

# Inhaltsverzeichnis

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

## 6 Routing-Protokolle und -Konzepte

<b>2 Statisches Routing</b>	97
<b>2.1 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
<b>2.2 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
<b>2.3 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
<b>2.4 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
<b>2.5 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
<b>2.6 Statische Summen- und Default-Routen</b>	161
2.6.1 Statische Summenrouten	161
2.6.2 Statische Default-Routen	165
<b>2.7 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

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

## 8 Routing-Protokolle und -Konzepte

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

<b>5 RIPv1</b>	<b>267</b>
<b>5.1 RIPv1: Ein klassenbezogenes Distanzvektor-Protokoll</b>	<b>268</b>
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
<b>5.2 RIPv1-Basiskonfiguration</b>	<b>275</b>
5.2.1 RIPv1: Szenario A	275
5.2.2 RIP mit »router rip« aktivieren	276
5.2.3 Netzwerke angeben	277
<b>5.3 Überprüfung und Troubleshooting</b>	<b>278</b>
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
<b>5.4 Automatische Zusammenfassung</b>	<b>287</b>
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
<b>5.5 Default-Routen und RIPv1</b>	<b>300</b>
5.5.1 RIPv1: Szenario C	300
5.5.2 Default-Route in RIPv1 verbreiten	303
<b>5.6 Zusammenfassung</b>	<b>304</b>
<b>5.7 Aktivitäten und Übungen</b>	<b>306</b>
<b>5.8 Lernzielkontrolle</b>	<b>307</b>
<b>5.9 Weiterführende Fragen und Aktivitäten</b>	<b>311</b>
<b>5.10 Weitere Informationen</b>	<b>313</b>

## 10 Routing-Protokolle und -Konzepte

<b>6 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 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>	377
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>	385
<b>7.6</b>	<b>Aktivitäten und Übungen</b>	386
<b>7.7</b>	<b>Lernzielkontrolle</b>	387
<b>7.8</b>	<b>Weiterführende Fragen und Aktivitäten</b>	388
<b>7.9</b>	<b>Weitere Informationen</b>	391
<b>8</b>	<b>Die Routing-Tabelle unter der Lupe</b>	393
8.1	<b>Aufbau der Routing-Tabelle</b>	394
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
8.2	<b>Der Lookup-Prozess</b>	407
8.2.1	Schritte beim Lookup-Prozess	407
8.2.2	Längste Übereinstimmung: Level-1-Netzwerk Routen	415
8.2.3	Längste Übereinstimmung: Übergeordnete Level-1- und untergeordnete Level-2-Routen	421
8.3	<b>Routing-Verhalten</b>	426
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
8.4	<b>Zusammenfassung</b>	441
8.5	<b>Aktivitäten und Übungen</b>	443
8.6	<b>Lernzielkontrolle</b>	444
8.7	<b>Weiterführende Fragen und Aktivitäten</b>	448
8.8	<b>Weitere Informationen</b>	449

## 12 Routing-Protokolle und -Konzepte

<b>9 EIGRP</b>	<b>451</b>
9.1 <b>Einführung in EIGRP</b>	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 <b>Grundlegende EIGRP-Konfiguration</b>	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 <b>Die Berechnung der EIGRP-Metrik</b>	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 <b>DUAL</b>	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 <b>Weitergehende EIGRP-Konfiguration</b>	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 <b>Zusammenfassung</b>	526

<b>9.7</b>	<b>Aktivitäten und Übungen</b>	528
<b>9.8</b>	<b>Lernzielkontrolle</b>	529
<b>9.9</b>	<b>Weiterführende Fragen und Aktivitäten</b>	533
<b>9.10</b>	<b>Weitere Informationen</b>	533
<b>10</b>	<b>Link-State-Protokolle</b>	535
<b>10.1</b>	<b>Link-State-Routing</b>	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
<b>10.2</b>	<b>Link-State-Protokolle implementieren</b>	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
<b>10.3</b>	<b>Zusammenfassung</b>	560
<b>10.4</b>	<b>Aktivitäten und Übungen</b>	562
<b>10.5</b>	<b>Lernzielkontrolle</b>	562
<b>10.6</b>	<b>Weiterführende Fragen und Aktivitäten</b>	566
<b>10.7</b>	<b>Weitere Informationen</b>	566
<b>11</b>	<b>OSPF</b>	569
<b>11.1</b>	<b>Einführung in OSPF</b>	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>	579
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>	595
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>	602
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>	619
11.5.1	Redistribution der OSPF-Default-Route	619
11.5.2	OSPF optimieren	622
<b>11.6</b>	<b>Zusammenfassung</b>	628
<b>11.7</b>	<b>Aktivitäten und Übungen</b>	630
<b>11.8</b>	<b>Lernzielkontrolle</b>	631
<b>11.9</b>	<b>Weiterführende Fragen und Aktivitäten</b>	634
<b>11.10</b>	<b>Weitere Informationen</b>	635
<b>Anhang: Antworten zu Lernzielkontrollen und weiterführenden Fragen</b>		637
<b>Glossar</b>		667
<b>Stichwortverzeichnis</b>		681