

Inhalt

1	Vom einfachen Telefon bis zu Next Generation Networks	1
1.1	Vom Telefon bis zum intelligenten Netz.....	2
1.1.1	Erfindung des Telefons	2
1.1.2	Vom analogen Telefonnetz zum ISDN	4
1.1.3	Vom ISDN zum Intelligenten Netz.....	6
1.2	Ansätze für VoIP	8
1.2.1	Allgemeines über Internet-Telefonie.....	9
1.2.2	Erweiterung von ISDN mit einem IP-Netz	11
1.2.3	IP-Netz als Backbone für PSTN/ISDN	13
1.2.4	Kleines IP-Netzwerk als IP-TK-Anlage.....	15
1.3	Evolution der Mobilfunknetze	19
1.3.1	Aufbau der Mobilfunknetze nach GSM	20
1.3.2	Aufbau von GPRS	22
1.3.3	Konzept von UMTS	23
	Vereinfachte Architektur von UMTS.....	24
	UMTS-Ausbau und IMS	25
1.4	VoIP und Konvergenz der Netze	26
1.4.1	Von Single-service-Netzen zum Multiservice-Netz.....	26
1.4.2	Integration von Internet mit Intelligent Network	29
	PINT	29
	SPIRITS	31
1.4.3	Gateway-Plattformen und Migration zu NGNs.....	32
1.4.4	Konzept von Parlay/OSA	35
1.4.5	Konzept von JAIN.....	39
1.5	IMS als Kern von Next Generation Networks	41
1.5.1	Allgemeines Konzept von IMS	42
1.5.2	Mobilität von Benutzern in NGNs	43
1.5.3	Registrierung der Lokation eines Benutzers.....	45
1.5.4	VoIP-Session zwischen Benutzern.....	47
1.6	VoIP-Aktivitäten bei Standardisierungsgremien, Organisationen und Foren....	48
1.6.1	IETF und Internet-Standards.....	48
	Organisation der IETF.....	48
	Working Groups mit VoIP-relevanten Themen	49
1.6.2	ITU-T und Telekommunikationsstandards.....	51
	Organisation des ITU-T	51
	VoIP-betreffende SGs beim ITU-T.....	52

1.6.3	ETSI und VoIP	53
1.6.4	Organisationen und Foren mit VoIP-Aktivitäten.....	54
1.7	Schlussbemerkungen.....	55
2	Signalisierung in Telefonnetzen und ISDN.....	57
2.1	Signalisierung in Telefonnetzen.....	58
2.2	ISDN-Konzept	60
2.2.1	ISDN-Schnittstellen.....	61
2.2.2	Protokollbereiche im ISDN	62
2.3	D-Kanal-Protokoll.....	63
2.3.1	Schicht 3 des D-Kanal-Protokolls.....	64
2.3.2	Auf- und Abbau einer ISDN-Verbindung.....	66
2.4	Signalisierungssystem Nr.7.....	68
2.4.1	Funktionsteile von SS7	70
2.4.2	Funktionelle Struktur von SS7.....	71
2.4.3	SS7-Verlauf beim Auf- und Abbau einer ISDN-Verbindung.....	73
2.5	Schlussbemerkungen.....	75
3	TCP/IP- und VoIP-Protokolle.....	77
3.1	Protokollfamilie TCP/IP.....	78
3.2	Prinzip der Kommunikation im Internet	80
3.2.1	Bildung von IP-Paketen	81
3.2.2	Prinzip der Kommunikation im Internet.....	82
3.2.3	Interpretation von IP-Adressen.....	83
3.2.4	Zweistufige Adressierung.....	84
3.3	Internet-Protokoll IP	85
3.4	Transportprotokolle in IP-Netzen.....	86
3.4.1	Verbindungsloses Transportprotokoll UDP.....	87
	Nachteil der UDP-Fehlerkontrolle bei VoIP.....	88
	UDP-Lite	89
3.4.2	Verbindungsorientiertes Transportprotokoll TCP	90
	TCP-Nutzung.....	91
	Aufbau und Abbau einer TCP-Verbindung	93
3.5	Einsatz von DNS	95
3.5.1	Aufbau des DNS-Namensraums	96
3.5.2	Resource Records	97
3.5.3	Beispiel für eine Namensauflösung	98
3.5.4	Ermittlung des SIP-Proxy in einer anderen Domain.....	99
3.6	Protokolle für VoIP – eine Übersicht.....	102

3.7	Bedeutung des Protokolls SCTP.....	105
3.7.1	SCTP versus UDP und TCP	105
3.7.2	SCTP-Assoziationen	106
3.8	ENUM – Konzept und Einsatz	108
3.8.1	Bildung von ENUM-Domainnamen und NAPTR-RRs	110
3.8.2	Beispiele für den ENUM-Einsatz.....	112
3.9	Schlussbemerkungen	114
4	VoIP und QoS in IP-Netzen	115
4.1	QoS-Anforderungen bei VoIP	116
4.1.1	Einflussfaktoren auf die VoIP-Qualität.....	116
4.1.2	Ende-zu-Ende-Verzögerung.....	117
4.1.3	Übermittlungszeit über ein IP-Netz.....	121
4.1.4	Jitter-Ausgleichspuffer und Paketverluste	123
4.2	Verfahren zur Garantie von QoS-Anforderungen.....	124
4.3	Priorisierung von MAC-Frames	125
4.4	Differentiated Services	126
4.4.1	Differenzierung der IP-Pakete.....	127
4.4.2	DiffServ-Domäne und -Region	128
4.5	Queue-Management.....	130
4.5.1	Priority Queueing	133
4.5.2	Custom Queueing	134
4.5.3	Fair Queueing	137
4.5.4	Weighted Fair Queueing	139
4.5.5	Class-based Weighted Fair Queueing	140
4.6	Einsatz von RSVP	142
4.7	Schlussbemerkungen	145
5	Sprachcodierung und Echtzeitkommunikation mit RTP/RTCP ...	147
5.1	Sprachcodierung bei VoIP	148
5.1.1	Abtastwert-orientierte Sprachcodierung.....	150
5.1.2	Prinzipien der Quantisierung.....	153
5.1.3	Nichtlineare Quantisierung bei PCM	154
5.1.4	Nachbildung der Spracherzeugung	157
5.1.5	Segment-orientierte Sprachcodierung	159
5.1.6	VoIP-relevante Sprachcodierungsverfahren.....	161
5.1.7	Sprachqualität nach MOS-Skala	163
5.2	Protokolle für Sprachübermittlung	164
5.2.1	Bedeutung einer Session	165
5.2.2	RTP/RTCP und Transportprotokolle der IP-Netze	168

5.3	Konzept und Funktionen von RTP	171
5.3.1	Aufbau von RTP-Paketen	172
5.3.2	Statische und dynamische Payload-Typen.....	174
5.3.3	Zeitstempel – Berechnung und Nutzung.....	176
	Berechnung von Zeitstempel für RTP-Pakete	177
	Nutzung von Zeitstempel in RTP-Paketen	178
5.4	Translator und Mixer	180
5.4.1	Translator-Einsatz.....	180
5.4.2	Mixer-Einsatz	181
5.5	Protokoll RTCP.....	182
5.5.1	Funktion von RTCP	183
5.5.2	Typen der RTCP-Pakete	184
5.5.3	Struktur der RTCP-Pakete	184
5.5.4	Sender-Report (SR)	185
	Angaben im SR-Header	187
	Sender-Informationen	187
	Angaben in Report Blocks	188
5.5.5	Receiver Report (RR)	188
5.5.6	Einsatz von RTCP XR und VoIP-Metriken.....	189
5.6	Abschätzung von QoS-Parametern	191
5.6.1	Garantie der Isochronität	192
5.6.2	Abschätzung von Jitter	193
5.6.3	Abschätzung des Round-Trip Time	194
5.6.4	Aussage über die Häufung von Paketverlusten.....	196
5.6.5	E-Modell von der ITU-T	197
5.7	Secure Real-time Transport Protocol (SRTP)	198
5.7.1	Sicherheitsfunktionen von SRTP	199
5.7.2	Key-Management-Protokoll und SRTP	200
5.7.3	Gesicherte Kommunikation nach SRTP	202
5.7.4	Prinzip der Integritätsprüfung und Authentifizierung.....	204
5.7.5	SRTP- und SRTCP-Pakete	205
5.7.6	Session Keys bei SRTP	206
5.7.7	Vorbereitung eines RTP-Pakets zum Senden	208
5.7.8	Bearbeitung eines empfangenen RTP-Pakets	210
5.7.9	Schritte bei der Bearbeitung eines RTP-Pakets	211
5.8	Kompression des RTP/UDP/IP-Headers.....	212
5.8.1	Bedeutung von CRTP und ROHC	213
5.8.2	Konzept der Kompression des RTP/UDP/IP-Headers.....	214
5.8.3	Kompression und Dekompression nach CRTP	216
5.8.4	Besonderheiten von ROHC	220
5.9	Schlussbemerkungen.....	221

6	VoIP nach dem Standard H.323.....	223
6.1	Systemkomponenten nach H.323	224
6.1.1	H.323-Domains	225
6.1.2	Protokollfamilie TCP/IP und H.323	226
6.1.3	Sprach- und Videocodierung in H.323-Systemen	228
6.1.4	Arten von Kanälen bei der Multimedia-Kommunikation.....	229
6.2	Signalisierung nach H.323	230
6.2.1	Schritte vor der Audio/Video-Übermittlung	231
6.2.2	Schritte nach der Audio/Video-Übermittlung	232
6.2.3	Fast Connect Procedure.....	233
6.3	Realisierung von RAS-Funktionen.....	236
6.3.1	Gatekeeper-Entdeckung	237
6.3.2	Registrierung und Deregistrierung beim Gatekeeper	238
6.3.3	Zulassung von Verbindungen.....	239
6.3.4	Abfrage der IP-Adresse eines Endpunktes	241
6.4	Signalisierung der Anrufe nach H.225.0	242
6.4.1	Struktur von Anruf-SIG-Nachrichten beim H.225.0	243
6.4.2	Anrufsignalisierung ohne Gatekeeper	243
6.4.3	Direkte Anrufsignalisierung beim Gatekeeper-Einsatz	245
6.4.4	Über Gatekeeper geroutete Anrufsignalisierung	246
6.4.5	VoIP im Verbund mit ISDN.....	248
6.5	Einsatz des Protokolls H.245	249
6.5.1	Beschreibung von Terminal-Fähigkeiten	250
6.5.2	Austausch von Terminal-Fähigkeiten	252
6.5.3	Master/Slave-Festlegung.....	252
6.5.4	Aufbau logischer Kanäle	253
6.5.5	Abbau logischer Kanäle	254
6.5.6	Änderung von Eigenschaften einer Verbindung	255
6.5.7	Beispiel für einen Verlauf des Protokolls H.245.....	256
6.6	Supplementary Services nach H.450.x	257
6.6.1	H.450.1 als Basis für Supplementary Services.....	259
6.6.2	Beispiele für Supplementary Services.....	260
6.7	Roaming bei VoIP nach H.323	262
6.7.1	Arten von Roaming	262
6.7.2	Registrierung eines Gast-Teilnehmers	264
6.7.3	Ankommender Anruf zu einem Gast-Teilnehmer.....	267
6.7.4	Abgehender Anruf aus einer Fremd-Domain	269
6.7.5	Deregistrierung eines Gast-Teilnehmers	270
6.8	Schlussbemerkungen	270

7	VoIP mit SIP	273
7.1	Verschiedene Aspekte des SIP-Einsatzes.....	274
7.1.1	SIP und verschiedene Transportprotokolle.....	274
7.1.2	Wichtige SIP-Besonderheiten.....	276
7.1.3	Struktur von SIP-Adressen	278
7.1.4	Funktion eines SIP-Proxy	280
7.1.5	Trapezoid-Modell von SIP.....	282
7.1.6	SIP-Verlauf im Trapezoid-Modell.....	284
7.1.7	Unterstützung von Benutzermobilität.....	285
7.1.8	Erweiterter SIP-Proxy als B2BUA	287
7.1.9	Typischer SIP-Verlauf	288
	Angaben in SIP- Nachrichten	290
	SIP-Verlauf innerhalb einer Domain	293
	SIP-Verlauf ohne Proxy.....	293
7.2	Beispiele für den Einsatz von SIP	294
7.2.1	Typischer Einsatz von SIP-Proxy-Servern	295
7.2.2	Umleitung einer Session mit Redirect-Server.....	296
7.2.3	Weiterleitung einer Session mit Proxy-Servern.....	298
7.2.4	Anrufverzweigung mit SIP	299
7.2.5	Einsatz eines Voice-Mail-Servers.....	301
7.3	SIP-Nachrichten – ihre Bedeutung und Struktur.....	303
7.3.1	Request-Typen.....	303
7.3.2	Response-Klassen.....	306
7.3.3	Aufbau von SIP-Nachrichten.....	307
	Struktur von SIP-Requests.....	307
	Struktur von SIP-Responses	309
	Wichtige Header-Felder.....	310
7.4	Beschreibung von Sessions mit SDP	313
7.4.1	Typischer Einsatz von SDP	314
7.4.2	Bestandteile der Beschreibung einer Session.....	316
7.4.3	Beschreibung auf dem Session-Level	320
7.4.4	Zeitspezifische Angaben.....	322
7.4.5	Beschreibung von Medien	323
7.5	Betriebsarten bei SIP	327
7.5.1	Proxy-Mode und Redirect-Mode.....	327
7.5.2	Einsatz von Proxy- und Redirect-Server.....	328
7.6	Registrierung der Lokation von Benutzern	330
7.7	Sessionbezogene Leistungsmerkmale mit SIP	332
7.7.1	Klassen der Leistungsmerkmale mit SIP	332
7.7.2	Call Hold/Retrieve – Anhalten/Wiederaufnahme	336

7.7.3	Consultation Hold – Anhalten mit Rückfrage	337
7.7.4	Call Park – Parken einer Session.....	338
7.7.5	Call Pickup – Übernahme einer Session	341
7.7.6	Call Forwarding – Weiterleitung einer Session.....	342
7.7.7	Unattended Call Transfer	343
7.7.8	Attended Call Transfer	344
7.7.9	SIP-Verlauf bei Rückruf.....	346
7.8	Response- und Request-Routing.....	348
7.9	Konvergenz der IP-Netze und ISDN	350
7.9.1	SIP und das D-Kanal-Protokoll.....	351
7.9.2	SIP und Signalisierungssystem Nr. 7	352
7.10	Koexistenz von SIP und H.323.....	353
7.11	Schlussbemerkungen	355
8	VoIP-Gateways: Konzepte und Protokolle	357
8.1	VoIP und klassische Systeme für Sprachkommunikation	358
8.2	Konzept von MGCP	360
8.2.1	Grundbegriffe bei MGCP.....	360
8.2.2	MGCP-Commands	362
8.2.3	MGCP-Responses	363
8.2.4	Auf- und Abbau einer VoIP-Session nach MGCP	364
8.3	Protokoll Megaco	368
8.3.1	Konzept von Megaco	369
8.3.2	Megaco-Commands	371
8.3.3	Auf- und Abbau einer VoIP-Session nach Megaco	372
8.3.4	Megaco und Integration von VoIP mit ISDN.....	374
8.4	Schlussbemerkungen	376
9	IP-Telefonie-Routing und VoIP-Peering	377
9.1	Typische Probleme bei VoIP	378
9.1.1	Routing ankommender Anrufe aus dem ISDN/PSTN.....	379
9.1.2	Routing abgehender Anrufe	381
9.2	Konzept und Einsatz von TRIP	382
9.2.1	Bedeutung von TRIP	383
9.2.2	TRIP als Bruder von BGP	384
9.3	Vernetzung von VoIP-Zonen mit H.323.....	385
9.3.1	Routing abgehender Anrufe zwischen H.323-Zonen	385
9.3.2	Routing der Anrufe aus dem ISDN zu einer H.323-Zone	387
9.4	Vernetzung von VoIP-Zonen mit SIP.....	388

9.4.1	Routing der Anrufe zwischen VoIP-Zonen mit SIP	388
9.4.2	Routing der ISDN-Anrufe zu VoIP-Zonen mit SIP	389
9.5	Peering bei VoIP mit SIP	390
9.5.1	Ziele und Arten von Peering.....	390
9.5.2	Prinzip von Basic Peering.....	392
9.5.3	Integrated Peering versus Decomposed Peering.....	393
9.5.4	Federation-based Peering.....	394
9.6	Schlussbemerkungen.....	396
10	Migration zum VoIP-Einsatz	397
10.1	Verschiedene Aspekte der Migration zu VoIP.....	398
10.1.1	Sanfte Migration zu VoIP	398
10.1.2	Harte Migration zu VoIP	398
10.1.3	Typische Fälle bei der Migration zu VoIP.....	399
10.1.4	Architekturmodelle der VoIP-Systeme.....	400
10.2	Hybride VoIP-Systemarchitekturen	402
10.2.1	Hybride VoIP-Systemarchitektur am Einzelstandort.....	402
10.2.2	Arten der Vernetzung von TK-Anlagen	403
Vernetzung von TK-Anlagen mit zentraler Anrufsteuerung.....	403	
Vernetzung von TK-Anlagen mit verteilter Anrufsteuerung	404	
10.2.3	Standortübergreifende hybride VoIP-Systemarchitekturen	404
VoIP-Systemarchitekturen mit zentraler Anrufsteuerung.....	404	
VoIP-Systemarchitekturen mit verteilter Anrufsteuerung	405	
10.3	Reine VoIP-Systemarchitekturen.....	406
10.3.1	Reine VoIP-Systemarchitektur am Einzelstandort	408
10.3.2	Verkabelung für die Unterstützung von VoIP	410
Getrennte Sprach- und Datenverkabelung	410	
Gemeinsame Sprach- und Datenverkabelung	411	
10.3.3	Standortübergreifende reine VoIP-Systemarchitekturen	412
VoIP-Systemarchitektur mit zentraler Anrufsteuerung	412	
VoIP-Systemarchitektur mit verteilter Anrufsteuerung	415	
10.4	Auswahl einer VoIP-Systemlösung	416
10.5	Hauptschritte bei der Migration zu VoIP	417
10.5.1	Ist-Analyse bei der Migration zu VoIP	419
Organisatorische Aspekte der Ist-Analyse.....	420	
Technische Aspekte der Ist-Analyse.....	421	
10.5.2	Anforderungen an VoIP-System.....	423
Organisatorische Anforderungen.....	423	
Technische Anforderungen.....	424	
10.5.3	Komponenten des VoIP-Systemkonzeptes	425

10.6	VoIP mit SIP in Netzwerken mit NAT	426
10.6.1	Prinzipien von NAT	427
10.6.2	Probleme mit SIP beim NAT-Einsatz	429
10.6.3	Symmetric Response – Hilfe bei der Signalisierung	432
10.6.4	Symmetric RTP/RTCP – Hilfe beim Medientransport	433
10.6.5	Einsatz von STUN	434
10.6.6	Nutzung von TURN	437
10.6.7	ICE als Lösung des NAT-Problems	439
10.7	Schlussbemerkungen	443
11	VoIP-Sicherheit	445
11.1	Probleme der VoIP-Sicherheit	446
11.1.1	Primäre Ziele der VoIP-Sicherheit	446
11.1.2	Verschiedene Aspekte der VoIP-Sicherheit	448
11.1.3	Sicherheitsproblemberiche im Netzwerk	449
11.1.4	Phasen des VoIP-Sicherheitsprozesses	451
11.1.5	Vorgehensweise bei der Planung der VoIP-Sicherheit	452
11.2	Bedrohungstypen und Angriffsarten bei VoIP	454
11.2.1	Typische Angriffe in Netzwerken	454
11.2.2	Typische Angriffe bei VoIP	456
	Angriffe auf dem Anwendungsniveau	456
	Angriffe auf dem Niveau der Transportschicht	458
	Angriffe auf IP-Niveau	458
	Angriffe auf MAC-Niveau	459
	Beispiele für einige Angriffe bei VoIP	459
	Klassen der Angriffe auf VoIP-Systeme	461
11.2.3	Lauschangriffe bei VoIP und Gegenmaßnahmen	462
11.2.4	Abfangen und Modifikation von VoIP-Anrufen	463
11.2.5	Beeinträchtigen des VoIP-Dienstes	466
11.2.6	Missbrauch des VoIP-Dienstes	466
11.3	Sicherheit bei VoIP mit SIP	468
11.3.1	Gefährdungen in VoIP-Systemen mit SIP	468
	Registration Hijacking	470
	Session Hijacking – Entführung einer Session	472
	Imitation eines SIP-Proxy-Servers	473
11.3.2	SIP Digest Authentication – Einsatz und Konzept	474
	Prinzip der Authentifizierung nach SIP-Digest	474
	Authentifizierung bei Registrierung	476
	Benutzer-Authentifizierung von einem Proxy	477
11.3.3	Einsatz von S/MIME bei SIP	478
	Asymmetrische Kryptosysteme als Grundlage von S/MIME	478

Idee des S/MIME-Einsatzes bei SIP	479
Garantie der Vertraulichkeit bei SIP mit S/MIME	480
Signierung von SIP-Nachrichten	481
11.4 Ermittlung des Schutzbedarfs bei VoIP	482
11.4.1 Beschreibung der Sicherheitsschwachstelle.....	483
11.4.2 Vorgehensweise bei der Analyse von Bedrohungen.....	484
11.4.3 Aussage über den Schutzbedarf.....	487
11.4.4 Risikoanalyse.....	487
11.4.5 Erfassung des Schutzbedarfs	489
11.5 Festlegung von Sicherheitsanforderungen	490
11.5.1 Darstellung der Sicherheitsschwachstelle.....	490
11.5.2 Katalog von Sicherheitsanforderungen.....	490
11.6 Maßnahmen zur Erhöhung der VoIP-Sicherheit	491
11.6.1 Spezifikation von Sicherheitsmaßnahmen	491
11.6.2 Typische Sicherheitsschwachstellen	493
11.7 Schlussbemerkungen.....	495
Literatur, Standards, Webquellen	497
Abkürzungsverzeichnis	505
Index	511