

anatol BADACH
erwin HOFFMANN



Technik der **IP-NETZE**

3. Auflage

INTERNET-KOMMUNIKATION
IN THEORIE UND EINSATZ

HANSER

Bleiben Sie auf dem Laufenden!



Unser **Computerbuch-Newsletter** informiert Sie monatlich über neue Bücher und Termine. Profitieren Sie auch von Gewinnspielen und exklusiven Leseproben. Gleich anmelden unter



www.hanser-fachbuch.de/newsletter



Hanser Update ist der IT-Blog des Hanser Verlags mit Beiträgen und Praxistipps von unseren Autoren rund um die Themen Online Marketing, Webentwicklung, Programmierung, Softwareentwicklung sowie IT- und Projektmanagement. Lesen Sie mit und abonnieren Sie unsere News unter



www.hanser-fachbuch.de/update



Anatol Badach
Erwin Hoffmann

Technik der IP-Netze

**Internet-Kommunikation
in Theorie und Einsatz**

3., überarbeitete und erweiterte Auflage

HANSER

Alle in diesem Buch enthaltenen Informationen, Verfahren und Darstellungen wurden nach bestem Wissen zusammengestellt und mit Sorgfalt getestet. Dennoch sind Fehler nicht ganz auszuschließen. Aus diesem Grund sind die im vorliegenden Buch enthaltenen Informationen mit keiner Verpflichtung oder Garantie irgendeiner Art verbunden. Autoren und Verlag übernehmen infolgedessen keine juristische Verantwortung und werden keine daraus folgende oder sonstige Haftung übernehmen, die auf irgendeine Art aus der Benutzung dieser Informationen – oder Teilen davon – entsteht.

Ebenso übernehmen Autoren und Verlag keine Gewähr dafür, dass beschriebene Verfahren usw. frei von Schutzrechten Dritter sind. Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Buch berechtigt deshalb auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.

Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdruckes und der Vervielfältigung des Buches, oder Teilen daraus, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) – auch nicht für Zwecke der Unterrichtsgestaltung – reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

© 2015 Carl Hanser Verlag München, www.hanser-fachbuch.de

Lektorat: Brigitte Bauer-Schiewek

Herstellung: Irene Weihart

Copy editing: Jürgen Dubau, Freiburg

Layout: Erwin Hoffmann mit LaTeX

Umschlagdesign: Marc Müller-Bremer, www.rebranding.de, München

Umschlagrealisation: Stephan Rönigk

Druck und Bindung: Kösel, Krugzell

Ausstattung patentrechtlich geschützt. Kösel FD 351, Patent-Nr. 0748702

Printed in Germany

Print-ISBN: 978-3-446-43976-4

E-Book-ISBN: 978-3-446-43986-3

Inhaltsverzeichnis

I	Klassisches IPv4/UDP/TCP	1
1	Grundlagen der IP-Netze	3
1.1	Entwicklung des Internet	4
1.1.1	Internet vor der Nutzung des WWW	4
1.1.2	Die Schaffung des WWW	6
1.1.3	Internet nach der Etablierung des WWW	9
1.1.4	Meilensteine der Internet-Entwicklung und Trends	9
1.2	Funktionen der Kommunikationsprotokolle	16
1.2.1	Prinzipien der Fehlerkontrolle	17
1.2.2	Realisierung der Flusskontrolle	19
1.2.3	Überlastkontrolle	21
1.3	Schichtenmodell der Kommunikation	22
1.3.1	Konzept des OSI-Referenzmodells	23
1.3.2	Schichtenmodell der Protokollfamilie TCP/IP	26
1.4	Allgemeine Prinzipien der IP-Kommunikation	28
1.4.1	Bildung von IP-Paketen	28
1.4.2	Netzwerkschicht in IP-Netzen	30
1.4.3	Verbindungslose IP-Kommunikation im Internet	32
1.4.4	Transportschicht in IP-Netzen	32
1.4.5	Multiplexmodell der Protokollfamilie TCP/IP	35
1.5	Komponenten der Protokollfamilie TCP/IP	36
1.5.1	Protokolle der Netzwerkschicht	37
1.5.2	Protokolle der Transportschicht	38
1.5.3	Protokolle der Supportschicht und für Echtzeitkommunikation	39
1.5.4	Komponenten der Anwendungsschicht	40
1.6	Sicherheit der IP-Kommunikation	42
1.6.1	Gesicherte und sichere Datenübertragung	44
1.6.2	Hashfunktionen und Nachrichtenauthentisierung	48
1.6.3	Grundzüge der symmetrische Verschlüsselung	50
1.6.4	Methoden der asymmetrischen Verschlüsselung	53
1.6.5	Einsatz und Systematik hybrider Verschlüsselungsmethoden	58
1.7	IETF und Internet-Standards	60
1.8	Schlussbemerkungen	61
2	Internet-Netzwerkprotokolle IPv4, ARP, ICMP und IGMP	63
2.1	Aufgaben von IPv4	64
2.2	Aufbau von IPv4-Paketen	65
2.2.1	Differentiated Services	67
2.2.2	Fragmentierung der IPv4-Pakete	69
2.2.3	Optionen in IP-Paketen	71
2.3	IPv4-Adressen	74
2.3.1	Darstellung von IP-Adressen	76

2.3.2	Standard-Subnetzmaske	77
2.3.3	Vergabe von IP-Adressen	78
2.4	Bildung von Subnetzen	81
2.4.1	Bestimmen von Subnetz-IDs und Host-IDs	82
2.4.2	Zielbestimmung eines IP-Pakets beim Quellrechner	85
2.4.3	Adressierungsaspekte in IP-Netzen	86
2.5	Klassenlose IP-Adressierung (VLSM, CIDR)	89
2.5.1	Konzept der klassenlosen IP-Adressierung	89
2.5.2	VLSM-Nutzung	93
2.5.3	CIDR-Einsatz	97
2.6	Protokolle ARP und RARP	101
2.6.1	Protokoll ARP	102
2.6.2	Proxy-ARP	105
2.6.3	Protokoll RARP	108
2.7	Protokoll ICMP	109
2.7.1	ICMP-Nachrichten	109
2.7.2	ICMP-Fehlermeldungen	111
2.7.3	ICMP-Anfragen	112
2.7.4	Pfad-MTU Ermittlung	114
2.8	IP-Multicasting	115
2.8.1	Multicast-Adressen	115
2.8.2	Internet Group Management Protocol	117
2.9	Schlussbemerkungen	120
3	Transportprotokolle TCP, UDP und SCTP	123
3.1	Grundlagen der Transportprotokolle	124
3.2	Konzept und Einsatz von UDP	126
3.2.1	Aufbau von UDP-Paketen	126
3.2.2	Protokoll UDP-Lite	128
3.3	Funktion des Protokolls TCP	129
3.3.1	Aufbau von TCP-Paketen	130
3.3.2	Konzept der TCP-Verbindungen	134
3.3.3	Auf- und Abbau von TCP-Verbindungen	135
3.3.4	Flusskontrolle bei TCP	138
3.3.5	TCP Sliding-Window-Prinzip	140
3.4	Implementierungsaspekte von TCP	144
3.4.1	Klassische TCP-Implementierungen	144
3.4.2	Abschätzung der Round Trip Time	145
3.4.3	Verbesserung der Effizienz von TCP	147
3.4.4	Datendurchsatz beim TCP	149
3.4.5	TCP Socket-Interface	151
3.4.6	Angriffe gegen den TCP-Stack	153
3.4.7	Socket Cloning und TCP-Handoff	154
3.4.8	MSS Clamping	155
3.5	Explicit Congestion Notification	156
3.5.1	Anforderungen an ECN-fähige Netzknoten	157
3.5.2	Überlastkontrolle mit ECN	158
3.5.3	Signalisierung von ECN in IP- und TCP-Headern	160
3.5.4	Ablauf des ECN-Verfahrens	161

3.6	Konzept und Einsatz von SCTP	165
3.6.1	SCTP versus UDP und TCP	165
3.6.2	SCTP-Assoziationen	166
3.6.3	Struktur der SCTP-Pakete	167
3.6.4	Aufbau und Abbau einer SCTP-Assoziation	168
3.6.5	Daten- und Nachrichtenübermittlung nach SCTP	170
3.7	Schlussbemerkungen	174
4	Domain Name System (DNS)	175
4.1	Aufgaben des DNS	176
4.1.1	Namen als Schlüssel zu Internet-Ressourcen	177
4.1.2	Organisation des DNS-Namensraums	178
4.1.3	Internet Root-Server	181
4.1.4	Architektur des DNS-Dienstes	182
4.1.5	Abfrage von IP-Adressen	184
4.1.6	Ermittlung des FQDN für eine IP-Adresse	186
4.1.7	Direkte Abfrage von Resource Records	187
4.2	Resource Records	188
4.2.1	Taxonomie der Resource Records	189
4.2.2	Resource Records für IPv6	191
4.2.3	Internationalisierung des DNS (IDN)	193
4.3	Zonen und Zonentransfer	194
4.3.1	Zonendatei	195
4.3.2	Zonentransfer	197
4.4	DNS-Nachrichten	198
4.4.1	DNS-Nachrichtenformate	199
4.4.2	DNS-Nachrichten mit EDNS(0)	201
4.5	DNS Security mit DNSSEC	203
4.5.1	Typische Bedrohungen bei DNS	204
4.5.2	Sicherung des Zonentransfers	205
4.5.3	Konzept von DNSSEC	206
4.5.4	Funktionale DNS-Erweiterung bei DNSSEC	208
4.5.5	Ablauf des DNSSEC-Verfahrens	209
4.6	Gesicherter Nachrichtentransport mit DNSCurve	214
4.6.1	Kryptographisches Konzept von DNSCurve	215
4.6.2	DNSCurve-Nachrichtenformate	217
4.7	DNS und Internetdienste	219
4.7.1	DNS und E-Mail nach SMTP	219
4.7.2	DNS und die ENUM-Domain	222
4.7.3	DNS und VoIP mit SIP	223
4.7.4	Autoritative DNS-Records: SSHFP und TLSA	225
4.8	Internetanbindung und DNS	229
4.8.1	Domain Name Registrare	230
4.8.2	Dynamisches DNS	232
4.9	Multicast-DNS-Dienste	232
4.9.1	Multicast-DNS	233
4.9.2	Dienstleistungsprotokolle LLMNR und UPnP	235
4.10	Schlussbemerkungen	238

5	IP-Support-Protokolle	239
5.1	IPv4-Autoconfiguration	240
5.1.1	Einrichten von IP-Adressen	241
5.1.2	Stateless Autoconfiguration für IPv4 – APIPA	242
5.2	Vergabe von IP-Adressen mit DHCP	244
5.2.1	Aufbau von DHCP-Nachrichten	246
5.2.2	Ablauf beim Protokoll DHCP	247
5.2.3	Aufgabe von DHCP-Relay-Agents	249
5.2.4	DHCP im Einsatz	250
5.2.5	DHCP und PXE	251
5.3	Network Address Translation (NAT)	252
5.3.1	Klassisches NAT	253
5.3.2	Konzept von NAPT	254
5.3.3	Prinzip von Full Cone NAT	256
5.3.4	Prinzip von Restricted Cone NAT	256
5.3.5	NAT und Echtzeitkommunikationsprotokolle	257
5.3.6	Session Traversal bei NAT	259
5.3.7	Carrier-Grade NAT	263
5.4	IP Security Protocol (IPsec)	265
5.4.1	Ziele von IPsec	266
5.4.2	Erweiterung der IP-Pakete mit IPsec-Angaben	267
5.4.3	Aufbau einer IPsec-Sicherheitsvereinbarung	268
5.4.4	IPsec im Authentication Mode	273
5.4.5	Encapsulating Security Payload (ESP)	274
5.4.6	IPsec-Einsatz im Tunnel-Mode	276
5.4.7	NAT-Traversal bei IPsec	278
5.5	Schlussbemerkungen	279
6	Protokolle der Supportschicht und für Echtzeitkommunikation	281
6.1	Konzept und Einsatz von SOCKS	282
6.1.1	SOCKS-Ablauf	283
6.1.2	Gesicherte Verbindungen mit SOCKS	285
6.2	Transport Layer Security (TLS)	285
6.2.1	TLS-Dienste im Schichtenmodell	287
6.2.2	X.509-Zertifikate	288
6.2.3	Ablauf des TLS-Verfahrens	291
6.2.4	Record Layer Protocol	294
6.2.5	Cipher Suites	295
6.2.6	Erzeugung der TLS-Schlüssel	296
6.2.7	Validierung und Verifikation von Zertifikaten	296
6.2.8	TLS-Ports und STARTTLS	298
6.2.9	Datagram TLS	299
6.3	Protokolle für die Echtzeitkommunikation	301
6.3.1	RTP/RTCP und Transportprotokolle in IP-Netzen	302
6.3.2	Real-time Transport Protocol (RTP)	304
6.3.3	Das Protokoll RTCP im Überblick	314
6.4	Das Protokoll SIP	318
6.4.1	SIP und Transportprotokolle	318
6.4.2	Eigenschaften des Protokolls SDP	319

6.4.3	Aufbau von SIP-Adressen	320
6.4.4	Funktion eines SIP-Proxy bei der IP-Videotelefonie	322
6.4.5	Trapezoid-Modell von SIP	323
6.4.6	Unterstützung der Benutzermobilität bei SIP	325
6.4.7	Beschreibung von Sessions mittels SDP	327
6.5	Multipath TCP (MPTCP)	330
6.5.1	Typischer Einsatz von MPTCP	331
6.5.2	Transportschicht mit MPTCP	333
6.5.3	Multipath-Kommunikation mit MPTCP	336
6.5.4	MPTCP-Angaben im TCP-Header	340
6.5.5	Aufbau einer MPTCP-Verbindung	342
6.5.6	Anpassung des TCP-Headers für MPTCP	343
6.5.7	Abbau einer MPTCP-Verbindung	344
6.5.8	Middleboxen als Störfaktoren bei MPTCP	346
6.6	Schlussbemerkungen	347
II Internet Protocol Version 6		349
7	Das Protokoll IPv6	351
7.1	Neuerungen bei IPv6 gegenüber IPv4	352
7.2	Header-Struktur bei IPv6	353
7.3	Erweiterungs-Header	355
7.4	IPv6-Flexibilität mit Options-Headern	359
7.4.1	Aufbau von Options-Headern	359
7.4.2	Belegung des Option-Feldes	360
7.5	Einsatz von Jumbo Payload	362
7.6	Source Routing bei IPv6	362
7.7	Fragmentierung langer IPv6-Pakete	364
7.8	Aufbau von IPv6-Adressen	365
7.8.1	Darstellung von IPv6-Adressen	366
7.8.2	IPv6-Adressensystematik und -Gültigkeitsbereiche	369
7.8.3	Interface-ID in IPv6-Adressen	370
7.8.4	Interface-Index bei Link-Local IPv6-Adressen	372
7.9	Unicast-Adressen bei IPv6	373
7.9.1	Globale Unicast-Adressen	374
7.9.2	Vergabe globaler IPv6-Adressen	377
7.9.3	Unicast-Adressen von lokaler Bedeutung	377
7.9.4	IPv4-Kompatibilitätsadressen	379
7.10	Multicast- und Anycast-Adressen bei IPv6	380
7.10.1	Automatische Multicast-Adressen	382
7.10.2	Anycast-Adressen	384
7.11	Zuweisung von IPv6-Unicast-Adressen	385
7.11.1	Privacy Extensions	385
7.11.2	Auswahl der 'richtigen' IPv6-Quelladresse	387
7.12	Schlussbemerkungen	388
8	IPv6-Support-Protokolle ICMPv6, NDP und DHCPv6	389
8.1	Nachrichten des Protokolls ICMPv6	390

8.2	Das Neighbor Discovery Protokoll	392
8.2.1	Bestimmen des Ziels eines IPv6-Pakets	395
8.2.2	Ermittlung von Linkadressen	396
8.2.3	Router Advertisement/Solicitation	399
8.2.4	Unsolicited Router Advertisements	401
8.2.5	IPv6-Paket-Umleitung	401
8.3	Stateless Address Autoconfiguration (SLAAC)	403
8.3.1	SLAAC und Router Advertisements	405
8.3.2	SeND – Secure Neighbor Discovery	406
8.4	Konzept und Einsatz von DHCPv6	409
8.4.1	Client/Relay/Server-Architektur bei DHCPv6	409
8.4.2	Aufbau von DHCPv6-Nachrichten	411
8.4.3	Ablauf von DHCPv6 im stateful Mode	413
8.4.4	Verlängerung der Ausleihe einer IPv6-Adresse	415
8.4.5	Schnelle Umadressierung mit DHCPv6	416
8.4.6	Ablauf von DHCPv6 im stateless Mode	417
8.4.7	Einsatz von DHCPv6-Relays	418
8.5	Schlussbemerkungen	420
9	Migration zum IPv6-Einsatz	421
9.1	Arten der Koexistenz von IPv6 und IPv4	422
9.1.1	IPv6-Kommunikation über IPv4-Netze	425
9.1.2	IPv4-Kommunikation über IPv6-Netze	427
9.1.3	IP-Kommunikation durch Translation IPv4 \Leftrightarrow IPv6	428
9.2	Dual-Stack-Verfahren	428
9.2.1	Dual-Stack-Rechner in einem LAN-Segment	429
9.2.2	Betrieb von Dual-Stack-Rechnern in IPv4-Netzen	429
9.2.3	Dual-Stack Lite	430
9.3	Tunneling-Protokolle: IPv6 über X	431
9.3.1	Erweiterung eines IPv4-Netzes um ein IPv6-Netz	431
9.3.2	Kopplung der IPv6-Netze über ein IPv4-Netz	433
9.3.3	Zugang zum IPv6-Internet über Tunnel-Broker	434
9.4	Von 6to4 nach 6rd	436
9.4.1	Bedeutung von 6to4	436
9.4.2	Aufbau von 6to4-Adressen	437
9.4.3	IPv6-Kommunikation über IPv4-Netz	437
9.4.4	Probleme bei 6to4 mit NAT	439
9.4.5	IPv6 Rapid Deployment – 6rd	440
9.5	IPv6 over IPv4 mit ISATAP	442
9.5.1	Kommunikation mit ISATAP	442
9.5.2	Struktur und Bedeutung von ISATAP-Adressen	443
9.5.3	Funktionsweise von ISATAP	445
9.6	IPv6 in IPv4-Netzen mit NAT (Teredo)	447
9.6.1	Teredo-Adresse und -Pakete	448
9.6.2	Bestimmung der Art von NAT	451
9.7	Protokoll-Translation: IPv4 \Leftrightarrow IPv6	453
9.7.1	Stateless IPv4/IPv4 Translation (SIIT)	453
9.7.2	Adressierung bei SIIT	454
9.7.3	Translation IPv4 \Leftrightarrow IPv6	455

9.7.4	Translation ICMPv4 ⇔ ICMPv6	459
9.8	NAT64 und DNS64	459
9.8.1	NAT64-Arbeitsmodell	460
9.8.2	NAT64-IPv6-Adressen	461
9.8.3	NAT64 Stateful Translation	462
9.8.4	DNS-Integration bei NAT64	463
9.9	Schlussbemerkungen	464
III	Internet Routing Architektur	465
<hr/>		
10	Routing in IP-Netzen	467
10.1	Routing-Grundlagen	468
10.1.1	Grundlegende Aufgaben von Routern	468
10.1.2	Adressierung beim Router-Einsatz	470
10.1.3	Routing-Tabelle	473
10.1.4	Routing-Verfahren	476
10.1.5	Inter-/Intra-Domain-Protokolle	479
10.2	Routing Information Protocol (RIP)	480
10.2.1	Erlernen von Routing-Tabellen beim RIP	481
10.2.2	Besonderheiten des RIP-1	486
10.2.3	Routing-Protokoll RIP-2	490
10.2.4	RIP für das Protokoll IPv6 (RIPng)	492
10.3	Open Shortest Path First (OSPF)	494
10.3.1	Funktionsweise von OSPF	495
10.3.2	Nachbarschaften zwischen Routern	497
10.3.3	OSPF-Einsatz in großen Netzwerken	501
10.3.4	OSPF-Nachrichten	508
10.3.5	Besonderheiten von OSPFv2	514
10.3.6	OSPF für IPv6 (OSPFv3)	514
10.4	Border Gateway Protocol (BGP-4)	515
10.4.1	Grundlagen des BGP-4	515
10.4.2	Funktionsweise des BGP-4	516
10.4.3	BGP-4-Nachrichten	517
10.4.4	Multiprotocol Extensions for BGP-4 (MP-BGP)	523
10.5	Redundante Auslegung von Routern	526
10.5.1	Konzept des virtuellen Routers	527
10.5.2	Funktionsweise von VRRP	529
10.5.3	Idee und Einsatz des HSRP	532
10.6	Multicast Routing-Protokolle	534
10.6.1	Einige Aspekte von MC-Routing	535
10.6.2	Aufgaben von MC-Routing	538
10.6.3	Intra-Domain-MC-Routing mit PIM-SM	542
10.6.4	Inter-Domain-MC-Routing mit MSDP	547
10.7	Schlussbemerkungen	551
11	Verbindungsorientierte IP-Netze mit MPLS und GMPLS	553
11.1	Weg zu neuer Generation der IP-Netze	554
11.1.1	Notwendigkeit von (G)MPLS	554

11.1.2	Bedeutung von Traffic Engineering in IP-Netzen	555
11.1.3	Multiplane-Architekturen moderner IP-Netze	557
11.1.4	Schritte zu einem LSP	558
11.2	Multi-Protocol Label Switching (MPLS)	559
11.2.1	Multiplane-Architektur der MPLS-Netze	559
11.2.2	MPLS als Integration von Routing und Switching	561
11.2.3	Logisches Modell des MPLS	562
11.2.4	Prinzip des Label-Switching	563
11.2.5	Logische Struktur der MPLS-Netze	565
11.2.6	Bildung der Klassen von IP-Paketen und MPLS-Einsatz	566
11.2.7	MPLS und die Hierarchie von Netzen	567
11.2.8	MPLS und verschiedene Übermittlungsnetze	569
11.2.9	Virtual Private Networks mit MPLS	570
11.3	Konzept von GMPLS	571
11.3.1	Vom MPLS über MPAS zum GMPLS	572
11.3.2	Struktur optischer Switches bei GMPLS	573
11.3.3	Interpretation der Label	574
11.3.4	Interpretation des Transportpfads	575
11.3.5	Bedeutung des LMP in GMPLS-Netzen	576
11.4	Traffic Engineering in (G)MPLS-Netzen	579
11.4.1	Traffic Trunks und LSPs	579
11.4.2	Aufgaben und Schritte beim MPLS-TE	580
11.4.3	Routing beim Traffic Engineering	581
11.4.4	Attribute von Traffic Trunks	582
11.4.5	Constraint-based Routing	583
11.4.6	Re-Routing und Preemption	585
11.5	Signalisierung in (G)MPLS-Netzen	585
11.5.1	Einsatz des RSVP-TE	586
11.5.2	Einsatz des GMPLS RSVP-TE	591
11.5.3	Einsatz des CR-LDP	593
11.6	Schlussbemerkungen	596
IV	IP-basierende Netzstrukturen	597
<hr/>		
12	IP over X und virtuelle IP-Netze	599
12.1	IP über LANs	600
12.1.1	Übermittlung der IP-Pakete in MAC-Frames	602
12.1.2	Multiprotokollfähigkeit der LANs	603
12.2	Punkt-zu-Punkt-Verbindungen mit PPP	605
12.2.1	PPP-Dateneinheiten	605
12.2.2	PPP-Zustände	607
12.2.3	LCP als Hilfsprotokoll von PPP	608
12.2.4	IPv4 Control Protocol (IPCP) bei PPP	610
12.2.5	Protokollablauf beim PPP	610
12.2.6	Benutzerauthentisierung	611
12.3	Grundlagen der WLANs	613
12.3.1	WLAN-Betriebsarten	614
12.3.2	Beitritt zum WLAN	615

12.3.3	WLAN MAC-Frame: MSDU	616
12.3.4	Kommunikation zwischen WLAN und Ethernet	620
12.3.5	Robust Security Network	621
12.4	Virtual Private Networks (VPN)	622
12.4.1	Tunneling als Basis für VPNs	622
12.4.2	VPN-Taxonomie	625
12.4.3	Von Providern bereitgestellte VPNs	626
12.4.4	Layer-2-Tunneling über IP-Netze	637
12.5	IPsec-basierte VPN	641
12.6	Schlussbemerkungen	645
13	IP-Netzwerke und Virtual Networking	647
13.1	Moderne Netzwerkstrukturierung	648
13.1.1	Funktionsbereiche in Netzwerken	648
13.1.2	Strukturierter Aufbau von Netzwerken	649
13.2	Virtual Networking in LANs	651
13.2.1	Arten und Einsatz von VLANs	651
13.2.2	Layer-2-Switching	652
13.2.3	Layer-3-Switching	654
13.2.4	Bedeutung von VLAN Tagging	656
13.3	Bildung von VLANs im Client-LAN	658
13.3.1	Intra- und Inter-VLAN-Kommunikation	659
13.3.2	Modell der Bildung von VLANs im Client-LAN	660
13.4	Bildung von VLANs im Server-LAN	661
13.4.1	Multilayer-Struktur im Server-LAN	661
13.4.2	Anbindung virtueller Server an Access Switches	662
13.4.3	Modelle der Bildung von VLANs im Server-LAN	664
13.5	Virtual Networking mit TRILL und SPB	665
13.5.1	Konzept und Bedeutung von TRILL	666
13.5.2	Idee und Einsatz von Shortest Path Bridging	668
13.6	VXLANs – VLANs mit VMs	674
13.6.1	Vom VLAN zum VXLAN	675
13.6.2	VXLANs oberhalb Layer-3-Netzwerke	676
13.7	Mobilität von Virtual Networks	677
13.7.1	Konzept und Bedeutung von ILNP	678
13.7.2	LISP – Idee und Bedeutung	687
13.8	Schlussbemerkungen	693
14	Benutzerauthentisierung in IP-Netzen	695
14.1	Extensible Authentication Protocol	696
14.1.1	EAP-Funktionskomponenten	696
14.1.2	EAP-Nachrichten	698
14.1.3	Ablauf der EAP-Authentisierung im WLAN	699
14.1.4	Innere Authentisierung mit MS-ChapV2	702
14.2	Einsatz des Protokolls RADIUS	703
14.2.1	Remote Access Services und RADIUS	703
14.2.2	Konzept von RADIUS	705
14.2.3	RADIUS-Nachrichten	708

14.3	Lightweight Directory Access Protocol	710
14.3.1	Directory Information Tree	711
14.3.2	LDAP-Server	712
14.3.3	LDAP-Client-Zugriff	713
14.4	Schlussbemerkungen	715
15	Unterstützung der Mobilität in IP-Netzen	717
15.1	Ansätze zur Unterstützung der Mobilität	718
15.1.1	Bedeutung von WLAN- und Hotspot-Roaming	718
15.1.2	Hauptproblem der Mobilität in IP-Netzen	720
15.1.3	Die grundlegende Idee des Mobile IP	721
15.1.4	Idee des Mobile IPv4	722
15.1.5	Idee des Mobile IPv6	723
15.2	Roaming zwischen Hotspots	724
15.2.1	Hotspot-Roaming zwischen mehreren WISPs	725
15.2.2	Ablauf des Hotspot-Roaming	725
15.3	Funktionsweise des MIPv4	727
15.3.1	Beispiel für einen Ablauf des MIP	728
15.3.2	Agent Discovery	730
15.3.3	Erkennen des Verlassens des Heimatsubnetzes	731
15.3.4	Erkennen des Wechsels eines Fremdsubnetzes	732
15.3.5	Erkennen einer Rückkehr in das Heimatsubnetz	733
15.3.6	Registrierung beim Heimatagenten	734
15.3.7	Mobiles IP-Routing	739
15.4	Konzept des MIPv6	741
15.4.1	MN hat sein Heimatsubnetz verlassen	741
15.4.2	MN hat das Fremdsubnetz gewechselt	743
15.4.3	MN ist in sein Heimatsubnetz zurückgekehrt	744
15.4.4	MIPv6-Nachrichten	745
15.4.5	Kommunikation zwischen MN und CN	746
15.4.6	Home Agent Binding	748
15.4.7	Correspondent Node Binding	749
15.4.8	Entdeckung eines Subnetzwechsels	749
15.4.9	Entdeckung der Home-Agent-Adresse	750
15.5	Hierarchical MIPv6	751
15.5.1	Unterstützung der Mobilität mit dem HMIPv6	751
15.5.2	Finden eines MAP	752
15.5.3	Unterstützung der Mikromobilität	753
15.5.4	Unterstützung der Makromobilität	754
15.5.5	Datentransfer zwischen MN und CN	756
15.6	Schlussbemerkungen	757
	Abkürzungsverzeichnis	761
	Literaturverzeichnis	771
	Stichwortverzeichnis	775