Routing-Protokolls unterscheidet sich je nach Protokoll und der jeweiligen Funktion. Die Betriebsabläufe bei RIP, EIGRP und OSPF werden wir in späteren Kapiteln behandeln.

Grundsätzlich lässt sich der Betrieb eines dynamischen Routing-Protokolls wie folgt beschreiben:

1. Der Router sendet und empfängt Routing-Nachrichten an seinen Schnittstellen.
2. Er gibt Routing-Nachrichten und Routing-Daten an andere Router weiter, die das gleiche Protokoll benutzen.
3. Router tauschen Routing-Daten aus, um Remote-Netzwerke in Erfahrung zu bringen.
4. Wenn ein Router eine Topologieänderung erkennt, kann das Routing-Protokoll diese Änderung an andere Router weitergeben.

ANMERKUNG

Betrieb und Konzepte von Routing-Protokollen zu verstehen und diese Protokolle im Netzwerk zu verwenden, erfordert grundlegendes Wissen zu IP-Adressierung und Subnetzbildung. Im »Routing Protocols and Concepts, CCNA Exploration Labs and Study Guide« (ISBN 978-1-58713-204-9) finden Sie drei Szenarien zur Subnetzbildung, mit denen Sie üben können.

3.1.3 Vorteile dynamischer Routing-Protokolle

Dynamische Routing-Protokolle bieten eine Reihe von Vorteilen, die in diesem Abschnitt behandelt werden. In vielen Fällen machen die Komplexität der Netzwerktopologie, die Anzahl der Netzwerke und die Notwendigkeit, das Netzwerk schnell an Änderungen anpassen zu können, die Verwendung eines dynamischen Routing-Protokolls erforderlich.

Bevor wir die Vorteile dynamischer Routing-Protokolle ausführlich würdigen, wollen wir uns ansehen, in welchen Fällen man das statische Routing verwenden kann. Das dynamische Routing bietet verschiedene Vorteile im Vergleich zum statischen Routing, doch wird Letzteres auch in modernen Netzwerken nach wie vor verwendet. In vielen Fällen setzen Netzwerke sogar eine Kombination aus dynamischen Routing-Protokollen und statischen Routen ein.

Tabelle 3.1 vergleicht die Eigenschaften dynamischen und statischen Routings. Diesem Vergleich können Sie die Vorteile der jeweiligen Routing-Methoden entnehmen: Die Vorteile der einen Methode sind oft die Nachteile der anderen.

Tabelle 3.1: *Dynamisches und statisches Routing im Vergleich*

Eigenschaft	Dynamisches Routing	Statisches Routing
Komplexität der Konfiguration	Im Allgemeinen unabhängig von der Größe des Netzwerks	Nimmt mit der Größe des Netzwerks zu
Erforderliche Administratorkenntnisse	Fortgeschrittenes Wissen erforderlich	Kein zusätzliches Wissen notwendig
Topologieänderungen	Automatische Anpassung an Topologieänderungen	Eingriff des Administrators erforderlich
Skalierung	Geeignet für einfache und komplexe Topologien	Geeignet für einfache Topologien
Sicherheit	Wenig sicher	Sicherer
Ressourcenverwendung	Benötigt Prozessor-kapazität, Speicher und Verbindungsbandbreite	Keine zusätzlichen Ressourcen erforderlich
Vorhersehbarkeit	Route abhängig von der aktuellen Topologie	Route zum Empfänger stets identisch

Verwendung sowie Vor- und Nachteile des statischen Routings

Das statische Routing erfüllt eine Reihe wesentlicher Aufgaben:

- Einfache Pflege der Routing-Tabelle in kleineren Netzwerken, die nicht mehr nennenswert wachsen
- Routing in und aus Stub-Netzwerken (siehe Kapitel 2)
- Verwendung einer Default-Route, die zur Darstellung von Pfaden in Netzwerke verwendet wird, für die keine genauere Übereinstimmung in der Routing-Tabelle vorhanden ist

Die Vorteile des statischen Routings sind:

- Minimale Prozessorbeanspruchung
- Unkompliziert zu administrieren
- Einfache Konfiguration

Die Nachteile des statischen Routings sind:

- Zeitaufwendige Konfiguration und Wartung
- Fehleranfällige Konfiguration (insbesondere in großen Netzwerken)
- Erforderlicher Administrator-Eingriff zum Einpflegen geänderter Routen-Daten
- Schlechte Skalierbarkeit bei Wachstum des Netzwerks, extrem aufwendige Wartung
- Umfassende Kenntnisse des gesamten Netzwerks für sachgemäße Implementierung unabdingbar

Vor- und Nachteile des dynamischen Routings

Die Vorteile des dynamischen Routings sind:

- Weniger Arbeit für den Administrator bei der Wartung der Konfiguration, wenn Netzwerke hinzugefügt oder gelöscht werden
- Automatische Reaktion der Protokolle auf Topologieänderungen
- Wenig fehleranfällige Konfiguration
- Bessere Skalierbarkeit, d. h. unproblematisches Netzwerkwachstum

Die Nachteile des dynamischen statischen Routings sind:

- Verwendung von Router-Ressourcen (Prozessorzeit, Speicher, Bandbreite)
- Gute Kenntnisse für Konfiguration, Überprüfung und Troubleshooting erforderlich

3.2 Dynamische Routing-Protokolle klassifizieren

Abbildung 3.1 stellte dar, wie Routing-Protokolle sich nach unterschiedlichen Eigenschaften klassifizieren lassen. Wir wollen Sie in diesem Kapitel mit den entsprechenden Begriffen vertraut machen, die in späteren Kapiteln weiter ausgeführt werden.

In diesem Abschnitt erhalten Sie eine Übersicht über die gängigsten IP-Routing-Protokolle. Die meisten dieser Protokolle werden wir im weiteren Verlauf dieses Buches genauer betrachten. Zunächst aber erhalten Sie einen kurzen Überblick über die einzelnen Protokolle.

Routing-Protokolle lassen sich hinsichtlich ihrer Eigenschaften zu verschiedenen Gruppen zusammenfassen:

- IGP (Interior Gateway Protocol) oder EGP (Exterior Gateway Protocol)
- Distanzvektor-Protokoll oder Link-State-Protokoll
- Klassenbezogenes oder klassenloses Protokoll

Die folgenden Abschnitte behandeln diese Kategorisierungsschemata im Detail.

Die meistverwendeten Routing-Protokolle sind:

- **RIP.** Ein IGP, das nach dem Distanzvektor-Prinzip arbeitet.
- **IGRP.** Ein nach dem Distanzvektor-Prinzip arbeitendes IGP, das von Cisco entwickelt wurde. Gilt seit Cisco IOS Release 12.2 als veraltet.
- **OSPF.** Ein Link-State-IGP.
- **IS-IS.** Ein Link-State-IGP.
- **EIGRP.** Ein fortgeschrittenes Distanzvektor-IGP, das von Cisco entwickelt wurde.
- **BGP.** Ein EGP, das nach dem Pfadvektor-Prinzip arbeitet.

ANMERKUNG

IS-IS und BGP sind nicht Gegenstand dieses Buches.

3.2.1 IGP und EGP

Ein autonomes System (AS, auch bekannt als Routing-Domäne) ist eine Gruppe gemeinsam verwalteter Router. Typische Beispiele hierfür sind das interne Netzwerk eines Unternehmens oder das Netzwerk eines Internetproviders. Da das Internet auf dem Konzept autonomer Systeme basiert, sind zwei Arten von Routing-Protokollen erforderlich: interne und externe Protokolle. Diese Protokolle sind:

- **IGP (Interior Gateway Protocol).** Wird für das Routing innerhalb des AS verwendet.
- **EGP (Exterior Gateway Protocol).** Wird für das AS-übergreifende Routing verwendet.

Abbildung 3.3 zeigt eine vereinfachte Darstellung des Unterschieds zwischen IGP und EGP. Das AS-Konzept werden wir weiter unten ausführlich beschreiben. Obwohl dies eigentlich eine unzulässige Vereinfachung ist, stellen Sie sich bitte ein autonomes System vorläufig als Internetprovider vor.

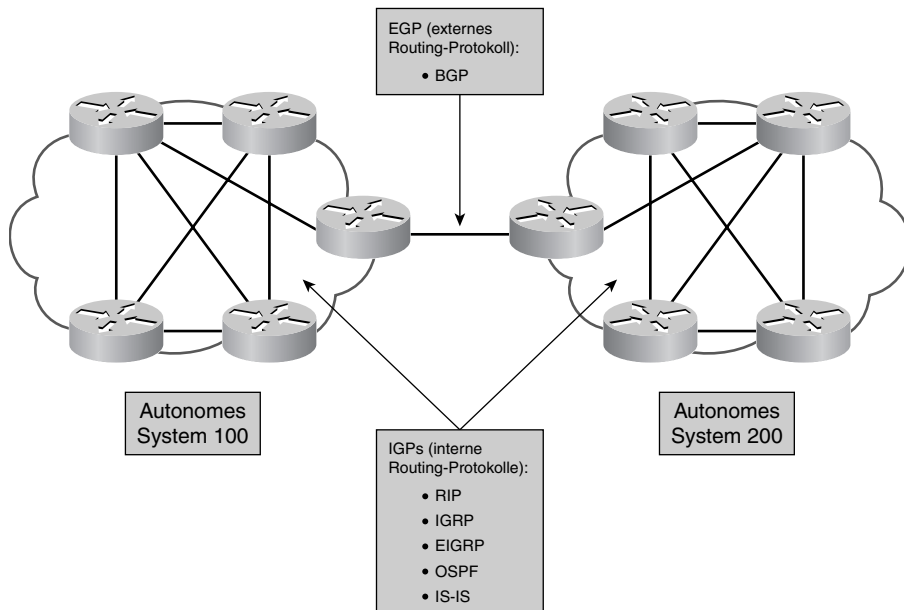


Abbildung 3.3: IGP- und EGP-Protokolle

IGPs werden für das Routing innerhalb einer Routing-Domäne verwendet, d. h. zwischen den gemeinsam administrierten Netzwerken einer Organisation. Ein AS setzt sich meist aus vielen einzelnen Netzwerken zusammen, die Unternehmen, Lehrinrichtungen und anderen Institutionen gehören. Ein IGP wird für das Routing innerhalb des autonomen Systems und auch innerhalb der einzelnen Netzwerke verwendet. So betreibt beispielsweise die CENIC (Corporation for Education Network Initiatives in California) ein AS, das Netzwerke in Schulen, Colleges und Hochschulen in ganz Kalifornien umfasst. Die CENIC verwendet für das Routing innerhalb des AS ein IGP, um alle diese Institutionen aneinander anzubinden. Außerdem benutzen diese Schulen ein IGP eigener Wahl, um das Routing innerhalb des eigenen Netzwerks zu realisieren. Das in den einzelnen Einrichtungen eingesetzte IGP ermöglicht die Ermittlung des jeweils besten Pfades innerhalb der eigenen Routing-Domäne. Ebenso findet das von der CENIC verwendete IGP die besten Routen im Gesamt-AS. Zu den IGP für IP gehören RIP, IGRP, EIGRP, OSPF und IS-IS.

Routing-Protokolle (oder – genauer gesagt – die jeweils verwendeten Algorithmen) benutzen eine Metrik, um den besten Pfad in ein Netzwerk zu bestimmen. Bei RIP etwa ist die verwendete Metrik die *Anzahl der Hops*, d. h. die Zahl der Router, die ein Paket passieren muss, um in ein anderes Netzwerk zu gelangen. OSPF dagegen bestimmt den kürzesten Pfad anhand der *Bandbreite*.

EGPs hingegen werden für die Verwendung zwischen verschiedenen autonomen Systemen verwendet, die auch separat administriert werden. BGP ist das gegenwärtig einzige nennenswerte EGP und wird auch im Internet verwendet. BGP ist ein Pfadvektor-Protokoll, das viele verschiedene Attribute zur Messung von Routen verwenden kann. Auf der ISP-Ebene gibt es häufig wichtigere Fragen als nur die Auswahl des schnellsten Pfades. BGP wird meist zwischen ISPs, manchmal auch zwischen einem Unternehmen und einem ISP eingesetzt. Es ist weder Gegenstand dieses Kurses noch der CCNA, sondern wird im CCNP behandelt.

Eigenschaften von IGP und EGP (3.2.2)



Bei dieser Aktivität wurde das Netzwerk bereits innerhalb der autonomen Systeme konfiguriert. Sie werden eine Default-Route von AS2 und AS3 (zwei verschiedenen Unternehmen) zum ISP (AS1) konfigurieren, um das externe Routing zu simulieren, das jeweils zwischen den beiden Unternehmen und dem ISP stattfindet. Danach werden Sie eine statische Route vom ISP (AS1) nach AS2 und AS3 konfigurieren, um das externe Routing zu simulieren, das zwischen dem ISP und seinen Kunden (AS2 und AS3) erfolgt. Betrachten Sie die Routing-Tabelle vor und nach dem Hinzufügen der statischen und der Default-Routen, um die darin erfolgten Änderungen zu erkennen. Zur Durchführung der Aktivität verwenden Sie Packet Tracer und die Datei *e2-322.pka* auf der Begleit-CD-ROM zu diesem Buch.

3.2.2 Distanzvektor- und Link-State-Protokolle

IGPs lassen sich in zwei Typen unterteilen:

- Distanzvektor-Protokolle
- Link-State-Protokolle

Betrieb von Distanzvektor-Protokollen

Distanzvektor bedeutet, dass Routen als Vektoren mit den Parametern Distanz und Richtung bekannt gegeben werden. Die Distanz wird durch eine Metrik wie etwa die Anzahl der Hops definiert, die Richtung ist die einfache Angabe des nächsten Hops oder der Ausgangsschnittstelle. Distanzvektor-Protokolle verwenden meist den Bellman-Ford-Algorithmus zur Ermittlung des besten Pfades.

Einige Distanzvektor-Protokolle senden regelmäßig vollständige Routing-Tabellen an alle angeschlossenen Nachbarn. In großen Netzwerken können diese Routing-Updates enorm groß werden und einen beträchtlichen Datenverkehr auf den Verbindungen auslösen.

Zwar häuft der Bellman-Ford-Algorithmus früher oder später genügend Informationen an, um eine Datenbank mit den erreichbaren Netzwerken zu erstellen, doch ermöglicht der Algorithmus es dem Router nicht, die Topologie eines Netzwerks exakt zu kennen. Der Router arbeitet lediglich mit den Routing-Daten, die er von seinen Nachbarn erhält.

Distanzvektor-Protokolle verwenden Router als Wegweiser auf dem Pfad zum endgültigen Empfänger. Die einzige Information, die ein Router zu einem Remote-Netzwerk hat, sind die Distanz oder Metrik des Pfades in dieses Netzwerk und die Schnittstelle, die verwendet werden muss, um dorthin zu gelangen. Distanzvektor-Protokolle verfügen nicht über eine »Landkarte« der Netzwerktopologie.

Distanzvektor-Protokolle funktionieren am besten in Situationen, in denen

- das Netzwerk einfach und flach strukturiert ist und kein hierarchisches Design benötigt,
- die Administratoren nicht das erforderliche Wissen aufweisen, um Link-State-Protokolle zu konfigurieren und ein Troubleshooting durchzuführen,
- bestimmte Arten von Netzwerken (z. B. Hub-and-Spoke-Netzwerke) implementiert werden,
- Worst-Case-Konvergenzzenarien in einem Netzwerk nicht relevant sind.

Kapitel 4, »Distanzvektor-Protokolle«, behandelt die Funktionen und den Betrieb von Distanzvektor-Protokollen ausführlich. Sie werden zudem den Betrieb und die Konfiguration von Distanzvektor-Protokollen wie RIP und EIGRP kennenlernen.

Betrieb von Link-State-Protokollen

Im Gegensatz zu Routern, die Distanzvektor-Protokolle verwenden, kann ein mit einem Link-State-Protokoll konfigurierter Router eine »vollständige Ansicht« oder Topologie des Netzwerks erstellen, indem er Informationen von allen anderen Routern abrufen. Sie können sich die Verwendung eines Link-State-Protokolls tatsächlich wie den Einsatz einer Karte der Netzwerktopologie vorstellen. Wegweiser im Pfad vom Absender zum Empfänger sind nicht erforderlich, weil alle Link-State-Router eine identische »Landkarte« des Netzwerks verwenden. Ein Link-State-Router benutzt die Link-State-Informationen zur Erstellung einer Topologiekarte und zur Auswahl des besten Pfades zu allen Zielnetzwerken in der Topologie.

Bei einigen Distanzvektor-Protokollen senden Router regelmäßige Updates ihrer Routing-Daten an ihre Nachbarn. Link-State-Protokolle tun dies nicht: Wenn das Netzwerk konvergiert hat, ist ein Link-State-Update nur erforderlich, sofern sich die Topologie geändert hat.

Link-State-Protokolle funktionieren am besten in Situationen, in denen

- das Netzwerkdesign hierarchisch ist (was bei großen Netzwerken häufiger der Fall ist),
- die Administratoren genügend Kenntnisse über das implementierte Link-State-Protokoll besitzen,
- die schnelle Konvergenz des Netzwerks von höchster Bedeutung ist.

Funktionen und Betrieb von Link-State-Protokollen werden in späteren Kapiteln erläutert. Sie werden zudem den Betrieb und die Konfiguration des OSPF-Protokolls in Kapitel 11, »OSPF«, kennenlernen.

3.2.3 Klassenbezogene und klassenlose Routing-Protokolle

Alle Routing-Protokolle lassen sich weiter klassifizieren als

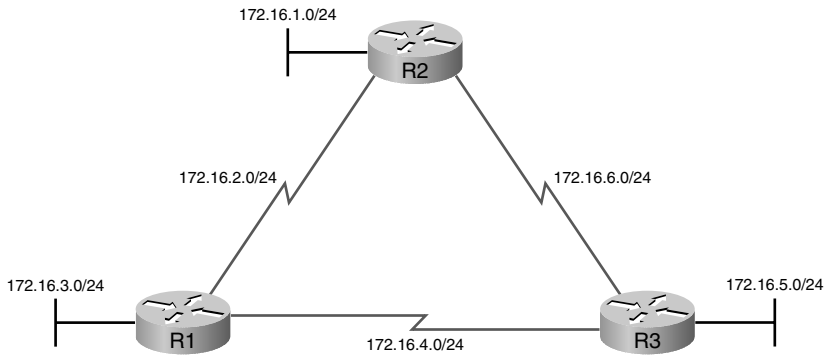
- klassenbezogene Routing-Protokolle oder
- klassenlose Routing-Protokolle.

Klassenbezogene Routing-Protokolle

Klassenbezogene Routing-Protokolle senden keine Subnetzmasken in ihren Routing-Updates. Die ersten Routing-Protokolle (zum Beispiel RIP) waren klassenbezogen. Zur damaligen Zeit wurden Netzwerkadressen basierend auf den Klassen (A, B oder C) zugewiesen. Ein Routing-Protokoll musste die Subnetzmaske beim Routing-Update nicht berücksichtigen, weil seinerzeit die Netzmaske auf der Basis des ersten Oktetts der Netzwerkadresse bestimmt werden konnte.

Klassenbezogene Routing-Protokolle können auch in modernen Netzwerken eingesetzt werden, jedoch in Ermangelung der Subnetzmaske nicht in allen Situationen. Beispielsweise ist die Verwendung eines klassenbezogenen Routing-Protokolls nicht möglich, wenn aus einem Netzwerk Subnetze mit mehreren unterschiedlichen Masken gebildet wurden. Das bedeutet, dass klassenbezogene Protokolle VLSM (Variable Length Subnet Masking) nicht unterstützen.

Abbildung 3.4 zeigt exemplarisch ein Netzwerk, in dem dieselbe Subnetzmaske für alle Subnetze derselben übergreifenden Netzwerkadresse verwendet wird. In dieser Situation könnte ein klassenbezogenes, aber auch ein klassenloses Routing-Protokoll eingesetzt werden.



Klassenbezogen bedeutet, dass die Subnetzmaske in der gesamten Topologie gleich ist.

Abbildung 3.4: Klassenbezogenes Routing

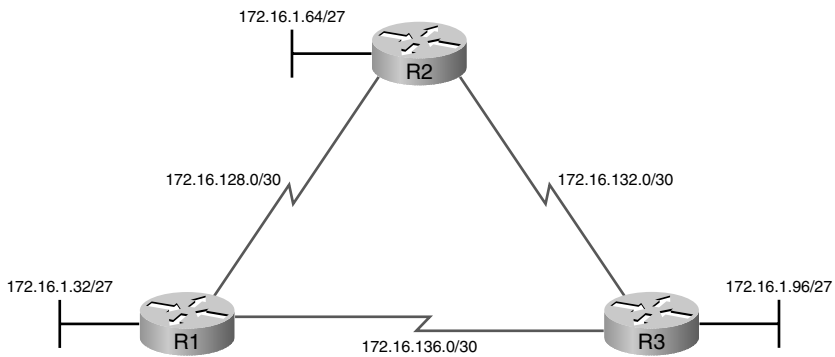
Es gibt noch andere Beschränkungen klassenbezogener Routing-Protokolle; so unterstützen sie beispielsweise keine nichtzusammenhängenden Netzwerke. In späteren Kapiteln werden wir klassenbezogene Routing-Protokolle, nichtzusammenhängende Netzwerke und VLSM ausführlich beschreiben.

Zu den klassenbezogenen Routing-Protokollen gehören RIPv1 und IGRP.

Klassenlose Routing-Protokolle

Klassenlose Routing-Protokolle integrieren die Subnetzmaske mit der Netzwerkadresse in Routing-Updates. Moderne Netzwerke werden heute nicht mehr klassenbezogen vergeben, weswegen sich die Subnetzmaske nicht aus dem Wert des ersten Oktetts ableiten lässt. Klassenlose Routing-Protokolle werden nun in den meisten Netzwerken benötigt, weil sie VLSM, nichtzusammenhängende Netzwerke und andere Funktionen unterstützen, die in späteren Kapiteln behandelt werden.

Beachten Sie in Abbildung 3.5, dass die klassenlose Version des Netzwerks die Masken /30 und /27 in derselben Topologie verwendet. Ferner fällt auf, dass diese Topologie ein nichtzusammenhängendes Design bei der Adressierung benutzt.



Klassenlos bedeutet, dass unterschiedliche Subnetzmasken in der Topologie verwendet werden.

Abbildung 3.5: Klassenloses Routing

Klassenlose Routing-Protokolle sind RIPv2, EIGRP, OSPF, IS-IS und BGP.

3.2.4 Dynamische Routing-Protokolle und Konvergenz

Ein wichtiges Merkmal eines Routing-Protokolls ist die Frage, wie schnell es angesichts einer Änderung in der Topologie konvergiert.

Konvergenz liegt vor, wenn die Routing-Tabellen aller Router sich in einem konsistenten Zustand befinden. Das Netzwerk hat konvergiert, wenn alle Router über vollständige und zutreffende Informationen zum Netzwerk verfügen. Die Konvergenzzeit ist der Zeitraum, den die Router benötigen, um Informationen weiterzugeben, beste Pfade zu berechnen und ihre Routing-Tabellen zu aktualisieren. Ein Netzwerk ist erst vollständig betriebsbereit, wenn es konvergiert hat; deswegen sind in den meisten Netzwerken kurze Konvergenzzeiten unabdingbar.

Die Konvergenz basiert zu gleichen Teilen auf Zusammenarbeit und Selbstständigkeit. Die Router tauschen Informationen miteinander aus, müssen die Auswirkungen von Topologieänderungen auf ihre eigenen Routen jedoch selbst berechnen. Da sie jeweils unabhängig voneinander eine Übereinstimmung mit der neuen Topologie anstreben, spricht man davon, dass sie auf diese Übereinstimmung *hinkonvergieren*.

Zu den Konvergenzeigenschaften gehören die Ausbreitungsgeschwindigkeit von Routing-Daten und die Berechnung optimaler Pfade. Routing-Protokolle können basierend auf der Konvergenzgeschwindigkeit bewertet werden: Je schneller die Konvergenz erreicht wird, desto besser ist das Routing-Protokoll. RIP und IGRP konvergieren eher langsam, während EIGRP, OSPF und IS-IS dies schneller tun.

Konvergenz (3.2.5)

Bei dieser Aktivität wurde das Netzwerk bereits mit zwei Routern, zwei Switches und zwei Hosts konfiguriert. Nun wird ein neues LAN hinzugefügt. Sie werden dann beobachten, wie das Netzwerk konvergiert. Zur Durchführung der Aktivität verwenden Sie Packet Tracer und die Datei *e2-325.pka* auf der Begleit-CD-ROM zu diesem Buch.

3.3 Metrik

Die Metrik ermöglicht das Messen und Vergleichen von Routen. Routing-Protokolle verwenden die Metrik, um zu ermitteln, welche Route den besten Pfad darstellt.

3.3.1 Funktion der Metrik

Es gibt Fälle, in denen ein Routing-Protokoll mehrere Routen zum selben Ziel erlernt. Um den besten Pfad auszuwählen, muss das Routing-Protokoll in der Lage sein, die verfügbaren Pfade zu bewerten und zwischen ihnen zu unterscheiden. Zu diesem Zweck wird eine Metrik verwendet. Eine Metrik ist ein Wert, mit dessen Hilfe Routing-Protokolle sogenannte Kosten festlegen, die zum Erreichen des Remote-Netzwerks anfallen. Anhand der Metrik wird bestimmt, welcher Pfad der geeignetste ist, falls mehrere Pfade in dasselbe Netzwerk vorhanden sind.

Jedes Routing-Protokoll berechnet seine Metrik auf andere Weise. RIP etwa verwendet die Anzahl der Hops, EIGRP eine Kombination aus Bandbreite und Latenz und die Cisco-Implementierung von OSPF die Bandbreite. Die Anzahl der Hops ist das wohl am einfachsten zu erfassende Konzept. Der Begriff verweist auf die Anzahl der Router, die ein Paket passieren muss, um zum Zielnetzwerk zu gelangen.

Für Router R3 in Abbildung 3.6 ist das Netzwerk 172.16.3.0 zwei Hops (Router) entfernt. Für Router R2 ist das Netzwerk 172.16.3.0 nur einen und für Router R1 null Hops entfernt (denn an R1 ist das Netzwerk direkt angeschlossen).

ANMERKUNG

Die Metrik für ein bestimmtes Routing-Protokoll und ihre Berechnung werden im Kapitel zum jeweiligen Routing-Protokoll beschrieben.

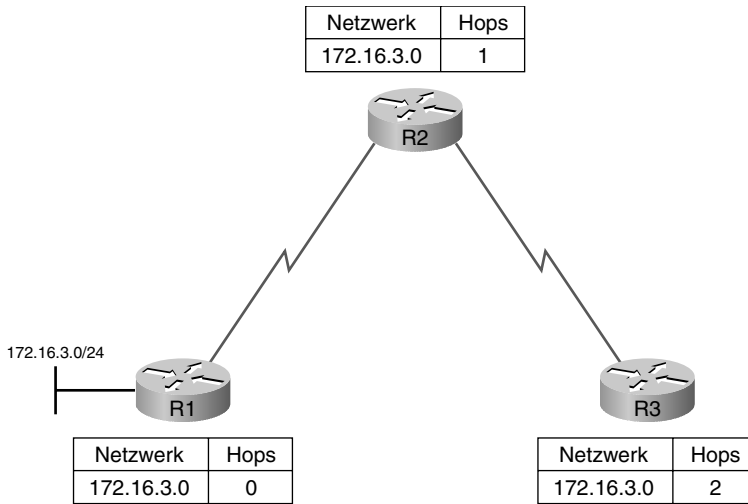


Abbildung 3.6: Metriken

3.3.2 Metrik und Routing-Protokolle

Die verschiedenen Routing-Protokolle nutzen unterschiedliche Metrikdarstellungen. Die von dem einen Protokoll verwendete Metrik ist nicht kompatibel mit der eines anderen Protokolls (eine Ausnahme bilden hierbei IGRP und EIGRP).

Metrikparameter

Zwei verschiedene Routing-Protokolle wählen unter Umständen verschiedene Pfade zum selben Ziel aus, da sie unterschiedliche Metriken verwenden.

Abbildung 3.7 zeigt, wie R1 das Netzwerk 172.16.1.0/24 erreichen würde. RIP würde den Pfad mit der geringsten Anzahl an Hops nehmen, der über R2 führt, während OSPF den Pfad mit der höchsten Bandbreite (über R3) bevorzugen würde.

Zur Ermittlung der bei IP-Routing-Protokollen verwendeten Metrik können benutzt werden:

- **Anzahl der Hops.** Eine einfache Metrik, die die Anzahl der Router zählt, die ein Paket passieren muss.
- **Bandbreite.** Beeinflusst die Pfadauswahl dahingehend, dass der Pfad mit der höchsten Bandbreite bevorzugt wird.
- **Last.** Berücksichtigt die Auslastung einer Verbindung.

- **Latenz.** Basiert auf der Zeit, die ein Paket benötigt, um einen Pfad zu durchqueren.
- **Zuverlässigkeit.** Bewertet die Wahrscheinlichkeit eines Verbindungsausfalls anhand der Fehlerrate der Schnittstelle und vorheriger Verbindungsausfälle.
- **Kosten.** Ein Wert, der entweder vom IOS oder vom Netzwerkadministrator festgelegt wird und die Priorität einer Route angibt. Kosten können eine Metrik, eine Kombination mehrerer Metriken oder eine Richtlinie darstellen.

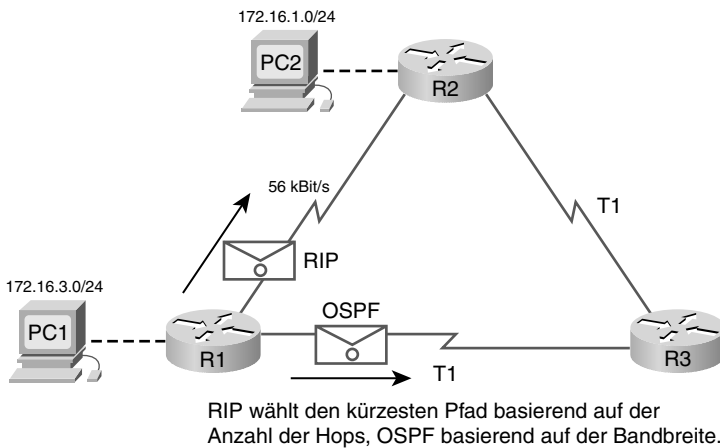


Abbildung 3.7: Anzahl der Hops versus Bandbreite

ANMERKUNG

Zu diesem Zeitpunkt ist es nicht wichtig, dass Sie die Metrik vollständig verstanden haben, da sie in späteren Kapiteln ausführlicher beschrieben wird.

Das Metrikfeld in der Routing-Tabelle

Die Routing-Tabelle zeigt die Metrik für alle dynamischen und statischen Routen an. Aus Kapitel 2 wissen Sie, dass statische Routen stets den Metrikwert 0 haben.

Die folgende Liste definiert die Metrik für die einzelnen Routing-Protokolle.

- **RIP: Anzahl der Hops.** Der beste Pfad wird anhand der Route mit den wenigsten Hops ermittelt.
- **IGRP und EIGRP: Bandbreite, Latenz, Zuverlässigkeit und Last.** Der beste Pfad ist die Route mit der kleinsten zusammengesetzten Metrik, die sich aus den aufgeführten Parametern ergibt. Standardmäßig werden nur die Bandbreite und die Latenz verwendet.
- **IS-IS und OSPF: Kosten.** Der beste Pfad wird anhand der Route mit den niedrigsten Kosten ermittelt. Die Cisco-Implementierung von OSPF verwendet die Bandbreite zur Bestimmung der Kosten. IS-IS ist Gegenstand von CCNP.

Routing-Protokolle ermitteln den besten Pfad basierend auf der Route mit der niedrigsten Metrik.

Alle Router in Abbildung 3.8 verwenden RIP.

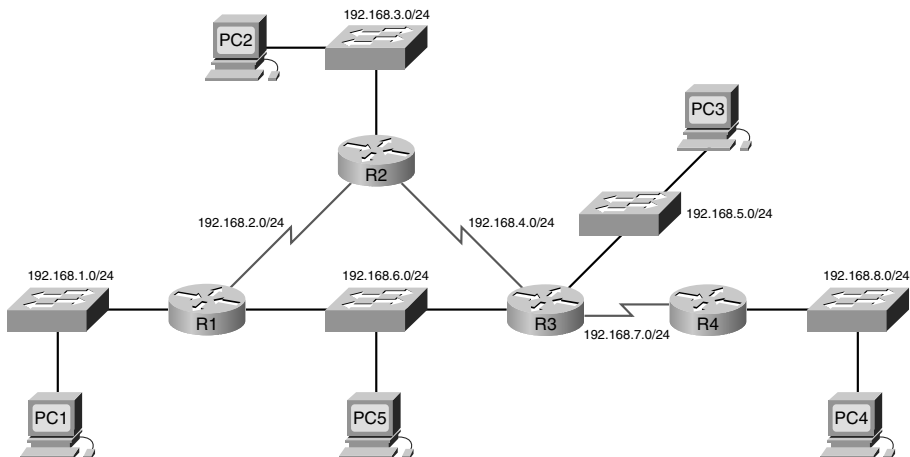


Abbildung 3.8: Ermittlung des besten Pfades in einem Netzwerk mit RIP

Die mit einer bestimmten Route verbundene Metrik lässt sich am besten mit dem Befehl `show ip route` anzeigen. Der Metrikwert ist der zweite in Klammern stehende Wert des Routing-Tabelleneintrags. In Listing 3.1 hat R2 eine Route nach 192.168.8.0/24, die zwei Hops lang ist. Die hervorgehobene 2 in der Befehlsausgabe ist die Angabe der Metrik.

Listing 3.1: Routing-Tabelle auf R2

R2# show ip route

<Ausgabe unterdrückt>

Gateway of last resort is not set

```
R   192.168.1.0/24 [120/1] via 192.168.2.1, 00:00:24, Serial0/0/0
C   192.168.2.0/24 is directly connected, Serial0/0/0
C   192.168.3.0/24 is directly connected, FastEthernet0/0
C   192.168.4.0/24 is directly connected, Serial0/0/1
R   192.168.5.0/24 [120/1] via 192.168.4.1, 00:00:26, Serial0/0/1
R   192.168.6.0/24 [120/1] via 192.168.2.1, 00:00:24, Serial0/0/0
      [120/1] via 192.168.4.1, 00:00:26, Serial0/0/1
R   192.168.7.0/24 [120/1] via 192.168.4.1, 00:00:26, Serial0/0/1
R   192.168.8.0/24 [120/2] via 192.168.4.1, 00:00:26, Serial0/0/1
```

3.3.3 Lastausgleich

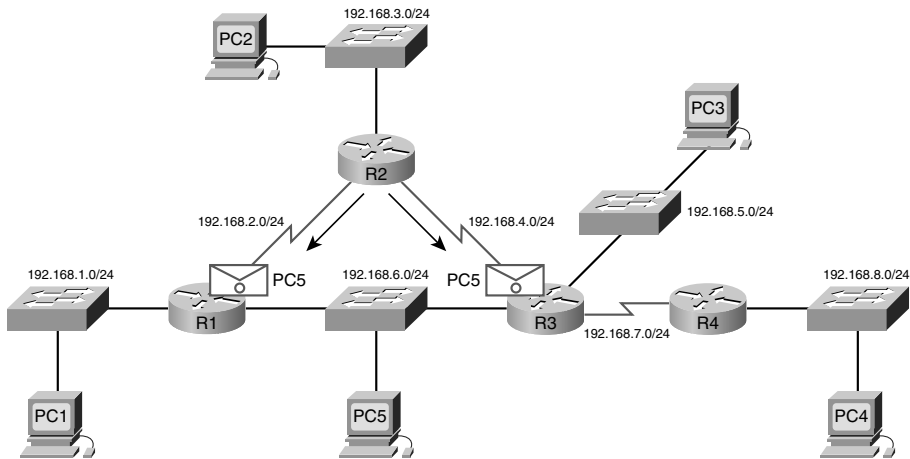
Sie wissen nun, dass einzelne Routing-Protokolle die Metrik zur Bestimmung der besten Route in Remote-Netzwerke verwenden. Was aber geschieht, wenn zwei oder mehr Routen zum selben Ziel eine identische Metrik aufweisen? Wie entscheidet der Router hier, welcher Pfad zur Paketweiterleitung verwendet wird? Nun, in einem solchen Fall wird nicht nur eine Route ausgewählt, sondern der Router führt einen *Lastausgleich* zwischen gleichwertigen Routen durch. Die Pakete werden über alle Pfade weitergeleitet, die den gleichen Kostenwert aufweisen.

Um festzustellen, ob der Lastausgleich aktiv ist, konsultieren Sie die Routing-Tabelle: Sind zwei oder mehr Routen mit demselben Ziel vorhanden, findet ein Lastausgleich statt.

ANMERKUNG

Der Lastausgleich kann entweder paket- oder zielspezifisch erfolgen. Wie ein Router einen Lastausgleich bei Paketen zwischen den gleichwertigen Pfaden tatsächlich durchführt, wird durch den Switching-Prozess geregelt. Diesen Prozess werden wir in einem späteren Kapitel ausführlich beschreiben.

Abbildung 3.9 zeigt exemplarisch einen Lastausgleich. Dabei wird davon ausgegangen, dass R2 die an PC5 gesendeten Daten über zwei gleichwertige Pfade versendet.



R2 führt bei den auf R2 für das Netzwerk 192.168.6.0/24 bestimmten Daten einen Lastausgleich durch.

Abbildung 3.9: Lastausgleich über gleichwertige Pfade

Der Befehl `show ip route` in Listing 3.1 zeigt an, dass das Zielnetzwerk 192.168.6.0 über 192.168.2.1 (Serial 0/0/0) und 192.168.4.1 (Serial 0/0/1) zu erreichen ist. Wir führen diese gleichwertigen Routen hier noch einmal auf:

```
R2# show ip route
```

<Ausgabe unterdrückt>

```
R 192.168.6.0/24 [120/1] via 192.168.2.1, 00:00:24, Serial0/0/0
   [120/1] via 192.168.4.1, 00:00:26, Serial0/0/1
```

Alle in diesem Kurs beschriebenen Routing-Protokolle können per Default automatisch einen Lastausgleich für bis zu vier gleichwertige Routen realisieren. EIGRP kann zudem auch einen Lastausgleich über ungleichwertige Pfade vornehmen. Diese Eigenschaft von EIGRP wird in den CCNP-Kursen behandelt.

3.4 Administrative Distanz

Wir stellen das Konzept der administrativen Distanz in den folgenden Abschnitten kurz vor. Die administrative Distanz wird zudem in den Kapiteln behandelt, die jeweils ein bestimmtes Routing-Protokoll detailliert behandeln.

3.4.1 Aufgabe der administrativen Distanz

Damit der Routing-Prozess ermitteln kann, welche Route zur Weiterleitung eines Pakets verwendet werden soll, muss er zunächst feststellen, welche

Routen er in die Routing-Tabelle eintragen soll. Dabei kann es vorkommen, dass ein Router eine Route in ein Remote-Netzwerk aus mehreren Quellen erlernt. Der Routing-Prozess muss dann festlegen, welche Routenquelle verwendet werden soll. Hierzu wird die administrative Distanz eingesetzt.

Mehrere Routenquellen

Sie wissen bereits, dass Router benachbarte, direkt angeschlossene Netzwerke sowie Remote-Netzwerke über statische Routen und dynamische Routing-Protokolle erlernen. Es ist aber durchaus möglich, dass ein Router eine Route zum selben Netzwerk aus mehreren Quellen erlernt. Beispielsweise ist es denkbar, dass für eine Kombination aus Netzwerkadresse und Subnetzmaske, die über ein dynamisches Routing-Protokoll wie RIP erlernt wurde, auch eine statische Route konfiguriert wurde. In diesem Fall muss der Router die zu installierende Route auswählen.

ANMERKUNG

Vielleicht kommen Ihnen nun die gleichwertigen Pfade in den Sinn. Mehrere Routen in dasselbe Netzwerk können nur installiert werden, wenn sie von derselben Routenquelle stammen. Das bedeutet, dass alle gleichwertigen Routen, die installiert werden, statische Routen *oder* RIP-Routen usw. sein müssen.

Auch wenn es nicht allzu häufig vorkommt, so lassen sich doch mehrere Routing-Protokolle im selben Netzwerk einsetzen. In bestimmten Situationen kann es notwendig sein, dieselbe Netzwerkadresse mithilfe mehrerer Routing-Protokolle wie RIP und OSPF zu routen. Da die verschiedenen Routing-Protokolle jeweils eine unterschiedliche Metrik verwenden – RIP etwa die Anzahl der Hops und OSPF die Bandbreite –, ist es nicht möglich, die verschiedenen Werte der Metrik zur Bestimmung des besten Pfades miteinander zu vergleichen.

Wie aber kann dann ein Router bestimmen, welche Route er in der Routing-Tabelle installieren muss, wenn er dasselbe Netzwerk aus mehreren Routenquellen erlernt hat? Das Cisco IOS trifft diese Entscheidung basierend auf der administrativen Distanz der Routenquelle.

Zweck der administrativen Distanz

Die administrative Distanz (auch kurz als AD bezeichnet) definiert die Priorität einer Routenquelle. Jede Routenquelle – einschließlich bestimmter Routing-Protokolle, statischer Routen und sogar direkt angeschlossener Netzwerke – wird entsprechend dem AD-Wert in der Reihenfolge der besten bis hin zur am wenigsten geeigneten Route priorisiert. Cisco-Router wählen

mithilfe dieser AD-Funktion den besten Pfad aus, wenn sie dasselbe Zielnetzwerk aus zwei oder mehr unterschiedlichen Routenquellen erlernen.

Die administrative Distanz ist ein ganzzahliger Wert zwischen 0 und 255. Je niedriger der Wert ist, desto höher ist die Priorität der Route. Folglich führt eine administrative Distanz von 0 zur höchsten Priorität. Nur ein direkt angeschlossenes Netzwerk hat eine administrative Distanz von 0, die auch nicht geändert werden kann.

ANMERKUNG

Es ist möglich, die administrative Distanz für statische Routen und dynamische Routing-Protokolle zu ändern. Dieses Thema wird in den CCNP-Kursen behandelt.

Eine administrative Distanz von 255 bedeutet, dass der Router der Quelle dieser Route nicht glaubt; sie wird dann nicht in der Routing-Tabelle installiert.

ANMERKUNG

Der Begriff *Vertrauenswürdigkeit* wird bei der Definition der administrativen Distanz häufig verwendet. Je niedriger der Wert der administrativen Distanz, desto vertrauenswürdiger ist die Route.

Abbildung 3.10 zeigt eine Topologie, bei der auf R2 sowohl EIGRP als auch RIP ausgeführt werden. R2 verwendet EIGRP für R1 und RIP für R3.

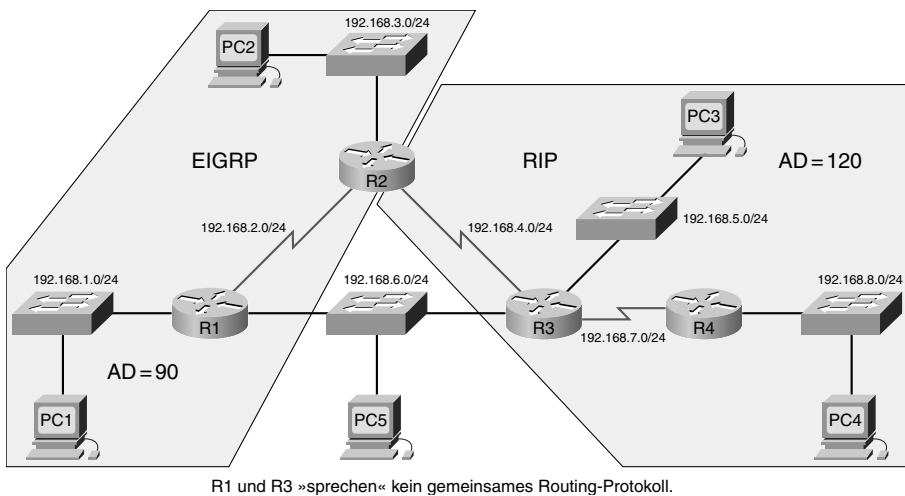


Abbildung 3.10: Administrative Distanzen vergleichen

Listing 3.2 zeigt die Ausgabe des Befehls `show ip route` auf R2.

Listing 3.2: Routing-Tabelle auf R2

```
R2# show ip route
```

```
<Ausgabe unterdrückt>
```

```
Gateway of last resort is not set
```

```
D 192.168.1.0/24 [90/2172416] via 192.168.2.1, 00:00:24, Serial0/0
C 192.168.2.0/24 is directly connected, Serial0/0/0
C 192.168.3.0/24 is directly connected, FastEthernet0/0
C 192.168.4.0/24 is directly connected, Serial0/0/1
R 192.168.5.0/24 [120/1] via 192.168.4.1, 00:00:08, Serial0/0/1
D 192.168.6.0/24 [90/2172416] via 192.168.2.1, 00:00:24, Serial0/0/0
R 192.168.7.0/24 [120/1] via 192.168.4.1, 00:00:08, Serial0/0/1
R 192.168.8.0/24 [120/2] via 192.168.4.1, 00:00:08, Serial0/0/1
```

Der AD-Wert ist der erste in Klammern stehende Wert des Routing-Tabelleintrags. Beachten Sie, dass R2 über eine Route in das Netzwerk 192.168.6.0/24 mit einem AD-Wert von 90 verfügt.

```
D 192.168.6.0/24 [90/2172416] via 192.168.2.1, 00:00:24, Serial0/0/0
```

R2 führt sowohl RIP als auch EIGRP aus. Denken Sie daran, dass es nicht allzu häufig vorkommt, dass Router mehrere dynamische Routing-Protokolle ausführen; wir wollen hier lediglich veranschaulichen, wie die administrative Distanz funktioniert. R2 hat die Route nach 192.168.6.0/24 von R1 über EIGRP-Updates und von R3 über RIP-Updates erlernt. RIP hat eine administrative Distanz von 120, EIGRP hingegen weist einen niedrigeren Wert (90) auf. Folglich fügt R2 die via EIGRP erlernte Route zur Routing-Tabelle hinzu und leitet alle Pakete, die an das Netzwerk 192.168.6.0/24 gerichtet sind, an Router R1 weiter.

Was geschieht nun, wenn die Verbindung zu R1 nicht mehr verfügbar ist? Hätte R2 dann keine Route nach 192.168.6.0? Nun, R2 verfügt über die Informationen zur RIP-Route für 192.168.6.0, die in der RIP-Datenbank gespeichert ist. Dies lässt sich mit dem Befehl `show ip rip database` überprüfen (siehe Listing 3.3).

Listing 3.3: Verfügbarkeit der RIP-Route überprüfen

```
R2# show ip rip database

192.168.3.0/24    directly connected, FastEthernet0/0
192.168.4.0/24    directly connected, Serial0/0/1
192.168.5.0/24
    [1] via 192.168.4.1, Serial0/0/1
192.168.6.0/24
    [1] via 192.168.4.1, Serial0/0/1
192.168.7.0/24
    [1] via 192.168.4.1, Serial0/0/1
192.168.8.0/24
    [2] via 192.168.4.1, Serial0/0/1
```

Der Befehl `show ip rip database` zeigt alle RIP-Routen an, die von R2 erlernt wurden; ob die jeweilige Route in der Routing-Tabelle installiert wurde, spielt dabei keine Rolle. Nun können Sie die Frage selbst beantworten, was geschehen würde, wenn die EIGRP-Route nach 192.168.6.0 ausfällt. RIP bietet eine Route an, und diese würde auch in der Routing-Tabelle installiert werden. Wenn die EIGRP-Route später wiederhergestellt würde, würde die RIP-Route entfernt, und die EIGRP-Route würde neu installiert, denn schließlich weist sie den besseren AD-Wert auf.

3.4.2 Dynamische Routing-Protokolle und administrative Distanz

Sie wissen bereits, dass Sie AD-Werte mit dem Befehl `show ip route` überprüfen können (siehe Listing 3.2).

Listing 3.4 zeigt, dass AD-Werte auch mit dem Befehl `show ip protocols` überprüft werden können. Dieser Befehl zeigt alle wesentlichen Informationen zu Routing-Protokollen an, die auf dem Router operieren.

Listing 3.4: Administrative Distanz mit dem Befehl »show ip protocols« überprüfen

```
R2# show ip protocols

Routing Protocol is "eigrp 100 "
  Outgoing update filter list for all interfaces is not set
  Incoming update filter list for all interfaces is not set
  Default networks flagged in outgoing updates
  Default networks accepted from incoming updates
```

Listing 3.4: Administrative Distanz mit dem Befehl »show ip protocols« überprüfen (Forts.)

```
EIGRP metric weight K1=1, K2=0, K3=1, K4=0, K5=0
EIGRP maximum hopcount 100
EIGRP maximum metric variance 1
Redistributing: eigrp 100
Automatic network summarization is in effect
Automatic address summarization:
Maximum path: 4
Routing for Networks:
  192.168.2.0
  192.168.3.0
  192.168.4.0
Routing Information Sources:
  Gateway      Distance      Last Update
  192.168.2.1   90            2366569
Distance: internal 90 external 170

Routing Protocol is "rip"
  Sending updates every 30 seconds, next due in 12 seconds
  Invalid after 180 seconds, hold down 180, flushed after 240
  Outgoing update filter list for all interfaces is not set
  Incoming update filter list for all interfaces is not set
  Redistributing: rip
  Default version control: send version 1, receive any version
  Interface      Send Recv Triggered RIP Key-chain
  Serial0/0/1    1    2 1
  FastEthernet0/0 1    2 1
  Automatic network summarization is in effect
  Maximum path: 4
  Routing for Networks:
    192.168.3.0
    192.168.4.0
  Passive Interface(s):
  Routing Information Sources:
    Gateway      Distance      Last Update
    192.168.4.1   120
  Distance: (default is 120)
```

Im weiteren Verlauf dieses Kurses erhalten Sie zahlreiche weitere Informationen zu `show ip protocols`. Hier jedoch wollen wir uns zunächst einmal nur die hervorgehobene Ausgabe ansehen: Für R2 sind zwei Routing-Protokolle aufgeführt, und der AD-Wert wird als *Distance* bezeichnet.

Tabelle 3.2 zeigt die verschiedenen administrativen Distanzen unterschiedlicher Routing-Protokolle.

Tabelle 3.2: Administrative Distanzen der Routing-Protokolle

Routenquelle	AD
angeschlossen	0
statisch	1
EIGRP-Summenroute	5
BGP extern	20
EIGRP intern	90
IGRP	100
OSPF	110
IS-IS	115
RIP	120
EIGRP extern	170
BGP intern	200

3.4.3 Statische Routen und die administrative Distanz

Wie Sie aus Kapitel 2 wissen, werden statische Routen von einem Administrator eingegeben, der den besten Pfad zum Empfänger manuell konfiguriert. Aus diesem Grund haben statische Routen einen AD-Standardwert von 1 und sind folglich nach den direkt angeschlossenen Netzwerken (mit AD-Wert 0) die erste Wahl bei den Routenquellen.

Es gibt Situationen, in denen ein Administrator eine statische Route zu einem Ziel konfigurieren will, das bereits über ein dynamisches Routing-Protokoll erlernt wurde; diese statische Route verwendet jedoch einen anderen Pfad. Die statische Route wird dann mit einem AD-Wert konfiguriert, der höher ist als der des Routing-Protokolls. Kommt es zu einer Verbindungsunterbrechung im vom dynamischen Routing-Protokoll verwendeten Pfad, wird die vom Routing-Protokoll eingegebene Route aus der Routing-Tabelle entfernt. Danach wird die statische Route zur einzigen Quelle und dementsprechend sofort zur Routing-Tabelle hinzugefügt. Dies bezeichnet man als *statische Floating-Route*. Diese Form einer Route ist Gegenstand der CCNP-Kurse.

Eine statische Route, die entweder die Adresse des nächsten Hops oder eine Ausgangsschnittstelle verwendet, hat den AD-Standardwert 1. Dieser Wert wird jedoch nicht in der Ausgabe von `show ip route` aufgeführt, wenn Sie eine statische Route mit der angegebenen Ausgangsschnittstelle konfigurieren. Wenn eine statische Route mit einer Ausgangsschnittstelle konfiguriert wird, zeigt die Ausgabe das Netzwerk als direkt über diese Schnittstelle angeschlossen an.

Mithilfe der in Abbildung 3.11 gezeigten Topologie und des Befehls `show ip route` für R2 in Listing 3.5 können Sie die beiden Formen der statischen Route untersuchen.

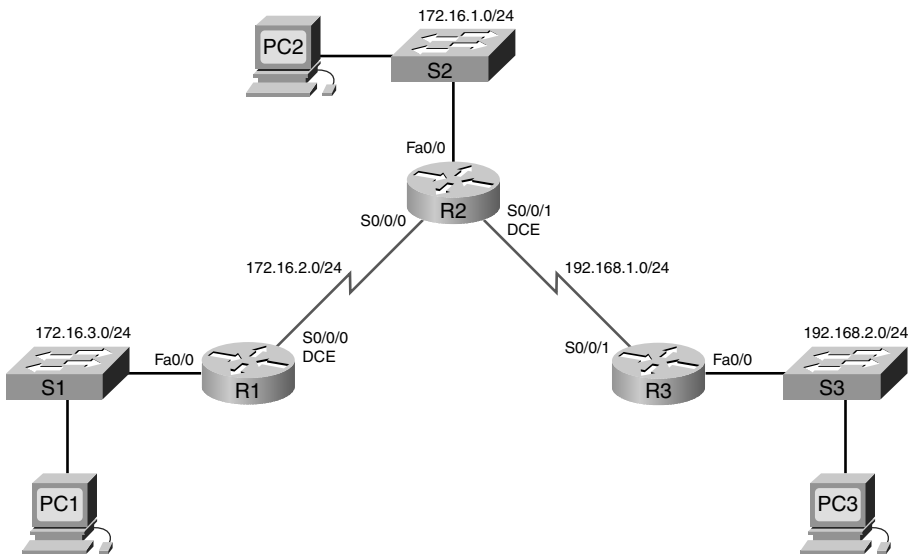


Abbildung 3.11: Administrative Distanzen und statische Routen

Listing 3.5: Routing-Tabelle auf R2

R2# `show ip route`

<Ausgabe unterdrückt>

Gateway of last resort is not set

```

172.16.0.0/24 is subnetted, 3 subnets
C    172.16.1.0 is directly connected, FastEthernet0/0
C    172.16.2.0 is directly connected, Serial0/0/0
S    172.16.3.0 is directly connected, Serial0/0/0
C    192.168.1.0/24 is directly connected, Serial0/0/1
S    192.168.2.0/24 [1/0] via 192.168.1.1

```

Die statische Route nach 172.16.3.0 ist als direkt angeschlossen aufgeführt. Es gibt allerdings keine Informationen zum AD-Wert. Es ist ein Missverständnis, davon auszugehen, dass der AD-Wert dieser Route 0 sein muss, weil sie als »direkt angeschlossen« ausgewiesen ist. Dies ist eine Fehlannahme. Die Default-AD einer statischen Route – einschließlich jener, die mit einer Ausgangsschnittstelle konfiguriert sind – ist 1. Sie müssen sich jedoch vergegenwärtigen, dass nur eine direkt angeschlossene Route eine AD von 0 haben kann. Dies lässt sich überprüfen, indem der Befehl `show ip route` mit der Option `[route]` erweitert wird. Die Angabe von `[route]` liefert detaillierte Angaben zur Route, darunter auch die Distanz (also die AD).

Der Befehl `show ip route 172.16.3.0` in Listing 3.6 zeigt, dass die administrative Distanz für statische Routen tatsächlich 1 beträgt – und zwar auch dann, wenn die Ausgangsschnittstelle angegeben wird.

Listing 3.6: Befehl »show ip route« mit der Option [route]

```
R2# show ip route 172.16.3.0
```

```
Routing entry for 172.16.3.0/24
Known via "static", distance 1, metric 0 (connected)
  Routing Descriptor Blocks:
    * directly connected, via Serial0/0/0
      Route metric is 0, traffic share count is 1
```

3.4.4 Direkt angeschlossene Netzwerke und die administrative Distanz

Direkt angeschlossene Netzwerke erscheinen in der Routing-Tabelle, sobald ihre IP-Adresse auf der Schnittstelle konfiguriert wurde und die Schnittstelle aktiviert und betriebsbereit ist. Der AD-Wert direkt angeschlossener Netzwerke ist 0, das heißt, es handelt sich hierbei um die am stärksten bevorzugte Routenquelle. Es gibt keine bessere Route für einen Router als die Verwendung einer seiner Schnittstellen, die direkt an das Netzwerk angeschlossen ist. Aus diesem Grund kann weder die administrative Distanz eines direkt angeschlossenen Netzwerks geändert werden, noch kann eine andere Routenquelle eine administrative Distanz von 0 haben.

In der Ausgabe von `show ip route` in Listing 3.7 sind die direkt angeschlossenen Netzwerke ohne Angabe eines AD-Wertes hervorgehoben.

Listing 3.7: Direkt angeschlossene Netzwerke in der Routing-Tabelle weisen keinen AD-Wert auf.

```
R2# show ip route
```

```
Codes: C - connected, S - static, I - IGRP, 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 not set
```

```
172.16.0.0/24 is subnetted, 3 subnets
C    172.16.1.0 is directly connected, FastEthernet0/0
C    172.16.2.0 is directly connected, Serial0/0/0
S    172.16.3.0 is directly connected, Serial0/0/0
C    192.168.1.0/24 is directly connected, Serial0/0/1
S    192.168.2.0/24 [1/0] via 192.168.1.1
```

Die Ausgabe ähnelt der statischer Routen, die auf eine Ausgangsschnittstelle verweisen. Der einzige Unterschied ist das C am Anfang der Route, das angibt, dass es sich um ein direkt angeschlossenes Netzwerk handelt.

Um den AD-Wert eines direkt angeschlossenen Netzwerks anzuzeigen, verwenden Sie die Option `[route]`, wie in Listing 3.8 gezeigt.

Listing 3.8: Direkt angeschlossene Route mit angezeigtem AD-Wert

```
R2# show ip route 172.16.3.0
```

```
Routing entry for 172.16.1.0/24
Known via "connected", distance 0, metric 0 (connected, via interface)
  Routing Descriptor Blocks:
    * directly connected, via FastEthernet0/0
      Route metric is 0, traffic share count is 1
```

Der Befehl `show ip route 172.16.1.0` zeigt, dass die Distanz für die direkt angeschlossene Route 0 beträgt.



Daten der Routing-Tabelle anzeigen: »show ip route« (3.4.4)

In dieser Aktivität verwenden Sie eine Version des Befehls `show ip route`, um Details zu den Einträgen in der Routing-Tabelle anzuzeigen. Zur Durchführung der Aktivität verwenden Sie Packet Tracer und die Datei `e2-344.pka` auf der Begleit-CD-ROM zu diesem Buch.

3.5 Zusammenfassung

Dynamische Routing-Protokolle werden von Routern verwendet, um automatisch Informationen über Remote-Netzwerke von anderen Routern zu erlernen. In diesem Kapitel wurden Ihnen verschiedene dynamische Routing-Protokolle vorgestellt.

Sie haben folgende Typen der Routing-Protokolle kennengelernt:

- Es gibt klassenbezogene und klassenlose Protokolle.
- Es gibt Distanzvektor-, Link-State- und Pfadvektor-Protokolle.
- Es gibt IGPs und EGPs.

Die Unterschiede in diesen Klassifizierungen werden verständlicher, wenn Sie in späteren Kapiteln mehr zu den Routing-Konzepten und den Protokollen erfahren.

Routing-Protokolle erkennen nicht nur Remote-Netzwerke, sondern ermöglichen auch die Aktualisierung der betreffenden Netzwerkdaten. Findet in der Topologie eine Änderung statt, dann ist es Aufgabe des Routing-Protokolls, die anderen Router über diese Änderung zu informieren. Einige Routing-Protokolle können die entsprechenden Informationen bei solchen Änderungen schneller in der Routing-Domäne verbreiten als andere.

Der Vorgang, in dessen Verlauf alle Routing-Tabellen auf einen konsistenten Stand gebracht werden, heißt Konvergenz. Konvergenz liegt vor, wenn alle Router in derselben Routing-Domäne oder im selben Bereich über vollständige und korrekte Informationen zum Netzwerk verfügen.

Die Metrik wird von Routing-Protokollen verwendet, um den besten Pfad oder den kürzesten Pfad zum Erreichen eines Zielnetzwerks zu bestimmen. Die verschiedenen Routing-Protokolle nutzen unterschiedliche Bewertungen der Metrik. In der Regel bezeichnet eine kleinere Metrik einen besseren Pfad: Eine Entfernung von fünf Hops ist besser als eine von zehn Hops.

Router erlernen manchmal mehrere Routen in dasselbe Netzwerk – etwa statische und dynamische Routen. Wenn ein Cisco-Router ein Zielnetzwerk aus mehreren Routenquellen erlernt, bestimmt er anhand der administrativen Distanz, welche Quelle er benutzen soll. Jedes dynamische Routing-Protokoll verfügt über einen eindeutigen administrativen Wert; Gleiches gilt für statische Routen und direkt angeschlossene Netzwerke. Je niedriger der administrative Wert, desto höher ist die Priorität der Route. Ein direkt angeschlossenes Netzwerk ist *immer* die bevorzugte Route. Danach folgen statische Routen und dann verschiedene dynamische Routing-Protokolle.

Alle Klassifizierungen und Konzepte, die in diesem Kapitel nur kurz behandelt wurden, werden wir im weiteren Verlauf dieses Kurses noch ausführlicher behandeln. Nach Abschluss des Kurses sollten Sie dieses Kapitel noch einmal lesen, um den Stoff im Überblick zu wiederholen.

3.6 Aktivitäten und Übungen

Die Aktivitäten und Übungen im Begleitbuch »Routing Protocols and Concepts, CCNA Exploration Labs and Study Guide« (ISBN 978-1-58713-204-9) ermöglichen ein praxisbezogenes Üben der folgenden in diesem Kapitel vorgestellten Themen:

The icon consists of a dotted circle with the word 'Übungen' written inside in a sans-serif font.

Aktivität 3.1: Subnetzbildung, Szenario 1 (3.5.2)

Bei dieser Aktivität haben Sie die Netzwerkadresse 192.168.9.0/24 erhalten, um daraus Subnetze zu bilden und das IP-Adressierungsschema für das in der abgebildeten Topologie gezeigte Netzwerk zu konfigurieren.

Aktivität 3.2: Subnetzbildung, Szenario 2 (3.5.3)

Bei dieser Aktivität haben Sie die Netzwerkadresse 172.16.0.0/16 erhalten, um daraus Subnetze zu bilden und das IP-Adressierungsschema für das in der abgebildeten Topologie gezeigte Netzwerk zu konfigurieren.

Aktivität 3.3: Subnetzbildung, Szenario 3 (3.5.4)

Bei dieser Aktivität haben Sie die Netzwerkadresse 192.168.1.0/24 erhalten, um daraus Subnetze zu bilden und das IP-Adressierungsschema für das in der abgebildeten Topologie gezeigte Netzwerk zu konfigurieren.



Viele Praxisübungen enthalten Aktivitäten mit Packet Tracer, in denen Sie diese Software zur Simulation der Übung verwenden können. Lesen Sie im »Routing Protocols and Concepts, CCNA Exploration Labs and Study Guide« (ISBN 978-1-58713-204-9) die Praxisübungen mit Packet Tracer.

3.7 Lernzielkontrolle

Beantworten Sie die folgenden Fragen, um Ihren Kenntnisstand bezüglich der in diesem Kapitel beschriebenen Themen und Konzepte zu überprüfen. Die Antworten finden Sie in Anhang A, »Antworten zu den Lernzielkontrollen und weiterführenden Fragen«.

1. Welche beiden Vorteile bietet das statische gegenüber dem dynamischen Routing?
 - a) Die Konfiguration ist weniger fehleranfällig.
 - b) Statische Routen sind sicherer, weil Router keine Routen bekannt geben.
 - c) Ein Wachstum des Netzwerks ist gewöhnlich unproblematisch.
 - d) Es entsteht kein Overhead durch zusätzliche Berechnungen.
 - e) Der Administrator hat weniger Arbeit mit der Wartung der Konfiguration.
2. Ordnen Sie die Beschreibungen den entsprechenden Routing-Protokollen zu.
 - Routing-Protokolle:
 - RIP
 - IGRP
 - OSPF
 - EIGRP
 - BGP
 - Beschreibung:
 - a) EGP, das nach dem Pfadvektor-Prinzip arbeitet
 - b) Fortgeschrittenes IGP von Cisco
 - c) Link-State-IGP
 - d) Distanzvektor-IGP
 - e) Distanzvektor-IGP von Cisco

3. Welche Aussage beschreibt am besten die Konvergenz in einem Netzwerk?
 - a) Die Zeit, die Router benötigen, um Änderungen bei der administrativen Konfiguration (z. B. Passwortänderungen) vom einen Ende des Netzwerks an das andere zu melden.
 - b) Die Zeit, die Router im Netzwerk benötigen, um ihre Routing-Tabellen zu aktualisieren, nachdem eine Topologieänderung aufgetreten ist.
 - c) Die Zeit, die Router in einem autonomen System benötigen, um Routen zu Zielen in anderen autonomen Systemen zu erlernen.
 - d) Die Zeit, die Router, auf denen unterschiedliche Routing-Protokolle ausgeführt werden, benötigen, um ihre Routing-Tabellen zu aktualisieren.
4. Welche der folgenden Parameter werden zur Berechnung von Metriken verwendet? Wählen Sie zwei Antworten aus.
 - a) Anzahl der Hops
 - b) Betriebszeit
 - c) Bandbreite
 - d) Konvergenzzeit
 - e) administrative Distanz
5. Welches Routing-Protokoll hat standardmäßig die vertrauenswürdigste administrative Distanz?
 - a) interne EIGRP-Routen
 - b) IS-IS
 - c) OSPF
 - d) RIPv1
 - e) RIPv2
6. Wie viele gleichwertige Pfade kann ein dynamisches Routing-Protokoll per Default für den Lastausgleich verwenden?
 - a) 2
 - b) 3
 - c) 4
 - d) 6

7. Welcher Befehl zeigt die administrative Distanz von Routen an?
 - a) R1# **show interfaces**
 - b) R1# **show ip route**
 - c) R1# **show ip interfaces**
 - d) R1# **debug ip routing**
8. Wann erscheinen direkt angeschlossene Netzwerke in der Routing-Tabelle?
 - a) Wenn sie in einer statischen Route enthalten sind
 - b) Wenn sie als Ausgangsschnittstelle verwendet werden
 - c) Wenn sie in Schicht 2 adressiert und betriebsbereit sind
 - d) Wenn sie in Schicht 3 adressiert und betriebsbereit sind
 - e) Wenn der Befehl `no shutdown` abgesetzt wird
9. Router R1 verwendet als Routing-Protokoll RIPv2 und hat mehrere ungleichwertige Pfade in dasselbe Zielnetzwerk erkannt. Wie bestimmt Router R1, welcher Pfad der beste in das Zielnetzwerk ist?
 - a) Niedrigste Metrik
 - b) Höchste Metrik
 - c) Niedrigste administrative Distanz
 - d) Höchste administrative Distanz
 - e) Es erfolgt ein Lastausgleich über bis zu vier Pfade.
10. Geben Sie jeweils die korrekte administrative Distanz für die Routing-Protokolle an:
 - a) eBGP:
 - b) EIGRP intern:
 - c) EIGRP extern:
 - d) IS-IS:
 - e) OSPF:
 - f) RIP:

11. Geben Sie an, ob die folgenden Eigenschaften jeweils klassenbezogenen oder klassenlosen Routing-Protokollen zuzuordnen sind.
 - a) Unterstützen nur zusammenhängend adressierte Netzwerke:
 - b) EIGRP, OSPF und BGP:
 - c) Integrieren Subnetzmasken in den Routing-Updates:
 - d) Unterstützen nicht zusammenhängende Netzwerke:
 - e) RIPv1 und IGRP:
 - f) Integrieren keine Subnetzmasken in den Routing-Updates:
12. Erläutern Sie, warum statisches Routing unter bestimmten Umständen dem dynamischen Routing vorzuziehen ist.
13. Welche vier Typen der Klassifizierung dynamischer Routing-Protokolle gibt es?
14. Welche Netzwerkeigenschaften sind bei dynamischen Routing-Protokollen die meistverwendeten zur Ermittlung der Metrik?
15. Was ist die administrative Distanz, und warum ist sie wichtig?

3.8 Weiterführende Fragen und Aktivitäten

Die folgenden Fragen setzen ein tieferes Verständnis der in diesem Kapitel behandelten Themen voraus und entsprechen dem komplexeren Fragestil, der auch bei der CCNA-Prüfung auftreten kann. Sie finden die Antworten in Anhang A.

1. Erläutern Sie, warum die Aussage »Jeder Router sollte mindestens eine statische Route aufweisen« zutreffend sein könnte.
2. Studierende, die mit dem Routing noch nicht allzu vertraut sind, gehen manchmal davon aus, dass die Bandbreite eine bessere Metrik ist als die Anzahl der Hops. Erläutern Sie, warum diese Annahme falsch sein könnte.

3.9 Weitere Informationen

Das BGP-Protokoll (Border Gateway Protocol) ist ein interautonomes Routing-Protokoll und das Routing-Protokoll im Internet. Zwar wird BGP in diesem Kurs nur kurz behandelt (eine ausführlichere Beschreibung ist Gegenstand des CCNP-Kurses), doch finden Sie es vielleicht interessant, sich einmal die Routing-Tabellen einiger Core-Router im Internet anzusehen.

Um BGP-Routen im Internet anzuzeigen, werden Routen-Server verwendet. Verschiedene Websites wie etwa <http://www.traceroute.org> bieten Zugang zu diesen Routen-Servern. Nachdem Sie einen Routen-Server in einem bestimmten autonomen System ausgewählt haben, starten Sie eine Telnet-Sitzung auf diesem Routen-Server. Der Server spiegelt einen Internet-Core-Router, bei dem es sich in aller Regel um einen Cisco-Router handelt.

Danach können Sie mit dem Befehl `show ip route` die Routing-Tabelle eines Internet-Routers anzeigen. Sie können dem Befehl `show ip route` die öffentliche oder globale Netzwerkadresse Ihrer Lehranstalt nachstellen (z. B. `show ip route 207.62.187.0`).

Sie werden zwar nicht allzu viele der Informationen in der Ausgabe verstehen, doch erhalten Sie mit diesen Befehlen ein Gespür für die Größe von Routing-Tabellen auf Internet-Core-Routern.