

# Inhalt

<b>12</b>	<b>Grundlagen der digitalen Tontechnik — 785</b>
12.1	Einführung — 785
12.2	Signale — 787
12.2.1	Kontinuierliche Signale — 787
12.2.1.1	Signaldarstellung — 788
12.2.1.2	Signalverarbeitung — 790
12.2.2	Diskrete Signale — 791
12.2.2.1	Abtastung — 791
12.2.2.2	Quantisierung — 795
12.2.2.3	Signalrekonstruktion — 800
12.3	Systemkomponenten der digitalen Signalverarbeitung — 801
12.3.1	Analog/Digital-Wandlung — 802
12.3.1.1	Successive-Approximation-Wandler — 802
12.3.1.2	Delta-Sigma-Wandler — 803
12.3.2	Digital-/Analog-Wandlung — 806
12.3.2.1	R-2R-Wandler — 806
12.3.2.2	Delta-Sigma-Wandler — 806
12.3.2.3	Bitstream-Systeme — 807
12.3.3	Digitale Signalverarbeitung — 808
12.3.3.1	Signalprozessoren — 809
12.3.3.2	Filter — 811
12.4	Digitale Signalübertragung — 812
12.4.1	Quellencodierung und Datenkompression — 813
12.4.2	Kanalcodierung und Fehlerbehandlung — 813
12.4.3	Übertragungsnetze — 814
12.5	Digitale Audioschnittstellen — 816
12.5.1	AES/EBU und SPDIF — 816
12.5.1.1	Entwicklung — 817
12.5.1.2	Datenformat — 818
12.5.1.3	Kanalcodierung — 821
12.5.1.4	Elektrische Eigenschaften und Steckverbinder — 822
12.5.2	Mehrkanal-Schnittstellen — 823
12.5.2.1	Dolby-E Interface — 823
12.5.2.2	MADI — 824
12.5.2.3	ADAT — 824
12.5.2.4	TDIF — 824
12.5.3	FireWire — 824

12.5.4	USB —	825
12.5.4.1	Entwicklung —	826
12.5.4.2	Topologie —	826
12.5.4.3	Datenübertragung —	826
12.5.4.4	Elektrische Eigenschaften und Steckverbinder —	828
12.5.4.5	Audioapplikationen —	828
12.5.5	Thunderbolt —	829
12.5.6	Drahtlose Übertragung —	830
12.5.6.1	Bluetooth —	830
12.5.6.2	WLAN —	830
12.5.6.3	Powerline —	831
12.5.6.4	DNLA und Airplay —	831
12.5.7	Videoschnittstellen —	831
12.5.7.1	SDI —	831
12.5.7.2	DVI —	832
12.5.7.3	HDMI —	832
12.6	Audio-Dateiformate —	833
12.6.1	WAV, WAVE —	833
12.6.2	BWF —	834
12.6.3	RF64, RIFF64 —	834
12.6.4	AES31 Dateitransfer-Format —	835
Standards —		835
Literatur —		836

<b>13</b>	<b>Audiocodierung —</b>	<b>837</b>
13.1	Einführung —	837
13.1.1	Verlustfreie Codierverfahren —	838
13.1.2	Verlustbehaftete Codierverfahren —	839
13.1.2.1	Wellenformcodierung —	839
13.1.2.2	Quellenorientierte Codierung —	839
13.1.2.3	Empfängerorientierte Codierung —	840
13.1.3	Standardisierung von Audiocodierverfahren —	840
13.1.3.1	Offene und proprietäre Standards —	840
13.1.3.2	Generationsentwicklung der MPEG-Audiostandards —	841
13.2	Grundprinzipien psychoakustisch basierter Codierverfahren —	842
13.2.1	Psychoakustische Grundlagen —	842
13.2.1.1	Frequenzabhängige Maskierung —	843
13.2.1.2	Zeitabhängige Maskierung —	846
13.2.1.3	Räumliche Schallwahrnehmung —	846
13.2.2	Bausteine psychoakustisch basierter Codierverfahren —	847
13.2.2.1	Filterbank —	847
13.2.2.2	Quantisierung und Codierung —	849
13.2.2.3	Psychoakustisches Modell —	850
13.2.2.4	Spektrale Bandbreitenerweiterung, SBR —	851

13.2.3	Codierung zwei- und mehrkanaliger Stereosignale —	852
13.2.3.1	Joint-Stereo Codierung —	852
13.2.3.2	Spatial Audio Codierung —	854
13.2.4	Lautheits- und Dynamiksteuerung —	856
13.2.5	Metadaten für objektbasiertes Audio und Downmix —	859
13.3	Qualitätsaspekte der Audiocodierung —	861
13.3.1	Qualitätsstufen von Codec-Anwendungen —	861
13.3.2	Typische Codier-Artefakte —	863
13.3.2.1	Artefakte durch begrenzte Zeitauflösung —	863
13.3.2.2	Birdies —	865
13.3.2.3	Mehrkanal-Artefakte —	865
13.3.2.4	Artefakte durch Tandem-Codierung —	866
13.3.3	Qualitätsbewertung von Codierverfahren —	867
13.3.3.1	Hörtests —	867
13.3.3.2	Objektive Testverfahren —	868
13.4	Psychoakustisch basierte Audiocodecs —	868
13.4.1	Übersicht —	868
13.4.2	MPEG-1/2 Audio —	870
13.4.2.1	MPEG-1 —	870
13.4.2.2	MPEG-2 Low Sampling Rate Erweiterungen —	870
13.4.2.3	MPEG-1/2 Bitstrom und Fileformat —	871
13.4.2.4	Layer 1 Audiodaten —	872
13.4.2.5	Layer 2 Audiodaten —	873
13.4.2.6	Layer 3 Audiodaten —	874
13.4.3	MPEG-2/4 AAC —	875
13.4.3.1	Filterbank —	876
13.4.3.2	Bitstrom und Fileformat —	877
13.4.4	MPEG-4 High-Efficiency AAC —	878
13.4.4.1	HE-AAC Varianten —	878
13.4.4.2	Audioqualität und Einsatzbereiche von AAC-Codecs —	878
13.4.5	MPEG-D USAC, Extended High-Efficiency AAC, xHE-AAC —	881
13.4.5.1	Überblick —	881
13.4.5.2	Audiocodierung —	882
13.4.5.3	Medien-Transport —	883
13.4.5.4	Lautheitsnormierung und Dynamikanpassung —	884
13.4.6	MPEG-H 3D Audio —	884
13.4.6.1	MPEG-H 3D Audio Decoderaufbau —	885
13.4.6.3	Metadatenverarbeitung in MPEG-H 3D Audio —	887
13.4.6.4	Beispiele für Anwendungsszenarien —	888
13.4.6.5	Bitstromformat und Fileformate für MPEG-H 3D Audio —	890
13.4.6.6	Bitratenbeispiele für verschiedene Anwendungen —	891

13.4.7	Dolby Mehrkanalcodecs —	892
13.4.7.1	Dolby Digital —	892
13.4.7.2	Dolby Digital Plus —	893
13.4.7.3	Dolby Atmos —	894
13.4.7.4	Dolby AC-4 —	896
13.4.7.5	Dolby E —	897
13.4.8	DTS —	899
13.4.8.1	Basisverfahren —	899
13.4.8.2	DTS-ES —	900
13.4.8.3	DTS 96/24 —	900
13.4.8.4	DTS:X und DTS-UHD —	900
13.4.9	apt-X —	901
13.4.9.1	Basisverfahren —	901
13.4.9.2	Enhanced apt-X —	902
13.4.10	LC3/LC3plus —	903
13.5	Mobilfunkcodecs —	905
13.5.1	AMR —	905
13.5.2	AMR-WB, G.722.2 —	905
13.5.3	EVS —	905
13.6	Weitere gebräuchliche Audiocodecs —	907
13.6.1	Ogg Vorbis —	907
13.6.2	Opus —	907
13.7	Matrix-basierte Surround-Systeme —	909
13.7.1	Dolby Surround / Dolby ProLogic —	909
13.8	Verlustfreie Audiocodiervverfahren —	911
13.8.1	Übersicht —	911
13.8.2	Free Lossless Audio Codec —	912
13.8.3	MPEG-4 Lossless Coding —	912
13.9	Digitale Signaturen von Audiodateien —	913
13.9.1	Digitales Wasserzeichen —	913
13.9.1.1	Anforderungen und Eigenschaften —	914
13.9.1.2	Anwendungsbereiche —	915
13.9.2	Digitaler Fingerabdruck —	917
13.9.2.1	Anforderungen und Eigenschaften —	917
13.9.2.2	Merkmalsauswahl —	918
13.9.2.3	Lösungsmodelle —	918
13.9.2.4	Anwendungsbereiche —	919
13.9.3	Digitale Rechteverwaltung —	920
13.9.3.1	Anwendungsbereiche —	920
13.9.3.2	Basistechniken —	922
13.9.3.3	Nachteile von DRM —	923
	Standards —	924
	Literatur —	926

<b>14</b>	<b>Digitale Tonbearbeitung, Programmproduktion und Sendeabwicklung — 929</b>
14.1	Digitale Tonbearbeitung — 929
14.1.1	Digitale Effektgeräte — 929
14.1.1.1	Bearbeitung im Zeit- oder Frequenzbereich — 930
14.1.2	Digitale Tonmischpulte — 931
14.1.2.1	Funktionalität — 931
14.1.2.2	Gerätetechnik — 933
14.1.2.3	Hauptbedienkonsole — 933
14.1.2.4	Audiosignalprozessoren — 934
14.1.2.5	Signalverteilsysteme — 934
14.1.3	Kreuzschienen — 934
14.1.3.1	Raummultiplex — 935
14.1.3.2	Zeitmultiplex — 935
14.1.4	Systembetrachtungen — 937
14.1.4.1	Taktsignale und Wordclock — 937
14.1.4.2	Verzögerungen, Latenzen — 937
14.1.5	PC-basierte Bearbeitungssysteme — 938
14.1.5.1	Hardware — 938
14.1.5.2	Software — 939
14.1.6	Audioworkstations — 940
14.1.6.1	Hardware — 940
14.1.6.2	Software — 940
14.1.7	Integrierte Funkhaussysteme — 941
14.1.7.1	Informationssysteme — 941
14.1.7.2	Havariemaßnahmen — 942
14.2	Digitale Programmproduktion und Sendeabwicklung im Hörfunk — 942
14.2.1	Aufbau einer Hörfunkorganisation — 944
14.2.2	Abläufe in der digitalen Programmproduktion — 946
14.2.2.1	Akquisition von Programminhalten — 946
14.2.2.2	Kontribution von Programminhalten — 947
14.2.2.3	Distribution — 950
14.2.3	Digitaler Workflow der Programmproduktion — 951
14.2.4	Module im digitalen Workflow — 954
14.2.4.1	Beitragserstellung — 955
14.2.4.2	Sendungsbegleitende Produktion — 956
14.2.4.3	Datenbankmanager für Audiofiles — 956
14.2.4.4	Sendeplanung — 957
14.2.4.5	Sendeprotokoll und Nutzungsrechte — 957
14.2.4.6	Recherchewerkzeuge für das Archiv — 958
14.2.4.7	Aktualitätenspeicher — 958
14.2.4.8	Musikrotation — 959
14.2.4.9	Sendeablaufsteuerung — 960
14.2.4.10	Regionalisierung — 961
14.2.4.11	Themen- und Ereignisplanung — 962

14.2.4.12	Nachrichtenverteilung —	962
14.2.4.13	Phonescreening und Off Airs —	962
14.2.4.14	Verkehrsinformationen —	963
14.2.4.15	Zusatzinformationen —	964
14.2.4.16	Leitungsdisposition —	965
14.2.4.17	Dokumentationssystem —	965
14.2.5	Außenübertragungstechnik —	965
<b>15</b>	<b>Digitale Tonsignalspeicherung —</b>	<b>969</b>
15.1	Digitale Tonaufzeichnung —	969
15.1.1	Quelldaten, Kanaldaten und Kanalmodulation —	970
15.1.1.1	Speicherkanal —	971
15.1.2	Datenformatierung —	972
15.1.3	Schreibcodes und Kanalmodulation —	973
15.1.4	Fehlererkennung und Fehlerkorrektur —	976
15.1.4.1	Instrumente der Fehlererkennung und Fehlerkorrektur —	977
15.1.5	Magnetische Aufzeichnung —	979
15.1.6	Magnetband-Aufzeichnung —	982
15.1.6.1	Helical-Scan-Aufzeichnung —	982
15.1.6.2	Helical-Scan-Aufzeichnung für 8-Kanal-Ton —	986
15.1.6.3	Längsaufzeichnung —	987
15.1.6.4	Tondatenaufzeichnung auf Computermagnetband —	989
15.1.7	Magnetplattenaufzeichnung —	995
15.1.7.1	Aufbau und Funktion —	996
15.1.7.2	Controller, Codierung und weitere Entwicklung —	997
15.1.8	Optische Aufzeichnung —	1000
15.1.8.1	Optische Speicherverfahren —	1000
15.1.8.2	Optische Aufzeichnungsverfahren —	1001
15.1.9	Compact Disc —	1002
15.1.9.1	Beschreibung —	1003
15.1.9.2	CD-R —	1005
15.1.10	Super Audio CD —	1006
15.1.10.1	Aufbau und Eigenschaften —	1007
15.1.10.2	Datenorganisation, Kanalcodierung und Fehlerschutz —	1008
15.1.11	DVD-Audio —	1009
15.1.11.1	Aufbau und Eigenschaften —	1009
15.1.11.2	Datenformat —	1010
15.1.12	Magneto-Optical Disc —	1011
15.1.12.1	Aufbau und Funktionsweise —	1011
15.1.12.2	Zukünftige Entwicklung —	1013

15.1.13	Flash-Speicher —	1015
15.1.13.1	Funktionsweise —	1015
15.1.13.2	Flash-Filesystem und Kanalcodierung —	1016
15.1.13.3	Flash-Karten und künftige Entwicklung —	1017
15.1.14	Tonsignalrestaurierung und -erhaltung —	1019
15.2	Mastering —	1024
15.2.1	Definition des Mastering —	1025
15.2.2	Technische und klangliche Aspekte —	1025
15.2.2.1	Formatierung —	1026
15.2.2.2	Pegelanpassung —	1026
15.2.2.3	Dynamik —	1026
15.2.2.4	Dither und Noise Shaping —	1027
15.2.2.5	Remastering und Tonrestaurierung —	1027
15.2.2.6	Analog oder digital? —	1028
15.2.3	Mehrkanal Mastering —	1028
15.2.3.1	Mastering von Kinomischungen —	1029
15.2.4	Das Mastering-Studio —	1030
15.2.5	Master-Formate —	1030
15.2.5.1	Master Files für digitale Distribution —	1030
15.2.5.2	CD-Audio —	1030
15.2.6	Alternative Formate —	1031
15.2.6.1	Super Audio CD —	1031
15.2.6.2	Super Audio Hybrid Disc —	1032
15.2.6.3	DVD-Audio —	1032
15.2.6.4	HD-DVD —	1033
15.2.6.5	DVD-Video —	1033
15.2.6.6	Blu-ray Disc —	1034
15.2.6.7	Audio-only Blu-ray / Pure Audio Blu-ray —	1037
15.3	Digitale Tonarchive —	1037
15.3.1	Anforderungen —	1040
15.3.1.1	Funktionale Anforderungen aus Sicht des Archivs —	1040
15.3.1.2	Funktionale Anforderungen aus Sicht des Programms —	1041
15.3.1.3	Systemtechnische Anforderungen —	1041
15.3.2	Archivsysteme —	1043
15.3.2.1	Speichersysteme —	1045
15.3.2.2	Datenbanken —	1047
15.3.2.3	Benutzeroberflächen —	1047
15.3.2.4	Einspielstationen —	1052
15.3.2.5	Ausspielstationen —	1053
15.3.2.6	Schnittstellen —	1054

15.3.3	Metadaten —	1055
15.3.3.1	Kategorien von Metadaten —	1055
15.3.3.2	Bedeutung von Metadaten im digitalen Workflow —	1056
15.3.3.3	Technischer Umgang mit Metadaten —	1056
15.3.3.4	Automatische Erzeugung von Metadaten —	1064
	Standards —	1065
	Literatur —	1066

**16**      **Digitale Betriebstechnik — 1067**

16.1	Prozessstrukturen —	1067
16.1.1	Prozessmodell —	1067
16.1.2	Dienstleistungs-Beziehungen —	1069
16.1.3	Organisationsstrukturen —	1069
16.1.4	Prozessanalyse —	1071
16.1.4.1	Prozessoptimierung —	1072
16.1.4.2	Kontinuierlicher Verbesserungsprozess —	1072
16.1.5	Fazit und Ausblick —	1073
16.2	Betriebliche Einrichtungen —	1074
16.2.1	Betriebszentrale —	1076
16.2.1.1	Bedienung und Steuerung —	1077
16.2.2	Sendestudio —	1078
16.2.3	Konventioneller Regiebetrieb —	1079
16.2.4	Selbstfahrerbetrieb —	1080
16.2.4.1	Leitungsanbindung —	1081
16.2.4.2	Weitere Einrichtungen —	1082
16.2.5	Vorproduktion —	1082
16.2.6	Bearbeitungsräume —	1083
16.2.7	Infrastruktur und Audiosignalverteilung —	1083
16.2.7.1	Koppelfelder AES —	1083
16.2.7.2	Übertragung im Netzwerk —	1086
16.2.7.2.1	Besonderheiten bei Audio über IP —	1086
16.2.8	Synchronisation —	1088
16.2.9	Logik und Steuerung —	1089
16.2.9.1	Steuerung —	1089
16.2.9.2	Logik und Zustände —	1091
16.2.9.3	Broadcaststeuersysteme —	1092
16.2.10	Zentraltechnik —	1092
16.2.10.1	Leitungsanbindung —	1092
16.2.10.2	Distribution —	1095
16.2.10.3	Mitschnitt —	1097
16.2.10.4	Programmverteilung —	1097

16.2.11	Intercom —	<b>1098</b>
16.2.12	Dateibasierte Systeme —	<b>1100</b>
16.2.12.1	Server —	<b>1100</b>
16.2.12.2	Produktion —	<b>1101</b>
16.2.12.3	Kontribution von Programmbeiträgen —	<b>1101</b>
16.2.12.4	Programmaustausch —	<b>1101</b>
16.2.12.5	Datensicherheit —	<b>1102</b>
16.2.12.6	Anwendungssoftware —	<b>1103</b>
16.2.13	Stromversorgung —	<b>1103</b>
16.2.13.1	EMV-gerechte Stromversorgung —	<b>1105</b>
16.2.14	Klimatechnik —	<b>1108</b>
16.3	Audionetzwerke —	<b>1110</b>
16.3.1	Einführung —	<b>1111</b>
16.3.1.1	Layer 1-Anwendungen —	<b>1112</b>
16.3.1.2	Layer 2-Anwendungen —	<b>1112</b>
16.3.1.3	Layer 3-Anwendungen —	<b>1113</b>
16.3.2	Netzwerktopologien —	<b>1114</b>
16.3.3	Netzwerke - Software-Defined Network —	<b>1116</b>
16.3.4	Synchronisation in Mediennetzwerken —	<b>1118</b>
16.3.4.1	Precision Time Protocol IEEE-1588 —	<b>1118</b>
16.3.5	IT-Transport —	<b>1123</b>
16.3.5.1	Einführung in IP-Multicast —	<b>1123</b>
16.3.5.2	Multicast-Adressen —	<b>1124</b>
16.3.5.3	Multicast-Kommunikation —	<b>1125</b>
16.3.5.4	Protokollstack —	<b>1125</b>
16.3.5.5	Einsatzbereich Multicast-Protokolle —	<b>1126</b>
16.3.5.6	IP-Multicasting in Layer 2-Switchingumgebung —	<b>1126</b>
16.3.5.7	Multicast-Routing —	<b>1128</b>
16.3.6	Datenaustausch in Audionetzen —	<b>1128</b>
16.3.6.1	AVB —	<b>1129</b>
16.3.6.2	MILAN —	<b>1134</b>
16.3.6.3	AES67 —	<b>1137</b>
16.3.6.4	SMPTE ST 2110 —	<b>1144</b>
16.3.6.5	SMPTE ST 2022-7 —	<b>1148</b>
16.3.6.6	RAVENNA —	<b>1150</b>
16.3.6.7	DANTE —	<b>1158</b>
16.3.7	Steuerung und Orchestrierung —	<b>1165</b>
16.2.7.1	Übersicht —	<b>1165</b>
16.3.7.2	NMOS —	<b>1167</b>
16.4	IT-Sicherheit —	<b>1175</b>
16.4.1	Grundlagen —	<b>1176</b>
16.4.2	Risikomanagement —	<b>1177</b>
16.4.3	Nutzung etablierter Standards —	<b>1180</b>

16.4.4	Best-Practice-Schutzmaßnahmen —	1182
16.4.4.1	Notfallmanagement —	1187
16.4.4.2	Nachhaltigkeit —	1189
16.5	Übertragungswege und Netze —	1190
16.5.1	Problemstellung —	1190
16.5.2	Codierverfahren —	1191
16.5.2.1	Quellencodierung —	1191
16.5.2.2	Kanalcodierung —	1191
16.5.2.3	Kryptologische Codierung / Verschlüsselung —	1192
16.5.3	Synchronisation —	1192
16.5.4	Die E1-Schnittstelle —	1192
16.5.5	Die ASI-Schnittstelle —	1193
16.5.5.1	Übersicht —	1193
16.5.5.2	Technische Beschreibung —	1193
16.5.6	HYBNET - das Netz der ARD —	1197
16.5.6.1	Übersicht —	1197
16.5.6.2	Aufbau —	1199
16.5.6.3	Dienste —	1201
16.5.6.4	Betrieb —	1203
16.5.7	Hörfunk-Programmaustausch mit weConnect —	1203
16.5.7.1	Übersicht —	1203
16.5.7.2	Infrastruktur im ARD-Daten-CN 2.0 —	1204
16.5.7.3	Das Hörfunkdauerleitungsnetz —	1205
16.5.7.4	ARD-Filetransfer —	1210
16.5.7.5	Breitbandiger Audio-Filetransfer —	1211
16.5.8	Codecs —	1212
16.5.8.1	Übersicht —	1212
16.5.8.2	ISDN-Audiocodecs —	1212
16.5.8.3	Satelliten-Codecs —	1213
16.5.8.4	IP-Audiocodecs / Audio-over-IP —	1213
16.5.9	Euroradio-over-IP / Live —	1220
16.5.10	Messtechnik für IP-Multicast-Systeme und Anwendungen —	1223
	Standards —	1226
	Literatur —	1227

## **17 Rundfunksysteme — 1229**

17.1	Grundlagen —	1230
17.1.1	Übertragungskanäle —	1230
17.1.1.1	Terrestrischer Mehrwege-Rundfunkkanal —	1230
17.1.1.2	Satelliten-Rundfunkkanal —	1232
17.1.1.3	Kabel-Rundfunkkanal —	1233

17.1.2	Modulationsverfahren —	1234
17.1.2.1	Definitionen und Grundlagen —	1234
17.1.2.2	Klassische analoge Modulationsverfahren —	1235
17.1.2.3	Klassische digitale Modulationsverfahren —	1238
17.1.2.4	Multiträger-Modulation —	1241
17.1.3	Kanalcodierung —	1244
17.1.3.1	Definitionen und Grundlagen —	1244
17.1.3.2	Faltungscodes —	1246
17.1.3.3	Reed-Solomon-Codes —	1247
17.2	Terrestrische Rundfunksysteme —	1249
17.2.1	Analoge Rundfunkübertragung —	1249
17.2.1.1	AM-Rundfunk unterhalb 30 MHz —	1250
17.2.1.2	FM-Rundfunk im UKW-Band II —	1251
17.2.1.3	Analoges Fernsehen —	1253
17.2.2	Digital Audio Broadcasting —	1253
17.2.2.1	Tonübertragung bei DAB —	1254
17.2.2.2	Digital Multimedia Broadcasting —	1256
17.2.2.3	OFDM-Parameter und Übertragungs-Modi —	1257
17.2.2.4	DAB-Übertragungsrahmen —	1258
17.2.2.5	Quellenangepasste Kanalcodierung —	1259
17.2.2.6	Interleaving —	1261
17.2.2.7	Transportmechanismen bei DAB —	1262
17.2.2.8	DAB-Multiplexkonfiguration —	1264
17.2.2.9	DAB Service-Information —	1266
17.2.2.10	DAB-Ensemble-Information —	1266
17.2.2.11	DAB-Dienstestruktur —	1267
17.2.3	Implementierung von DAB/DAB+/DMB-Netzen —	1268
17.2.4	Terrestrisches Digitales Fernsehen DVB —	1270
17.2.4.1	Überblick über die digitalen Fernsehrundfunksysteme —	1270
17.2.4.2	Ziele und Vorgaben für die Systementwicklung DVB-T2 —	1271
17.2.5	Terrestrisches Digitales Fernsehen DVB-T2 —	1272
17.2.5.1	Systemübersicht —	1272
17.2.5.2	Quellencodierung und Multiplex —	1273
17.2.5.3	Basisband-Signal —	1275
17.2.5.4	Kanalcodierung und Modulation —	1277
17.2.5.5	DVB-T2 Empfang —	1281
17.2.5.6	Einführungs- und Umstiegsszenarien —	1281
17.2.6	Digital Radio Mondiale —	1282
17.2.6.1	Übertragungs-Modi und OFDM-Parameter —	1283
17.2.6.2	Modulation und Codierung —	1284
17.2.6.3	Audiocodierung für DRM —	1286
17.2.6.4	DRM-Multiplex —	1286
17.2.6.5	DRM-Service-Information —	1288

17.2.7	In-Band-On-Channel – System „High Definition Radio“ —	1289
17.2.7.1	Service Modes —	1290
17.2.7.2	Audiocodierung —	1290
17.2.7.3	Kanalcodierung —	1291
17.2.8	Integrated Services Digital Broadcasting —	1292
17.3	Satellitenrundfunk —	1293
17.3.1	Astra Digital Radio —	1294
17.3.2	DVB über Satellit —	1294
17.3.2.1	DVB-S —	1294
17.3.2.2	DVB-S2 —	1294
17.4	Internet Radio —	1295
17.4.1	Übersicht —	1295
17.4.2	Technische Grundlagen —	1297
17.4.2.1	Download —	1298
17.4.2.2	Streaming —	1298
17.4.2.3	Unicast und Broadcast —	1299
17.4.2.4	Multicast —	1300
17.4.2.5	Content Caching und Content Distribution Networks —	1300
17.4.3	Internet-Protokolle für Streaming —	1302
17.4.3.1	IP-Protokoll —	1302
17.4.3.2	RTP/UDP-Protokoll —	1303
17.4.3.3	HTTP/TCP —	1303
17.4.4	Streaming-Formate und -Plattformen —	1305
17.4.5	Shoutcast —	1305
17.4.5.1	Shoutcast-Architektur und Komponenten —	1306
17.4.5.2	Shoutcast-Protokoll —	1308
17.4.6	HTTP Adaptive Streaming —	1310
17.4.6.1	Architektur von HTTP Adaptive Streaming —	1311
17.4.6.2	HLS und DASH Manifest —	1312
17.4.7	Verzeichnisse und Personalisierte Dienste —	1315
17.4.8	Podcast —	1316
17.4.8.1	Download und Dateiformat —	1317
17.4.8.2	Abonnement über RSS —	1317
17.4.8.3	Podcast-Komponenten und Nachrichtenfluss —	1318
17.5	Programmbegleitende Dienste —	1320
17.5.1	Übersicht —	1320
17.5.2	Typologie der Dienste —	1321
17.5.2.1	Programmbegleitende und nicht-programmbegleitende Dienste —	1321
17.5.2.2	Funktionen —	1322
17.5.3	Datenmanagement —	1322
17.5.3.1	Generierung programmbegleitender Dienste —	1322
17.5.3.2	Einspeisung und Übertragung bei RDS —	1326
17.5.3.3	Einspeisung und Übertragung bei DAB —	1328
17.5.3.4	DAB-Dateneintaster —	1330

17.5.4	Serviceinformationen — 1331
17.5.4.1	Programm-Identifikation — 1333
17.5.4.2	Programme Service Name — 1333
17.5.4.3	Programm-Typ — 1334
17.5.4.4	Traffic Announcement — 1334
17.5.4.5	Alternative Frequenzliste — 1334
17.5.4.6	Service Following Information — 1335
17.5.5	Radiotext — 1335
17.5.5.1	Radiotext in RDS — 1335
17.5.5.2	Radiotext plus — 1336
17.5.5.3	Dynamic Label Segment — 1337
17.5.5.4	Dynamic Label plus — 1337
17.5.6	Multimedia-Daten — 1337
17.5.6.1	MOT — 1338
17.5.6.2	MOT-Applikationen — 1339
17.5.7	Service und Programm Information — 1340
17.5.8	Journaline — 1341
17.5.9	Radio DNS — 1342
17.5.10	IMDA-Metadaten — 1343
17.5.11	Codierte Verkehrsinformationen — 1343
17.5.11.1	RDS-TMC — 1345
17.5.11.2	TPEG — 1346
17.6	Mehrkanal-Stereofonie in Hörfunk und Fernsehen — 1349
17.6.1	Vom Kinton zur mehrkanaligen Rundfunkübertragung — 1349
17.6.2	Formate für Mehrkanalton — 1351
17.6.3	Postproduktion und Distribution von Mehrkanalton im Fernsehen — 1354
17.6.3.1	Dolby E - Format — 1355
17.6.3.2	apt-X und Enhanced apt-X Format — 1358
17.6.4	Standardisierte Kanalbelegungen für Mehrkanalton — 1358
17.6.4.1	Aufzeichnung von 5.1-Mehrkanalton nach EBU/ITU und SMPTE — 1358
17.6.4.2	Programmaustausch und -verteilung bei ARD und ZDF — 1359
17.6.5	Kontrolle und Überwachung von Mehrkanalton beim Rundfunk — 1361
17.6.6	Übertragung von 5.1-Mehrkanalton über Rundfunksysteme — 1363
17.6.6.1	Programmverbreitung über DVB — 1363
17.6.6.2	Programmverbreitung über IP-Medien — 1366
17.6.6.3	Programmverbreitung über DAB — 1367
17.6.6.4	Laufzeiten bei Übertragung von 5.1-Mehrkanalton — 1369
17.6.7	Quellencodierung für die Ausstrahlung von 5.1-Mehrkanalton — 1370
17.6.7.1	Dolby Digital-Format — 1370
17.6.7.2	DTS-Format — 1374
17.6.7.3	MPEG Advanced Audio Coding — 1376
17.6.7.4	Metadaten — 1378

17.6.8	Downmix von Mehrkanalton —	1382
17.6.8.1	Veränderung von Signaleigenschaften durch den Downmix-Prozess —	1382
17.6.8.2	Kompensation von Downmix-Artefakten —	1385
17.6.8.3	Downmix von Mehrkanalton für die Kopfhörerwiedergabe —	1386
17.7	Barrierefreie Audiokommunikation —	1387
17.7.1	Audiologischer Hintergrund —	1387
17.7.1.1	Hörverluste und ihre Auswirkung —	1387
17.7.1.2	Lautheit und Recruitment —	1388
17.7.1.3	Sprache und Sprachverständlichkeit —	1389
17.7.2	Sprache verstehen in AV-Programmen —	1391
17.7.2.1	Studioseitige Ansätze zur Verbesserung der Barrierefreiheit —	1391
17.7.2.2	Übertragungsseitige Methoden zur Verbesserung der Barrierefreiheit —	1393
17.7.2.3	Empfängerseitige Anforderungen zur Verbesserung der Barrierefreiheit —	1394
17.7.3	Visualisierung von Sprachinformationen —	1394
17.7.3.1	Untertitelung —	1395
17.7.3.2	Gebärdensprache —	1395
17.7.4	Zusatz-Übertragungssysteme bei Veranstaltungen —	1396
17.7.4.1	Induktive Übertragung —	1396
17.7.4.2	Funk-Übertragung —	1397
17.7.4.3	Infrarot-Übertragung —	1397
Standards —		1399
Literatur —		1401
<b>18</b>	<b>Film- und Fernsehton —</b>	<b>1407</b>
18.1	Einführung —	1407
18.2	Ton-Bild-Relationen —	1410
18.2.1	Multimodalität und Synchronie —	1410
18.2.2	Zeitliche Ton-Bild-Relation —	1410
18.2.3	Synchronität und Ton-Bild-Versatz —	1412
18.2.4	Inhaltliche Relationen, Ton-Bild-Schere —	1414
18.2.5	Räumliche Ton-Bild-Beziehungen —	1415
18.2.6	Sounddesign, Montage, Mischung —	1417
18.3	Mikrofonierung und Tonaufzeichnung —	1418
18.3.1	Mikrofonierung des Original-Tons —	1419
18.3.2	Mikrofonierung für Stereo, Surround und Immersive Audio —	1422
18.3.3	Mikrofonierung im Synchronstudio —	1423
18.3.4	Mikrofonierung im Fernsehstudio —	1425
18.3.5	Tonaufzeichnung mit dem Camcorder —	1425
18.3.6	Portable Audiomischer —	1427
18.3.7	Aufnahme mit abgesetztem Audiorecorder —	1429
18.3.8	Workflows mit analogen und digitalen Medien —	1430
18.3.9	Ü-Wagen- und Studio-Produktion —	1430
18.3.10	Spuren- und Kanalbelegung in der Produktion —	1432

18.4	Bildbezogene Aufzeichnungs- und Dateiformate für Ton —	1433
18.4.1	Analoge, bandgestützte Aufzeichnungsformate —	1433
18.4.2	Digitale, bandgestützte Aufzeichnungsformate —	1434
18.4.3	Digitale, dateibasierte Aufzeichnungsformate —	1435
18.4.3.1	AVI - Audio Video Interleaved und Quicktime —	1437
18.4.3.2	MXF – Media Exchange Format —	1437
18.4.3.3	GXF - General Exchange Format —	1439
18.4.4	Kanal- und Spurenbelegung für den Programmaustausch —	1440
18.5	Synchronisation und Synchronverfahren —	1441
18.5.1	Pilotton und Neo-Pilotton —	1441
18.5.2	SMPTE/EBU-Timecode —	1442
18.5.3	MIDI-Timecode —	1444
18.5.4	Rotosyn —	1444
18.5.5	Multiplexing, Interleaving und Time-Stamping —	1445
18.5.6	Time-Alignment Audio/Video —	1447
18.5.7	Automatische Ton- und Ton-Bild-Synchronisation —	1448
18.6	Nachbearbeitung und Mischung —	1449
18.6.1	Ton- und Bildschnitt —	1449
18.6.2	Integrierte Audioproduktion —	1449
18.6.3	Synchronregie und Mischung für Kino und TV —	1452
18.6.4	Mischung und Rendering für objektbasierte Formate —	1454
18.6.5	Audiobezogene Metadaten —	1456
18.6.6	Lautheit, Dynamik und Metadaten bei TV und Streaming —	1456
18.6.7	Audio-Deskription —	1460
18.7	Filmtoneformate und Wiedergabeverfahren —	1460
18.7.1	Analoger und digitaler Lichtton —	1462
18.7.2	Magnetton —	1464
18.7.3	Der Ton im digitalen Kino —	1464
18.7.4	Kanal- und objektbasierte Filmtoneverfahren —	1466
18.7.5	Wiedergabe in der Filmtoneregie und im Kino —	1469
18.7.6	A-Chain, B-Chain —	1471
18.7.7	Barrierefreiheit und Mehrsprachigkeit im Kino —	1474
18.8	Fernsehtoneformate und Wiedergabeverfahren —	1474
18.8.1	Kanalformate und Wiedergabesysteme für Fernsehton —	1475
18.8.2	IRT-Zweitoneverfahren —	1475
18.8.3	NICAM 728, NICAM Stereo —	1476
18.8.4	Matrizierter Surroundton —	1476
18.8.5	Digitale Fernsehtonverfahren für Stereo, Surround und höhere Formate —	1478
18.8.6	Übertragung für professionelle Anwendungen und Kontribution —	1482
18.9	Audio-Schnittstellen in Videosystemen —	1485
18.9.1	SDI und HD-SDI —	1486
18.9.2	HDMI —	1489
18.9.3	RS-422 und Sony 9-Pin —	1490

18.9.4	RS-422 und ESAM-Protokoll —	1490
18.9.5	Mehrkanalton über Zweikanalschnittstellen —	1491
18.10	Einführung in die Film- und Videotechnik —	1492
18.10.1	Audiovisuelle Wahrnehmung und multimodale Integration —	1492
18.10.2	Der Sehsinn —	1493
18.10.3	Bildabtastung —	1495
18.10.4	Video-Schnittstellen —	1500
18.10.5	Digitales Video —	1501
18.10.6	Video-Aufzeichnungsformate —	1505
18.10.7	Anforderungen an Monitore und Projektoren —	1506
18.10.8	Grundzüge der Bildgestaltung —	1507
	Standards —	1508
	Literatur —	1509

<b>19</b>	<b>Qualitätssicherung —</b>	<b>1511</b>
19.1	Einführung —	1511
19.1.1	Analoge vs. digitale Audioqualität —	1511
19.1.2	Qualitätsniveaus in der Audiotechnik —	1511
19.2	Qualitätsparameter des analogen und digitalen Tonkanals —	1513
19.2.1	Subjektive Grenzwerte —	1513
19.2.2	Anzustrebende Zielwerte —	1515
19.2.3	Additionsgesetze für Werte und Toleranzen —	1515
19.2.4	A/D- und D/A-Wandlung —	1516
19.2.4.1	Abtastrate —	1516
19.2.4.2	Bitauflösung, Bitanzahl —	1517
19.2.4.3	Weitere Parameter —	1517
19.2.5	Pegelbedingungen —	1518
19.2.5.1	Systemgrenzpegel —	1518
19.2.5.2	Zugelassener Maximalpegel —	1519
19.2.5.3	Einstellpegel —	1520
19.2.5.4	Messpegel —	1520
19.2.5.5	Minimaler Programmsignalpegel —	1520
19.2.5.6	Pegelprofile im analogen und digitalen Tonkanal —	1520
19.2.6	Störpegel —	1522
19.2.6.1	Störpegelmessung —	1522
19.2.6.2	Störspektrum —	1523
19.2.6.3	Gesamtverzerrung mit Rauschen —	1524
19.2.7	Zeitbedingungen —	1524
19.2.7.1	Jitter —	1524
19.2.7.2	Augendiagramm —	1524
19.2.7.3	Synchronisation —	1526
19.2.7.4	Zeitversatz —	1526
19.2.7.5	Phasenversatz —	1527

- 19.2.8 Störungen im digitalen Datenstrom — 1528
- 19.2.8.1 Störungen im Audiobitstrom — 1528
- 19.2.8.2 Störungen in den Zusatzinformationen — 1528
- 19.2.8.3 Fehlerursachen und -auswirkungen — 1529
- 19.2.8.4 Fehlererkennung — 1530
- 19.2.8.5 Fehlerkorrektur — 1531
- 19.3 Digitale Audiomessstechnik — 1532
- 19.3.1 Messparameter — 1532
- 19.3.1.1 Analoge Systeme — 1532
- 19.3.1.2 Digitale Systeme — 1533
- 19.3.1.3 FFT — 1534
- 19.3.2 Richtlinien — 1534
- 19.3.3 Messsysteme — 1535
- 19.3.4 Gehörbasierte objektive Messverfahren — 1535
- 19.3.4.1 PEAQ — 1536
- 19.3.4.2 NMR — 1537
- 19.3.4.3 PESQ — 1537
- 19.4 Visuelle Programmsignalkontrolle — 1537
- 19.4.1 Spitzenpegelbezogene Aussteuerung — 1537
- 19.4.1.1 Standardisierte Pegelfestlegungen — 1538
- 19.4.1.2 Quasi-Spitzenwert und True Peak-Aussteuerungsmesser — 1539
- 19.4.1.3 Spitzenpegelbezogene Aussteuerungsrichtlinien — 1542
- 19.4.2 Lautheitsbezogene Aussteuerung — 1543
- 19.4.2.1 Lautheitsmesser – Nationale Lösung von ARD/ZDF — 1544
- 19.4.2.2 Lautheitsmesser – Internationale Lösung — 1546
- 19.4.2.3 True Peak Meter — 1549
- 19.4.2.4 Lautheitsbereichsmesser — 1549
- 19.4.2.5 Lautheitsbezogene Aussteuerungsrichtlinien — 1550
- 19.4.3 Weitere Geräte zur Programmsignalkontrolle — 1550
- 19.4.3.1 VU-Meter — 1550
- 19.4.3.2 Darstellung des Frequenzspektrums — 1551
- 19.4.3.3 Korrelationsanzeige — 1552
- 19.4.4 Goniometrische Messverfahren — 1553
- 19.4.4.1 Stereo-Sichtgerät — 1553
- 19.4.4.2 Mehrkanal-Sichtgerät — 1555
- 19.5 Dynamik — 1556
- 19.5.1 Dynamikbereiche — 1557
- 19.5.1.1 Originaldynamik — 1557
- 19.5.1.2 Systemdynamik — 1557
- 19.5.1.3 Programmdynamik — 1559
- 19.5.1.4 Wiedergabedynamik — 1561

19.5.2	Dynamikkompression —	1562
19.5.2.1	Anpassung an den Übertragungsweg —	1562
19.5.2.2	Anpassung an den Programmcharakter —	1563
19.5.2.3	Anpassung an die Wiedergabesituation —	1563
19.5.3	Dynamiksteuerung —	1563
19.5.3.1	Variable Dynamik für UKW/FM —	1563
19.5.3.2	Dynamic Range Control bei DAB —	1564
19.5.3.3	Dynamiksteuerung für Dolby Digital —	1565
19.5.3.4	Empfängerorientierte Dynamiksteuerung —	1566
19.6	Auditive Programmsignalkontrolle —	1566
19.6.1	Abhörstandard für Lautsprecherwiedergabe —	1567
19.6.1.1	Abhörräume —	1567
19.6.1.2	Geometrische Abmessungen von Abhörräumen —	1568
19.6.1.3	Bezugs-Schallfeld —	1570
18.6.1.4	Bezugs-Abhörpegel —	1571
19.6.1.5	Anforderungen an Regielautsprecher —	1572
19.6.1.6	Nahfeldabhören —	1573
19.6.2	Abhörstandard für Kopfhörerwiedergabe —	1574
19.6.3	Virtuelle Abhörräume —	1574
19.7	Methoden zur subjektiven Beurteilung der Audioqualität —	1575
19.7.1	Teststrategien —	1575
19.7.2	Standardisierte Testmethoden —	1576
19.7.2.1	Vergleichstest —	1576
19.7.2.2	Triple stimulus – hidden reference – double blind Test —	1576
19.7.2.3	MUSHRA-Test —	1576
19.7.3	Subjektive akustische Qualitätsparameter —	1578
19.7.3.1	Globale Attribute —	1578
19.7.3.2	Detaillierte Parameter zur absoluten Bewertung —	1578
19.7.3.3	Parameter zur Beschreibung digitaler Tonsignalstörungen —	1579
19.7.3.4	Beurteilung von kombinierten Bild- und Toninformationen —	1580
19.7.4	Testbedingungen —	1581
19.7.4.1	Bewertungsskalen —	1581
19.7.4.2	Testpersonen —	1582
19.7.4.3	Programm-Material —	1582
19.7.5.4	Auswertung von Testergebnissen —	1583
19.8	Mensch–Maschine–System im digitalen Hörfunkprozess —	1583
19.8.1	Fehlerquellen —	1584
19.8.2	Durchgängiger Workflow von Audio- und Metadaten —	1586
Standards	—	1588
Literatur	—	1590

Fachwörter und Abkürzungen Englisch – Deutsch —	1591
---	------

Sachregister —	1619
----------------	------