

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	10
1.2	Funktionen der Kommunikationsprotokolle	17
1.2.1	Prinzipien der Fehlerkontrolle	18
1.2.2	Realisierung der Flusskontrolle	20
1.2.3	Überlastkontrolle	22
1.3	Schichtenmodell der Kommunikation	23
1.3.1	Konzept des OSI-Referenzmodells	24
1.3.2	Schichtenmodell der Protokollfamilie TCP/IP	27
1.4	Allgemeine Prinzipien der IP-Kommunikation	29
1.4.1	Bildung von IP-Paketen	30
1.4.2	Netzwerkschicht in IP-Netzen	31
1.4.3	Verbindungslose IP-Kommunikation im Internet	33
1.4.4	Transportschicht in IP-Netzen	34
1.4.5	Multiplexmodell der Protokollfamilie TCP/IP	37
1.5	Komponenten der Protokollfamilie TCP/IP	38
1.5.1	Protokolle der Netzwerkschicht	38
1.5.2	Protokolle der Transportschicht	39
1.5.3	Protokolle der Supportschicht und für Echtzeitkommunikation	40
1.5.4	Komponenten der Anwendungsschicht	42
1.6	IETF und Internet-Standards	44
1.7	Schlussbemerkungen	46
1.8	Verständnisfragen	48
2	Sicherheit in der IP-Kommunikation	49
2.1	Grundlagen und Entwicklung der IT-Sicherheit	50
2.1.1	Daten und ihre Nutzung	51
2.1.2	Rolle der IT-Security	53
2.1.3	Akteure und Identitäten bei der Datenverarbeitung	55
2.1.4	Entwicklung der Internet-Kryptographie	58
2.1.5	Schichtenspezifische IT-Security-Protokolle	60
2.2	Prinzipien und Primitive der Kryptographie	62
2.2.1	Verschlüsselungs-Primitiv \mathcal{C}	63
2.2.2	Schlüsseltausch-Primitiv κ	63
2.2.3	Hash-Primitiv h	65
2.2.4	Signatur-Primitiv σ	67
2.2.5	Zusammenspiel der Krypto-Primitive	68

2.3	Hashfunktionen und ihr Einsatz	70
2.3.1	Hashfunktionen zur Nachrichtensicherung	70
2.3.2	Message Authentication Codes	71
2.3.3	Hashfunktionen für Passwörter	73
2.4	Symmetrische Verschlüsselung	75
2.4.1	Stromchiffren	77
2.4.2	Blockchiffren	79
2.4.3	Klassische Betriebsarten	80
2.4.4	Counter Mode und AEAD	82
2.5	Schlüsseltauschverfahren	84
2.5.1	Ablauf des RSA-Schlüsseltauschs	86
2.5.2	Ablauf des DH-Verfahrens	87
2.5.3	ElGamal-Schlüsseltausch-Protokoll	89
2.6	Kryptographie auf Elliptischen Kurven	90
2.6.1	Schlüsseltausch mit ECC	92
2.6.2	Digitale Signaturen mit ECC	93
2.7	Identitäten und Authentisierung	97
2.7.1	Authentisierung mit MS-ChapV2	99
2.7.2	Digitale Identitäten mit X.509-Zertifikaten	101
2.7.3	Der X.509-Datencontainer	102
2.7.4	X.509-Einsatzgebiete	103
2.7.5	Öffentliche und private Zertifikate	105
2.7.6	Verifikation und Validierung von Zertifikaten	106
2.8	Gesicherte und vertrauliche Datenübertragung	108
2.9	Schlussbemerkungen	113
2.10	Verständnisfragen	114
3	Internet-Netzwerkprotokolle IPv4, ARP, ICMP und IGMP	115
3.1	Aufgaben von IPv4	116
3.2	Aufbau von IPv4-Paketen	117
3.2.1	Differentiated Services	119
3.2.2	Fragmentierung der IPv4-Pakete	122
3.2.3	Optionen in IP-Paketen	124
3.3	IPv4-Adressen	127
3.3.1	Darstellung von IP-Adressen	129
3.3.2	Standard-Subnetzmaske	130
3.3.3	Vergabe von IP-Adressen	131
3.4	Bildung von Subnetzen	134
3.4.1	Bestimmen von Subnetz-IDs und Host-IDs	135
3.4.2	Zielbestimmung eines IP-Pakets beim Quellrechner	138
3.4.3	Adressierungsaspekte in IP-Netzen	139
3.5	Klassenlose IP-Adressierung (VLSM, CIDR)	142
3.5.1	Konzept der klassenlosen IP-Adressierung	143
3.5.2	VLSM-Nutzung	147
3.5.3	CIDR-Einsatz	151

3.6	Protokolle ARP und RARP	155
3.6.1	Protokoll ARP	156
3.6.2	Proxy-ARP	159
3.6.3	Protokoll RARP	162
3.7	Protokoll ICMP	163
3.7.1	ICMP-Nachrichten	164
3.7.2	ICMP-Fehlermeldungen	165
3.7.3	ICMP-Anfragen	167
3.7.4	Pfad-MTU Ermittlung	168
3.8	IP-Multicasting	169
3.8.1	Multicast-Adressen	170
3.8.2	Internet Group Management Protocol	171
3.9	Schlussbemerkungen	175
3.10	Verständnisfragen	178
4	Transportprotokolle TCP, UDP, SCTP und QUIC	179
4.1	Grundlagen der Transportprotokolle	180
4.2	Konzept und Einsatz von UDP	182
4.2.1	Aufbau von UDP-Paketen	183
4.2.2	Protokoll UDP-Lite	184
4.3	Funktion des Protokolls TCP	186
4.3.1	Aufbau von TCP-Paketen	187
4.3.2	Konzept der TCP-Verbindungen	191
4.3.3	Auf- und Abbau von TCP-Verbindungen	192
4.3.4	Flusskontrolle bei TCP	195
4.3.5	TCP Sliding-Window-Prinzip	197
4.4	Implementierungsaspekte von TCP	201
4.4.1	Klassische TCP-Implementierungen	201
4.4.2	Abschätzung der Round Trip Time	203
4.4.3	Verbesserung der Effizienz von TCP	204
4.4.4	Datendurchsatz beim TCP	206
4.4.5	TCP Socket-Interface	209
4.4.6	Angriffe gegen den TCP-Stack	211
4.4.7	Socket Cloning und TCP-Handoff	213
4.4.8	MSS Clamping	213
4.5	Explicit Congestion Notification	214
4.5.1	Anforderungen an ECN-fähige Netzknoten	215
4.5.2	Überlastkontrolle mit ECN	216
4.5.3	Signalisierung von ECN in IP- und TCP-Headern	218
4.5.4	Ablauf des ECN-Verfahrens	220
4.6	Multipath TCP	223
4.6.1	Typischer Einsatz von MPTCP	224
4.6.2	Transportschicht mit MPTCP	226
4.6.3	Multipath-Kommunikation mit MPTCP	229
4.6.4	MPTCP-Angaben im TCP-Header	233
4.6.5	Aufbau einer MPTCP-Verbindung	235

4.6.6	Anpassung des TCP-Headers für MPTCP	237
4.6.7	Abbau einer MPTCP-Verbindung	238
4.6.8	Middleboxen als Störfaktoren bei MPTCP	239
4.7	Konzept und Einsatz von SCTP	240
4.7.1	SCTP versus UDP und TCP	241
4.7.2	SCTP-Assoziationen	241
4.7.3	Struktur der SCTP-Pakete	243
4.7.4	Aufbau und Abbau einer SCTP-Assoziation	244
4.7.5	Daten- und Nachrichtenübermittlung nach SCTP	245
4.8	Das QUIC-Protokoll	249
4.8.1	Ziele von QUIC	250
4.8.2	QUIC-Pakete in UDP und Transport über IP-Netze	251
4.8.3	Aufbau von QUIC-Nachrichten und der Payload	252
4.8.4	QUIC-Verbindungen und Datenströme	256
4.8.5	Verbindungsmanagement bei QUIC	259
4.9	Schlussbemerkungen	261
4.10	Verständnisfragen	262
5	Domain Name System (DNS)	263
5.1	Aufgaben des DNS	264
5.1.1	Namen als Schlüssel zu Internet-Ressourcen	265
5.1.2	Organisation des DNS-Namensraums	266
5.1.3	Internet Root-Server	269
5.1.4	Architektur und Komponenten des DNS-Dienstes	270
5.1.5	Abfrage von IP-Adressen	273
5.1.6	Ermittlung des FQDN für eine IP-Adresse	275
5.1.7	Direkte Abfrage von Resource Records	277
5.2	Resource Records	277
5.2.1	Taxonomie der Resource Records	279
5.2.2	Resource Records für IPv6	281
5.2.3	Internationalisierung des DNS (IDN)	283
5.3	Zonen und Zonentransfer	284
5.3.1	Zonendatei	285
5.3.2	Zonentransfer	287
5.4	DNS-Nachrichten	289
5.4.1	DNS-Nachrichtenformate	289
5.4.2	DNS-Nachrichten mit EDNS(0)	292
5.5	DNS Security mit DNSSEC	294
5.5.1	Typische Bedrohungen bei DNS	295
5.5.2	Sicherung des Zonentransfers	296
5.5.3	Konzept von DNSSEC	297
5.5.4	Funktionale DNS-Erweiterung bei DNSSEC	299
5.5.5	Ablauf des DNSSEC-Verfahrens	300
5.6	Vertrauliche DNS-Nachrichten mit CurveDNS	305
5.6.1	Kryptographisches Konzept von CurveDNS	307
5.6.2	CurveDNS-Nachrichtenformate	308

5.7	DNS und Internetdienste	311
5.7.1	DNS und E-Mail nach SMTP	311
5.7.2	DNS und die ENUM-Domain	313
5.7.3	DNS und VoIP mit SIP	315
5.8	Autoritative Records in der DNS-Zone	317
5.8.1	DNS-Based Authentication of Named Entities: DANE	318
5.8.2	DomainKeys Identified Mail Signatures	321
5.8.3	Certification Authority Authorization	324
5.9	Internetanbindung und DNS	325
5.9.1	Domain Name Registrare	328
5.9.2	Dynamisches DNS	329
5.10	Multicast-DNS-Dienste	330
5.10.1	Multicast-DNS	331
5.10.2	Dienstleistungsprotokolle LLMNR und UPnP	334
5.11	Schlussbemerkungen	336
5.12	Verständnisfragen	338
6	IP-Support-Protokolle	339
6.1	IPv4-Autoconfiguration	340
6.1.1	Einrichten von IP-Adressen	342
6.1.2	Stateless Autoconfiguration für IPv4 – APIPA	342
6.2	Vergabe von IP-Adressen mit DHCP	344
6.2.1	Aufbau von DHCP-Nachrichten	346
6.2.2	Ablauf beim Protokoll DHCP	347
6.2.3	Aufgabe von DHCP-Relay-Agents	350
6.2.4	DHCP im Einsatz	351
6.2.5	DHCP und PXE	352
6.3	Network Address Translation (NAT)	352
6.3.1	Klassisches NAT	353
6.3.2	Konzept von NAPT	355
6.3.3	Prinzip von Full Cone NAT	356
6.3.4	Prinzip von Restricted Cone NAT	357
6.3.5	NAT und Echtzeitkommunikationsprotokolle	358
6.3.6	Session Traversal bei NAT	360
6.3.7	Carrier-Grade NAT	365
6.4	IP Security Protocol (IPsec)	367
6.4.1	Ziele von IPsec	367
6.4.2	Erweiterung der IP-Pakete mit IPsec-Angaben	369
6.4.3	Aufbau einer IPsec-Sicherheitsvereinbarung	370
6.4.4	IPsec im Authentication Mode	375
6.4.5	Encapsulating Security Payload (ESP)	376
6.4.6	IPsec-basierte Virtuelle Private Netze	378
6.4.7	NAT-Traversal bei IPsec	382
6.5	Extensible Authentication Protocol	383
6.5.1	EAP-Funktionskomponenten	384
6.5.2	EAP-Nachrichten	386

6.5.3	Ablauf der EAP-Authentisierung	387
6.6	Einsatz des Protokolls RADIUS	390
6.6.1	Remote Access Services und RADIUS	390
6.6.2	Konzept von RADIUS	392
6.6.3	RADIUS-Nachrichten	395
6.7	Lightweight Directory Access Protocol	397
6.7.1	Directory Information Tree	398
6.7.2	LDAP-Server	400
6.7.3	LDAP-Client-Zugriff	401
6.8	Schlussbemerkungen	403
6.9	Verständnisfragen	405
7	Protokolle der Supportschiicht und für Echtzeitkommunikation	407
7.1	Konzept und Einsatz von SOCKS	408
7.1.1	SOCKS-Ablauf	409
7.1.2	Gesicherte Verbindungen mit SOCKS	411
7.2	Transport Layer Security (TLS)	412
7.2.1	TLS-Dienste im Schichtenmodell	415
7.2.2	Ablauf des TLS-Verfahrens – bis TLS 1.2	416
7.2.3	Ablauf der Verbindungsaufnahme bei TLS 1.3	418
7.2.4	Record Layer Protocol	422
7.2.5	Cipher Suites	424
7.2.6	Erzeugung der TLS-Schlüssel	425
7.2.7	Verzögerte TLS-Verbindung mittels STARTTLS	428
7.2.8	Datagram TLS	429
7.3	Protokolle für die Echtzeitkommunikation	431
7.3.1	RTP/RTCP und Transportprotokolle in IP-Netzen	432
7.3.2	Real-time Transport Protocol (RTP)	434
7.3.3	Das Protokoll RTCP im Überblick	445
7.4	Das Protokoll SIP	449
7.4.1	SIP und Transportprotokolle	449
7.4.2	Eigenschaften des Protokolls SDP	451
7.4.3	Aufbau von SIP-Adressen	452
7.4.4	Funktion eines SIP-Proxy bei der IP-Videotelefonie	453
7.4.5	Trapezoid-Modell von SIP	454
7.4.6	Unterstützung der Benutzermobilität bei SIP	456
7.4.7	Beschreibung von Sessions mittels SDP	459
7.5	Zeitprotokolle und Zeitsynchronisation	462
7.5.1	Von Kalendern, Uhren und Zeitzonen	463
7.5.2	Temps Atomic International	466
7.5.3	Network Time Protocol	467
7.5.4	Precision Time Protocol	474
7.6	Schlussbemerkungen	481
7.7	Verständnisfragen	483

II	Internet Protocol Version 6	485
8	Das Protokoll IPv6	487
8.1	Neuerungen bei IPv6 gegenüber IPv4	488
8.2	Header-Struktur bei IPv6	490
8.3	Erweiterungs-Header	492
8.4	IPv6-Flexibilität mit Options-Headern	495
8.4.1	Aufbau von Options-Headern	496
8.4.2	Belegung des Option-Feldes	497
8.5	Einsatz von Jumbo Payload	498
8.6	Source Routing bei IPv6	499
8.7	Fragmentierung langer IPv6-Pakete	501
8.8	Aufbau von IPv6-Adressen	502
8.8.1	Darstellung von IPv6-Adressen	503
8.8.2	IPv6-Adressensystematik und -Gültigkeitsbereiche	506
8.8.3	Interface-Identifizier in IPv6-Adressen	507
8.8.4	Interface-Index bei Link-Local IPv6-Adressen	509
8.9	Unicast-Adressen bei IPv6	510
8.9.1	Globale Unicast-Adressen	511
8.9.2	Vergabe globaler IPv6-Adressen	514
8.9.3	Unicast-Adressen von lokaler Bedeutung	515
8.9.4	IPv4-Kompatibilitätsadressen	516
8.10	Multicast- und Anycast-Adressen bei IPv6	518
8.10.1	Automatische Multicast-Adressen	520
8.10.2	Anycast-Adressen	522
8.11	Zuweisung von IPv6-Unicast-Adressen	523
8.11.1	Privacy Extensions	524
8.11.2	Auswahl der 'richtigen' IPv6-Quelladresse	526
8.12	Schlussbemerkungen	527
8.13	Verständnisfragen	528
9	IPv6-Support-Protokolle ICMPv6, NDP und DHCPv6	529
9.1	Nachrichten des Protokolls ICMPv6	530
9.2	Das Neighbor Discovery Protokoll	532
9.2.1	Bestimmen des Ziels eines IPv6-Pakets	535
9.2.2	Ermittlung von Linkadressen	537
9.2.3	Router Advertisement/Solicitation	539
9.2.4	Unsolicited Router Advertisements	541
9.2.5	IPv6-Paket-Umleitung	542
9.3	Stateless Address Autoconfiguration (SLAAC)	543
9.3.1	SLAAC und Router Advertisements	545
9.3.2	SeND – Secure Neighbor Discovery	546
9.4	Konzept und Einsatz von DHCPv6	549
9.4.1	Client/Relay/Server-Architektur bei DHCPv6	550
9.4.2	Aufbau von DHCPv6-Nachrichten	552
9.4.3	Ablauf von DHCPv6 im stateful Mode	554

9.4.4	Verlängerung der Ausleihe einer IPv6-Adresse	556
9.4.5	Schnelle Umadressierung mit DHCPv6	557
9.4.6	Ablauf von DHCPv6 im stateless Mode	558
9.4.7	Einsatz von DHCPv6-Relays	559
9.5	Schlussbemerkungen	561
9.6	Verständnisfragen	562
10	Migration zum IPv6-Einsatz	563
10.1	Arten der Koexistenz von IPv6 und IPv4	564
10.1.1	IPv6-Kommunikation über IPv4-Netze	568
10.1.2	IPv4-Kommunikation über IPv6-Netze	570
10.1.3	IP-Kommunikation durch Translation IPv4 ↔ IPv6	570
10.2	Dual-Stack-Verfahren	571
10.2.1	Dual-Stack-Rechner in einem LAN-Segment	571
10.2.2	Betrieb von Dual-Stack-Rechnern in IPv4-Netzen	571
10.2.3	Dual-Stack Lite	572
10.3	Tunneling-Protokolle: IPv6 über X	574
10.3.1	Erweiterung eines IPv4-Netzes um ein IPv6-Netz	574
10.3.2	Kopplung der IPv6-Netze über ein IPv4-Netz	576
10.3.3	Zugang zum IPv6-Internet über Tunnel-Broker	576
10.4	Von 6to4 nach 6rd	578
10.4.1	Bedeutung von 6to4	578
10.4.2	Aufbau von 6to4-Adressen	578
10.4.3	IPv6-Kommunikation über IPv4-Netz	579
10.4.4	Probleme bei 6to4 mit NAT	581
10.4.5	IPv6 Rapid Deployment – 6rd	582
10.5	IPv6 over IPv4 mit ISATAP	584
10.5.1	Kommunikation mit ISATAP	584
10.5.2	Struktur und Bedeutung von ISATAP-Adressen	585
10.5.3	Funktionsweise von ISATAP	587
10.6	IPv6 in IPv4-Netzen mit NAT (Teredo)	589
10.6.1	Teredo-Adresse und -Pakete	590
10.6.2	Bestimmung der Art von NAT	593
10.7	Protokoll-Translation: IPv4 ↔ IPv6	595
10.7.1	Stateless IPv4/IPv4 Translation (SIIT)	596
10.7.2	Adressierung bei SIIT	596
10.7.3	Translation IPv4 ↔ IPv6	598
10.7.4	Translation ICMPv4 ↔ ICMPv6	601
10.8	NAT64 und DNS64	602
10.8.1	NAT64-Arbeitsmodell	603
10.8.2	NAT64-IPv6-Adressen	604
10.8.3	NAT64 Stateful Translation	605
10.8.4	DNS-Integration bei NAT64	606
10.9	Schlussbemerkungen	607
10.10	Verständnisfragen	608

III Internet-Routing-Architektur	609
11 Routing in IP-Netzen	611
11.1 Routing-Grundlagen	612
11.1.1 Grundlegende Aufgaben von Routern	612
11.1.2 Adressierung beim Router-Einsatz	614
11.1.3 Routing-Tabelle	617
11.1.4 Routing-Verfahren	620
11.1.5 Inter-/Intra-Domain-Protokolle	624
11.2 Routing Information Protocol (RIP)	624
11.2.1 Erlernen von Routing-Tabellen beim RIP	625
11.2.2 Besonderheiten des RIP-1	631
11.2.3 Routing-Protokoll RIP-2	635
11.2.4 RIP für das Protokoll IPv6 (RIPng)	638
11.3 Open Shortest Path First (OSPF)	640
11.3.1 Funktionsweise von OSPF	640
11.3.2 Nachbarschaften zwischen Routern	643
11.3.3 OSPF-Einsatz in großen Netzwerken	647
11.3.4 OSPF-Nachrichten	654
11.3.5 Besonderheiten von OSPFv2	661
11.3.6 OSPF für IPv6 (OSPFv3)	661
11.4 Border Gateway Protocol (BGP-4)	662
11.4.1 Grundlagen des BGP-4	662
11.4.2 Funktionsweise des BGP-4	664
11.4.3 BGP-4-Nachrichten	664
11.4.4 Multiprotocol Extensions for BGP-4 (MP-BGP)	670
11.4.5 Sicherung des BGP-Nachrichtenaustauschs	674
11.4.6 BGP Blackholing	678
11.5 Redundante Auslegung von Routern	679
11.5.1 Konzept des virtuellen Routers	679
11.5.2 Funktionsweise von VRRP	682
11.5.3 Idee und Einsatz des HSRP	685
11.6 Multicast Routing-Protokolle	688
11.6.1 Einige Aspekte von MC-Routing	689
11.6.2 Aufgaben von MC-Routing	691
11.6.3 Intra-Domain-MC-Routing mit PIM-SM	695
11.6.4 Inter-Domain-MC-Routing mit MSDP	701
11.7 Schlussbemerkungen	705
11.8 Verständnisfragen	708
12 Verbindungsorientierte IP-Netze mit MPLS und GMPLS	709
12.1 Weg zu neuer Generation der IP-Netze	710
12.1.1 Notwendigkeit von (G)MPLS	710
12.1.2 Bedeutung von Traffic Engineering in IP-Netzen	711
12.1.3 Multiplane-Architekturen moderner IP-Netze	713
12.1.4 Schritte zu einem Label Switched Path (LSP)	714

- 12.2 Multi-Protocol Label Switching (MPLS) 715
 - 12.2.1 Multiplane-Architektur der MPLS-Netze 716
 - 12.2.2 MPLS als Integration von Routing und Switching 717
 - 12.2.3 Logisches Modell des MPLS 718
 - 12.2.4 Prinzip des Label-Switching 720
 - 12.2.5 Logische Struktur der MPLS-Netze 721
 - 12.2.6 Bildung der Klassen von IP-Paketen und MPLS-Einsatz 722
 - 12.2.7 MPLS und die Hierarchie von Netzen 724
 - 12.2.8 MPLS und verschiedene Übermittlungsnetze 726
 - 12.2.9 Virtual Private Networks mit MPLS 727
- 12.3 Konzept von GMPLS 728
 - 12.3.1 Vom MPLS über MPλS zum GMPLS 729
 - 12.3.2 Struktur optischer Switches bei GMPLS 730
 - 12.3.3 Interpretation der Label 731
 - 12.3.4 Interpretation des Transportpfads 732
 - 12.3.5 Bedeutung des LMP in GMPLS-Netzen 733
- 12.4 Traffic Engineering in (G)MPLS-Netzen 736
 - 12.4.1 Traffic Trunks und LSPs 736
 - 12.4.2 Aufgaben und Schritte beim MPLS-TE 738
 - 12.4.3 Routing beim Traffic Engineering 739
 - 12.4.4 Attribute von Traffic Trunks 739
 - 12.4.5 Constraint-based Routing 741
 - 12.4.6 Re-Routing und Preemption 743
- 12.5 Signalisierung in (G)MPLS-Netzen 743
 - 12.5.1 Einsatz des RSVP-TE 744
 - 12.5.2 Einsatz des GMPLS RSVP-TE 749
 - 12.5.3 Einsatz des CR-LDP 751
- 12.6 Schlussbemerkungen 754
- 12.7 Verständnisfragen 755

IV Virtuelle Netzstrukturen 757

- 13 IP over X und virtuelle IP-Netze 759**
 - 13.1 IP über LANs 760
 - 13.1.1 Übermittlung der IP-Pakete in MAC-Frames 762
 - 13.1.2 Multiprotokollfähigkeit der LANs 763
 - 13.2 Punkt-zu-Punkt-Verbindungen mit PPP 765
 - 13.2.1 PPP-Dateneinheiten 766
 - 13.2.2 PPP-Zustände 768
 - 13.2.3 LCP als Hilfsprotokoll von PPP 769
 - 13.2.4 IPv4 Control Protocol (IPCP) bei PPP 770
 - 13.2.5 Protokollablauf beim PPP 771
 - 13.2.6 Benutzerauthentisierung beim PPP 772
 - 13.3 Grundlagen der WLAN 773
 - 13.3.1 WLAN-Betriebsarten 775

13.3.2	Beitritt zum WLAN	776
13.3.3	WLAN MAC-Frame: MSDU	777
13.3.4	Kommunikation zwischen WLAN und Ethernet	781
13.3.5	Robust Security Network	782
13.4	Virtual Private Networks (VPN)	783
13.4.1	Tunneling als Basis für VPNs	784
13.4.2	VPN-Taxonomie	786
13.4.3	Von Providern bereitgestellte VPNs	788
13.4.4	Layer-2-Tunneling über IP-Netze	799
13.5	Schlussbemerkungen	804
13.6	Verständnisfragen	806
14	IP-Netzwerke und Virtual Networking	807
14.1	Moderne Netzstrukturen	808
14.1.1	Funktionsbereiche in Netzwerken	808
14.1.2	Strukturierter Aufbau von Netzwerken	809
14.2	Virtual Networking in LANs	811
14.2.1	Arten und Einsatz von VLANs	811
14.2.2	Layer-2-Switching	812
14.2.3	Layer-3-Switching	814
14.2.4	Bedeutung von VLAN Tagging	816
14.3	Bildung von VLANs im Client-LAN	819
14.3.1	Intra- und Inter-VLAN-Kommunikation	819
14.3.2	Modell der Bildung von VLANs im Client-LAN	821
14.4	Bildung von VLANs im Server-LAN	822
14.4.1	Multilayer-Struktur im Server-LAN	822
14.4.2	Anbindung virtueller Server an Access Switches	823
14.4.3	Modelle der Bildung von VLANs im Server-LAN	824
14.5	Abgesicherte VPNs mit MACsec	826
14.5.1	MACsec-Schlüsselhierarchien	828
14.5.2	Trusted MAC Frame Format	830
14.5.3	MACsec-Implementierungsaspekte	832
14.5.4	MACsec Key Agreement Protocol & Security Association	834
14.6	Virtual Networking mit TRILL und SPB	835
14.6.1	Konzept und Bedeutung von TRILL	836
14.6.2	Idee und Einsatz von Shortest Path Bridging	838
14.7	VXLAN – VLAN mit VM	844
14.7.1	Vom VLAN zum VXLAN	845
14.7.2	VXLANs oberhalb Layer-3-Netzwerke	846
14.8	Mobilität von Virtual Networks	848
14.8.1	Konzept und Bedeutung von ILNP	849
14.8.2	LISP – Idee und Bedeutung	858
14.9	Schlussbemerkungen	864
14.10	Verständnisfragen	868


15 Distributed Layer-2/3-Switching	869
15.1 Genesis der Idee von VPLS und EVPN	870
15.2 Konzept und Einsatz von VPLS	873
15.2.1 Grundlegende Idee von VPLS	873
15.2.2 Ethernet over MPLS	875
15.2.3 VPLS als Vollvermaschung von VSIs	877
15.2.4 Grundlegende Funktionen von VSIs	878
15.2.5 VPLS-Modell für die Vernetzung von VSIs	879
15.2.6 Information in PEs über bereitgestellte VPLSs	881
15.2.7 PE Forwarding Table – Learning und Forwarding	882
15.2.8 Learning von MAC-Adressen aus Broadcast-Frames	884
15.2.9 Learning von MAC-Adressen aus Unicast-Frames	885
15.2.10 Skalierbarkeit von VPLSs	886
15.2.11 Auto-Discovery and VPLS Signaling	887
15.2.12 Bekanntgabe von Informationen über PW Labels	888
15.2.13 Hierarchical VPLS (H-VPLS) – Multi-Tenant-VPLS	889
15.2.14 H-VPLS und VLAN-Stacking	890
15.3 Ethernet Virtual Private Networks	891
15.3.1 Grundlegende Architektur von EVPN	892
15.3.2 Datacenter und grundlegende EVPN-Topologie	894
15.3.3 Allgemeines EVPN-Konzept im Überblick	897
15.3.4 EVI als emulierter L2-Switch – Basisfunktionen	899
15.3.5 EVIs als emulierter L2-Switch – spezielle Funktionen	900
15.3.6 EVI als emulierter L3-Switch – Basisfunktionen	902
15.3.7 Arten von EVI Service Interfaces	904
15.3.8 Control Plane in EVPNs	906
15.4 Schlussbemerkungen	907
15.5 Verständnisfragen	908
V Mobilität und Internet of Things	909
16 Unterstützung der Mobilität in IP-Netzen	911
16.1 Ansätze zur Unterstützung der Mobilität	912
16.1.1 Bedeutung von WLAN- und Hotspot-Roaming	912
16.1.2 Hauptproblem der Mobilität in IP-Netzen	914
16.1.3 Die grundlegende Idee des Mobile IP	915
16.1.4 Idee des Mobile IPv4	916
16.1.5 Idee des Mobile IPv6	918
16.2 Roaming zwischen Hotspots	918
16.2.1 Hotspot-Roaming zwischen mehreren WISPs	919
16.2.2 Ablauf des Hotspot-Roaming	920
16.3 Funktionsweise des MIPv4	921
16.3.1 Beispiel für einen Ablauf des MIP	922
16.3.2 Agent Discovery	924
16.3.3 Erkennen des Verlassens des Heimatsubnetzes	925

16.3.4	Erkennen des Wechsels eines Fremdsubnetzes	926
16.3.5	Erkennen einer Rückkehr in das Heimatsubnetz	928
16.3.6	Registrierung beim Heimatagenten	928
16.3.7	Mobiles IP-Routing	933
16.4	Konzept des MIPv6	936
16.4.1	MN hat sein Heimatsubnetz verlassen	936
16.4.2	MN hat das Fremdsubnetz gewechselt	938
16.4.3	MN ist in sein Heimatsubnetz zurückgekehrt	939
16.4.4	MIPv6-Nachrichten	940
16.4.5	Kommunikation zwischen MN und CN	941
16.4.6	Home Agent Binding	943
16.4.7	Correspondent Node Binding	944
16.4.8	Entdeckung eines Subnetzwechsels	944
16.4.9	Entdeckung der Home-Agent-Adresse	945
16.5	Hierarchical MIPv6	946
16.5.1	Unterstützung der Mobilität mit dem HMIPv6	946
16.5.2	Finden eines MAP	948
16.5.3	Unterstützung der Mikromobilität	949
16.5.4	Unterstützung der Makromobilität	950
16.5.5	Datentransfer zwischen MN und CN	951
16.6	Schlussbemerkungen	953
16.7	Verständnisfragen	956
17	Internet of Things – Technische Grundlagen und Protokolle	957
17.1	Herkömmliches Internet und IoT	958
17.1.1	Allgemeine Definition von IoT	958
17.1.2	IoT aus funktionaler Sicht	960
17.1.3	Grundlegendes technisches Konzept von IoT	962
17.1.4	Cloud Computing und Fog Computing im IoT	964
17.1.5	Near Real-Time IoT Services mit Fog Computing	966
17.1.6	Funktionales Multilayer-Modell von IoT	968
17.1.7	Bedeutung von SDN im IoT	971
17.1.8	Protokollarchitektur von Devices im IoT	973
17.1.9	Protokollarchitektur von IoT Access Gateways	975
17.1.10	Struktur von MAC-Frames in Low Rate WPANs	976
17.2	6LoWPAN – IPv6-Adaption für das IoT	978
17.2.1	Grundlegende Topologien von LR-WPANs	979
17.2.2	Adressierung von Instanzen in Rechnern mit IPv6	980
17.2.3	Adressierung von Instanzen bei 6LoWPAN Devices	982
17.2.4	LoWPAN als IPv6-Adaptation-Layer-Struktur	984
17.2.5	Redundante Angaben im IPv6- und im UDP-Header	986
17.2.6	Dispatch Header und seine Nutzung bei 6LoWPAN	987
17.2.7	Komprimierung der IPv6- und UDP-Header	990
17.2.8	Multi-hop Communication in WPANs	992
17.2.9	Fragmentierung langer IPv6-Pakete in WPANs	994

- 17.3 RPL – Routing-Protokoll im IoT 997
 - 17.3.1 Funktionales Modell von RPL 998
 - 17.3.2 Hauptfunktion von RPL 999
 - 17.3.3 RPL-Begriffe: Objective Function, Metric und Rank 1001
 - 17.3.4 Logische Strukturierung von LLNs 1003
 - 17.3.5 Besonderheiten von Routing mit RPL 1005
 - 17.3.6 Traffic Patterns in LLNs 1007
 - 17.3.7 Routing Metrics und Constraints 1009
 - 17.3.8 Nutzung von Metric Container in Nachrichten DIO 1011
 - 17.3.9 RPL-Nachrichten – Struktur und Typen 1013
 - 17.3.10 Bildung von Virtual Root Nodes 1015
 - 17.3.11 Nutzung der RPL-Nachricht DIO 1016
- 17.4 CoAP – Applikationsprotokoll im IoT 1019
 - 17.4.1 CoAP im Protokollschichtenmodell von IoT 1019
 - 17.4.2 Proxying zwischen HTTP und CoAP 1021
 - 17.4.3 CoAP Messages und Timeout-Mechanismus 1024
 - 17.4.4 Requests und Responses von CoAP 1026
 - 17.4.5 Adressierung von Ressourcen bei CoAP 1029
 - 17.4.6 Struktur und Typen von CoAP Messages 1031
 - 17.4.7 Mapping zwischen HTTP und CoAP 1034
- 17.5 Schlussbemerkungen 1036
- 17.6 Verständnisfragen 1038

- 18 Networking-Trends 1039**
 - 18.1 Internet of Things (IoT) 1040
 - 18.1.1 Industrial Internet of Things (IIoT) 1041
 - 18.1.2 Internet of Robotic Things 1042
 - 18.1.3 Internet of Vehicles 1043
 - 18.1.4 Internet of Drones 1044
 - 18.1.5 Mobility in IoT 1045
 - 18.1.6 IoT Security 1045
 - 18.2 Software-Defined Networking (SDN) 1047
 - 18.2.1 Software-Defined WANs (SD-WANs) 1049
 - 18.2.2 Software-Defined Optical Networking (SDON) 1050
 - 18.2.3 Software-Defined Data Centers (SDDCs) 1051
 - 18.2.4 Software-Defined IoT (SD-IoT) 1051
 - 18.2.5 Wireless Software-Defined Networking 1052
 - 18.2.6 Software-Defined Internet of Vehicles (SD-IoV) 1054
 - 18.3 Network Function Virtualization (NFV) 1055
 - 18.3.1 Software-Defined VNFs Networking 1056
 - 18.3.2 Service Function Chaining (SFC) 1057
 - 18.3.3 VNFs Management and Orchestration 1058
 - 18.3.4 Network Slicing 1059
 - 18.4 (Docker) Container Networking 1060
 - 18.4.1 Container-based Network Services 1062
 - 18.4.2 Cloud Computing Containerization 1062

18.4.3	Mobile VNFs Networking	1063
18.4.4	Containerized IoT Services	1064
18.5	Cloud Computing Services	1064
18.5.1	Infrastructure-as-a-Service (IaaS)	1065
18.5.2	Software-Defined Cloud Computing Networking	1066
18.5.3	Cloud-Native Microservices	1067
18.5.4	Mobile Cloud Computing in 5G	1068
18.6	Fog Computing und Artificial Intelligence	1069
18.6.1	Time-Sensitive IoT/5G Applications	1071
18.6.2	Intelligent IoT, Cognitive IoT	1072
18.6.3	Ambient Intelligence in IoT	1074
18.6.4	IoT Service Orchestration	1075
18.7	Next 5G und 6G (Generation) Mobile Networks	1076
18.7.1	5G-enabled Mobile IoT Applications	1077
18.7.2	Vehicle-to-Everything (V2X) Services	1078
18.7.3	SDN and NFV for 5G Mobile Networks	1079
18.7.4	5G Network Slicing	1080
18.7.5	5G Network Security	1082
18.7.6	6G als zukünftige Vision der Mobilfunknetze	1083
18.8	Information-Centric Networking and Services	1084
18.8.1	Software-Defined ICN (SD ICN)	1086
18.8.2	Information-Centric IoT (IC IoT)	1088
18.8.3	Information-Centric Services für Smart Cities	1090
18.8.4	ICN Security	1091
18.9	Time-Sensitive and Deterministic Networking	1092
18.9.1	Time-Sensitive Networking	1093
18.9.2	Deterministic Networking	1095
18.9.3	6TiSCH Wireless Industrial Networks	1096
18.9.4	Time-Sensitive SDN	1097
18.10	AI-based Networking	1099
18.10.1	AI-enabled SDN	1101
18.10.2	Data-Driven Networking	1101
18.10.3	Cognitive Networks	1103
18.10.4	Intent-based Networking	1104
18.10.5	Autonomic Networking	1105
18.10.6	AI, IoT and 5G Convergence	1106
18.11	Abschließende Bemerkungen	1107
18.11.1	Vom IoT zum Intelligent IoT	1108
18.11.2	Rückblick auf 50 Jahre Rechnerkommunikation	1109
	Abkürzungsverzeichnis	1117
	Literaturverzeichnis	1129
	Stichwortverzeichnis	1137

Diese Leseprobe haben Sie beim
 **edv buchversand.de** heruntergeladen.
Das Buch können Sie online in unserem
Shop bestellen.

[Hier zum Shop](#)