
Inhaltsverzeichnis

1	Grundlagen	19
1.1	Einführung	19
1.1.1	Pakete im Internet	20
1.1.2	Erste Ansätze	22
1.1.3	VoIP oder NGN	24
1.1.4	IP Multimedia Subsystem (IMS)	26
1.2	Netzkonzepte	32
1.2.1	Grundlagen vermittelter Kommunikation	32
1.2.2	Vermittlungsprinzipien	37
1.2.3	Netzeinteilungen	44
1.2.4	Neue Netzarchitekturen basierend auf SDN	46
1.2.5	Das klassische Fernsprechnet	50
1.2.6	Mobilkommunikation	56
1.3	Local Area Networks (LAN)	72
1.3.1	LAN im Referenzmodell	73
1.3.2	Ethernet	74
1.3.3	Mobile Datenkommunikation	83
1.4	Das Internet	94
1.4.1	TCP/IP-Protokollfamilie	94
1.4.2	Internetprotokoll (IP)	96
1.4.3	Transport-Protokolle	112
1.4.4	Internetanwendungen	125
1.4.5	Architekturen im öffentlichen Netz	131
2	Verkehrstheorie	135
2.1	Theoretische Betrachtungen	135
2.1.1	Eigenschaften der IP-Kommunikation	136
2.1.2	Modellierung	137
2.1.3	Selbstähnlichkeit und Hurst-Parameter	157
2.1.4	Ermittlung von λ und μ	160
2.1.5	Fraktalverteilung	166
2.1.6	Systemauslastung in Abhängigkeit vom Hurst-Parameter	167

2.2	Echtzeitkommunikation in IP-Netzen	175
2.2.1	Mischung IP und Echtzeitkommunikation	175
2.2.2	Wartezeitsystem mit Verlust	176
2.3	Beurteilung der Netzbelastung	181
2.3.1	Einfluss der Paketlänge	181
2.3.2	Paketlänge und Ankunftsrate λ	183
2.3.3	Warteschlangen	190
2.3.4	Traffic Shaping	196
2.3.5	Der Einfluss von Jumbo-Frames	201
2.3.6	Verkehrsmischungen	204
2.3.7	Probleme für die Echtzeitkommunikation	213
2.3.8	Auswege	214
2.3.9	Trends im Internetverkehr	217
2.3.10	Zusammenfassung	219
2.4	Quality of Service	224
2.4.1	Einführung	224
2.4.2	Sprachcodierungen	226
2.4.3	Anforderungen an die Übertragung	233
2.4.4	Video-Anwendungen	249
2.4.5	Fax over IP (FoIP)	258
2.4.6	Künstlicher Verkehr	259
3	Transportnetze mit gesicherten QoS	261
3.1	Klassische Netze	261
3.2	Dienstgüte im Internet	263
3.2.1	Virtuelle Netze	266
3.2.2	Virtuelle LAN (VLAN)	268
3.3	Differentiated Services	273
3.3.1	Prioritäten	274
3.3.2	Prinzipielle Arbeitsweise	277
3.3.3	Priorisierung	278
3.4	Resource Reservation Protocol	280
3.4.1	RSVP-Nachrichten	282
3.4.2	Nachrichtenablauf	283
3.4.3	Realisierung	284
3.5	Asynchronous Transfer Mode	286
3.5.1	Grundsätzlicher ATM-Ansatz	286
3.5.2	Aufbau und Verwendung von ATM-Zellen	287
3.5.3	Multiplexen	289
3.5.4	ATM im Referenzmodell	289

3.6	Multiprotocol Label Switching	294
3.6.1	Idee und Funktionsweise von MPLS	294
3.6.2	Wege durch das Netz	295
3.6.3	MPLS-Verbindung	298
3.6.4	Überwachung der Verkehrseigenschaften	300
3.6.5	Label Distribution Protocol (LDP)	301
3.6.6	Wege durch das Netz	303
3.6.7	GMPLS	304
3.7	IP-Transportnetze	306
3.7.1	Metro-Ethernet/Carrier-Ethernet	306
3.7.2	Carrier-Ethernet-Architektur	310
3.7.3	VLAN-Technik	312
3.7.4	Backbone-Netze	313
3.7.5	Hochverfügbare Systeme	316
3.7.6	Ethernet-Dienste	319
3.8	DSL-Übertragung im Access-Bereich	324
3.9	Zusammenfassung	328
4	Software-defined Networking	331
4.1	Der prinzipielle Ansatz	333
4.1.1	Arbeitsweise der SDN-Switche	334
4.1.2	Netzstruktur und Netzelemente	334
4.1.3	SDN-Schnittstellen	337
4.1.4	Der zentrale Controller	339
4.2	Grundsätzliche SDN-Arbeitsweise	342
4.3	Funktionsabläufe	343
4.3.1	Funktionen in den Netzelementen	348
4.3.2	Beispiele für Abläufe im Switch	359
4.3.3	Unterstützung von Echtzeit-Übertragungen	367
4.3.4	Das OpenFlow-Protokoll	372
4.3.5	Topology Discovery	374
4.4	Private Netze	382
4.4.1	Virtualisierung	384
4.4.2	SDN-Overlay-Netze	387
4.5	Recursive InterNetwork Architecture	399
4.5.1	Probleme mit der klassischen Architektur	401
4.5.2	Der RINA-Ansatz	403
5	Übertragung von Echtzeitinformationen	411
5.1	Real-Time Transport Protocol (RTP)	411
5.1.1	Grundansatz	411

5.1.2	Aufbau der RTP-Nachrichten	412
5.1.3	Informationsaustausch über UDP	416
5.1.4	Informationsaustausch über DCCP	419
5.1.5	Jitter-Ausgleich	419
5.1.6	Übertragung der Nutzinformationen	419
5.1.7	Berechnung der VoIP-Bandbreite	423
5.2	RTP Control Protocol (RTCP)	425
5.2.1	Aufgaben des RTCP	425
5.2.2	RTCP-Nachrichten	426
5.2.3	Ermittlung der Paketlaufzeiten mit RTCP	430
5.3	Real-Time Streaming Protocol (RTSP)	432
5.4	Ausgleich von Paketverlust	433
5.4.1	Paketverlust ist eine Netzeigenschaft	433
5.4.2	Gegenmaßnahmen	433
5.5	Fax-Übertragung mit ZRTP	450
6	Session Initiation Protocol (SIP)	451
6.1	Übersicht	451
6.2	Architektur	452
6.2.1	Direkte Kommunikation	453
6.2.2	Proxy-Server	454
6.2.3	Adressen	457
6.3	SIP-Grundlagen	458
6.3.1	Architektur-Einordnung	460
6.3.2	SIP im Referenzmodell	461
6.3.3	SIP-Nachrichten	462
6.3.4	SIP-Request	465
6.3.5	SIP-Response	472
6.4	Architektur	477
6.4.1	Grundsätzlicher Ansatz	477
6.4.2	Einfacher Verbindungsaufbau	480
6.4.3	Direkte Verbindung	482
6.4.4	SIP-Routing	482
6.4.5	Die wichtigsten Komponenten	489
6.4.6	Beispiele für die Netzgestaltung	496
6.4.7	Erweiterte Funktionen	497
6.5	Session Description Protocol	498
6.5.1	Session Description	500
6.5.2	Medienbeschreibung	501
6.5.3	SDP-Angebot/Antwort	504
6.5.4	Multi-Purpose Internet Mail Extension (MIME)	509

6.6	Beispiele für Protokollabläufe	510
6.6.1	Registrierung	510
6.6.2	Sprachkommunikation – VoIP	512
6.6.3	VoIP-Modem- und Fax-Verbindungen	514
6.6.4	Verbindungsaufbau mit ENUM-Abfrage	516
6.6.5	Video-Kommunikation	517
6.6.6	Fehlerfälle	520
6.6.7	Umleitung mittels des Redirect-Server	524
6.6.8	Call Forking	525
6.6.9	Automatische Anrufverteilung	526
6.6.10	Halten des Gesprächs	527
6.6.11	Sicherung der SIP-Nachrichten – Timer	528
6.7	Erweiterte SIP-Funktionen	530
6.7.1	Event Notification	531
6.7.2	Presence Service	533
6.7.3	Instant Messaging	541
6.7.4	Provisional Response Acknowledgement	543
6.7.5	UPDATE	544
6.7.6	Preconditions	547
6.7.7	Media Authorization	552
6.7.8	SIP-REFER-Method	558
6.7.9	Gesprächsübernahme (Replace Header)	561
6.7.10	Third-Party Call Control	562
6.7.11	Kompression der SIP-Nachrichten	564
6.7.12	Sprachsteuerung – Interactive Voice	566
6.7.13	SIP-Erweiterungen	567
6.8	Session Announcement Protocol	568
6.9	Network Address Translation	570
6.10	Alternative Angebote	575
6.10.1	Over-the-Top-Anbieter	576
6.10.2	Peer-to-Peer-Netze	577
6.10.3	WebRTC und UCC	582
6.11	Sicherheit und Authentifizierung	593
6.11.1	Klassische Ansätze	594
6.11.2	IP-Security (IPsec)	594
6.11.3	Einsatz einer Firewall	596
6.11.4	Authentifizierung mit EAP	598
6.12	Realtime Internet Peering for Telephony Protocol (RIPT)	606
6.12.1	Terminal Group und Handler	608
6.12.2	QUIC	613

7	Architekturen der öffentlichen Netze	619
7.1	Grundsätzliche Forderungen	619
7.2	NGN nach ITU-T	619
7.2.1	Call Control im NGN	620
7.2.2	Interworking mit ISDN	622
7.2.3	Netzübergang zum ISDN	624
7.2.4	Verbindung aus dem ISDN	626
7.2.5	IP-Backbone-Netz	626
7.2.6	Migration des klassischen ISDN zum NGN	628
7.2.7	Intelligente Netze in IP-Umgebungen	634
7.3	IP Multimedia Subsystem	636
7.3.1	Trennung der Funktionen	636
7.3.2	Internetanwendungen	638
7.3.3	IMS-Funktionalitäten	640
7.3.4	IMS in UMTS und LTE	642
7.3.5	TISPAN – IMS im Festnetz	644
7.3.6	Zusammenschaltung von Netzen	650
7.3.7	Generalisiertes IMS-Konzept	652
7.3.8	Die IMS-Dienstarchitektur	653
7.3.9	Next Generation IN (NGIN)	661
7.3.10	Push to talk over Cellular (PTT oder PoC)	667
7.4	UMTS	691
7.4.1	SIP in UMTS	691
7.4.2	UMTS-Netzstruktur für Multimediadienste	695
7.4.3	Erweiterte SIP-Abläufe	696
7.5	Authentication, Authorization und Accounting	708
7.5.1	RADIUS, DIAMETER und COPS	708
7.5.2	RADIUS	709
7.5.3	DIAMETER	711
7.5.4	COPS	715
7.6	Neue Netzkonzepte	718
7.6.1	TeraStream-Netzstruktur	721
7.6.2	Adressierung im TeraStream-Netz	724
7.6.3	Zugang zum TeraStream-Netz	726
7.6.4	Optical Line Termination (OLT)	732
7.6.5	Die R1-Router	736
7.6.6	Das Backbone-Netz	740
7.6.7	Betrieb und Verwaltung	748
7.6.8	Internationale Vernetzung	751
7.7	Mobilfunk der fünften Generation – 5G	752

7.7.1	Neue Anforderungen an 5G-Netze	752
7.7.2	Luftschnittstellen	760
7.7.3	5G-Netzarchitekturen	762
7.7.4	Network Slicing	766
7.8	Verfügbarkeit	779
7.8.1	Definitionen	779
7.8.2	Netz-Design	782
7.8.3	Hochverfügbarkeit	783
7.8.4	Aufbau eines SIP-Servers	786
7.8.5	Aufbau eines Medien-Servers	787
7.8.6	Hochverfügbare SIP-Server	788
7.8.7	Verfügbarkeit im Anschlussbereich	790
7.8.8	Neue architektonischen Möglichkeiten	792
8	Teilnehmerzugang und TK-Anlagen	795
8.1	Klassische Teilnehmerzugänge	795
8.1.1	Der Netzabschluss	795
8.1.2	Optische Teilnehmeranschlüsse	803
8.1.3	Breitbandkabel-Anschlüsse	803
8.1.4	LTE-Anschluss	805
8.1.5	DSL-Hybrid-Anschlüsse	806
8.2	Der Teilnehmeranschluss am NGN	807
8.2.1	Migration der klassischen Anschlüsse	807
8.2.2	Mit xDSL oder VLAN zum NGN	808
8.2.3	Installation beim Teilnehmeranschluss	809
8.3	Architekturen der Unternehmensnetze	810
8.3.1	Schnittstellen klassischer TK-Anlagen	811
8.3.2	TK-Anlagen am NGN	813
8.3.3	QoS-Anforderungen	815
8.3.4	Leistungsmerkmale	816
8.3.5	Skinny Call Control Protocol (SCCP)	824
8.3.6	SIP-Trunking	825
8.4	Virtualisierung – TK-Anlagen im SDN	847
8.4.1	Private Overlay-Netze	849
A	Anhang	850
A.1	Abkürzungen	850
A.2	Quellen	859
A.3	Weiterführende Literatur	865