

Anatol Badach  
Erwin Hoffmann

# Technik der IP-Netze

**TCP/IPincl. IPv6-  
Funktionsweise, Protokolle und  
Dienste**

2., aktualisierte und erweiterte Auflage

HOCHSCHULE  
LIECHTENSTEIN  
Bibliothek

HANSER

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Grundlagen der IP-Netze.....</b>	<b>1</b>
1.1	Entwicklung des Internet.....	2
1.1.1	Internet vor der Nutzung des WWW.....	2
1.1.2	Die Schaffung des WWW.....	4
	Hauptkomponenten des Web-Dienstes.....	5
	Adressierung von Web-Ressourcen.....	6
1.1.3	Internet nach der Etablierung des WWW.....	7
•1.1.4	Die Zukunft des Internet.....	8
1.2	Funktionen der Kommunikationsprotokolle.....	10
1.2.1	Prinzipien der Fehlerkontrolle.....	10
1.2.2	Realisierung der Flusskontrolle.....	13
1.2.3	Überlastkontrolle.....	15
1.3	Schichtenmodell der Kommunikation.....	16
1.3.1	Konzept des OSI-Referenzmodells.....	17
1.3.2	Schichtenmodell der Protokollfamilie TCP/IP.....	20
1.4	Allgemeine Prinzipien der IP- Kommunikation.....	22
1.4.1	Bildung von IP-Paketen.....	22
1.4.2	Netzwerkschicht in IP-Netzen.....	24
	Verbindungslose Netzwerkschicht.....	24
	Verbindungsorientierte Netzwerkschicht.....	25
1.4.3	Verbindungslose IP-Kommunikation im Internet.....	26
1.4.4	Transportschicht in IP-Netzen.....	27
1.4.5	Multiplexmodell der Protokollfamilie TCP/IP.....	31
1.5	Komponenten der Protokollfamilie TCP/IP.....	32
1.5.1	-Protokolle der Netzwerkschicht.....	33
1.5.2	Protokolle der Transportschicht.....	33
1.5.3	Komponenten der Anwendungsschicht.....	34
1.6	IETF und Internet-Standards ..... '.....	38
1.7	Schlussbemerkungen.....	40

2	Internet-Netzwerkprotokolle IPv4, ARP, ICMP und IGMP.....	41
2.1	Aufgaben von IP.....	42
2.2	Aufbau von IPv4-Paketen.....	42
2.2.1	Differentiated Services.....	45
2.2.2	Fragmentierung der IPv4-Pakete.....	47
2.2.3	Optionen in IP-Paketen.....	50
2.3	IPv4-Adressen.....	53
2.3.1	Darstellung von IP-Adressen.....	55
2.3.2	Standard-Subnetzmaske.....	56
2.3.3	Vergabe von IP-Adressen.....	58
2.4	Bildung von Subnetzen.....	61
2.4.1	Bestimmen von Subnetz-IDs und Host-IDs.....	62
2.4.2	Zielbestimmung eines IP-Pakets beim Quellrechner.....	66
2.4.3	Adressierungsaspekte in IP-Netzen.....	67
2.5	Klassenlose IP-Adressierung (VLSM, CIDR) .....	70
2.5.1	Konzept der klassenlosen IP-Adressierung.....	71
	Erweitertes Netzwerkpräfix.....	72
	Präfixlänge in Routing-Tabellen.....	74
2.5.2	VLSM-Nutzung.....	75
	VLSM-Einsatz zur Strukturierung von Netzwerken.....	76
	Aggregation von Routen bei der VLSM-Nutzung.....	78
	Voraussetzungen für den effizienten VLSM-Einsatz.....	79
2.5.3	CIDR-Einsatz.....	80
	Beispiel für CIDR-Adresszuweisung.....	81
	Aggregation von Routen mit CIDR.....	82
	Voraussetzungen für den effizienten CIDR-Einsatz.....	84
2.6	Protokolle ARP und RARP.....	85
2.6.1	Protokoll ARP.....	85
• 2.6.2	Proxy-ARP.....	89
2.6.3	Protokoll RARP S.....	93
2.7	Protokoll ICMP.....	94
2.7.1	ICMP-Nachrichten.....	95
2.7.2	ICMP-Fehlermeldungen.....	97
2.7.3	ICMP-Anfragen.....	98
2.7.4	Pfad-MTU Ermittlung.....	100

2.8	TP-Multicasting.....	101
2.8.1	Multicast- Adressen .....	102
2.8.2	Internet Group Management Protocol.....	104
2.9	Schlussbemerkungen.....	107
<b>3</b>	<b>Transportprotokolle TCP, UDP und SCTP.....</b>	<b>109</b>
3.1	Gmndlagen der Transportprotokolle.....	110
3.2	Konzept und Einsatz von UDP.....	112
3.2.1	Aufbau von UDP-Paketen!.....	113
3.2.2	Protokoll UDP-Lite.....	114
3.3	Funktion des Protokolls TCP.....	116
- 3.3.1	Aufbau von TCP-Paketen.....	117
3.3.2	Konzept der TCP-Verbindungen.....	121
3.3.3	Auf- und Abbau von TCP-Verbindungen.....	123
3.3.4	Flusskontrolle bei TCP.....	126
3.3.5	TCP Sliding-Window-Prinzip.....	128
3.4	Implementierungsaspekte von TCP.....	132
3.4.1	Klassische TCP-Algorithmen.....	133
3.4.2	Abschätzung von Round Trip Time.....	134
3.4.3	Verbesserung der Effizienz von TCP.....	136
3.4.4	Transaction TCP.....	138
3.4.5	TCP Socket-Interface.....	140
3.4.6	Angriffe gegen den TCP-Stack.....	141
3.4.7	Socket Cloning und TCP-Handoff.....	143
3.5	Konzept und Einsatz von SCTP.....	144
3.5.1	SCTP versus UDP und TCP.....	145
3.5.2	SCTP-Assoziationen.....	146
3.5.3	Struktur der SCTP-Pakete.....	147
3.5.4	Aufbau und Abbau einer SCTP-Assoziation.....	149
3.5.5	Daten- und Nachrichtenübermittlung nach SCTP.....	150
	Selektive Bestätigung von DATA-Chunks.....	152
	Beispiel für fehlerfreie Übermittlung.....	153
	Beispiel für fehlerhafte Übermittlung.....	154
3.6	Schlussbemerkungen.....	155

<b>4</b>	<b>DNS und DHCP.....</b>	<b>157</b>
4.1	Domain Name System.....	158
4.1.1	Organisation des DNS-Namensraums.....	159
4.1.2	Namensauflösung am Beispiel von Hostnamen.....	162
4.1.3	Auflösung von IP-Adressen auf Hostnamen.....	165
4.1.4	Resource Records und ihre Abfrage.....	166
4.1.5	Zonen und Zonentransfer.....	171
	Zonendatei.....	172
	Zonentransfer.....	173
4.1.6	DNS-Nachrichten.....	175
	Aufbau von DNS-Nachrichten.....	175
	DNS-Nachrichten mit EDNS.....	177
4.1.7	DNS und Internet-Dienste.....	178
	Aufbau von DNS-Nachrichten.....	175
	DNS-Nachrichten mit EDNS.....	177
4.1.8	Domain Name Registrare und dynamisches DNS.....	182
4.1.9	DNS Security (DNSSEC).....	184
	Typische Bedrohungsszenarien bei DNS.....	185
	DNS-Erweiterung zu DNSSEC.....	185
4.1.10	DNS für IPv6.....	188
4.1.11	DNS und Internet-Anbindung.....	190
4.1.12	Internationalisierung des DNS (IDN).....	191
4.2	Dynamische Adressvergabe mit DHCP.....	192
4.2.1	Aufbau von DHCP-Nachrichten.....	195
4.2.2	Ablauf des DHCP-Verfahrens.....	196
4.2.3	Implementierung mehrerer DHCP-Server.....	199
4.2.4	DHCP im Einsatz.....	200
4.2.5	DHCP und PXE.....	201
4.3*	Schlussbemerkungen.....	202
<b>5</b>	<b>NAT und Netzdienstprotokolle: SOCKS, SSL, LDAP.....</b>	<b>203</b>
5.1	Network Address Translation (NAT).....	204
5.1.1	Klassisches NAT.....	205
5.1.2	Konzept von NAT.....	206
5.1.3	Prinzip von Full Cone NAT.....	208
5.1.4	Prinzip von Restricted Cone NAT.....	209

5.1.5	Bidirektionales NAT und RSIP.....r.....	210"
5.1.6	ICMP bei NAT und die Notwendigkeit von ALGs.....	211
5.2	SOCKS v5 Proxy-Protokoll.....	212
5.2.1	Das SOCKS-Regelwerk.....	213
5.2.2	Gesicherte Verbindungen über SOCKS.....	215
5.3	Secure Socket Layer.....	216
5.3.1	SSL im Schichtenmodell und Hilfsprotokolle.....	218
5.3.2	SSL und X.509-Zertifikate.....	219
	/	
5.3.3	Ablauf des SSL-Verfahrens.....	220
5.3.4	Record Layer Protocol.....	222
5.3.5	CipherSuites . . . !'.....	223
5.3.6	SSL-Ports und STARTTLS.....	224
5.4	Lightweight Directory ^Access Protocol (LDAP).....	225
5.4.1	Directory Information Tree.....	227
5.4.2	LDAP-Server.....	228
5.4.3	LDAP-Client-Zugriff.....	229
5.5	Schlussbemerkungen.....	232
<b>6</b>	<b>Konzept des Protokolls IPv6.....</b>	<b>233</b>
6.1	Neuerungen bei IPv6 gegenüber IPv4.....	234
6.2	Header-Struktur bei IPv6.....	236
6.3	Erweiterungs-Header.....	238
6.4	IPv6-Flexibilität mit Options-Headern.....	242
6.4.1	Aufbau der Options-Header.....	242
6.4.2	Belegung des Option-Feldes.....	244
6.5	Einsatz von Jumbo Payload.....	246
6.6	Source Routing beim IPvö.....	247
6.7	Fragmentierung langer IPv6-Pakete.....	250
6.8	Adre'ss'struktur von IPv6.....	251
6.8.1	Darstellung von IPv6-Adressen.....	252
6.8.2	Aufteilung des IPv6-Adressraums.....	255
6.8.3	Vergabe von IPv6-Adressenrr.....	255
6.9	Unicast-Adressen beim IPvö.....	256
6.9.1	Globale Unicast-Adressen.....	257
6.9.3	Interface-ID in IPv6-Adressen.....	261

6.9.4	Unicast-Adressen von lokaler Bedeutung.....	263
6.9.5	IPv4-Kompatibilitätsadressen.....	264
6.10	Multicast- und Anycast-Adressen bei IPv6.....	266
6.11	Protokoll ICMPv6.....	269
6.12	Schlussbemerkungen.....	271
<b>7</b>	<b>IPv6-Dienstprotokolle: NDP und DHCPv6.....</b>	<b>273</b>
7.1	Neighbor Discovery Protocol.....	274
7.1.1	Bestimmendes Ziels eines IPv6-Pakets.....	277
7.1.2	Ermittlung von Link-Adressen.....	279
7.1.3	Bekanntmachung von Netzparametern durch Router.....	281
7.1.4	IPv6-Paket-Umleitung.....	284
7.2	Stateless Autoconfiguration in IPv6-Netzen.....	285
7.3	Konzept und Einsatz von DHCPv6.....	288
7.3.1	Funktionsweise von DHCPv6.....	288
7.3.2	Struktur von DHCPv6-Nachrichten.....	289
7.3.3	Kommunikation zwischen Client und Server.....	292
7.3.4	Ablauf von DHCPv6.....	293
7.3.5	Einsatz von DHCPv6-Agenten.....	296
7.3.6	Verlängerung der Ausleihe einer IPv6-Adresse.....	297
7.3.7	Schnelle Umadressierung mit DHCPv6.....	298
7.4	Schlussbemerkungen.....	300
<b>8</b>	<b>Migration zum IPv6-Einsatz.....</b>	<b>301</b>
8.1	Integration von IPv4 und IPv6 in Rechnern.....	1302
8.1.1	IPv4- und IPv6-Protokollfamilien im Schichtenmodell.....	302
8.1.2	Dual-Stack-Rechner in einem LAN-Segment.....	303
8.1.3	Betrieb von Dual-Stack-Rechnern in IPv4-Netzen.....	304
8.2'	Arten der Koexistenz von IPvö und IPv4.....	305
8.2.1	IPv6-Komimunikation über IPv4-Netze.....	306
8.2.2	IPv4-Kommunikation über IPv6-Netze.....	308
8.2.3	IP-Kommunikation durch Translation IPv4 O IPv6.....	309
8.3	Einsatz von IPv6-in-IPv4-Tunneling.....	309
8.3.1	Erweiterung eines IPv4-Netzes um ein IPvö-Netz.....	309
8.3.2	Kopplung der IPv6-Netze über ein IPv4-Netz.....	312
8.3.3	Zugang zum IPv6-Internet über Tunnel Broker.....	312

8.4	Konzept und Einsatz von 6to4.....	314
8.4.1	Bedeutung von 6to4.....	314
8.4.2	Struktur von 6to4-Adressen.....	315
8.4.3	IPvö-Kommunikation über IPv4-Netz.....	315
8.4.4	Problem bei 6to4 mit NAT.....	317
8.5	IPvö over IPv4 mit ISATAP.....	318
8.5.1	Kommunikation mit ISATAP.....	318
8.5.2	Struktur und Bedeutung von ISATAP-Adressen.....	319
8.5.3	Funktionsweise von ISATAP.....	321
	Abfrage des Präfixes bei einem 6to4-Router.....	322
	Kommunikation zwischen ISATAP-Rechnern über 6to4-Sites.....	323
8.6	* IPvö in IPv4-Netzen mit NAT (Teredo).....	324
8.6.1-	Teredo-Adresse und -Pakete.....	325
8.6.2	Bestimmung der Art von NAT.....	327
8.6.3	Beispiele für der Ablauf der Kommunikation mit Teredo.....	330
8.7	IPv4 over IPv6 mit DSTM.....	333
8.8	Einsatz der Translation IPv4 O IPv6.....	335
8.8.1	Einsatz von SITT.....	335
	Adressierung bei SITT.....	336
	Translation IPV4 » IPv6.....	338
8.8.2	Einsatz von NAT-PT.....	343
	Einsatz von Basic NAT-PT.....	345
	Einsatz von NAPT-PT.....	346
	Einsatz von Bidirectional NAT-PT.....	347
8.9	Schlussbemerkungen.....	351
<b>9</b>	<b>Routing in IP-Netzen.....</b>	<b>353</b>
9.1	Routing-Grundlagen.....	354
9.1.1,	-Grundlegende Aufgaben von Routern.....	354
	Lokale Vernetzung der IP-Subnetze.....	354
	LAN-Erweiterung mit einem WAN.....	355
	Vernetzung der IP-Subnetze über ein WAN.....	356
9.1.2	Adressierung beim Routereinsatz.....	357
	Schichtenmodell für die Vernetzung mit Routern.....	358
	Beispiel für die Übermittlung eines IP-Pakets.....	359
9.1.3	Routine-Tabelle.....	360

	Struktur einer Routing-Tabelle.....	361
	Bestimmung der besten Route.....	362
9.1.4	Routing-Verfahren.....	363
	Routing-Arten.....	365
	Link State Routing.....	367
9.1.4	Inter-/Intra-Domain-Protokolle.....	368
9.2	Routing Information Protocol (RIP).....	369
9.2.1	Erlernen von Routing-Tabellen beim RIP.....	370
	Beispiel für einen RIP-Ablauf.....	371
	Reduzierung der Konvergenzzeit.....	372
	Beispiel für einen RIP-Ablauf mit Split-Horizon.....	373
	Count-to-Infinity-Problem.....	374
9.2.2'	Besonderheiten des RIP-1.....	376
	Struktur von RIP-1-Nachrichten.....	376
	Routing-Tabelle beim RIP-1.....	378
	Schwächen des RIP-1.....	379
9.2.3	Das Routing-Protokoll RIP-2.....	380
9.2.4	RIP für das Protokoll IPvö (RIPng).....	383
9.3	Open Shortest Path First (OSPF).....	385
9.3.1	Funktionsweise von OSPF.....	386
9.3.2	Nachbarschaften zwischen Routern.....	389
	Bildung einer Nachbarschaft.....	389
	Hinzufügen eines Routers.....	391
	Einsatz eines designierten Routers.....	392
9.3.3	OSPF-Einsatz in großen Netzwerken.....	393
	Aufteilung großer Netzwerke auf OSPF-Bereiche.....	394
	Bereichübergreifendes Routing.....	396
	AS-übergreifendes Routing.....	397
	Beispiel für einen OSPF-Einsatz.....	398
9.3.4	OSPF-Pakete.....	402
	Hello-Paket.....	403
	Paket Database Description.....	404
	Link-State-Pakete.....	405
	LSA-Typen und -Angaben.....	407
9.3.5	Besonderheiten von OSPFv2.....	409
9.3.6	OSPF für IPv6 (OSPFv3).....	409

9.4	Border Gateway Protocol (BGP-4).....	410
9.4.1	Grundlagen des BGP-4.....	411
9.4.2	Funktionsweise des BGP-4.....	412
9.4.3	BGP-4-Nachrichten.....	413
9.4.4	Multiprotocol Extensions for BGP-4 (MP-BGP).....	419
	IPvö Inter-Domain Routing.....	422
	Einsatz des MP-BGP in BGP/MPLS IPv4-VPNs.....	423
9.5	Redundante Auslegung von Routern.....	424
9.5.1	Konzept des virtuellen Routers.....	424
	Virtueller Router und ARP.....	426
	Lastverteilung mit virtuellen Routern.....	426
9.5.2	Funktionsweise von VRRP.....	427
	Aufbau von VRRP-Advertisement.....	428
	Auswahl des Master-Routers.....	429
	Entdeckung eines Ausfalls des Master-Routers.....	429
9.5.3	Einsatz HSRP.....	430
9.6	Multicast Routing-Protokolle.....	433
9.Ö.1	Einige Aspekte von MC-Routing.....	434
9.6.2	Aufgaben von MC-Routing.....	437
	Arten der Verteilbäume.....	437
	Multicast Forwarding.....	439
	Aufbau und Nutzung des quellbasierten Verteilbaums.....	440
9.Ö.3	Intra-Domain-MC-Routing mit PIM-SM.....	442
	Besonderheiten der MC-Forwarding.....	442
	Nutzung des gemeinsamen Verteilbaums.....	443
	Übergang zur Nutzung des quellbasierten Verteilbaums.....	444
	Aufnahme eines neuen MC-Routers.....	445
	Pruning beim PIM-SM.....	446
	Struktur von PIM-Nachrichten.....	447
9.Ö.4	Inter-Domain-MC-Routing mit MSDP.....	447
	Grundkonzept von MSDP.....	448
	Bildung von MC-Gruppen in autonomen Systemen.....	449
	MC-Verteilung über gemeinsame Bäume.....	450
	Anbindung von RPs an den Verteilbaum der MC-Quelle.....	451
9.7	Schlussbemerkungen.....	452

<b>10</b>	<b>Klassische Ansätze für JP over X.....</b>	<b>455</b>
10.1	IP über LANs.....	456
10.1.1	Übermittlung der IP-Pakete in MAC-Frames.....	457
10.1.2	Multiplexing auf der LLC-Teilschicht.....	459
10.2	IP über Punkt-zu-Punkt-Verbindungen.....	461
10.2.1	Protokoll SLIP.....	461
10.2.2	Protokoll PPP.....	463
10.3	IP über X.25 und Frame-Relay.....	472
10.3.1	Grundlagen der X.25-Netze.....	472
10.3.2	IP über X.25.....	476
10.3.3	Konzept von Frame-Relay.....	478
10.3.4	IP über Frame-Relay.....	483
10.4	IP über ATM-Netze.....	485
10.4.1	Grundlagen der ATM-Netze.....	486
	Bildung von ATM-Zellen.....	487
	Struktur von ATM-Zellen.....	489
	ATM-Verbindungen.....	490
10.4.2	Classical IP over ATM.....	491
	ATM-basiertes IP-Subnetz.....	491
	Schritte vor der Datenübermittlung.....	492
	ATMARP/In ATM ARP-Pakete in ATM-Zellen.....	493
10.4.3	LAN-Emulation in ATM-Netzen.....	494
	Bedeutung der LAN-Emulation.....	495
	Komponenten der LAN-Emulation.....	496
	Phasen beim Ablauf der LAN-Emulation.....	497
	Beispiel für den Ablauf der LAN-Emulation.....	498
	LAN-Kommunikation über ein ATM-Netz.....	499
10.4.4	NextHop Resolution Protocol.....	500
10.4.5	Multi-Protocol Over ATM (MPOA).....	504
	Ziel des MPOA.....	504
	Funktionsweise des MPOA.....	506
	IP-Kommunikation nach dem MPOA.....	507
10.5	Schlussbemerkungen.....	509

<b>11</b>	<b>Neue Generation der IP-Netze mit MPLS und GMPLS.....</b>	<b>511</b>
11.1	Weg zu neuer Generation der IP-Netze.....	512
11.1.1	Notwendigkeit von (G)MPLS.....	512
11.1.2	Bedeutung von Traffic Engineering in IP-Netzen.....	514
11.1.3	Multiplane-Architekturen zukünftiger IP-Netze.....	515
11.1.4	Schritte zu einem LSP.....	517
11.2	Multi-Protocol Label Switching.....	518
11.2.1	• Multiplane-Architektur der MPLS-Netze.....	519
11.2.2	MPLS als Integration von Routing und Switching.....	521
11.2.3	Logisches Modell des MPLS.....	522
11.2.4	Prinzip des Label-Switching.....	524
* 11.2.5	Logische Struktur der MPLS-Netze.....	525
11.2.6	Bildung der Klassen von IP-Paketen und MPLS-Einsatz.....	526
11.2.7	MPLS und die Hierarchie von Netzen.....	528
	MPLS und Tunneling.....	529
	Label-Stack.....	530
11.2.8	MPLS und verschiedene Übermittlungsnetze.....	531
11.2.9	Virtual Private Networks mit MPLS.....	532
11.3	Konzept von GMPLS.....	533
11.3.1	Vom MPLS über MPAS zum GMPLS.....	535
11.3.2	Struktur eines optischen Switches beim GMPLS.....	536
11.3.3	Interpretation von Labels.....	537
11.3.4	Interpretation des Transportpfads.....	538
11.3.5	Bedeutung des LMP in GMPLS-Netzen.....	539
11.4	Traffic Engineering in (G)MPLS-Netzen.....	541
11.4.1	Traffic Trunks und LSPs.....	541
11.4.2	Aufgaben und Schritte beim MPLS-TE.....	543
11.4.3	Routing beim Traffic Engineering.....	544
11.4.4	Attribute von Traffic Trunks.....	545
11.4.5	Constraint-based Routing.....	547
11.4.6	Re-Routing und Preemption.....	548
11.5	Signalisierung in (G)MPLS-Netzen.....	549
11.5.1	Einsatz des RSVP-TE.....	550
	Funktionsweise des RSVP.....	550
	RSVP-TE als Signalisierungsprotokoll in MPLS-Netzen.....	553
	Explizites Routing mit dem RSVP-TE.....	554

	Fast Re-Routig mit dem RSVP-TE.....	556
11.5.2	Einsatz des GMPLS RSVP-TE.....	556
11.5.3	Einsatz des CR-LDP.....	558
	Struktur von LDP-Nachrichten.....	559
	Aufbau eines LSP mit dem CR-LDP.....	560
11.6	Schlussbemerkungen.....	561
<b>12</b>	<b>Virtual Private Networks und Remote Access Services.....</b>	<b>563</b>
	/	
12.1	Grundlagen und Arten von VPNs.....	564
12.1.1	Tunneling als Basis von VPNs.....	564
	Tunneling über klassische IP-Netze.....	564
	Tunneling über MPLS-Netze.....	565
12.1.2	Arten von VPNs.....	567
12.2	Vom Provider bereitgestellte VPNs.....	569
12.2.1	Pseudo-Drähte als LIVPNs..... <sup>1</sup>	571
12.2.2	Vom Provider bereitgestellte L2VPNs.....	574
	Punkt-zu-Punkt L2VPN: EoMPLS.....	575
	Punkt-zu-Mehrpunkt L2VPN: VPLS.....	578
12.2.3	BGP/MPLS VPNs.....	580
12.3	Layer-2-Tunneling über klassische IP-Netze.....	583
12.3.1	Tunneling-Protokoll L2TP.....	584
	Das Konzept des L2TP.....	584
	Auf- und Abbau einer Kontrollverbindung.....	588
	L2TP-Verlauf beim Tunnelaufbau.....	589
	L2TP-Verlauf beim Tunnelabbau.....	590
	Besonderheiten des L2TPv3.....	591
	L2-Übermittlungsdienste über klassische IP-Netze mit dem L2TPv3.....	593
12.3.2	Das Tunneling-Protokoll PPTP.....	594
	Das Konzept des PPTP.....	594
	Auf- und Abbau einer Kontrollverbindung.....	596
	PPTP-Verlauf beim Tunnelaufbau.....	598
	PPTP-Verlauf beim Tunnelabbau.....	599
12.4	IPsec und Layer-3-Tunneling.....	600
12.4.1	Ziele des IPsec.....	600
12.4.2	Erweiterung der IP-Pakete mit IPsec-Angaben.....	601
12.4.3	Sicherheitsvereinbaaingen.....	603

12.4.4	' Authentication Header (AH).....	605
12.4.5	Encapsulating Security Payload (ESP).....	606
12.4.6	Datenverschlüsselung beim IPsec.....	608
12.4.7	Authentifizierung und Prüfung der Datenintegrität.....	609
12.4.8	IPsec-Einsatz im Tunnel-Mode.....	611
12.4.9	IPsec-Einsatz zum Aufbau von VPNs.....	614
12.5	Einsatz des Protokolls RADIUS.....	616
12.5.1	Network Access Server und RADIUS.....	616
12.5.2	Konzept von RADIUS.....	618
12.5.3	RADIUS-Pakete.....	620
12.5.4	Einsatz mehrerer RADIUS-Server.....	622
12.6	, Schlussbemerkungen.....	623
<b>13</b>	<b>Unterstützung der Mobilität in IP-Netzen.....</b>	<b>625</b>
13.1	Ansätze für die Unterstützung der Mobilität.....	626
13.1.1	Bedeutung von WLAN- und Hotspot-Roaming.....	626
13.1.2	Hauptproblem der Mobilität in IP-Netzen.....	629
13.1.3	Die grundlegende Idee des Mobile IP.....	630
13.1.4	Die Idee des Mobile IPv4.....	631
13.1.5	Idee des Mobile IPv6.....	633
13.2	Roaming zwischen Hotspots.....	634
13.2.1	Hotspot-Roaming zwischen mehreren WISPs.....	634
13.2.2	Ablauf des Hotspot-Roaming.....	635
13.3	Funktionsweise des MIPv4.....	637
13.3.1	Beispiel für einen Ablauf des MIP.....	638
13.3.2	Agent Discovery.....	640
13.3.3	' Erkennen des Verlassens des Heimatsubnetzes.....	642
13.3.4	Erkennen des Wechsels eines Fremdsubnetzes.....	643
13.3.5	Erkennen einer Rückkehr in das Heimatsubnetz.....	644
13.3.6	Registrierung beim Heimatagenten.....	645
	Nachrichten für die Registrierung.....	645
	Registrierung einer CoA.....	647
	Registrierung einer colocated CoA.....	648
	Deregistrierung beim Heimat-Agenten.....	648
	Authentifizierung bei der Registrierung.....	650
13.3.7	Mobiles IP-Routing.....	651

Einsatz von Routern ohne Mobility Agents.....	651
Einsatz von Routern mit Mobility Agents.....	653
13.4 Konzept des MIPv6.....	653
13.4.1 MN hat sein Heimatsubnetz verlassen.....	654
13.4.2 MN hat ein Fremdsubnetz gewechselt.....	657
13.4.3 MN ist in sein Heimatsubnetz zurückgekehrt.....	658
13.4.4 MIPv6-Nachrichten.....	659
13.4.5 Kommunikation zwischen MN und CN.....	660
Prinzip der indirekten Kommunikation.....	660
Prinzip der direkten Kommunikation.....	662
13.4.6 Home Agent Binding.....	662
13.4.7 Correspondent Node Binding.....	663
13.4.8 Entdeckung eines Subnetzwechsels.....	664
13.4.9 Entdeckung der Home-Agent-Adresse.....	665
13.5 Hierarchical MIPv6.....	666
13.5.1 Unterstützung der Mobilität mit dem HMIPv6.....	666
13.5.2 Finden eines MAP.....	668
13.5.4 Unterstützung der Mikromobilität.....	669
13.5.5 Unterstützung der Makromobilität.....	671
13.5.6 Datentransfer zwischen MN und CN.....	672
13.6 Schlussbemerkungen.....	674
Literatur.....	675
Abkürzungsverzeichnis.....	677
Index.....	685