

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b>	<b>15</b>
<b>1 Einführung in das Routing und die Paketweiterleitung</b>	<b>27</b>
<b>1.1 Im Innern des Routers</b>	<b>28</b>
1.1.1 Router sind Computer	28
1.1.2 Router-Prozessor und Router-Speicher	32
1.1.3 Das Internetwork Operating System	36
1.1.4 Der Boot-Vorgang	37
1.1.5 Router-Ports und Router-Schnittstellen	45
1.1.6 Router und die Vermittlungsschicht	49
<b>1.2 Konfiguration und Adressierung über die Befehlszeile</b>	<b>52</b>
1.2.1 Adressierung im Netzwerk	52
1.2.2 Grundkonfiguration des Routers durchführen	53
<b>1.3 Aufbau der Routing-Tabelle</b>	<b>63</b>
1.3.1 Einführung zur Routing-Tabelle	63
1.3.2 Direkt angeschlossene Netzwerke	66
1.3.3 Statisches Routing	68
1.3.4 Dynamisches Routing	69
1.3.5 Prinzipien von Routing-Tabellen	72
<b>1.4 Pfadermittlung und Switching-Funktionen</b>	<b>74</b>
1.4.1 Paket- und Frame-Felder	74
1.4.2 Bester Pfad und Metrik	77
1.4.3 Symmetrischer Lastausgleich	79
1.4.4 Pfadermittlung	81
1.4.5 Switching	82
<b>1.5 Zusammenfassung</b>	<b>89</b>
<b>1.6 Übungen</b>	<b>90</b>
<b>1.7 Lernzielkontrolle</b>	<b>91</b>
<b>1.8 Weiterführende Fragen und Aktivitäten</b>	<b>94</b>
<b>1.9 Weitere Informationen</b>	<b>95</b>

## **6 Routing-Protokolle und -Konzepte**

<b>2</b>	<b>Statisches Routing</b>	<b>97</b>
2.1	<b>Router und das Netzwerk</b>	98
2.1.1	Die Rolle des Routers	98
2.1.2	Grundlagen zur Topologie	98
2.1.3	Verbindungen des Routers untersuchen	100
2.2	<b>Wiederholung zur Router-Konfiguration</b>	103
2.2.1	Router-Schnittstellen untersuchen	104
2.2.2	Ethernet-Schnittstelle konfigurieren	108
2.2.3	Ethernet-Adressen überprüfen	112
2.2.4	Serielle Schnittstelle konfigurieren	114
2.2.5	Serielle Schnittstellen untersuchen	116
2.3	<b>Direkt angeschlossene Netzwerke untersuchen</b>	121
2.3.1	Änderungen an der Routing-Tabelle überprüfen	121
2.3.2	Geräte in direkt angeschlossenen Netzwerken	127
2.3.3	Das CDP-Protokoll	133
2.3.4	CDP zur Netzwerkdarstellung verwenden	137
2.4	<b>Statische Routen mit Next-Hop-Adressen</b>	139
2.4.1	Funktion und Syntax des Befehls »ip route«	139
2.4.2	Statische Routen konfigurieren	141
2.4.3	Prinzipien von Routing-Tabellen und statische Routen	145
2.4.4	Ausgangsschnittstelle mit rekursivem Routen-Lookup auflösen	148
2.5	<b>Statische Routen mit Ausgangsschnittstellen</b>	150
2.5.1	Statische Routen mit Ausgangsschnittstelle konfigurieren	151
2.5.2	Statische Routen und Point-to-Point-Netzwerke	153
2.5.3	Statische Routen ändern	153
2.5.4	Konfiguration statischer Routen überprüfen	154
2.5.5	Statische Routen mit Ethernet-Schnittstellen	157
2.6	<b>Statische Summen- und Default-Routen</b>	161
2.6.1	Statische Summenrouten	161
2.6.2	Statische Default-Routen	165
2.7	<b>Statische Routen und Troubleshooting</b>	168
2.7.1	Statische Routen und Paketweiterleitung	168
2.7.2	Troubleshooting bei statischen Routen	170
2.7.3	Fehlende Routen einrichten	171

2.8	<b>Zusammenfassung</b>	173
2.9	<b>Übungen</b>	174
2.10	<b>Lernzielkontrolle</b>	175
2.11	<b>Weiterführende Fragen und Aktivitäten</b>	180
2.12	<b>Weitere Informationen</b>	183
2.12.1	Statische Floating-Routen	183
2.12.2	Discard-Routen	184
2.12.3	Weiterführende Lektüre zum statischen Routing	185
<b>3</b>	<b>Einführung in die dynamischen Routing-Protokolle</b>	<b>187</b>
3.1	<b>Einführung in die dynamischen Routing-Protokolle</b>	188
3.1.1	Entstehung und Entwicklung	188
3.1.2	Netzwerkerkennung und Pflege der Routing-Tabelle	191
3.1.3	Vorteile dynamischer Routing-Protokolle	192
3.2	<b>Dynamische Routing-Protokolle klassifizieren</b>	194
3.2.1	IGPs und EGPs	195
3.2.2	Distanzvektor- und Link-State-Protokolle	197
3.2.3	Klassenbezogene und klassenlose Routing-Protokolle	199
3.2.4	Dynamische Routing-Protokolle und Konvergenz	201
3.3	<b>Metrik</b>	202
3.3.1	Funktion der Metrik	202
3.3.2	Metrik und Routing-Protokolle	203
3.3.3	Lastausgleich	206
3.4	<b>Administrative Distanz</b>	207
3.4.1	Aufgabe der administrativen Distanz	207
3.4.2	Dynamische Routing-Protokolle und administrative Distanz	211
3.4.3	Statische Routen und die administrative Distanz	213
3.4.4	Direkt angeschlossene Netzwerke und die administrative Distanz	215
3.5	<b>Zusammenfassung</b>	217
3.6	<b>Aktivitäten und Übungen</b>	218
3.7	<b>Lernzielkontrolle</b>	219
3.8	<b>Weiterführende Fragen und Aktivitäten</b>	222
3.9	<b>Weitere Informationen</b>	223

## **8 Routing-Protokolle und -Konzepte**

<b>4</b>	<b>Distanzvektor-Protokolle</b>	<b>225</b>
4.1	Einführung in die Distanzvektor-Protokolle	226
4.1.1	Distanzvektor-Technologie	228
4.1.2	Algorithmen bei Routing-Protokollen	230
4.1.3	Eigenschaften von Routing-Protokollen	232
4.2	Netzwerkerkennung	234
4.2.1	Der Kaltstart	234
4.2.2	Erster Austausch von Routing-Informationen	235
4.2.3	Nächster Austausch von Routing-Informationen	237
4.2.4	Konvergenz	239
4.3	Routing-Tabellen pflegen	240
4.3.1	Periodische Updates	240
4.3.2	Bounded-Updates	243
4.3.3	Triggered-Updates	243
4.3.4	Jitter	245
4.4	Routing-Schleifen	245
4.4.1	Routing-Schleifen: Eine Definition	245
4.4.2	Auswirkungen von Routing-Schleifen	246
4.4.3	Count-to-Infinity	248
4.4.4	Routing-Schleifen durch Festlegen einer Maximalmetrik verhindern	248
4.4.5	Routing-Schleifen mit Holddown-Timern verhindern	249
4.4.6	Routing-Schleifen mit Split-Horizon-Regeln verhindern	252
4.4.7	Routing-Schleifen mit IP und TTL verhindern	255
4.5	Distanzvektor-Protokolle heute	257
4.5.1	RIP und EIGRP	257
4.6	Zusammenfassung	259
4.7	Aktivitäten und Übungen	261
4.8	Lernzielkontrolle	261
4.9	Weiterführende Fragen und Aktivitäten	265
4.10	Weitere Informationen	265

<b>5</b>	<b>RIPv1</b>	<b>267</b>
5.1	<b>RIPv1: Ein klassenbezogenes Distanzvektor-Protokoll</b>	268
5.1.1	Entstehung und Entwicklung	268
5.1.2	Eigenschaften und Nachrichtenformat von RIPv1	269
5.1.3	Betrieb von RIP	272
5.1.4	Administrative Distanz	273
5.2	<b>RIPv1-Basiskonfiguration</b>	275
5.2.1	RIPv1: Szenario A	275
5.2.2	RIP mit »router rip« aktivieren	276
5.2.3	Netzwerke angeben	277
5.3	<b>Überprüfung und Troubleshooting</b>	278
5.3.1	RIP mit »show ip route« überprüfen	279
5.3.2	RIP mit »show ip protocols« überprüfen	281
5.3.3	RIP mit »debug ip rip« überprüfen	283
5.3.4	Passive Schnittstellen	285
5.4	<b>Automatische Zusammenfassung</b>	287
5.4.1	RIPv1: Szenario B	287
5.4.2	Boundary-Router und automatische Zusammenfassung	291
5.4.3	RIP-Updates verarbeiten	291
5.4.4	Mit »debug« die automatische Zusammenfassung untersuchen	293
5.4.5	Vor- und Nachteile der automatischen Zusammenfassung	295
5.5	<b>Default-Routen und RIPv1</b>	300
5.5.1	RIPv1: Szenario C	300
5.5.2	Default-Route in RIPv1 verbreiten	303
5.6	<b>Zusammenfassung</b>	304
5.7	<b>Aktivitäten und Übungen</b>	306
5.8	<b>Lernzielkontrolle</b>	307
5.9	<b>Weiterführende Fragen und Aktivitäten</b>	311
5.10	<b>Weitere Informationen</b>	313

## **10 Routing-Protokolle und -Konzepte**

<b>6</b>	<b>VLSM und CIDR</b>	<b>315</b>
6.1	Klassenbezogene und klassenlose Adressierung	316
6.1.1	Klassenbezogene IP-Adressierung	316
6.1.2	Klassenbezogene Routing-Protokolle	320
6.1.3	Klassenlose IP-Adressierung	321
6.1.4	Klassenlose Routing-Protokolle	323
6.2	VLSM	324
6.2.1	VLSM im Einsatz	324
6.2.2	VLSM und IP-Adressen	327
6.3	CIDR	329
6.3.1	Zusammenfassung von Routen	329
6.3.2	Zusammenfassung von Routen berechnen	331
6.4	Zusammenfassung	333
6.5	Aktivitäten und Übungen	334
6.6	Lernzielkontrolle	335
6.7	Weiterführende Fragen und Aktivitäten	339
6.8	Weitere Informationen	340
<b>7</b>	<b>RIPv2</b>	<b>343</b>
7.1	Beschränkungen von RIPv1	344
7.1.1	Die Summenroute	348
7.1.2	VLSM	348
7.1.3	Private Adressen nach RFC 1918	349
7.1.4	IP-Beispieladressen bei Cisco	349
7.1.5	Loopback-Schnittstellen	350
7.1.6	Beschränkungen der RIPv1-Topologie	350
7.1.7	Nichtzusammenhängende Netzwerke bei RIPv1	354
7.1.8	Die fehlende VLSM-Unterstützung in RIPv1	358
7.1.9	Die fehlende CIDR-Unterstützung in RIPv1	360
7.2	RIPv2 konfigurieren	363
7.2.1	RIPv2 aktivieren und überprüfen	363
7.2.2	Automatische Zusammenfassung und RIPv2	367
7.2.3	Automatische Zusammenfassung in RIPv2 deaktivieren	369
7.2.4	RIPv2-Updates überprüfen	370
7.3	VLSM und CIDR	374
7.3.1	RIPv2 und VLSM	374
7.3.2	RIPv2 und CIDR	375

<b>7.4</b>	<b>RIPv2 überprüfen und Troubleshooting durchführen</b>	<b>377</b>
7.4.1	Befehle für Überprüfung und Troubleshooting	377
7.4.2	Häufig auftretende RIPv2-Probleme	383
7.4.3	Authentifizierung	383
<b>7.5</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>385</b>
<b>7.6</b>	<b>Aktivitäten und Übungen</b>	<b>386</b>
<b>7.7</b>	<b>Lernzielkontrolle</b>	<b>387</b>
<b>7.8</b>	<b>Weiterführende Fragen und Aktivitäten</b>	<b>388</b>
<b>7.9</b>	<b>Weitere Informationen</b>	<b>391</b>
<b>8</b>	<b>Die Routing-Tabelle unter der Lupe</b>	<b>393</b>
<b>8.1</b>	<b>Aufbau der Routing-Tabelle</b>	<b>394</b>
8.1.1	Übungstopologie	394
8.1.2	Einträge in Routing-Tabellen	395
8.1.3	Level-1-Routen	396
8.1.4	Über- und untergeordnete Routen in klassenbezogenen Netzwerken	399
8.1.5	Über- und untergeordnete Routen: Klassenlose Netzwerke	404
<b>8.2</b>	<b>Der Lookup-Prozess</b>	<b>407</b>
8.2.1	Schritte beim Lookup-Prozess	407
8.2.2	Längste Übereinstimmung: Level-1-Netzwerkrouen	415
8.2.3	Längste Übereinstimmung: Übergeordnete Level-1- und untergeordnete Level-2-Routen	421
<b>8.3</b>	<b>Routing-Verhalten</b>	<b>426</b>
8.3.1	Klassenbezogenes und klassenloses Routing-Verhalten	427
8.3.2	Klassenbezogenes Routing-Verhalten mit »no ip classless«	430
8.3.3	Der Suchvorgang beim klassenbezogenen Routing-Verhalten	432
8.3.4	Klassenloses Routing-Verhalten mit »ip classless«	435
8.3.5	Der Suchvorgang beim klassenlosen Routing-Verhalten	438
<b>8.4</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>441</b>
<b>8.5</b>	<b>Aktivitäten und Übungen</b>	<b>443</b>
<b>8.6</b>	<b>Lernzielkontrolle</b>	<b>444</b>
<b>8.7</b>	<b>Weiterführende Fragen und Aktivitäten</b>	<b>448</b>
<b>8.8</b>	<b>Weitere Informationen</b>	<b>449</b>

## **12 Routing-Protokolle und -Konzepte**

<b>9</b>	<b>EIGRP</b>	<b>451</b>
9.1	Einführung in EIGRP	453
9.1.1	EIGRP: Ein erweitertes Distanzvektor-Protokoll	453
9.1.2	Nachrichtenformat bei EIGRP	456
9.1.3	Protokollabhängige Module	460
9.1.4	RTP und EIGRP-Pakettypen	461
9.1.5	Das Hello-Protokoll	464
9.1.6	Beschränkte EIGRP-Updates	465
9.1.7	Eine Einführung in DUAL	466
9.1.8	Administrative Distanz	469
9.1.9	Authentifizierung	469
9.2	Grundlegende EIGRP-Konfiguration	470
9.2.1	EIGRP-Netzwerktopologie	470
9.2.2	Autonome Systeme und Prozess-IDs	473
9.2.3	Der Befehl »router eigrp«	476
9.2.4	Der Befehl »network«	476
9.2.5	EIGRP überprüfen	478
9.2.6	Routing-Tabelle untersuchen	481
9.3	Die Berechnung der EIGRP-Metrik	484
9.3.1	Die zusammengesetzte Metrik und die K-Werte	485
9.3.2	EIGRP-Metriken	487
9.3.3	Der Befehl »bandwidth«	490
9.3.4	EIGRP-Metrik berechnen	491
9.4	DUAL	495
9.4.1	DUAL-Konzepte	495
9.4.2	Successor und FD	495
9.4.3	FS, Feasibility-Bedingung und RD	496
9.4.4	Successor und FS in der Topologietabelle	498
9.4.5	Kein FS in der Topologietabelle	501
9.4.6	Die DUAL-FSM	504
9.5	Weitergehende EIGRP-Konfiguration	510
9.5.1	Die Summenroute Null0	511
9.5.2	Automatische Zusammenfassung deaktivieren	512
9.5.3	Manuelle Routenzusammenfassung	517
9.5.4	Die EIGRP-Default-Route	521
9.5.5	EIGRP optimieren	524
9.6	Zusammenfassung	526



9.7	Aktivitäten und Übungen	528
9.8	Lernzielkontrolle	529
9.9	Weiterführende Fragen und Aktivitäten	533
9.10	Weitere Informationen	533
<b>10</b>	<b>Link-State-Protokolle</b>	<b>535</b>
10.1	Link-State-Routing	536
10.1.1	Link-State-Protokolle	536
10.1.2	Einführung in den SPF-Algorithmus	537
10.1.3	Der Link-State-Routing-Prozess	539
10.1.4	Schritt 1: Direkt angeschlossene Netzwerke erlernen	540
10.1.5	Schritt 2: Hello-Pakete an Nachbarn senden	543
10.1.6	Schritt 3: Link-State-Pakete erstellen	544
10.1.7	Schritt 4: LSPs an Nachbarn fluten	545
10.1.8	Schritt 5: Link-State-Datenbank erstellen	547
10.1.9	Der SPF-Baum	549
10.2	Link-State-Protokolle implementieren	555
10.2.1	Vorteile von Link-State-Protokollen	555
10.2.2	Voraussetzungen bei Link-State-Protokollen	557
10.2.3	Link-State-Protokolle im Vergleich	559
10.3	Zusammenfassung	560
10.4	Aktivitäten und Übungen	562
10.5	Lernzielkontrolle	562
10.6	Weiterführende Fragen und Aktivitäten	566
10.7	Weitere Informationen	566
<b>11</b>	<b>OSPF</b>	<b>569</b>
11.1	Einführung in OSPF	570
11.1.1	Entstehung von OSPF	570
11.1.2	Kapselung von OSPF-Nachrichten	571
11.1.3	OSPF-Pakettypen	572
11.1.4	Das Hello-Protokoll	572
11.1.5	OSPF-LSUs	576
11.1.6	Der OSPF-Algorithmus	576
11.1.7	Administrative Distanz	578
11.1.8	Authentifizierung	578

## **14 Routing-Protokolle und -Konzepte**

<b>11.2</b>	<b>Grundlegende OSPF-Konfiguration</b>	<b>579</b>
11.2.1	Übungstopologie	579
11.2.2	Der Befehl »router ospf«	582
11.2.3	Der Befehl »network«	582
11.2.4	Die OSPF-Router-ID	584
11.2.5	OSPF überprüfen	589
11.2.6	Routing-Tabelle untersuchen	593
<b>11.3</b>	<b>Die OSPF-Metrik</b>	<b>595</b>
11.3.1	Metrik berechnen	595
11.3.2	Kosten einer Verbindung ändern	599
<b>11.4</b>	<b>OSPF und Multi-Access-Netzwerke</b>	<b>602</b>
11.4.1	Herausforderungen in Multi-Access-Netzwerken	602
11.4.2	Die Auswahl von DR und BDR	609
11.4.3	OSPF-Schnittstellenpriorität	615
<b>11.5</b>	<b>Weitere OSPF-Konfigurationsaufgaben</b>	<b>619</b>
11.5.1	Redistribution der OSPF-Default-Route	619
11.5.2	OSPF optimieren	622
<b>11.6</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>628</b>
<b>11.7</b>	<b>Aktivitäten und Übungen</b>	<b>630</b>
<b>11.8</b>	<b>Lernzielkontrolle</b>	<b>631</b>
<b>11.9</b>	<b>Weiterführende Fragen und Aktivitäten</b>	<b>634</b>
<b>11.10</b>	<b>Weitere Informationen</b>	<b>635</b>
<b>Anhang: Antworten zu Lernzielkontrollen und weiterführenden Fragen</b>		<b>637</b>
<b>Glossar</b>		<b>667</b>
<b>Stichwortverzeichnis</b>		<b>681</b>