
Digitale Fernseh- und Hörfunktechnik in Theorie und Praxis

Walter Fischer

Digitale Fernseh- und Hörfunktechnik in Theorie und Praxis

MPEG-Quellcodierung und Multiplexbildung, analoge und digitale Hörfunk- und Fernsehstandards, DVB, DAB/DAB+, ATSC, ISDB-T, DTMB, terrestrische, kabelgebundene und Satelliten-Übertragungstechnik, Messtechnik

4., aktualisierte Auflage

Walter Fischer
München, Deutschland

Walter Fischer Moosburg, München, Deutschland E-Mail: Walter.Fischer@rohde-schwarz.com“

ISBN 978-3-642-53895-7 ISBN 978-3-642-53896-4 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-642-53896-4

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Springer Vieweg

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2006, 2009, 2010, 2016

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften. Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen.

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer Berlin Heidelberg ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media
(www.springer.com)

Vorwort zur vierten deutschen Auflage

Seit der letzten deutschen Auflage dieses Buches ist nun auch bereits wieder ein halbes Jahrzehnt vergangen, der Abstand zur ersten Auflage beträgt etwa 10 Jahre. In beiden Zeiträumen ist technisch sehr viel Innovatives geleistet worden. Die hierbei bedeutendste Neuerung war wohl die Erfindung des Smart Phones und des Tablet PCs. Beide Produkte haben die Welt ganz allgemein verändert, aber speziell auch die des Rundfunks. Es werden über beide Medien nun auch Filme, TV- und Hörfunkprogramme per „Streaming“ konsumiert. Es ist dadurch auch speziell bei der jüngeren Generation ein verändertes Rundfunknutzer-Verhalten festzustellen.

Die aktuelle Version des Buches ist überarbeitet und erweitert und entspricht wieder dem Stand der Technik. Praktische Erkenntnisse aus der Einführungsphase von DVB-T2 sind eingearbeitet, neue Standards und Verfahren wie 3DTV, HEVC/H.265/High Efficiency Video Coding, UHD TV Ultra High Definition Television, 4K, DOCSIS 3.1 werden besprochen. Der Hörfunk wird sowohl in digitaler Form wie auch in analoger Form als UKW-FM-System ausführlich beschrieben.

War mit dem Erscheinen der ersten Auflage analoges Fernsehen noch Gegenwart, waren hierbei auch zu fast 100% noch TV-Bildröhrengeräte zu Hause in den Wohnzimmern zu finden, so sind wir mit der vierten Auflage im Zeitalter der Flachbildschirme und des hochauflösenden Fernsehens bereits ein paar Jahre angekommen.

Dieses Werk, erschienen in Englisch und Deutsch, sowie teilweise auch in spanischer und ungarischer Übersetzung, hat viele Leser auf allen Kontinenten der Erde gefunden; zahlreiche Rückmeldungen bestätigen dies.

Viele meiner Seminarteilnehmer bei unzähligen Seminaren auf allen Erdteilen haben auch gerne auf dieses Buch ergänzend zurückgegriffen. Umgekehrt ist auch in die vierte deutsche Auflage wieder vieles aus meinen Seminarreisen, Vorträgen, aus der Vorlesung an der Hochschule München, aus diversen Feldversuchen und vielen Labormessungen in das vorliegende Werk mit eingeflossen.

Ich möchte mich hiermit bei allen bedanken, die zum Gelingen dieses Buches beigetragen haben, sei es direkt bei der Erstellung oder durch Anregungen und Rückmeldungen. Speziell bedanken möchte ich mich bei meinen Kollegen von Rohde&Schwarz und beim Springer Verlag. Beson-

ders viel habe ich von den vielen intensiven Kontakten zu Rundfunknetzbetreibern auf allen Kontinenten dieser Erde gelernt, von denen ich wiederum die meisten Kontakte zur mir örtlich am nächsten gelegenen Rundfunkanstalt hatte, nämlich dem Bayerischen Rundfunk, den ich hiermit besonders erwähnen möchte; nicht alle aber fast alle Senderstandorte des BR habe ich bisher besuchen können und bin v.a. in der Sendestation Wendelstein des BR oft ein- und ausgegangen. Deswegen ist auch das Titelbild dieses Buches wieder dieser Station gewidmet.

Gerade rechtzeitig mit der Einführung von DVB-T2, bzw. mit der Umstellung von DVB-T der ersten Generation mit MPEG-2-Videocodierung auf DVB-T2 mit High Efficiency Video Coding wird den Rundfunktechnikern in Deutschland die neue Technik erläutert.

Dipl.Ing.(FH) Walter Fischer
Moosburg an der Isar, bei München, im August 2015

Vorwort

Die Welt der Rundfunk- und Fernsehtechnik hat mich schon recht früh fasziniert und seit meiner Diplomarbeit zum Thema "Prüfzeilenerzeugung" an der Fachhochschule München im Jahre 1983 bei Prof. Rudolf Mäusl nicht mehr losgelassen. Im Rahmen dieser Diplomarbeit entstanden Verbindungen zur Fa. Rohde&Schwarz, die mein späterer Arbeitgeber werden sollte. Bis 1999 war ich dort als Entwicklungsingenieur immer im Bereich Videomesstechnik, aber dort in verschiedenen Produkt- und Tätigkeitsfeldern tätig. Analoge Videomesstechnik, v.a. Prüfzeilenmesstechnik begleitete mich über lange Jahre. Ab Mitte der 90er Jahre wurde dann Digital Video Broadcasting (DVB) immer mehr mein Hauptgebiet. Während meiner Entwicklertätigkeit war ich natürlich auch intensiv in das Gebiet der Firm- und Softwareentwicklung eingebunden. Intensive Auseinandersetzung mit der Programmiersprache C und C++ führten mich in den Bereich von Softwareschulungen, die ich seit Anfang der 90er Jahre firmenintern verstärkt durchführte. Ich weiß nicht mehr wie viele Seminare und Seminarteilnehmer mir die Freude an dieser Art "Arbeit" vermittelt hatten. Jedenfalls entstand während dieser etwa 40 Seminare die Liebe zum Training, das ich dann im Jahre 1999 zum Hauptberuf wählte. Seit März 1999 bin ich im Trainingszentrum von Rohde&Schwarz als Trainer im Bereich Rundfunk- und Fernsehtechnik mit Hauptgebiet Digital Video Broadcasting (DVB) tätig. Seit dieser Zeit habe ich weltweit viele Hunderttausende von Flugkilometern zurückgelegt, um das neue Gebiet "Digitales Fernsehen" mit dem Praxisschwerpunkt Messtechnik zu lehren. Ich war unterwegs zwischen Stockholm und Sydney.

Wichtige Impulse entstanden während dieser bis heute 9 Australienreisen. Ich habe große praktische Erfahrung während meiner Seminare in "Down Under" gesammelt und ich weiß nicht, ob dieses Buch zustande gekommen wäre, wenn ich nicht all diese praktischen Erfahrungen dort gemacht hätte. Besonderer Dank gebührt meinem australischen Kollegen von Rohde&Schwarz Australien Simon Haynes, der mich intensivst unterstützt hat. Wir haben oft über die Publizierung der Seminarinhalte gesprochen. Den Aufwand hatte ich jedoch unterschätzt. Die ursprünglichen Seminarunterlagen waren nur geringfügig direkt für das Buch geeignet. Praktisch alle Texte entstanden komplett neu. Es entstand die erste engli-

sche Auflage meines Buches „Digital Television – A practical Guide for Engineers“. Die Leserschaft, die ich ansprechen will, sind Leute, die mit dem neuen Thema "Digitales Fernsehen, " bzw. „Digitale Rundfunktechnik“ in der Praxis zu tun haben. Dies ist ein Buch für Techniker und Ingenieure, die sich in dieses Gebiet einarbeiten wollen. Ich habe so wenig wie möglich mathematischen Ballast eingebaut, obwohl mich selber das Gebiet der Mathematik immer sehr interessiert und fasziniert hat. Aber wo es nicht notwendig ist, da soll und muss es auch nicht sein.

Herzlichen Dank an Professor Rudolf Mäusl. Er hat mir die Welt der Fernsehtechnik nahegebracht hat wie kein anderer. Seine Vorlesungen an der Fachhochschule und seine Art der Wissensvermittlung waren mir immer ein Vorbild und haben auch die Art und Weise dieses Buches hoffentlich positiv beeinflusst. Seine vielen Veröffentlichungen und Bücher sind als Literatur nur zu empfehlen. Der Kontakt zu ihm ist nie abgerissen. Vielen Dank für die vielen Gespräche und Anregungen.

Herzlichen Dank auch an den Springer Verlag, Hr. Dr. Merkle und Frau Jantzen, für die tatkräftige Unterstützung und die Möglichkeit beim Springer Verlag dieses Buch herausgeben zu können.

Und vielen Dank für die Unterstützung weltweit von Schweden, Grönland, Australien, Türkei, Dänemark, Frankreich, Deutschland, Österreich, Schweiz, USA, Kanada, UK, Neuseeland, Russland, Lettland, Italien, Spanien, Portugal, Niederlande, Belgien, Luxemburg, Singapur und all die anderen Länder in denen ich war oder aus denen Seminarteilnehmer nach München oder an einen der vielen Seminarorte weltweit kamen, um mit mir das komplexe Thema Digitales Fernsehen bzw. Digitaler Rundfunk zu erfahren.

Es waren nun bisher an die 600 Seminartage weltweit zum Thema analoges und digitales Fernsehen, sowie Digital Audio Broadcasting mit mehr als 2500 Teilnehmern aus der ganzen Welt. Die internationalen Seminare waren und sind eine reiche persönliche Erfahrung. Ich blicke mit großem Dank auf die vielen geknüpften Kontakte, die teils per Email immer noch bestehen.

Die englische Auflage dieses Buches ist Anfang 2004 erschienen. Im Vergleich zur englischen sind in dieser deutschen Version aber nun auch schon einige neue Kapitel und Ergänzungen, sowie auch der verwandte Bereich „Digital Audio Braodcasting – DAB“ enthalten. Außerdem gab es einige Erweiterungen in den Standards, neue Standards, aber auch neue Erkenntnisse für mich.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung.....	1
2 Analoges Fernsehen	11
2.1 Abtastung einer Schwarz-Weiß-Bildvorlage	14
2.2 Horizontal- und Vertikal-Synchronimpuls	16
2.3 Hinzunehmen der Farbinformation.....	18
2.4 Übertragungsverfahren	21
2.5 Verzerrungen und Störungen	23
2.6 Signale in der Vertikalaustastlücke	25
2.7 Messungen an analogen Videosignalen.....	29
3 MPEG	37
3.1 MPEG-Standards und deren Anwendung.....	37
3.2 MPEG-2-Transportstrom.....	43
3.3 Der Packetized Elementary Stream (PES).....	45
3.4 Das MPEG-2-Transportstrompaket	49
3.5 Informationen für den Empfänger	53
3.5.1 Synchronisierung auf den Transportstrom.....	54
3.5.2 Auslesen der aktuellen Programmstruktur.....	55
3.5.3 Der Zugriff auf ein Programm.....	57
3.5.4 Zugriff auf verschlüsselte Programme	58
3.5.5 Programmsynchronisation (PCR, DTS, PTS)	61
3.5.6 Zusatz-Informationen im Transportstrom (PSI / SI / PSIP)	64
3.5.7 Nicht-private und private Sections und Tabellen	64
3.5.8 Die Service Information gemäß DVB (SI)	74
3.6 PSIP gemäß ATSC	88
3.7 ARIB-Tabellen gemäss ISDB-T	90
3.8 DTMB-Tabellen (China)	92
3.9 Weitere wichtige Details des MPEG-2 Transportstromes	93
3.9.1 Die Transport Priority.....	93
3.9.2 Die Transport Scrambling Control Bits.....	93
3.9.3 Die Adaptation Field Control Bits.....	94

3.9.4 Der Continuity Counter	94
4 Digitales Videosignal gemäss ITU-BT.R601 (CCIR601).....	97
5 Videosignalfomate für HDTV und UHDTV	103
5.1 Bildformate.....	104
5.2 Unkomprimiertes HDTV-Basisbandsignal.....	106
5.3 Physikalische Videoschnittstellensignale bis hin zu UHDTV.....	109
6 Transformationen vom Zeitbereich in den Frequenzbereich und zurück	113
6.1 Die Fouriertransformation	114
6.2 Die Diskrete Fouriertransformation (DFT).....	117
6.3 Die Fast Fouriertransformation (FFT).....	119
6.4 Praktische Realisierung und Anwendung der DFT und FFT.....	120
6.5 Die Diskrete Cosinustransformation (DCT).....	121
6.6 Signale im Zeitbereich und deren Transformierte im Frequenzbereich.....	124
6.7 Systemfehler der DFT bzw. FFT und deren Vermeidung	127
6.8 Fensterfunktionen	130
7 Videocodierung (MPEG-2, MPEG-4/AVC, HEVC).....	133
7.1 Videokomprimierung.....	133
7.1.1 Zurücknahme der der Quantisierung von 10 auf 8 Bit	137
7.1.2 Weglassen der H- und V-Lücke	137
7.1.3 Reduktion der Farbauflösung auch in vertikaler Richtung (4:2:0).....	139
7.1.4 Weitere Schritte zur Datenreduktion	140
7.1.5 Differenz-Plus-Code-Modulation von Bewegtbildern	140
7.1.6 Diskrete Cosinustransformation mit nachfolgender Quantisierung	147
7.1.7 Zig-Zag-Scan und Lauflängencodierung von Null-Sequenzen	154
7.1.8 Huffmann-Codierung	155
7.2 Zusammenfassung	155
7.3 Aufbau des Videoelementarstroms.....	158
7.4 Von MPEG-2 nach MPEG-4	161
7.5 MPEG-4 Advanced Video Coding	161
7.6 HEVC, High Efficiency Video Coding, UHDTV	170
7.6.1. Bildformate.....	171
7.6.2. Videocodierungsverfahren.....	172
7.6.3. Einordnung von H.265 in die MPEG-Welt	172

7.6.4. Schritte der Videocodierung bei H.265	174
7.6.5. HEVC im Detail	177
7.6.6. Zusammenfassung, Ausblick und Entwicklung bis hin zu UHDTV	185
8 Audiocodierung.....	187
8.1 Das digitale Audioquellensignal.....	188
8.2 Geschichte der Audiokomprimierung.....	189
8.3 Das psychoakustische Modell des menschlichen Ohres.....	191
8.4 Grundprinzip der Audiocodierung.....	195
8.5 Teilbandcodierung bei MPEG Layer I, II.....	198
8.6 Transformationscodierung bei MPEG Layer III und Dolby Digital...	200
8.7 Mehrkanalton.....	202
8.8 Neue Entwicklungen – MPEG-4	203
9 Programmbegleitende Daten	207
9.1 Videotext und Untertitel	208
9.2 Video Program System (VPS).....	211
9.3 WSS – Wide Screen Signalling	215
9.4 Praktische Beispiele.....	216
9.5 Weitere programmbegleitende Daten	218
10 Physikalische AV-Schnittstellen-Signale	221
10.1 Physikalische Schnittstellen für digitale Videosignale.....	223
10.2 "CCIR601" Parallel und Seriell.....	225
10.3 Synchrone, parallele Transportstromschnittstelle (TS PARALLEL)	226
10.4 Asynchrone serielle Transportstromschnittstelle (TS- ASI).....	228
10.5 SMPTE310-Schnittstelle	229
10.6 ISDB-T BCMUX.....	229
10.7 DVI-Schnittstelle	229
10.8 HD-SDI-Schnittstelle.....	231
10.9 DVB-IP-Schnittstelle.....	231
10.10 SDI over IP, AVB.....	231
10.11 HDMI – High Definition Multimedia Interface	232
10.11.1 HDMI - Entwicklung und Versionen	233
10.11.2 Mechanische Ausführung.....	234
10.11.3 HDMI-Schnittstellenfunktionen	236
10.11.4 HDMI-Schnittstellensignalfomate.....	237
10.11.5 HDMI-Messtechnik	240
10.11.6 HDMI - Zusammenfassung und Ausblick.....	240

11 Messungen am MPEG-2-Transportstrom	245
11.1 Verlust der Synchronisation (TS-Sync-Loss).....	246
11.2 Fehlerhafte Sync-Bytes (Sync_Byte_Error).....	248
11.3 Fehlende oder fehlerhafte Program Association Table (PAT) (PAT_Error).....	249
11.4 Fehlende oder fehlerhafte Program Map Table (PMT) (PMT_Error).....	249
11.5 Der PID_Error.....	250
11.6 Der Continuity_Count_Error.....	252
11.7 Der Transport_Error.....	253
11.8 Der Cyclic Redundancy Check-Fehler.....	254
11.9 Fehler der Program Clock Reference (PCR_Error, PCR_accuracy).....	255
11.10 Der Presentation Time Stamp Fehler (PTS_Error).....	256
11.11 Fehlende oder fehlerhafte Conditional Access Table (CAT_Error).....	257
11.12 Fehlerhafte Wiederholrate der Service Informationen (SI_Repetition_Error).....	258
11.13 Überwachung der Tabellen NIT, SDT, EIT, RST und TDT/TOT.....	259
11.14 Nicht referenzierte PID (unreferenced_PID).....	260
11.15 SI_other_Error.....	261
11.16 Fehlerhafte Tabellen NIT_other, SDT_other_Error, EIT_other_Error.....	262
11.17 Überwachung eines ATSC-konformen MPEG-2-Transportstroms.....	262
12 Bildqualitätsanalyse an digitalen TV-Signalen	265
12.1 Methoden zur Bildqualitätsmessung.....	268
12.1.1 Subjektive Bildqualitätsanalyse.....	269
12.1.2 Double Stimulus Continual Quality Scale Method DSCQS.....	269
12.1.3 Single Stimulus Continual Quality Scale Method SSCQE.....	269
12.2 Objektive Bildqualitätsanalyse.....	270
12.3 Zusammenfassung und Ausblick.....	276
13 Grundlagen der Digitalen Modulation	279
13.1 Einführung.....	279
13.2 Mischer.....	281
13.3 Amplitudenmodulation.....	283
13.4 IQ-Modulator.....	285
13.5 Der IQ-Demodulator.....	293
13.6 Anwendung der Hilbert-Transformation bei der IQ-Modulation.....	298

13.7 Praktische Anwendungen der Hilbert-Transformation.....	301
13.8 Kanalcodierung/Fehlerschutz	302
13.9 Analoge Modulationsverfahren im Vergleich	307
13.9.1 Amplitudenmodulation.....	308
13.9.2 Varianten der Amplitudenmodulation	311
13.9.3 Frequenzmodulation	312
13.9.4 Phasenmodulation.....	316
13.10 Bandbegrenzung modulierter Trägersignale.....	317
13.11 Zusammenfassung	320
14 Digitale TV-Übertragung über Satellit - DVB-S/S2/S2X	321
14.1 Die DVB-S-Systemparameter	324
14.2 Der DVB-S-Modulator	327
14.3 Faltungscodierung	331
14.4 Signalverarbeitung im Satelliten.....	337
14.5 Der DVB-S-Empfänger	338
14.6 Einflüsse auf der Satellitenübertragungsstrecke	342
14.7 DVB-S2	345
14.8 DVB-S2X – Erweiterungen im DVB-S2-Standard	353
15 DVB-S/S2 - Messtechnik	359
15.1 Einführung.....	359
15.2 Messung der Bitfehlerverhältnisse	360
15.3 Messungen an DVB-S/S2-Signalen mit einem Spektrumanalyzer	362
15.3.1 Näherungsweise Ermittlung der Rauschleistung N	364
15.3.2 CNR, SNR und E_b/N_0	366
15.3.3 Ermittlung des E_b/N_0	366
15.4 Modulation Error Ratio (MER)	369
15.5 Messung des Schulterabstands	369
15.6 DVB-S-Empfänger-Test.....	370
15.7 Messungen an der Satellitenempfangsanlage	371
16 Digitale TV-Übertragung über Breitbandkabel gemäß DVB-C...375	
16.1 Der DVB-C-Standard	378
16.2 Der DVB-C-Modulator.....	380
16.3 Der DVB-C-Empfänger.....	381
16.4 Störeinflüsse auf der DVB-C-Übertragungsstrecke	383
17 Digitale TV-Übertragung über Breitbandkabel nach ITU-T J83B (USA).....	387
17.1 J83B-Übertragungsparameter	389

17.2 J83B-Basisband-Eingangssignale.....	390
17.3 Forward Error Correction	390
17.4 Berechnung der Nettodatenrate	392
17.5 Rolloff-Filterung.....	393
17.6 Fall-off-the-Cliff.....	393
18 Messungen an digitalen TV-Signalen im Breitbandkabel.....	395
18.1 DVB-C/J83A, B, C-Messem Empfänger mit Konstellationsanalyse	396
18.2 Erfassung von Störeinflüssen mit Hilfe der Konstellationsanalyse	400
18.2.1 Additives weißes gauß'sches Rauschen (AWGN)	400
18.2.2 Phasenjitter	403
18.2.3 Sinusförmiger Interferenzstörer.....	404
18.2.4 Einflüsse des IQ-Modulators.....	405
18.2.5 Modulation Error Ratio (MER) - Modulationsfehler	407
18.2.6 Error Vector Magnitude (EVM).....	409
18.3 Messung der Bitfehlerverhältnisse (BER).....	409
18.4 Messungen mit einem Spektrumanalyzer	410
18.5 Messung des Schulterabstandes.....	413
18.6 Messung der Welligkeit im Kanal bzw. Kanalschräglage.....	413
18.7 DVB-C/J83ABC-Empfänger-Test.....	413
19 Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex (COFDM)	417
19.1 Warum Mehrträgereverfahren?	419
19.2 Was ist COFDM?	422
19.3 Erzeugung der COFDM-Symbole	428
19.4 Zusatzsignale im COFDM-Spektrum	437
19.5 Hierarchische Modulation	441
19.6 Zusammenfassung	442
20 Die terrestrische Übertragung von digitalen TV-Signalen über DVB-T	445
20.1 Der DVB-T-Standard.....	448
20.2 Die DVB-T-Träger	449
20.3 Hierarchische Modulation	455
20.4 DVB-T-Systemparameter des 8/7/6-MHz-Kanals.....	457
20.5 DVB-T-Modulator und Sender.....	467
20.6 Der DVB-T-Empfänger.....	470
20.7 Störeinflüsse auf der DVB-T-Übertragungstrecke.....	475
20.8 DVB-T-Gleichwellennetze (SFN).....	484
20.9 Mindestens notwendiger Empfängereingangspegel bei DVB-T	492

21 Messungen an DVB-T-Signalen.....	499
21.1 Messung der Bitfehlerverhältnisse	501
21.2 Messungen an DVB-T-Signalen mit einem Spektrumanalyzer ..	503
21.3 Konstellationsanalyse an DVB-T-Signalen	507
21.3.1 Weißes Rauschen (AWGN = Additive White Gaussian Noise)	507
21.3.2 Phasenjitter	508
21.3.3 Interferenzstörer	509
21.3.4 Echos, Mehrwegeempfang	509
21.3.5 Dopplereffekt.....	509
21.3.6 IQ-Fehler des Modulators.....	509
21.3.7 Ursache und Auswirkung von IQ-Fehlern bei DVB-T.....	512
21.4 Messung des Crestfaktors	522
21.5 Messung des Amplituden-, Phasen- und Gruppenlaufzeitganges.....	523
21.6 Messung der Impulsantwort	524
21.7 Messung des Schulterabstandes.....	524
22 DVB-H/DVB-SH – Digital Video Broadcasting for Handhelds....	531
22.1 Einführung.....	531
22.2 Konvergenz zwischen Mobilfunk und Broadcast	532
22.3 DVB-H – die wesentlichen Parameter.....	534
22.4 DSM-CC Sections	535
22.5 Multiprotocol Encapsulation (MPE).....	536
22.6 DVB-H – Standard	537
22.7 DVB-H - Zusammenfassung	541
22.8 DVB-SH	544
23 Digitales Terrestrisches Fernsehen gemäß ATSC (Nordamerika)	547
23.1 Der 8VSB-Modulator	552
23.2 8VSB-Brutto- und Nettodatenrate	561
23.3 Der ATSC-Empfänger	562
23.4 Störeinflüsse auf der ATSC-Übertragungsstrecke.....	562
23.5 ATSC-M/H „Mobile DTV“	563
23.5.1 Kompatibilität zur bestehenden ATSC-Rahmenstruktur	564
23.5.2 MPEG-4-Video- und Audio-Streaming.....	566
23.5.3 ATSC-M/H-Multiplexer	567
23.5.4 ATSC-M/H-Modulator	570
23.5.5 Bildung von Gleichwellennetzen.....	571
23.6 Closed Captioning	573
23.7 Aktueller Stand ATSC.....	574

24 ATSC/8VSB-Messtechnik	577
24.1 Messung der Bitfehlerverhältnisse	578
24.2 8VSB-Messungen mit Hilfe eines Spektrumanalysators	579
24.3 Konstellationsanalyse an 8VSB-Signalen	580
24.4 Ermittlung des Amplituden- und Gruppenlaufzeitganges	582
24.5. Weitere Messungen	585
25 Digitales Terrestrisches Fernsehen gemäß ISDB-T (Japan).....	587
25.1 Layer-Bildung.....	590
25.2 Basisbandcodierung.....	592
25.3 Änderungen in der Transportstromstruktur	592
25.4 Blockschaltbild	594
25.5 Kanaltabellen	595
25.6 Leistungsfähigkeit von ISDB-T.....	595
25.7 Weitere ISDB-Standards	597
25.8 ISDB-T-Messtechnik.....	598
25.9 Zusammenfassung	599
26 Digital Audio Broadcasting – DAB/DAB+.....	601
26.1 Vergleich DAB und DVB.....	602
26.2 DAB im Überblick.....	606
26.3 Der physikalische Layer von DAB.....	612
26.4 DAB – Forward Error Correction – FEC.....	624
26.5 DAB-Modulator und Sender.....	630
26.6 DAB-Datenstruktur	633
26.7 DAB-Gleichwellennetze.....	639
26.8 DAB Data Broadcasting	640
26.9 DAB+	642
26.10 DAB-Messtechnik	643
26.10.1 Test von DAB-Empfängern.....	643
26.10.2 Messungen am DAB-Signal	644
27 DVB-Datendienste in „Object Carousels“	647
27.1 Data Broadcasting bei DVB	648
27.2 Object Carousels.....	649
27.3 MHP = Multimedia Home Platform	651
27.4 System Software Update – SSU	653
28 T-DMB	655
29 IPTV – Fernsehen über Internet-Protokoll.....	657
29.1 DVB-IP	659

29.2 IP-Schnittstelle ersetzt TS-ASI.....	660
29.3 OTT – Over the Top TV.....	661
30 DRM – Digital Radio Mondiale.....	663
30.1 Audio-Quellencodierung.....	667
30.2 Fehlerschutz.....	667
30.3 Modulationsverfahren.....	668
30.4 Rahmenstruktur.....	669
30.5 Störeinflüsse auf der Übertragungsstrecke.....	670
30.6 DRM-Datenraten.....	671
30.7 DRM-Sendestationen und DRM-Receiver.....	672
30.8 DRM+.....	673
31 DVB-T-Gleichwellennetze in der Praxis.....	675
31.1 SFN-Messparameter.....	676
31.1.1 Schutzintervall-Verletzung.....	680
31.1.2 Vorecho.....	681
31.1.3 Das 0 dB-Echo.....	682
31.1.4 Quasi-Mobil-Empfangssituation.....	682
31.1.5 Abstrahlung unterschiedlicher TPS-Bits.....	683
31.1.6 Frequenzgenauigkeit der Sender.....	684
31.2 Praktische Beispiele.....	685
31.2.1 Vorechos.....	686
31.2.2 Die 0 dB-Echos.....	686
31.2.3 Quasi-Mobil-Kanal.....	687
31.2.4 TPS-Bits.....	687
31.2.5 DVB-T-Mobilempfang.....	688
31.3 Verhalten von DVB-T-Receiver.....	693
31.4 DVB-T-Empfängertest.....	694
31.4.1 Mindestempfängereingangsspegel im AWGN-Kanal.....	695
31.4.2 Minimales SNR.....	695
31.4.3 Nachbarkanalbelegung.....	696
31.4.4 Gleichkanalempfang.....	696
31.4.5 Mehrwegeempfang.....	696
31.4.6 Kanalsuche.....	696
31.4.7 Bootgeschwindigkeit und Bootverhalten.....	697
31.4.8 Programmwechsel.....	697
31.4.9 Videotext.....	697
31.4.10 VPS-Funktionalität.....	697
31.4.11. Dynamische PSI/SI-Tabellen.....	698
31.4.12 Firmwareausstattung.....	698
31.4.13 sonstiges.....	698

31.5 Netzplanung.....	698
31.6 Auffüllen von Versorgungslücken.....	699
31.7 Fall-off-the-Cliff.....	702
31.8 Zusammenfassung.....	703
32 Digital Terrestrial Multimedia Broadcasting - DTMB (China) ...	705
33 DOCSIS - Data over Cable Service Interface Specification.....	709
33.1 Downstream.....	709
33.2 Upstream.....	711
33.3 CMTS und Cable Modem.....	712
33.4 Entwicklung von DOCSIS.....	713
33.5 Datenströme – Kontinuierlich und im Zeitschlitzverfahren (TDMA).....	717
33.6 Modulation – Single Carrier und Multicarrier im Kabel.....	718
33.7 DOCSIS 3.1.....	720
33.8 Ausblick.....	732
34 Display-Technologien	735
34.1 Alte Wandlerysteme – die Nipkow-Scheibe.....	737
34.2 Bildröhre.....	739
34.3 Der Plasma-Bildschirm.....	742
34.4 Der Flüssigkristall-Bildschirm.....	744
34.5 Bewegungspiegel-Systeme.....	746
34.6 Organische Leuchtdioden.....	746
34.7 Auswirkungen auf die Bild-Wiedergabe.....	746
34.8 Kompensationsmaßnahmen.....	748
34.9 Messtechnik.....	749
34.10 Stand der Technik.....	751
35 Neue Generation von DVB-Standards (DVB-x2).....	753
35.1 Übersicht über die DVB-Standards.....	754
35.2 Eigenschaften der alten und neuen DVB-Standards.....	755
35.3 Möglichkeiten und Ziele der neuen DVB-Standards.....	757
36 Basisbandsignale für DVB-x2.....	759
36.1 Eingangssignalfomate.....	759
36.1.1 MPEG-2-Transportströme – TS.....	760
36.1.2 Generic Fixed Packetized Streams – GFPS.....	760
36.1.3 Generic Continuous Streams – GCS.....	761
36.1.4 Generic Encapsulated Streams – GSE.....	762

36.2 Signalverarbeitung- und Aufbereitung im Modulator-Eingangsteil	762
36.2.1 Single Input Stream	763
36.2.2 Multiple Input Streams	766
36.3 Standardspezifische Besonderheiten	769
36.3.1 DVB-S2	769
36.3.2 DVB-T2	770
36.3.3 DVB-C2	777
36.3.4 DVB-S2X	777
37 DVB-T2	779
37.1 Einführung	779
37.2 Theoretische maximale Kanalkapazität	780
37.3 DVB-T2 - Übersicht	782
37.4 Basisband-Interface	782
37.5 Fehlerschutz	784
37.6 COFDM-Parameter	788
37.6.1 Normal Carrier Mode	790
37.6.2 Extended Carrier Mode	792
37.7 Modulationsverfahren	794
37.7.1 Normale Konstellationsdiagramme	794
37.7.2 Begriffsdefinition „Cell“ – Zelle	795
37.7.3 Gekippte Q-delayed Konstellationsdiagramme	796
37.8 Rahmenstruktur	798
37.8.1 P1-Symbol	801
37.8.2 P2-Symbole	802
37.8.3 Symbol, Frame, Superframe	804
37.9 Blockdiagramm	804
37.10 Interleaver	805
37.10.1 Interleaver-Arten	806
37.10.2 DVB-T2-Time Interleaver-Konfiguration	807
37.11 Pilote	810
37.12 Sub-Slicing	813
37.13 Time-Frequency-Slicing (TFS)	813
37.14 PAPR Reduction	814
37.15 Mehrantennensysteme SISO/MISO	816
37.15.1 MISO nach Alamouti	817
37.15.2 Modified Alamouti bei DVB-T2	819
37.16 Future Extension Frames	821
37.17 Auxilliary Data Streams	821
37.18 DVB-T2-MI	822
37.19 SFN's in DVB-T2	822

37.20 Senderkennung in DVB-T2	823
37.21 Leistungsfähigkeit	824
37.22 T2-Lite	824
37.23 Ausblick	825
38 DVB-C2.....	827
38.1 Einführung	827
38.2 Theoretische maximale Kanalkapazität	829
38.3 DVB-C2 – Übersicht	830
38.4 Basisband-Interface	831
38.5 Fehlerschutz.....	831
38.6 COFDM-Parameter	832
38.7 Modulationsverfahren.....	834
38.8 Definition einer Zelle (Cell)	835
38.9 Interleaver.....	836
38.10 Variable Coding and Modulation (VCM).....	837
38.11 Rahmenstruktur	837
38.12 Kanalbündelung und Slice-Bildung.....	837
38.13 Preamble-Symbole.....	839
38.14 Pilote bei DVB-C2.....	841
38.15 PAPR-Reduktion	843
38.16 Blockdiagram.....	844
38.17 Pegelverhältnisse im Breitbandkabel.....	844
38.18 Leistungsfähigkeit	844
38.19 Ausblick.....	845
39 DVB-T2-Messtechnik	847
39.1 Messung des HF-Pegels.....	848
39.2 Messung der Bitfehlerverhältnisse (BER)	850
39.3 Messung des Modulationsfehlerverhältnisses (MER)	851
39.4 Konstellationsanalyse an DVB-T2-Signalen.....	856
39.5 Messung des Schulterabstandes.....	858
39.6 Messung der Kanalimpulsantwort	859
39.7 Messung von Amplitudengang und Gruppenlaufzeit	860
39.8 Messung des Crest-Factors (PAPR)	861
39.9 Pre- und Post-Signalling-Daten	862
39.10 Praktische Erfahrungen und Messergebnisse	862
39.10.1 Single und Multiple PLP	864
39.10.2 Coderaten und Modulationsverfahren bei DVB-T2	865
39.10.3 Vergleich non-rotated und rotated Constellations	865
39.10.4 Time Interleaver Parameter und Data Symbols per Frame.....	866
39.10.5 DVB-T2-Gleichwellennetze.....	866

39.10.5 SISO/MISO bei DVB-T2	867
39.10.6 Mobiltauglichkeit von DVB-T2	868
39.11 Zusammenfassung	869
40 UKW-FM-Hörfunk.....	871
40.1 Kanalraster und Modulationsverfahren	872
40.2 Spektrum eines FM-modulierten Signals	875
40.3 Stereo-Multiplex-Signal	880
40.4 Radio-Daten-System (RDS)	883
40.5 Minimale Feldstärke und Nachbarkanal-Schutzabstände	886
40.6 Störeinflüsse auf der UKW-FM-Übertragungstrecke	887
40.7 Minimaler Empfängereingangspegel.....	888
40.8 Vergleich mit DAB/DAB+	893
40.9 Messungen an UKW-FM-Stereo-Signalen.....	894
40.9.1 Messung des HF-Pegels	895
40.9.2 „Einpegeln“	895
40.9.3 Messung des FM-Hubs und der Multiplex-Leistung.....	896
40.9.4 Messung des Störabstands.....	897
40.9.5 Frequenzgang linker und rechter Audiokanal.....	900
40.9.6 Messung des Stereo-Übersprechens	900
40.9.7 Messung des Klirrfaktors bzw. der THD.....	901
40.9.8 Stereo-Balance.....	902
40.9.9 Zweitonfaktor	903
40.9.10 MPX-Basisband-Frequenzgang.....	903
40.9.11 Asynchrone und synchrone AM.....	904
40.9.12 Messung von Außerbandanteilen	904
41 Weitere Übertragungsstandards	907
41.1 MediaFLO	907
41.2 IBOC – HD-Radio	908
41.3 FMextra	909
41.4 CMMB – Chinese Multimedia Mobile Broadcasting.....	909
42 Digitale Dividende.....	911
42.1 Anatomie der Mobilfunksignale	911
42.2 Terrestrische TV-Netze und Mobilfunk	912
42.3 Breitbandkabel-TV-Netze und Mobilfunk.....	913
42.3.1 Einfluss des Gleichkanal-Mobilfunks auf DVB-C-Empfang....	914
42.3.2 Einfluss des Gleichkanal-Mobilfunks auf analogen TV-	
Empfang	914

42.3.3 Einfluss des Gleichkanal-Mobilfunks auf weitere digitale BK-Dienste.....	915
42.4 Störfestigkeitsnorm für Ton- und Fernsehgrundfunkempfänger ..	915
42.5 Zusammenfassung	915
43 3DTV - Dreidimensionales Fernsehen	917
43.1 Wie funktioniert 3D aus anatomischer Sicht	917
43.2 Das 3D-Prinzip	919
43.3 Wiedergabe von 3D	920
43.4 Die 3DTV-Übertragung.....	923
43.5 Stand der Technik und Ausblick.....	925
44 Konvergenz von Rundfunk und Internet	927
44.1 Einleitung.....	927
44.2 Internet-Applikationen im Fernseh- und Hörfunkumfeld.....	928
44.3 HbbTV - Hybrid Broadcast Broadband TV.....	929
44.4 OTT – Over the Top TV.....	934
44.5 Zusammenfassung und Ausblick.....	934
45 Studio, Playout, Headend und Distributionsnetz.....	937
45.1 Playout	938
45.2 Headend	939
45.3 Distributionsnetz.....	941
45.4 Zusammenfassung	941
46 Terrestrische Rundfunksender und Sendestationen	943
46.1 Modulationssignalführung	944
46.2 Terrestrische Rundfunk-Sendestation.....	946
46.3 Steuersender, Modulator, Exciter	948
46.4 GPS-Zeit-/Frequenz-Normal	950
46.5 Sender-Leistungsverstärker	950
46.5.1 Transistortechnologie	954
46.5.2 Leistungsverstärkerklassen.....	958
46.5.3 Leistungskoppler und Leistungsteiler.....	963
46.5.4 Wellenleiter	969
46.6 Senderausgangsfiler.....	977
46.6.1 Oberwellenfilter.....	978
46.6.2 Maskenfilter.....	979
46.7 Antennenweiche	985
46.8 Antennenzuführung und Sendeantenne	986
47 Ausblick	995

Literaturverzeichnis 997

Abkürzungsverzeichnis 1007

Rundfunk-Kanaltabellen..... 1027

 Europa, Terrestrik und Kabel 1027

 Australien, Terrestrik 1030

 Nord-Amerika, Terrestrik 1031

 Nord-Amerika, Kabel 1033

Sachverzeichnis 1041