

Inhalt

1 Basiswissen für Zugangsnetze	1
1.1 Rauschen.....	1
1.1.1 Thermisches Rauschen	1
1.1.2 Andere Arten von Rauschen.....	1
1.1.3 Wirkungen des Rauschens.....	2
1.2 Digitale Zahlendarstellung.....	3
1.3 Signale	4
1.3.1 Definition	4
1.3.2 Analoge Signale	6
1.3.3 Digitale Signale	6
1.3.4 Abtasttheorem	8
1.3.5 Quantisierungsfehler	8
1.4 Pegelrechnung.....	9
1.4.1 Definitionen.....	9
1.4.2 Absolute Pegel.....	10
1.4.3 Pegeltoleranz	10
1.4.4 Pegelunterschied.....	11
1.5 Bitstrom	11
1.5.1 Bitgruppen.....	11
1.5.2 Bitraten.....	12
1.6 Filter.....	12
1.6.1 Einführung.....	12
1.6.2 Analoge Filter.....	15
1.6.3 Digitale Filter	15
1.7 Einträgermodulation	17
1.7.1 Einführung.....	17
1.7.2 Analoge Modulation.....	18
1.7.3 Frequenzmodulation und Phasenmodulation.....	21
1.7.4 Digitale Modulation	25
1.8 Vielträgermodulationsverfahren	31
1.9 Störungen.....	32
1.9.1 Störabstand	32
1.9.2 Bitfehlerrate.....	43
1.10 Zugriffsverfahren	44

1.10.1 Allgemeine Zugriffsverfahren	44
1.10.2 Zeitmultiplex	45
1.10.3 Frequenzmultiplex	45
1.10.4 Spread Spectrum	46
1.10.5 Spezielle Zugriffsverfahren	50
1.11 Informationstheorie	52
1.11.1 Einführung	52
1.11.2 Beispiele und Definitionen	53
1.11.3 Zum Informationsgehalt digitaler Signale	54
1.11.4 Informationsgehalt analoger Signale	55
1.11.5 Codierungstheorie	55
1.12 Modell der Nachrichtenübertragung	59
1.12.1 Modellierung	59
1.12.2 Quellencodierung	60
1.12.3 Scrambling / Randomizing	60
1.12.4 Kanalcodierung	61
1.12.5 Leitungscodierung	61
1.13 Fehlerschutz	62
1.13.1 Einführung	62
1.13.2 Fehlererkennung	62
1.13.3 Fehlerkorrektur	62
2 Architektur Zugangsnetze	73
2.1 Begriffsbestimmung und Topologievarianten	73
2.1.1 Begriffsbestimmung	73
2.1.2 Topologie	74
2.2 Investitionsentscheide	75
2.3 Netzarchitekturen	76
2.4 Betrieb des Zugangsnetzes	77
2.5 Telefonnetz	78
2.5.1 Analoges Telefonnetz	78
2.5.2 Digitales Telefonnetz	78
2.6 Breitbandkabelnetz	80
2.6.1 Einführung	80
2.6.2 Reines Koaxialkabelnetz	80
2.6.3 Hybrid-Fiber-Coax Netz (HFC)	81
2.6.4 Fiber-to-the-Building / Fiber-to-the-Home	81
2.6.5 Evolutions- und Migrationshilfen	82
2.7 Passive optische Netze	85
2.7.1 Übersicht	85
2.7.2 APON / BPON	86
2.7.3 GPON	87
2.7.4 EPON (GEAPON)	88
2.7.5 10GEAPON	89

2.7.6 WDM-PON	89
2.7.7 RFoG	90
2.8 Funknetze	93
2.8.1 Satelliten	93
2.8.2 Mobilfunk	98
2.8.3 Mobilfunk der 4. Generation	102
2.9 Optischer Richtfunk	105
2.10 Powerline Communications	106
2.11 Kabelbasierende Haus- und Heimnetzwerke	107
2.12 Evolution, Migration und Next Generation Network	107
2.13 Besonderheiten beim Netzbau innerhalb von Häusern	109
3 Kabelgebundene Übertragung	111
3.1 Theoretische Grundlagen der Leitung	111
3.1.1 Telegrafengleichung	111
3.1.2 Stationärer Fall	114
3.1.3 Leitungskenngrößen	116
3.1.4 Leitungstypen	119
3.1.5 Phasen- und Gruppengeschwindigkeit	121
3.2 Übertragung mit paarsymmetrischen Kabeln	122
3.2.1 Gestaltung der Kabeleigenschaften	122
3.2.2 Eigenschaften des Aderpaars	124
3.2.3 Übersprechen	126
3.2.4 Kabeltypen	126
3.2.5 Anwendungen mit Zweidrahtleitungen	127
3.3 Übertragung mit Koaxialkabel	128
3.3.1 Das Konzept des koaxialen Netzes	128
3.3.2 Koaxialkabel	128
3.3.3 Kabelqualität	139
3.3.4 Anwendungen mit Koaxialkabel	140
3.4 Lichtwellenleiternetze	141
3.4.1 Optische Faser	141
3.4.2 Optische Steckerverbindungen	156
3.4.3 Optische Passivelemente	157
3.4.4 Optische Sender	162
3.4.5 Optische Empfänger	166
3.4.6 Optische Verstärker	167
3.4.7 Lineare und nichtlineare Eigenschaften der Faser	173
3.4.8 Verbindungsrelevante Eigenschaften	180
3.4.9 Optische Verbindung	181
3.4.10 Wellenlängenmultiplex (WDM)	183
3.4.11 Spezielle Glasfaserübertragung	187
3.4.12 Anwendungen von LWL	188

4 Drahtlose Übertragung	191
4.1 Einführung zur Wellenausbreitung	191
4.1.1 Geschichte	191
4.1.2 Reflexion	192
4.1.3 Ausbreitungsgeschwindigkeit elektromagnetischer Wellen	192
4.1.4 Brechung	192
4.1.5 Beugung	193
4.1.6 Polarisierung	193
4.2 Einführung zu Antennen	194
4.2.1 Übersicht	194
4.2.2 Bezugsantennen	195
4.3 Terrestrische Radioübertragung	196
4.3.1 Radiowellen unterhalb 30 MHz	196
4.3.2 Radiowellen oberhalb 30 MHz	200
4.4 Gesetzmäßigkeiten der Wellenausbreitung	201
4.4.1 Feldstärke und Dipolpegel	201
4.4.2 Empfangspegel in Funktion der Entfernung zum Sender	204
4.4.3 Wellenausbreitung im freien Raum	204
4.4.4 Azimut und Distanz zwischen 2 Punkten auf der Erde	206
4.4.5 Wellenausbreitung mit Hindernissen	207
4.5 Satellitenempfang	211
4.5.1 Thermisches Rauschen	211
4.5.2 Abstand Signal zum Rauschen	212
4.5.3 Gütefaktor	212
4.5.4 Freiraumdämpfung	213
4.5.5 Gewinn einer Parabolantenne	213
4.5.6 Der geostationäre Orbit	214
4.6 Diversity	216
4.7 Elektrische Strahlenkung	219
 5 Breitbandkabelnetz	 221
5.1 Einführung zum HFC Netz	221
5.2 Bausteine des koaxialen Netzes	224
5.2.1 Das Konzept des koaxialen Netzes	224
5.2.2 Koaxialkabel	225
5.2.3 Verbindungsmaterial	226
5.2.4 Verteilelemente	226
5.2.5 Verstärker	228
5.2.6 Verstärkerstufen, Verstärkung und Entzerrung	232
5.2.7 Übertragungseigenschaften	234
5.2.8 Verstärkerzubehör	236
5.3 Bausteine des LWL-Netzes	237
5.3.1 Konzept des LWL-Netzes	237
5.3.2 LWL-Kabel	237

5.3.3 Verbindungsmaterial	238
5.3.4 Verteilelemente	238
5.3.5 Optische Sender.....	238
5.3.6 Optischer Empfänger.....	240
5.3.7 Optische Verstärker.....	241
5.4 Rauschen im Breitbandnetz	241
5.4.1 Rauschabstand	241
5.4.2 Rauschen in der analogen Fernsehübertragung	243
5.4.3 Rauschen in der digitalen Übertragung	244
5.5 Lineare Verzerrungen	245
5.5.1 Frequenzgang	245
5.5.2 Gruppenlaufzeit	245
5.5.3 Mikroreflexionen.....	246
5.5.4 Frequenzgang zufolge Anpassungsfehlern	247
5.6 Nichtlineare Verzerrungen.....	248
5.6.1 Intermodulation analoger Fernsehprogramme.....	248
5.6.2 Intermodulation zwischen digitalen Kanälen	258
5.6.3 CTB von gemischten analogen und digitalen Kanälen.....	259
5.6.4 Messverfahren	260
5.7 Netzpegelung und Entzerrung.....	262
5.7.1 Aufgabe der Entzerrung	262
5.7.2 Prinzip der Entzerrung.....	263
5.8 Rückwärtsübertragung	265
5.9 Lichtwellenleiternetz	269
5.9.1 Einleitung	269
5.9.2 LWL-Vorwärtsübertragung.....	269
5.9.3 LWL-Rückwärtsübertragung.....	273
5.10 Automatische Pegelregelung im Netz.....	274
5.10.1 Aufgabe der Pegelregelung	274
5.10.2 LWL-Netzabschnitt	274
5.10.3 Koaxialer Netzabschnitt	275
5.10.4 Einfluss der Kabeltemperatur	276
5.10.5 Einfluss aktiver Netzelemente	277
5.10.6 Möglichkeiten der Pegelregelung.....	277
5.11 Netzplanung.....	278
5.11.1 Die Kunst des Planens	278
5.11.2 Planen mit Freiheitsgrad	278
5.11.3 Hilfsmittel bei der Planung.....	279
5.11.4 Einfluss der Topologie	280
5.12 Fernspeisung	280
5.12.1 Einführung.....	280
5.12.2 Brumm.....	281
5.13 Besondere Störeffekte.....	282
5.13.1 Common Path Distortion.....	282

5.13.2 Laser Clipping	284
6 OSI-Layer und Protokolle	289
6.1 Einführung	289
6.1.1 Zweck von Protokollen	289
6.1.2 OSI-Schichtenmodell	289
6.1.3 Protokollmerkmale	290
6.2 Ethernet Protokoll-Familie	291
6.2.1 Zur Geschichte	291
6.2.2 Die Vielfalt der Ethernet Protokolle	291
6.2.3 Identifizierung des Ethernet-Interfaces	294
6.2.4 Protokolle und Varianten	294
6.3 Internet Protokoll (IP)	298
6.3.1 Internet Protokoll Version 4 (IPv4)	298
6.3.2 IPv4 Header	300
6.3.3 Internet Protokoll Suite	302
6.3.4 Internet Protokoll Version 6	303
6.3.5 IPv6-Header	305
6.3.6 Umstellen von IPv4 auf IPv6	306
6.4 Transmission Control Protocol (TCP)	310
6.4.1 Protokolleigenschaften	310
6.4.2 TCP Flusssteuerung	312
6.5 User Datagram Protocol	314
6.6 RTP, RTCP und RTSP	315
6.7 DOCSIS Protokoll	316
6.7.1 Downstream-Teilschicht	316
6.7.2 Media Access Control	318
6.8 ATM Protokoll	320
6.9 ADSL- und VDSL Protokoll	322
6.10 SLIP und PPP Protokolle	323
7 DOCSIS	327
7.1. Einführung	327
7.1.1 DOCSIS eine Initiative der CableLabs	327
7.1.2 Die DOCSIS-Versionen	327
7.1.3 DOCSIS 1.0	329
7.1.4 DOCSIS 1.1	330
7.1.5 DOCSIS 2.0	330
7.1.6 DOCSIS 3.0	334
7.2 DOCSIS Spezifikationen (Auszug)	335
7.2.1 DOCSIS Downstream Spezifikationen physischer Layer	335
7.2.2 DOCSIS Upstream Spezifikationen physischer Layer	336
7.2.3 Übersicht DOCSIS Modulationsarten und Symbolraten	337
7.3 Der CMTS im Zentrum	339

7.3.1 DOCSIS-Referenzschema	339
7.3.2 Einbindung des CMTS im Hub	340
7.3.3 Übersicht DOCSIS im HFC-Netz	341
7.3.4 Aufbau und Varianten des CMTS	343
7.4 Verbindung zwischen Modem und CMTS	345
7.4.1 Übersicht	345
7.4.2 Erstmalige Anmeldung eines Modems beim CMTS	348
7.4.3 Ranging	354
7.4.4 Einstellen der Sendeleistung am Kabelmodem	356
7.4.5 Contention Resolution	358
7.4.6 Aufbauen des IP-Layers	359
7.4.7 Registrierung	359
7.4.8 Data Link Encryption	359
7.4.9 Station-Maintenance	360
7.5 DOCSIS im Detail	360
7.5.1 Quality of Service	360
7.5.2 Class of Service)	362
7.5.3 Zugriffsverfahren im Downstream	363
7.5.4 Zugriffsverfahren im Rückweg	363
7.5.5 Datenstromstruktur im Downstream	365
7.5.6 Datenstromstruktur im Upstream	366
7.5.7 Forward Error Correction	369
7.5.8 Interleaving	370
7.5.9 Scrambling	371
7.5.10 MAC Layer Fragmentation	372
7.5.11 MAC Layer Concatenation	372
7.5.12 Payload Header Suppression	372
7.5.13 Upstream DOCSIS 1.x und 2.0 im Vergleich	373
7.6 Konfiguration	374
7.6.1 Grenzen des Datendurchsatzes	374
7.6.2 Versorgung mit Contention Slots	375
7.7 Gestörte DOCSIS-Übertragung	376
7.7.1 Störabstand	376
7.7.2 Zielkriterien für den logischen Layer	377
7.7.3 Pegelfehler im Vorwärtsweg	378
7.7.4 Pegelfehler im Rückweg	379
7.7.5 Schlechter Geräuschabstand im Vorwärtsweg	379
7.7.6 Schlechter Geräuschabstand im Rückweg	379
7.7.7 Headend Zusammenschaltung	381
7.7.8 Zu viele Nodes auf einem Upstream Port	381
7.7.9 Zu viele Kabelmodems an einem Upstream Port	382
7.7.10 Mikroreflexionen	382
7.7.11 Gruppenlaufzeit	382
7.8 Auswertungen aus CMTS und Kabelmodem	382

7.8.1 Rauschabstand.....	383
7.8.2 Ermittlung der Codeword Error Rate	386
7.8.3 Flap-List	387
8 Digital Subscriber Line.....	393
8.1 Überblick	393
8.2 xDSL-Teilnehmeranschluss.....	394
8.3 Teilnehmeranschlussleitung.....	396
8.3.1 Aufbau.....	396
8.3.2 Nebensprechen	397
8.4 ADSL- und VDSL- Varianten	397
8.5 Frequenzbereiche und Modulationsverfahren.....	399
8.5.1 Frequenzbelegung	399
8.5.2 Modulation	401
8.6 Verbindung zwischen DSLAM und Modem	403
8.6.1 Verbindungsübersicht zwischen DSLAM und Modem.....	403
8.6.2 Betriebsarten der ADSL-Strecke.....	404
8.6.3 Subsystem Overhead am Beispiel ADSL.....	408
8.6.4 Kanalcodierung	409
8.6.5 Einstellung der Datenraten bei der Übertragung	409
8.6.6 Zyklisches Präfix.....	410
8.6.7 Dynamisches Spektrum-Management auf der Leitung	411
8.7 Verbindungsaufbau.....	411
8.8 Digital Subscriber Line Access Multiplexer.....	412
8.9 Broadband Remote Access Server.....	413
8.10 Verkapselung zwischen B-RAS und PC.....	414
9 Telefonie.....	417
9.1 Verkehrstheorie	417
9.1.1 Definitionen.....	417
9.1.2 Verkehrsmodelle:.....	419
9.2 Analoge Telefonie	420
9.2.1 Analoger Telefonapparat.....	420
9.2.2 Telefonvermittlung.....	421
9.3 Digitale Telefonie.....	421
9.3.1 Einführung.....	421
9.3.2 Codec	421
9.3.3 ISDN	424
9.3.4 VoIP	426
9.3.5 Verkapselung.....	430
9.3.6 Sprachqualität.....	431
9.4 Qualität	433
9.4.1 Aspekte der Qualität.....	433
9.4.2 Verfügbarkeit	434

9.4.3 Qualitätskriterien	436
9.4.4 Qualitätsmessung	439
10 Netzwerktechnik.....	443
10.1 Einführung	443
10.2 Netzwerkelemente	445
10.2.1 Repeater.....	445
10.2.2 Hub	445
10.2.3 Medienkonverter	446
10.2.4 Bridge	446
10.2.5 Switch.....	447
10.2.6 Router	449
10.2.7 Gateway.....	451
10.3 Mitwirken der Protokolle bei der Verkehrsflusssteuerung	451
10.3.1 Einführung.....	451
10.3.2 IP	452
10.3.3 TCP	453
10.4 Traffic Management	454
10.4.1 Quality of Service.....	454
10.4.2 Beförderungsmechanismen	456
10.4.3 Werkzeuge und Methoden für das Traffic Management	457
10.5 Congestion (Datenstau).....	469
10.5.1 Ursachen für den Datenstau.....	469
10.5.2 Congestion Management (Stauregulierung).....	469
10.5.3 Congestion Avoidance (Stauvermeidung).....	470
10.5.4 Link Effizienz steigern	472
10.6 Queuing und Scheduling.....	473
10.7 Bandwidth Reservation.....	474
10.8 Bandwidth Throttling.....	475
10.9 Tunneling.....	475
10.10 Firewall.....	476
10.11 Network Address Translation	476
10.12 Demilitarized Zone	478
10.13 Traversal durch NATs und Firewalls.....	478
Sachverzeichnis.....	481