

Inhaltsverzeichnis

1	Prolog	1
1.1	Computernetze und das Internet – eine historische Perspektive	4
1.1.1	ARPANET	4
1.1.2	Internet	5
1.1.3	World Wide Web	6
1.1.4	Web 2.0 und das Semantic Web	8
1.2	Wegweiser durch die Welt des Internets	9
1.2.1	Internet Architecture Board – IAB	10
1.2.2	Internet Society – ISOC	14
1.2.3	IANA und ICANN	16
1.2.4	World Wide Web Consortium	18
1.2.5	Offene Standards im Internet – geregelte Anarchie	20
1.2.6	Deutsche Akteure und Provider	24
1.3	Glossar	27
2	Die Grundlage des Internets: TCP/IP-Referenzmodell	31
2.1	Kommunikationsprotokolle und Schichtenmodell	31
2.1.1	Protokollfamilien	32
2.1.2	Schichtenmodell	33
	Exkurs 1: ISO/OSI-Referenzmodell	41
2.2	Die physikalische Schicht als Basis der Rechnerkommunikation	46
2.2.1	Physikalische Übertragungsmedien	46
2.2.2	Charakteristische Eigenschaften physikalischer Übertragungsmedien	48
2.3	Das TCP/IP-Referenzmodell	48
2.3.1	Historisches und Abgrenzung zum ISO/OSI-Referenzmodell	51
2.3.2	Netzzugangsschicht	53
2.3.3	Internetschicht	57
2.3.4	Transportschicht	59
2.3.5	Anwendungsschicht	61
2.4	Glossar	63

3	Physikalische Schicht	69
3.1	Theoretische Grundlagen	74
3.1.1	Elektromagnetisches Spektrum und Signalübertragung	75
3.1.2	Bandbreitenbeschränkte Signale	81
3.2	Kodierung digitaler Signale	87
3.2.1	Leitungskodierung	88
3.2.2	Analoge Modulationsverfahren	95
3.2.3	Digitale Modulationsverfahren	98
3.2.4	Multiplexverfahren mit konstanter Bandbreite	104
3.2.5	Bandspreizverfahren	111
3.3	Kabelgebundene Übertragungsmedien	119
3.3.1	Koaxialkabel	119
3.3.2	Twisted Pair Kabel	121
3.3.3	Glasfaserkabel	124
3.4	Kabelungebundene Übertragungsmedien	129
3.4.1	Funkübertragung via Kurzwellen und Ultrakurzwellen	131
3.4.2	Funkübertragung via Mikrowellen	132
3.4.3	Infrarot, Millimeterwellen und Lichtwellenübertragung	133
3.4.4	Satellitenkommunikation	134
3.5	Glossar	136
4	Netzzugangsschicht (1): Kabelgebundene LAN-Technologien	141
4.1	Netzzugangsschicht	142
4.1.1	Elementare Aufgaben und Protokolle	142
4.1.2	Medium Access Control Layer	151
4.1.3	Logical Link Control	152
4.2	LANs – Local Area Networks	153
4.2.1	Nutzung gemeinsamer Kommunikationskanäle	154
4.2.2	Bedeutung von LANs	155
4.2.3	IEEE 802 Local Area Networks	156
4.2.4	Lokale Adressverwaltung	163
4.2.5	Lokale Datenverwaltung	169
4.2.6	Spezielle Netzwerkhardware	171
4.3	Wichtige Beispiele der LAN-Technologien	173
4.3.1	LAN-Topologien	173
4.3.2	Ethernet – IEEE 802.3	179
	Exkurs 2: Ethernet – Timing und Kollisionsbehandlung	189
	Exkurs 3: Ethernet – Effizienz-Betrachtung	208
4.3.3	Token Ring – IEEE 802.5	214
4.3.4	Fiber Distributed Data Interface – FDDI	228
4.3.5	Asynchronous Transfer Mode – ATM	244
	Exkurs 4: ATM – Zellvermittlung (Switching)	259
4.4	LAN-Erweiterung	261
4.4.1	Grenzen der LAN-Technologie	261
4.4.2	Repeater	262

4.4.3	Hubs	263
4.4.4	Bridges	265
4.4.5	Switches	272
4.4.6	Virtuelle LANs	274
4.5	Glossar	277
5	Netzzugangsschicht (2): Kabellose mobile LAN-Technologien	281
5.1	Grundlagen kabelloser und mobiler Netzwerktechnologien	281
5.2	Wireless LAN (WLAN) – IEEE 802.11	284
5.2.1	IEEE 802.11 – Physikalische Schicht	285
5.2.2	IEEE 802.11 – MAC Subschicht	288
5.2.3	IEEE 802.11 – Datenformat	297
5.2.4	WLAN Sicherheit	308
	Exkurs 5: Kritik am WEP Verfahren	317
5.3	Bluetooth – IEEE 802.15	331
5.3.1	Bluetooth Technologie	332
5.3.2	Bluetooth Protokollstapel	335
5.3.3	Bluetooth Security	344
5.3.4	Bluetooth Profile	346
5.4	ZigBee – IEEE 802.15.4	347
5.4.1	ZigBee Technologie	347
5.4.2	ZigBee Protokolle und Adressierung	351
5.4.3	ZigBee Security	354
5.5	Weitere funkbasierte Netzwerktechnologien	355
5.6	Glossar	357
6	Netzzugangsschicht (3): WAN-Technologien	361
6.1	Einleitung	361
6.2	Paketvermittlung im WAN	363
6.2.1	Grundprinzipien	363
6.2.2	Aufbau eines WANs	364
6.2.3	Speichervermittlung	365
6.2.4	Adressierung im WAN	366
6.3	Routing	368
6.3.1	Das Netzwerk als Graph	369
6.3.2	Berechnung der Routingtabellen im WAN	370
6.3.3	Isolierte Routing-Algorithmen	373
	Exkurs 6: Dijkstra-Algorithmus	377
6.3.4	Distanzvektor Routing	380
6.3.5	Link-State Routing	386
	Exkurs 7: Spezielle Routingverfahren	393
	Exkurs 8: Routingverfahren für Netzwerke mit mobilen Komponenten	401
6.4	Wichtige Beispiele der WAN-Technologie	409
6.4.1	ARPANET	410

6.4.2	X.25	414
6.4.3	ISDN	417
	Exkurs 9: ISDN – Datenformate	423
6.4.4	Frame Relay	426
6.4.5	Broadband ISDN und ATM	434
6.4.6	Distributed Queue Dual Bus – DQDB	434
6.4.7	Cyclic Reservation Multiple Access – CRMA	440
6.4.8	Plesiochronous Digital Hierarchy – PDH	443
6.4.9	Synchronous Digital Hierarchy – SDH, SONET	448
6.4.10	Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX) – IEEE 802.16	452
6.5	Zugang zum WAN	457
6.5.1	Zugang über das Telefonnetz – Modems	458
6.5.2	Zugang über ISDN	461
6.5.3	Zugang über Digital Subscriber Line – DSL	462
6.5.4	Kabellose Zugänge zum WAN – GSM, UMTS und LTE ...	466
6.5.5	Alternative Zugangsverfahren	481
6.6	Glossar	484
7	Internetschicht	489
7.1	Virtuelle Netze	490
7.2	Internetworking	495
7.2.1	Verbindungsorientiertes Internetworking	497
7.2.2	Verbindungsloses Internetworking	498
7.2.3	Tunneling	499
7.2.4	Fragmentierung	500
7.2.5	Überlaststeuerung	504
7.2.6	Dienstgüte – Quality of Service	512
7.2.7	Internetwork Routing	517
7.3	Internet Protokoll – IP	518
7.3.1	IP-Adressierung	520
7.3.2	Bindung von Protokolladressen	531
7.3.3	IP-Datagramme	537
	Exkurs 10: IP-Kapselung und IP-Fragmentierung	542
7.4	Internet Protokoll Version 6 – IPv6	545
7.4.1	Eigenschaften und Merkmale von IPv6	547
7.4.2	Das IPv6-Datagramm	548
7.4.3	IPv6 Fragmentierung, Jumbogramme und IPv6 Routing ...	555
7.4.4	IPv6 Adressierung	559
7.4.5	IPv6 Autokonfiguration	569
7.4.6	Koexistenz und Migration von IPv4 nach IPv6	573
7.5	IPsec – sichere Kommunikation in der Internetschicht	578
7.5.1	IPsec Sicherheitsarchitektur	578
7.5.2	IPsec Authentication Header (AH)	582
7.5.3	IPsec Encapsulating Security Payload (ESP)	586

7.5.4	IPsec Support Komponenten	590
	Exkurs 11: IPsec – Schlüsselmanagement	593
7.6	Internet Control Message Protokoll – ICMP	602
7.6.1	Aufgaben von ICMP	602
7.6.2	ICMP-Nachrichtenformat	604
7.6.3	ICMP-Fehlermeldungen	605
7.6.4	ICMP-Anfragen und informelle Nachrichten	607
7.6.5	ICMPv6	612
7.6.6	Neighbor Discovery Protocol – NDP	618
7.7	Mobile IP	622
7.7.1	Grundproblematik und Anforderungen	622
7.7.2	Prinzipieller Ablauf	624
7.7.3	Mobile IP Nachrichtenformate	626
7.7.4	Mobile IP und Routingeffizienz	631
7.7.5	Mobile IP Version 6 – MIPv6	632
7.8	Glossar	633
8	Transportschicht	639
8.1	Aufgaben und Protokolle der Transportschicht	640
8.1.1	Dienste der Transportschicht – eine Übersicht	641
8.1.2	Kommunikationsendpunkte und Adressierung	644
8.1.3	TCP und UDP Ports und Sockets	646
8.1.4	Dienstprimitive auf der Transportschicht	648
8.2	User Datagram Protocol – UDP	650
8.2.1	Aufgabe und Funktion von UDP	650
8.2.2	UDP Nachrichtenformat	651
8.2.3	UDP Anwendungen	653
8.3	Transmission Control Protocol – TCP	654
8.3.1	Funktionen und Aufgaben von TCP	656
	Exkurs 12: TCP – Verbindungsmanagement	667
8.3.2	TCP Nachrichtenformat	670
8.3.3	TCP – Zuverlässigkeit, Flusssteuerung und Überlastkontrolle	677
8.4	Network Address Translation – NAT	685
8.4.1	NAT – Funktionen und Aufgaben	686
8.4.2	NAT – Einsatzmöglichkeiten	690
8.4.3	NAT – Vor- und Nachteile	696
8.5	Sicherheit auf der Transportschicht	698
8.5.1	Transport Layer Security und Secure Socket Layer – TLS/SSL	699
	Exkurs 13: TLS/SSL Handshake-Verfahren	704
8.6	Glossar	713

9	Anwendungsschicht und Internetanwendungen	719
9.1	Grundbegriffe, Funktion und Überblick	719
9.1.1	Internetdienste und Protokolle der Anwendungsschicht	720
9.1.2	Client-/Server-Interaktionsmodell	722
9.1.3	Socket-Schnittstellen	724
9.2	Namens- und Verzeichnisdienste	726
9.2.1	Domain Name System – DNS	726
	Exkurs 14: Sicheres DNS – Domain Name System Security	
	Extensions	750
9.2.2	Verzeichnisdienste	757
9.3	Elektronische Post – E-Mail	760
9.3.1	Message Handling Systeme	760
9.3.2	E-Mail Nachrichtenformat	767
9.3.3	MIME Standard	769
9.3.4	Simple Mail Transfer Protocol – SMTP	774
9.3.5	POP und IMAP	776
9.3.6	Pretty Good Privacy – PGP	784
9.4	Dateitransfer	790
9.4.1	(Secure) File Transfer Protocol – FTP und SFTP	791
9.4.2	Trivial File Transfer Protocol – TFTP	797
9.4.3	Network File System – NFS	802
9.4.4	Remote Procedure Call – RPC	806
9.5	Remote Login	808
9.5.1	Telnet	809
9.5.2	Remote Login – rlogin	815
9.5.3	Secure Shell – SSH	816
9.6	Netzwerkmanagement	818
9.6.1	Dynamic Host Configuration Protocol – DHCP	819
9.6.2	Simple Network Management Protocol – SNMP	829
9.7	Audio- und Videokommunikation	843
9.7.1	Multimedia Anwendungen im Internet	843
9.7.2	Real-time Transport Protocol – RTP	850
9.7.3	Real-Time Transport Control Protocol – RTCP	853
9.7.4	Real-Time Streaming Protocol – RTSP	855
9.7.5	Ressourcenreservierung und Dienstqualität	858
9.8	Weitere Dienste und Anwendungen im Internet	868
9.8.1	World Wide Web	868
9.8.2	Peer-to-Peer Anwendungen	871
9.8.3	Internet Relay Chat – IRC	879
9.8.4	Usenet News	880
9.8.5	Sonstige Dienstangebote über TCP/IP	882
9.9	Sicherheit auf der Anwendungsschicht – Paketfilter und Firewalls	886
9.9.1	Paketfilter	888
9.9.2	Gateways	889

Inhaltsverzeichnis	XIII
9.9.3 Firewalls – Topologie	890
Exkurs 15: Die Lock-Keeper Technologie	891
9.10 Glossar	894
10 Epilog	901
Personenregister	911
Abkürzungen und Akronyme	921
Literaturverzeichnis	939
Sachverzeichnis	951