

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 Singleservice-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-Ausgleichpuffer 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	Sicherheitsproblembereiche 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
12 VoIP mit Peer-to-Peer SIP	497
12.1 Besonderheiten der P2P-Netzarchitektur.....	498
12.1.1 Traditionelle Client-Server-Architektur	498
12.1.2 Arten von P2P-Netzarchitekturen.....	499
12.1.3 Bedeutung des Bootstrap-Servers.....	499
12.1.4 Overlay-Ringnetz für P2P-Kommunikation	500
12.1.5 Peer, Client und Benutzer	502
12.2 Funktionsweise des P2P-Overlay-Netzes	503
12.2.1 P2P-Overlay-Netz als Ringnetz.....	504
12.2.2 Bedeutung von Finger-Tabellen	506
12.2.3 Beitritt eines Peer zum Overlay-Ringnetz	507
12.2.4 Routing im Overlay-Ringnetz	508
12.3 Ziele und Bedeutung des P2PSIP	511

12.3.1	Allgemeines Prinzip von Instant Messaging	512
12.3.2	Informationsmodell von Presence Services	513
12.4	Gegenüberstellung von SIP und P2PSIP	514
12.5	Konzept von P2PSIP	517
12.5.1	Prinzip der Anrufsignalisierung bei P2PSIP	518
12.5.2	Funktionskomponenten von P2PSIP	519
12.5.3	Peer bei P2PSIP im Schichtenmodell	522
12.6	Peer-Protokoll bei P2PSIP	523
12.6.1	Funktionen des Peer-Protokolls bei P2PSIP	524
12.6.2	Beitritt eines Peer zum Overlay-Ringnetz.....	525
12.6.3	Registrierung eines Client-Knotens im Overlay-Ringnetz.....	527
12.6.4	Aufbau einer Session für VoIP-Kommunikation	530
12.7	Abschließende Bemerkungen	531
13	VoIP-basierte Notrufdienste.....	533
13.1	Wichtige Aspekte von Notrufdiensten	534
13.1.1	Notrufdienst aus der Sicht des Notrufenden	534
13.1.2	Probleme bei der Realisierung von Notrufdiensten	535
13.2	Grundlagen VoIP-basierter Notrufdienste	537
13.2.1	Schritte bei der Realisierung von VoIP-Notrufdiensten	537
13.2.2	Typische Struktur VoIP-basierter Notrufsysteme	539
13.2.3	Anforderungen an VoIP-Notrufdienste	541
13.2.4	Identifizierung eines Notrufes.....	542
13.3	Bestimmung der Lokation des Notrufenden	543
13.3.1	Bestimmung der Lokation in Netzwerken	544
13.3.2	Bestimmung der Lokation in Mobilfunknetzen	545
13.3.3	Bedeutung von Positionierungssystemen.....	546
13.4	Realisierung von VoIP-Notrufdiensten.....	546
13.4.1	Emergency Service Framework für VoIP-Notrufdienste	547
13.4.2	Migration zum VoIP-basierten Notrufdienst	548
13.5	Konzept und Einsatz von LoST	550
13.5.1	Typische Anwendungen von LoST	550
	LoST in VoIP-basierten Notrufsystemen.....	551
	LoST in Überwachungssystemen.....	553
	Bedeutung von LoST in Location Based Services	554
	LoST-Einsatz beim Katastrophenschutz	556
13.5.2	Logische Architektur von LoST	556
	Tree mit LoST-Servern	558
	Rekursive Ermittlung von SIP-URI	559

Auffinden eines geeigneten Resolvers	561
13.5.3 Nachrichten von LoST	562
Nachricht findService	562
Nachricht findServiceResponse	563
Nachricht listServiceByLocation	565
Nachricht listServiceByLocationResponse	565
13.6 LoST in VoIP-basierten Notrufsystemen	566
13.7 Sicherheitsaspekte in VoIP-Notrufsystemen	568
13.8 Abschließende Bemerkungen	569
 14 WebRTC – Konzept und Einsatz	571
14.1 Funktionale Komponenten von WebRTC	572
14.1.1 Webbrowser mit WebRTC-Unterstützung	572
14.1.2 WebRTC-Server und WebSocket-Protokoll	574
14.1.3 Signalisierungsprotokoll bei WebRTC	575
14.1.4 Arten der Kommunikation bei WebRTC	575
14.2 Modell der Kommunikation bei WebRTC	576
14.2.1 Dreiecksmodell von VoIP mit SIP	576
14.2.2 WebRTC-Dreiecksmodell – ohne Transcoder-Einsatz	578
14.2.3 WebRTC-Dreiecksmodell – mit Transcoder-Einsatz	580
14.3 Schritte vor und nach der WebRTC-Nutzung	581
14.4 Session zwischen WebRTC-Clients	584
14.5 Bedeutung von ENUM bei WebRTC	586
14.5.1 Ermittlung der IP-Adressen von WebRTC-Clients	587
14.5.2 Dreiecksmodell von WebRTC und ENUM-Einsatz	588
14.6 Nutzung von SIP bei WebRTC	589
14.6.1 Modell von WebRTC beim Einsatz von SIP	590
14.6.2 WebRTC mit SIP und privaten IPv4-Adressen	592
14.7 Kopplung von WebRTC mit VoIP-Systemen	592
14.8 Sicherheitsproblembereiche bei WebRTC	594
14.9 Standardisierung von WebRTC	598
14.10 Schlussbemerkungen	599
 Literatur, Standards, Webquellen	601
 Abkürzungsverzeichnis	611
 Index	619