

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 AKUSTIK</b> .....	1
<b>1.1 Schallfeld</b> .....	1
1.1.1 Schallausbreitung in Luft .....	1
1.1.1.1 Kugelwelle und ebene Welle .....	4
1.1.1.2 Schalldruck, Schallschnelle und Schallkennimpedanz .....	5
1.1.1.3 Schalldruckpegel .....	7
1.1.1.4 Schalleistung und Schallintensität .....	8
1.1.2 Schallausbreitung im Raum .....	9
1.1.2.1 Schallreflexion .....	9
1.1.2.2 Schallbeugung .....	12
1.1.2.3 Schallbrechung .....	13
1.1.2.4 Schallabsorption .....	14
1.1.2.5 Schalldämmung .....	19
<b>1.2 Raumakustik</b> .....	20
1.2.1 Zeitlicher Aufbau des Schallfelds .....	20
1.2.2 Begriffe der Hörakustik .....	22
1.2.3 Direktschall und erste Reflexionen .....	23
1.2.3.1 Deutlichkeitsgrad und Klarheitsmaß .....	24
1.2.4 Hall .....	25
1.2.4.1 Nachhallzeit .....	26
<b>1.3 Akustik der Aufnahmestudios und Regieräume</b> .....	32
1.3.1 Störgeräuschpegel .....	32
1.3.2 Raumakustik von Aufnahmestudios .....	34
1.3.2.1 Veränderbare Nachhallzeit .....	35
1.3.3 Akustik von Regieräumen .....	36
1.3.3.1 Akustik in Übertragungswagen und in kleinen Abhörräumen .....	37
<b>1.4 Akustik von Konzertsälen, Opernhäusern und Kirchen</b> .....	37
Standards .....	40
Literatur .....	40
<b>2 SCHALLQUELLEN</b> .....	43
<b>2.1 Schallformen</b> .....	43
2.1.1 Schwingungen .....	45
2.1.1.1 Einfache Schwingungen .....	45
2.1.1.2 Überlagerung von Schwingungen .....	47
2.1.1.3 Zusammengesetzte Schwingungen .....	47

<b>2.2 Menschliche Stimme</b> .....	50
2.2.1 Akustische Eigenschaften .....	50
2.2.1.1 Sprachspektrum .....	52
2.2.1.2 Sprachschallpegel .....	53
2.2.1.3 Singstimme .....	53
2.2.2 Richtcharakteristik .....	54
2.2.3 Sprachverständlichkeit .....	55
<b>2.3 Musikinstrumente</b> .....	56
2.3.1 Akustische Eigenschaften .....	56
2.3.1.1 Klangeinsatz .....	56
2.3.1.2 Quasistationärer Klangabschnitt .....	58
2.3.1.3 Ausklingvorgang .....	61
2.3.1.4 Musikalische Dynamik .....	62
2.3.1.5 Stimmung der Instrumente .....	64
2.3.2 Akustische Instrumente .....	64
2.3.2.1 Streichinstrumente .....	65
2.3.2.2 Holzblasinstrumente .....	70
2.3.2.3 Blechblasinstrumente .....	72
2.3.2.4 Klavier und Cembalo .....	74
2.3.2.5 Orgel .....	74
2.3.2.6 Akustische Gitarre und E-Gitarre .....	75
2.3.2.7 Schlaginstrumente .....	77
2.3.3 Richtcharakteristiken .....	77
2.3.3.1 Streichinstrumente .....	78
2.3.3.2 Holzblasinstrumente .....	80
2.3.3.3 Blechblasinstrumente .....	81
2.3.3.4 Flügel und Orgel .....	82
2.3.4 Elektronische Instrumente .....	83
2.3.4.1 Historische Entwicklung .....	83
2.3.4.2 Klangerzeugung .....	85
2.3.4.3 Klangveränderung .....	86
2.3.4.4 Klangverarbeitung .....	88
2.3.4.5 Begriffe der Hüllkurvensteuerung .....	90
2.3.4.6 Keyboards und Rhythmusgeräte .....	90
Standards .....	92
Literatur .....	92
<b>3 SCHALLWAHRNEHMUNG</b> .....	95
<b>3.1 Das Gehör</b> .....	95
3.1.1 Cochlearer Verstärker .....	97
<b>3.2 Schallereignis und Hörereignis</b> .....	97
<b>3.3 Eigenschaften der Wahrnehmung</b> .....	99
3.3.1 Lautstärkepegel und Lautheit .....	99

3.3.2	Anpassung und Verdeckung	102
3.3.3	Tonhöhe	102
3.3.4	Verzerrungen	103
3.3.5	Rauheit und Schärfe	104
3.3.6	Subjektive Tondauer	104
3.3.7	Hörbarkeit von Phasenänderungen	104
<b>3.4</b>	<b>Räumliches Hören natürlicher Schallquellen</b>	<b>105</b>
3.4.1	Wahrnehmung der Richtung	106
3.4.1.1	Horizontale Ebene	106
3.4.1.2	Vertikale Ebene	109
3.4.2	Wahrnehmung der Entfernung	109
3.4.2.1	Im-Kopf-Lokalisation	111
	Standards	112
	Literatur	112
<b>4</b>	<b>SCHALLWANDLER</b>	<b>113</b>
<b>4.1</b>	<b>Physikalische Prinzipien</b>	<b>113</b>
<b>4.2</b>	<b>Mikrofone</b>	<b>115</b>
4.2.1	Eigenschaften von Mikrofonen	116
4.2.1.1	Übertragungsfaktor und Übertragungsmaß, Empfindlichkeit	116
4.2.1.2	Übertragungsbereich	117
4.2.1.3	Frequenzgang	117
4.2.1.4	Störspannungen und Störpegel	121
4.2.1.5	Grenzschalldruck und Aussteuerungsgrenze	123
4.2.1.6	Nennabschlussimpedanz und Nennimpedanz	123
4.2.1.7	Richtwirkung und ihre Frequenzabhängigkeit	123
4.2.1.8	Wind- und Poppstörungen	136
4.2.1.9	Störungen durch Körperschall	137
4.2.2	Kondensatormikrofone	138
4.2.2.1	Prinzip	138
4.2.2.2	Spannungsversorgung	138
4.2.2.3	Mikrofon-Vorverstärker mit analogem Ausgang	140
4.2.2.4	Mikrofon-Vorverstärker mit digitalem Ausgang	142
4.2.2.5	Druckempfänger mit ungerichtetem Schallempfang	145
4.2.2.6	Druckgradientenempfänger mit gerichtetem Schallempfang	145
4.2.2.7	Umschaltbare Richtcharakteristik	146
4.2.2.8	Koinzidenzmikrofone	149
4.2.3	Dynamische Mikrofone	150
4.2.3.1	Tauchspulmikrofone	151
4.2.3.2	Bändchenmikrofone	153
4.2.4	Sonderbauformen von Mikrofonen	154
4.2.4.1	Kardioidebenenmikrofone	154
4.2.4.2	Grenzflächenmikrofone	154

4.2.4.3	Großmembran- und Röhrenmikrofone	156
4.2.4.4	Ansteckmikrofone	157
4.2.4.5	Kontakt- oder Körperschallmikrofone	158
4.2.5	Mikrofonständer	158
<b>4.3</b>	<b>Einrichtungen für drahtlose Mikrofone</b>	<b>159</b>
4.3.1	Sender	160
4.3.1.1	Frequenzzuteilung	164
4.3.1.2	Stromversorgung	164
4.3.2	Antennen und Wellenausbreitung	166
4.3.3	Empfänger	168
4.3.3.1	Diversity-Empfang	169
<b>4.4</b>	<b>Lautsprecher</b>	<b>170</b>
4.4.1	Bauformen von Lautsprechern	170
4.4.1.1	Dynamische Lautsprecher	170
4.4.1.2	Elektrostatische Lautsprecher	173
4.4.1.3	Akustischer Kurzschluss und Lautsprecherboxen	175
4.4.1.4	Regielautsprecher	176
<b>4.5</b>	<b>Kopfhörer</b>	<b>177</b>
4.5.1	Bauformen von Kopfhörern	178
4.5.2	Einrichtungen für drahtlose Kopfhörer	179
	Standards	181
	Literatur	182
<b>5</b>	<b>TONAUFNAHME UND TONWIEDERGABE</b>	<b>183</b>
<b>5.1</b>	<b>Prinzipien der räumlichen Tonübertragung</b>	<b>183</b>
5.1.1	Binaurale Reproduktion der Ohrsignale	183
5.1.2	Lautsprecher-Stereofonie	184
5.1.3	Synthese des umgebenden Schallfelds	185
<b>5.2</b>	<b>Stereofonie</b>	<b>186</b>
5.2.1	Phantomschallquellen	187
5.2.1.1	Pegeldifferenzen	188
5.2.1.2	Zeitdifferenzen	189
5.2.1.3	Zusammenwirken von Pegel- und Zeitdifferenzen	191
5.2.1.4	Seitliche Phantomschallquellen	191
5.2.1.5	Stereohörfelder	193
5.2.2	Aufnahmewinkel eines Stereomikrofons	195
5.2.2.1	Aufnahmewinkel bei zweikanaligen Mikrofonen	195
5.2.2.2	Aufnahmewinkel bei gleichsinnigen Pegel- und Laufzeitdifferenzen	196
5.2.2.3	Aufnahmewinkel bei dreikanaligen Mikrofonen	197
5.2.2.4	Berechnungswerkzeuge	198
5.2.3	Theorien zur Lokalisation von Phantomschallquellen	199
5.2.3.1	Summenlokalisation	200
5.2.3.2	Assoziationsmodell	201

5.2.4 Räumliche stereofone Abbildung .....	203
5.2.4.1 Zweikanal-Stereofonie .....	204
5.2.4.2 Mehrkanal-Stereofonie .....	206
5.2.5 Begriffe zur stereofonen Richtungsabbildung .....	207
5.2.6 Aspekte zur Anwendung der Aufnahmeverfahren .....	209
<b>5.3 Zweikanal-Stereofonie .....</b>	<b>210</b>
5.3.1 Übersicht über die Aufnahme- und Mikrofonverfahren .....	211
5.3.2 Intensitätsstereofonie .....	214
5.3.2.1 XY-Mikrofonverfahren .....	214
5.3.2.2 MS-Mikrofonverfahren .....	217
5.3.2.3 Äquivalenzen von XY- und MS-Mikrofonverfahren .....	218
5.3.2.4 Praktischer Einsatz von Stereomikrofonen .....	219
5.3.3 Laufzeitstereofonie .....	220
5.3.3.1 Klein-AB .....	221
5.3.3.2 Groß-AB .....	222
5.3.3.3 Praktischer Einsatz der Laufzeitstereofonie .....	222
5.3.4 Kombination von Intensitäts- und Laufzeitstereofonie .....	224
5.3.4.1 ORTF-Mikrofonverfahren .....	225
5.3.4.2 Weitere Mikrofonanordnungen .....	226
5.3.4.3 Kugelflächenmikrofon .....	227
5.3.4.4 Andere Trennkörper .....	230
5.3.5 Stützmikrofonverfahren .....	230
5.3.5.1 Monostützmikrofone .....	232
5.3.5.2 Stereostützmikrofone .....	233
5.3.5.3 Stütztechnik und Raumeindruck .....	233
5.3.6 Einzelmikrofonverfahren .....	235
5.3.7 Überwachung der Stereosignale .....	236
5.3.8 Mono-Kompatibilität .....	238
<b>5.4 Mehrkanal-Stereofonie .....</b>	<b>240</b>
5.4.1 Mehrkanalstandard .....	240
5.4.1.1 Lautsprecheranordnung .....	241
5.4.1.2 Hierarchie kompatibler Mehrkanal-Tonsysteme .....	243
5.4.1.3 Tieftonwiedergabe .....	243
5.4.2 Stereofonie in den Sektoren L-C und C-R .....	245
5.4.2.1 Doppel-Stereoverfahren .....	247
5.4.2.2 Mehrfach-AB-Verfahren .....	247
5.4.2.3 Decca-Tree .....	248
5.4.2.4 OCT, Optimierte Nierenanordnung .....	250
5.4.3 Einsatz der Surround-Kanäle .....	253
5.4.3.1 Surround Sound-Hauptmikrofone .....	256
5.4.3.2 Separate Raummikrofone .....	261
5.4.3.3 Reportage und Dokumentation .....	263

5.4.4	Verwendung von Delay	265
5.4.4.1	Delay bei Einsatz von Hauptmikrofonen	265
5.4.4.2	Delay-Plan	267
5.4.4.3	Digitale Signalverarbeitung	269
<b>5.5</b>	<b>Klanggestaltung</b>	<b>269</b>
5.5.1	Wortproduktionen	273
5.5.1.1	Sprachaufnahmen	275
5.5.1.2	Gesprächsrunden	277
5.5.2	Klangliche Aspekte bei Aufnahmen klassischer Musik	278
5.5.2.1	Aufnahmeraum	279
5.5.2.2	Verteilung der Schallquellen auf der Stereobasis	281
5.5.2.3	Tiefenstaffelung innerhalb des Stereoklangbilds	286
5.5.2.4	Wiedergabedynamik	286
5.5.2.5	Anforderungen bei Wiedergabe von 5.1-Mehrkanalstereofonie	287
5.5.2.6	Neue Aspekte bei mehrkanaliger Wiedergabe	288
5.5.2.7	Historischer Rückblick	288
5.5.3	Klangliche Aspekte bei Fernsehaufnahmen	290
5.5.3.1	Unterhaltung und Show	290
5.5.3.2	Oper	292
5.5.3.3	Sport	293
5.5.3.4	Reportage, Magazin und Dokumentation	294
5.5.3.5	Spielfilm	295
5.5.3.6	Fernsehspiel und Sitcom	296
<b>5.6</b>	<b>Kunstkopfverfahren</b>	<b>296</b>
5.6.1	Kopfbezogene binaurale Übertragung	296
5.6.2	Praktische Anwendung	298
5.6.3	Lautsprecherwiedergabe	299
<b>5.7</b>	<b>Kopfhörerwiedergabe</b>	<b>300</b>
5.7.1	Phantomschallquellen im Kopf	301
5.7.2	Entzerrung von Kopfhörern	301
<b>5.8</b>	<b>Wellenfeldsynthese</b>	<b>304</b>
5.8.1	Prinzip der Aufnahme und Wiedergabe	304
5.8.2	Neue Fähigkeiten	306
5.8.3	Einschränkungen in der Praxis	308
5.8.4	Kombination von Wellenfeldsynthese und Stereofonie	309
5.8.4.1	Virtual Panning Spot	309
5.8.4.2	Virtuelle Lautsprecher	311
5.8.4.3	Virtueller Kopfhörer	312
5.8.4.4	Binaural Sky	313
	Standards	314
	Literatur	315

<b>6 KLANGGESTALTUNG</b> .....	321
<b>6.1 Abbildungsrichtung und Abbildungsbreite</b> .....	321
6.1.1 Panorama-Potentiometer und Balanceregler .....	322
6.1.2 Richtungsmischer, Stereobreitenregler und Stereoenhancer .....	326
<b>6.2 Dynamik und Lautheit</b> .....	329
6.2.1 Kompressor und Limiter .....	329
6.2.1.1 Statisches Verhalten .....	330
6.2.1.2 Dynamisches Verhalten .....	331
6.2.1.3 Erweiterte Anwendungen .....	333
6.2.2 Expander und Gate .....	335
6.2.2.1 Statisches Verhalten .....	335
6.2.2.2 Dynamisches Verhalten .....	336
6.2.2.3 Erweiterte Anwendungen .....	336
6.2.3 Kombinierte Regelverstärker .....	337
<b>6.3 Klangfarbe</b> .....	338
6.3.1 Klassische Filter .....	338
6.3.1.1 Hochpass .....	339
6.3.1.2 Tiefpass .....	340
6.3.1.3 Bandpass .....	341
6.3.1.4 Bandsperre .....	341
6.3.1.5 Spezialfilter .....	342
6.3.2 Equalizer .....	343
6.3.2.1 Glockenfilter .....	343
6.3.2.2 Schelf-Filter .....	345
6.3.3 Verzerrer .....	346
6.3.4 Enhancer .....	346
<b>6.4 Tonhöhe und Tondauer</b> .....	347
6.4.1 Pitch Shifting .....	347
6.4.2 Time Stretching .....	349
<b>6.5 Raumeindruck</b> .....	349
6.5.1 Analoge Hallerzeugung .....	350
6.5.1.1 Hallfeder .....	350
6.5.1.2 Hallplatte .....	351
6.5.1.3 Hallfolie .....	351
6.5.2 Digitaler algorithmischer Hall .....	352
6.5.3 Digitaler Faltungshall .....	354
<b>6.6 Komplexe Klangveränderungen</b> .....	355
6.6.1 Tremolo und Vibrato .....	355
6.6.2 Wah-Wah .....	355
6.6.3 Verzögerungseffekte .....	356

6.6.4 Phaser	359
6.6.5 Ringmodulator	359
6.6.6 Leslie-Kabinett	360
6.6.7 Vocoder	361
6.6.8 Kombinierte und neue Audiotbearbeitungsmittel	362
<b>6.7 Klangästhetische Aspekte</b>	<b>363</b>
6.7.1 Zusammenhang von Reiz- und Wahrnehmungsmerkmalen	363
6.7.2 Klang und Bedeutung	364
6.7.3 Medienästhetische Ideale	365
6.7.4 Der Kampf um die Aufmerksamkeit des Hörers	366
Standards	367
Literatur	367
<b>7 ANALOGE TONSIGNALSPEICHERUNG</b>	<b>371</b>
<b>7.1 Magnetische Tonsignalspeicherung</b>	<b>372</b>
7.1.1 Grundlagen des Magnetismus	372
7.1.1.1 Magnetisches Feld	372
7.1.1.2 Magnetische Induktion	373
7.1.1.3 Hysteresisschleife	374
7.1.2 Magnettonverfahren	376
7.1.2.1 Prinzip	377
7.1.2.2 Magnettonbänder	378
7.1.2.3 Aufzeichnungsvorgang	380
7.1.2.4 Elektroakustische Eigenschaften von Magnetbändern	385
7.1.2.5 Wiedergabevorgang	392
7.1.2.6 Entzerrung des Frequenzgangs	394
7.1.2.7 Löschvorgang	398
7.1.3 Systeme zur Rauschverminderung	399
7.1.3.1 Telcom-Verfahren	400
7.1.3.2 Dolby-Verfahren	403
7.1.4 Schnittbearbeitung von Magnetbändern	404
7.1.4.1 Bandschnitt und Kennbänder	405
7.1.5 Studio-Magnettonanlagen	406
7.1.5.1 Studio-Magnettonlaufwerke	407
7.1.5.2 Magnettonköpfe	409
7.1.5.3 Mehrspur-Magnettonanlagen	411
7.1.5.4 Aufzeichnung von Mono- und Stereosignalen	412
<b>7.2 Mechanische Schallspeicherung</b>	<b>412</b>
7.2.1 Aufzeichnungsverfahren	414
7.2.1.1 Mono- und Stereoaufzeichnung	414
7.2.1.2 Lichtbandbreite	416
7.2.1.3 Schneidkennlinien	416

7.2.2 Plattenherstellung .....	418
7.2.2.1 Lackplatten-Schneidverfahren .....	418
7.2.1.2 DMM-Schneidverfahren .....	419
7.2.3 Wiedergabe .....	419
7.2.3.1 Abtastsysteme .....	420
7.2.3.2 Tonarm .....	422
7.2.3.3 Geometrische Abtastverzerrungen .....	423
7.2.3.4 Laufwerk .....	425
7.2.3.5 Verstärker .....	426
Standards .....	426
Literatur .....	428
<b>8 ANALOGE TONREGIEANLAGEN .....</b>	<b>431</b>
<b>8.1 Historische Entwicklung: die Generationen der Tonstudioteknik .....</b>	<b>431</b>
<b>8.2 Aufbau von Tonregieanlagen .....</b>	<b>436</b>
<b>8.3 Leitungsführung und Anpassung .....</b>	<b>437</b>
8.3.1 Symmetrie und Unsymmetrie .....	437
8.3.2 Schirmung .....	441
8.3.3 Kabellänge und Kabelführung .....	442
8.3.4 Zusammenschaltung .....	443
8.3.5 Erdung .....	444
8.3.6 Anpassung .....	445
<b>8.4 Leitungsverbindungen .....</b>	<b>447</b>
8.4.1 Klinkensteckverbindungen .....	448
8.4.2 Koppelfelder .....	450
8.4.2.1 Komplexe Koppelfelder .....	454
8.4.3 Kabelsteckverbindungen .....	458
8.4.4 Schalter .....	459
<b>8.5 Mikrofonverstärker .....</b>	<b>460</b>
8.5.1 Verstärkungseinstellung .....	462
8.5.2 Frequenzgang .....	462
8.5.3 Störpegel und Aussteuerungsfestigkeit .....	463
8.5.4 Mikrofon-Trennverteiler .....	464
8.5.5 Kommandoverstärker .....	465
<b>8.6 Anschluss externer Geräte .....</b>	<b>465</b>
8.6.1 Brummstörungen .....	466
8.6.1.1 Brummstörungen bei Verwendung eines Netz-Trenntransformators .....	466
8.6.1.2 Brummstörungen durch Masseschleifen .....	467
8.6.1.3 Brummstörungen durch Mehrfacherdung .....	468
8.6.2 Trennübertrager für Tonsignale .....	469

<b>8.7 Pegelsteller</b> .....	470
8.7.1 VCA- und Motorpegelsteller .....	472
8.7.2 Überblendregler .....	472
8.7.3 Elektronische Blender .....	473
<b>8.8 Richtungsmischung</b> .....	474
8.8.1 Panorama-Potentiometer .....	475
8.8.2 Richtungsmischer .....	477
<b>8.9 Knotenpunkte</b> .....	479
8.9.1 Knotenpunkte mit Spannungsanpassung .....	480
8.9.2 Knotenpunkte mit Stromanpassung .....	480
8.9.2.1 Universalverstärker als Knotenpunktverstärker .....	482
<b>8.10 Hilfssummen</b> .....	485
8.10.1 Schaltungen für künstliche Verhallung .....	487
8.10.2 Schaltungen für Ausspielwege .....	489
<b>8.11 Spezial- und Universalverstärker</b> .....	490
8.11.1 Spannungsverstärker .....	491
8.11.1.1 Aufholverstärker .....	491
8.11.1.2 Trenn- und Verteilerverstärker .....	491
8.11.2 Universalverstärker .....	493
8.11.2.1 Pegelverstärker .....	495
8.11.2.2 Knotenpunktverstärker .....	495
8.11.2.3 Trennverstärker .....	496
8.11.3 Anpassverstärker .....	496
8.11.4 Leistungsverstärker .....	497
<b>8.12 Akustische und optische Signalüberwachung</b> .....	498
8.12.1 Einrichtungen und Kontrollpunkte für Abhören .....	498
8.12.1.1 Abhöreinheit .....	499
8.12.2 Vorhören, Solo, Mute .....	504
8.12.3 Mithören .....	505
8.12.4 Pegeltongenerator .....	506
<b>8.13 Tonregieanlagen in Streifentechnik</b> .....	506
Standards .....	509
Literatur .....	509
<b>9 BESCHALLUNG</b> .....	511
<b>9.1 Raumakustik unter der Berücksichtigung von Beschallungsanlagen</b> .....	512
9.1.1 Reflexionen .....	512
9.1.2 Erste Reflexionen .....	512
9.1.3 Fokussierung .....	513

9.1.4	Stehende Wellen	513
9.1.5	Raumresonanzen	514
9.1.6	Nachhall	514
9.1.7	Hallradius	514
<b>9.2</b>	<b>Grundlegende Beschallungskonzepte</b>	<b>515</b>
9.2.1	Von der zentralen zur dezentralen Beschallung	516
9.2.1.1	Zentrale Beschallung	516
9.2.1.2	Dezentrale Beschallung	516
9.2.2	Überwindung des Hallradius und Nutzung des Diffusfeldes	518
9.2.3	Lautsprecherpositionen	520
9.2.3.1	Frontalbeschallung mit horizontaler Position	520
9.2.3.3	Einsatz von Delay-Lautsprechern	522
9.2.3.4	Bühnenrandbeschallung, Nahfeld	524
9.2.3.5	Einsatz und Positionierung von Subwoofer	524
9.2.3.6	Centercluster	525
9.2.3.7	Lokalisation	526
9.2.3.8	Richtungsbezogene Beschallung, Delta-Stereofonie	527
<b>9.3</b>	<b>Beschallungsausrüstung</b>	<b>527</b>
9.3.1	Lautsprecher	527
9.3.1.1	Kenschalldruck und Wirkungsgrad	527
9.3.1.2	Nennleistung	529
9.3.1.3	Spitzenschalldruck	529
9.3.1.4	Frequenzgang	529
9.3.1.5	Phasenlage	530
9.3.1.6	Richtwirkung	530
9.3.1.7	Abstrahlwinkel	532
9.3.1.8	Methoden für Richtwirkung von Lautsprechern	533
9.3.1.9	Stacking	535
9.3.1.10	Line-Arrays	536
9.3.1.11	Monitorbeschallung	538
9.3.1.12	In-Ear-Monitoring	539
9.3.2	Mischpulte	540
9.3.2.1	FOH – Front-Of-House	540
9.3.2.2	Monitormischpulte	540
9.3.3	Equalizer	541
9.3.3.1	Parametrischer Equalizer	541
9.3.3.2	Grafischer Equalizer	542
9.3.4	Effekte	543
9.3.4.1	Hall	543
9.3.4.2	Delay-Echo	543
9.3.4.3	Delay-Signallaufzeit	543
9.3.4.4	Kompressor, Limiter, Noise-Gate	544
9.3.5	Mikrofone	544
9.3.5.1	Rückkopplungsempfindlichkeit bei Mikrofonen	544
9.3.5.2	Bühnentauglichkeit und Grenzschalldruck	545

9.3.6	Controller	545
9.3.6.1	Frequenzgangkorrektur	545
9.3.6.2	Phasenkorrektur, Alignment	546
9.3.6.3	Schutzschaltung	546
9.3.7	Verstärker	546
9.3.7.1	Dimensionierung von Verstärkern	546
9.3.7.2	Rückwärtsdämpfung	547
9.3.8	Kabel, Querschnitte	548
<b>9.4</b>	<b>Strukturierte Inbetriebnahme</b>	<b>548</b>
9.4.1	Systemanpassung	548
9.4.2	Delayanpassung	549
9.4.3	Raumentzerrung und Hauptequalizer	550
9.4.4	Sonderfall Open Air Beschallung	550
<b>9.5</b>	<b>100 V-Technik</b>	<b>550</b>
<b>9.6</b>	<b>Planungs- und Simulationssoftware für Beschallungsanlagen</b>	<b>552</b>
	Literatur	553
<b>10</b>	<b>ANALOGE TONMESSTECHNIK</b>	<b>555</b>
<b>10.1</b>	<b>Verstärkung und Dämpfung</b>	<b>555</b>
10.1.1	Betriebsgrößen	556
10.1.2	Ein- und Ausgangsscheinwiderstand	557
10.1.3	Symmetrie	558
<b>10.2</b>	<b>Verzerrungen</b>	<b>559</b>
10.2.1	Lineare Verzerrungen	559
10.2.2	Nichtlineare Verzerrungen	561
10.2.2.1	Messverfahren	564
<b>10.3</b>	<b>Störspannungen</b>	<b>567</b>
10.3.1	Unbewertete Störspannungen	567
10.3.2	Bewertete Störspannungen	568
10.3.3	Systemrauschen und Betriebskennlinie	569
10.3.4	Tief- und Hochfrequenzfestigkeit, Knackstörungen	570
<b>10.4</b>	<b>Stereoparameter</b>	<b>571</b>
10.4.1	Pegeldifferenzen	571
10.4.2	Phasendifferenzen	571
10.4.3	Übersprechen	573
<b>10.5</b>	<b>Schalldruckpegel</b>	<b>574</b>
10.5.1	Bewertete Schalldruckpegel	575
10.5.2	Bewertung des Schalldruckpegels	576

<b>10.6 Messungen an Mikrofonen</b> .....	577
10.6.1 Feld-Übertragungsfaktor und Feld-Übertragungsmaß .....	577
10.6.2 Frequenzgang .....	578
10.6.3 Gerichteter Schallempfang .....	578
10.6.3.1 Richtungsfaktor, Richtungsmaß und Richtcharakteristik .....	578
10.6.3.2 Bündelungsgrad und Bündelungsmaß .....	579
10.6.4 Klirrfaktor und Grenzschalldruck .....	579
10.6.5 Störpegel .....	579
<b>10.7 Messungen an Lautsprechersystemen</b> .....	580
10.7.1 Analoge Messmethoden .....	580
10.7.1.1 Übertragungsmaß und Frequenzgang .....	580
10.7.1.2 Scheinwiderstand .....	581
10.7.1.3 Richtcharakteristik .....	582
10.7.1.4 Kennschalldruckpegel .....	582
10.7.2 Digitale Messmethoden .....	583
<b>10.8 Messungen an Magnettonanlagen</b> .....	584
10.8.1 Einstellungen und Prüfungen .....	584
10.8.1.1 Mechanische Einstellungen .....	584
10.8.1.2 Elektrische Messungen am Wiedergabekanal .....	585
10.8.1.3 Elektrische Messungen am Aufnahmekanal .....	587
<b>10.9 Messungen an Plattenspielern</b> .....	588
<b>10.10 Pegel und Pegelmaße</b> .....	589
10.10.1 Pegel .....	589
10.10.2 Relativer und absoluter Spannungspegel .....	591
10.10.3 Andere Pegelangaben .....	594
10.10.4 Rechnen mit Pegeln .....	594
10.10.4.1 Verstärkung und Dämpfung im Pegelmaß .....	594
10.10.4.2 Überlagerung von Spannungen .....	595
10.10.4.3 Pegeldiagramme .....	596
Standards .....	597
Literatur .....	598
<b>11 GRUNDLAGEN DER DIGITALEN TONTECHNIK</b> .....	601
<b>11.1 Einführung</b> .....	601
<b>11.2 Signale</b> .....	603
11.2.1 Kontinuierliche Signale .....	603
11.2.1.1 Signaldarstellung .....	604
11.2.1.2 Signalverarbeitung .....	607
11.2.2 Diskrete Signale .....	607
11.2.2.1 Abtastung .....	607
11.2.2.2 Quantisierung .....	611
11.2.2.3 Signalrekonstruktion .....	616

<b>11.3 Systemkomponenten der digitalen Signalverarbeitung</b> .....	617
11.3.1 Analog/Digital-Wandlung .....	618
11.3.1.1 Successive-Approximation-Wandler .....	618
11.3.1.2 Delta-Sigma-Wandler .....	619
11.3.2 Digital-/Analog-Wandlung .....	622
11.3.2.1 R-2R-Wandler .....	622
11.3.2.2 Delta-Sigma-Wandler .....	622
11.3.2.3 Bitstream-Systeme .....	623
11.3.3 Digitale Signalverarbeitung .....	624
11.3.3.1 Signalprozessoren .....	626
<b>11.4 Digitale Signalübertragung</b> .....	628
11.4.1 Quellencodierung und Datenkompression .....	628
11.4.2 Kanalcodierung und Fehlerbehandlung .....	629
11.4.3 Übertragungsnetze .....	630
<b>11.5 Digitale Audioschnittstellen</b> .....	631
11.5.1 AES/EBU und SPDIF .....	632
11.5.1.1 Entwicklung .....	632
11.5.1.2 Datenformat .....	633
11.5.1.3 Kanalcodierung .....	636
11.5.1.4 Elektrische Eigenschaften und Steckverbinder .....	637
11.5.2 Mehrkanal-Schnittstellen .....	638
11.5.2.1 Dolby-E Interface .....	638
11.5.2.2 MADI .....	638
11.5.2.3 ADAT .....	639
11.5.2.4 TDIF .....	639
11.5.3 FireWire .....	639
11.5.4 USB .....	640
11.5.4.1 Entwicklung .....	640
11.5.4.2 Topologie .....	641
11.5.4.3 Datenübertragung .....	641
11.5.4.4 Elektrische Eigenschaften und Steckverbinder .....	642
11.5.4.5 Audioapplikationen .....	643
11.5.5 Videoschnittstellen .....	643
11.5.5.1 SDI .....	643
11.5.5.2 DVI .....	644
11.5.5.3 HDMI .....	644
<b>11.6 Audio-Dateiformate</b> .....	645
11.6.1 WAV, WAVE .....	645
11.6.2 BWF .....	645
11.6.3 RF64, RIFF64 .....	646
Standards .....	646
Literatur .....	647

---

<b>12 AUDIOCODIERUNG</b>	649
<b>12.1 Einführung</b>	649
12.1.1 Verlustfreie Codierverfahren	650
12.1.2 Verlustbehaftete Codierverfahren	650
12.1.2.1 Wellenformcodierung	650
12.1.2.2 Quellenorientierte Codierung	651
12.1.2.3 Empfängerorientierte Codierung	652
12.1.3 Standardisierung von Audiocodierverfahren	652
12.1.3.1 Offene und proprietäre Standards	652
12.1.3.2 Generationsentwicklung der MPEG-Audiostandards	653
<b>12.2 Grundprinzipien psychoakustisch basierter Codierverfahren</b>	654
12.2.1 Psychoakustische Grundlagen	654
12.2.1.1 Frequenzabhängige Maskierung	655
12.2.1.2 Zeitabhängige Maskierung	657
12.2.1.3 Räumliche Schallwahrnehmung	658
12.2.2 Bausteine psychoakustisch basierter Codierverfahren	659
12.2.2.1 Filterbank	659
12.2.2.2 Quantisierung und Codierung	661
12.2.2.3 Psychoakustisches Modell	662
12.2.2.4 Spektrale Bandbreitenerweiterung	662
12.2.3 Codierung zwei- und mehrkanaliger Stereosignale	664
12.2.3.1 Joint-Stereo Codierung	664
12.2.3.2 Spatial Audio Codierung	666
<b>12.3 Qualitätsaspekte der Audiocodierung</b>	667
12.3.1 Qualitätsstufen von Codec-Anwendungen	667
12.3.2 Typische Codier-Artefakte	669
12.3.2.1 Artefakte durch begrenzte Zeitauflösung	670
12.3.2.2 Birdies	671
12.3.2.3 Mehrkanal-Artefakte	672
12.3.2.4 Artefakte durch Tandem-Codierung	673
12.3.3 Hörtests mit psychoakustisch basierten Codierverfahren	673
<b>12.4 Psychoakustisch basierte Audiocodices</b>	675
12.4.1 Übersicht	675
12.4.2 MPEG-1/2 Audio	676
12.4.2.1 MPEG-1	676
12.4.2.2 MPEG-2 Low Sampling Rate Erweiterungen	676
12.4.2.3 MPEG-2 Multikanal-Erweiterungen	677
12.4.2.4 MPEG-1/2 Bitstrom und Fileformat	678
12.4.2.5 Layer 1 Audiodaten	679
12.4.2.6 Layer 2 Audiodaten	680
12.4.2.7 Layer 3 Audiodaten	681
12.4.3 MPEG-2/4 AAC	682
12.4.3.1 Filterbank	683
12.4.3.2 Bitstrom und Fileformat	684

12.4.4	MPEG-4 High-Efficiency AAC	684
12.4.4.1	HE-AAC Varianten	685
12.4.4.2	Audioqualität und Einsatzbereiche von AAC-Codecs	685
12.4.5	MPEG Mehrkanalcodecs	688
12.4.5.1	MPEG-Surround	688
12.4.5.2	HE-AAC mit MPEG-Surround	689
12.4.5.3	MP3-Surround	689
12.4.6	Dolby Mehrkanalcodecs	689
12.4.6.1	Dolby Digital	689
12.4.6.2	Dolby Digital Plus	691
12.4.6.2	Dolby E	692
12.4.7	DTS	693
12.4.7.1	Basisverfahren	693
12.4.7.2	DTS-ES	694
12.4.7.3	DTS 96/24	694
12.4.8	apt-X	695
12.4.8.1	Basisverfahren	695
12.4.8.2	Enhanced apt-X	696
<b>12.5</b>	<b>Sprachcodecs</b>	<b>697</b>
12.5.1	ITU-T G.722	697
12.5.2	ITU-T G.722.1, G.722.2	698
<b>12.6</b>	<b>Weitere gebräuchliche Audiocodecs</b>	<b>699</b>
12.6.1	Windows Media Audio	700
12.6.2	Ogg Vorbis	700
<b>12.7</b>	<b>Matrix-basierte Surround-Systeme</b>	<b>700</b>
12.7.1	Dolby Surround / Dolby ProLogic	701
<b>12.8</b>	<b>Verlustfreie Audiocodierverfahren</b>	<b>702</b>
12.8.1	Übersicht	702
12.8.2	Free Lossless Audio Codec	703
<b>12.9</b>	<b>Digitale Signaturen von Audiodateien</b>	<b>704</b>
12.9.1	Digitales Wasserzeichen	705
12.9.1.1	Anforderungen und Eigenschaften	705
12.9.1.2	Anwendungsbereiche	706
12.9.2	Digitaler Fingerabdruck	708
12.9.2.1	Anforderungen und Eigenschaften	708
12.9.2.2	Merkmalsauswahl	709
12.9.2.3	Lösungsmodelle	710
12.9.2.4	Anwendungsbereiche	710
12.9.3	Digitale Rechteverwaltung	711
12.9.3.1	Anwendungsbereiche	712
12.9.3.2	Basistechniken	713
12.9.3.3	Nachteile von DRM	714

Standards .....	715
Literatur .....	716
<b>13 DIGITALE STUDIOPROZESSE .....</b>	<b>719</b>
<b>13.1 Tonsignalbearbeitung .....</b>	<b>719</b>
13.1.1 Digitale Effektgeräte .....	719
13.1.2 Digitale Tonmischpulte .....	721
13.1.3 Kreuzschienen .....	724
13.1.4 Systembetrachtungen .....	727
13.1.5 PC-basierte Bearbeitungssysteme .....	728
13.1.6 Audioworkstations .....	730
13.1.7 Integrierte Funkhaussysteme .....	731
<b>13.2 Digitale Programmproduktion und Sendeabwicklung im Hörfunk .....</b>	<b>732</b>
13.2.1 Aufbau einer Hörfunkorganisation .....	734
13.2.2 Abläufe in der digitalen Programmproduktion .....	736
13.2.2.1 Akquisition von Programminhalten .....	736
13.2.2.2 Kontribution von Programminhalten .....	738
13.2.2.3 Distribution .....	740
13.2.3 Digitaler Workflow .....	741
13.2.4 Module im digitalen Workflow .....	744
13.2.4.1 Beitragserstellung .....	744
13.2.4.2 Sendungsbegleitende Produktion .....	747
13.2.4.3 Datenbankmanager für Audio-Files .....	747
13.2.4.4 Sendeplanung .....	748
13.2.4.5 Sendeprotokoll und Nutzungsrechte .....	750
13.2.4.6 Recherchewerkzeuge Archiv .....	750
13.2.4.7 Aktualitätenspeicher .....	752
13.2.4.8 Musikrotation .....	753
13.2.4.9 Sendeablaufsteuerung .....	754
13.2.4.10 Regionalisierung .....	757
13.2.4.11 Themen- und Ereignisplanung .....	757
13.2.4.12 Nachrichtenverteilung .....	758
13.2.4.13 Phonescreening und Off-Airs .....	759
13.2.4.14 Verkehrsinformationen .....	759
13.2.4.15 Zusatzinformationen .....	761
13.2.4.16 Leitungsdisposition .....	762
13.2.4.17 Dokumentationssystem .....	762
13.2.5 Außenübertragungstechnik .....	762
<b>14 DIGITALE TONSIGNALSPEICHERUNG .....</b>	<b>767</b>
<b>14.1 Digitale Tonaufzeichnung .....</b>	<b>767</b>
14.1.1 Quelldaten, Kanaldaten und Kanalmodulation .....	768
14.1.1.1 Speicherkanal .....	769

14.1.2	Datenformatierung	770
14.1.3	Schreibcodes und Kanalmodulation	771
14.1.4	Fehlererkennung und Fehlerkorrektur	775
14.1.4.1	Instrumente der Fehlererkennung und Fehlerkorrektur	775
14.1.5	Magnetische Aufzeichnung	777
14.1.6	Magnetband-Aufzeichnung	780
14.1.6.1	Helical-Scan-Aufzeichnung	780
14.1.6.2	Helical-Scan-Aufzeichnung für 8-Kanal-Ton	784
14.1.6.3	Längsaufzeichnung	785
14.1.6.4	Tondatenaufzeichnung auf Computermagnetband	787
14.1.7	Magnetplattenaufzeichnung	791
14.1.7.1	Aufbau und Funktion	792
14.1.7.2	Controller, Codierung und weitere Entwicklung	793
14.1.8	Optische Aufzeichnung	795
14.1.8.1	Optische Speicherverfahren	796
14.1.8.2	Optische Aufzeichnungsverfahren	797
14.1.9	Compact Disc	798
14.1.9.1	Beschreibung	798
14.1.9.2	CD-R	801
14.1.10	Super Audio CD (SACD)	802
14.1.10.1	Aufbau und Eigenschaften	803
14.1.10.2	Datenorganisation, Kanalcodierung und Fehlerschutz	804
14.1.11	DVD-Audio	805
14.1.11.1	Aufbau und Eigenschaften	805
14.1.11.2	Datenformat	806
14.1.12	Magneto-Optical Disc (MOD)	807
14.1.12.1	Aufbau und Funktionsweise	807
14.1.12.2	Zukünftige Entwicklung	811
14.1.13	Flash-Speicher	811
14.1.13.1	Funktionsweise	811
14.1.13.2	Flash-Filesystem und Kanalcodierung	812
14.1.13.3	Flash-Karten und künftige Entwicklung	813
14.1.14	Tonsignalrestauration	814
<b>14.2</b>	<b>Mastering</b>	<b>817</b>
14.2.1	Definition des Mastering	818
14.2.2	Technische und klangliche Aspekte	818
14.2.2.1	Formatierung	819
14.2.2.2	Pegelanpassung	819
14.2.2.3	Dynamik	819
14.2.2.4	Dither und Noise Shaping	820
14.2.2.5	Remastering und Tonrestauration	820
14.2.2.6	Analog oder digital?	820

14.2.3	Surround Mastering	821
14.2.3.1	Mastering von Kinomischungen	822
14.2.4	Das Mastering-Studio	822
14.2.5	Master-Formate	822
14.2.5.1	CD-Audio	822
14.2.6	Alternative Formate	823
14.2.6.1	Super Audio CD	823
14.2.6.2	Super Audio Hybrid Disk	824
14.2.6.3	DVD-Audio	824
14.2.6.4	DVD-Video	825
14.2.6.5	Blu-ray Disc	826
14.2.6.6	HD-DVD	829
<b>14.3</b>	<b>Digitale Tonarchive</b>	<b>829</b>
14.3.1	Anforderungen	832
14.3.1.1	Funktionale Anforderungen aus Sicht des Archivs	832
14.3.1.2	Funktionale Anforderungen aus Sicht des Programms	832
14.3.1.3	Systemtechnische Anforderungen	833
14.3.2	Archivsysteme	834
14.3.2.1	Speichersysteme	836
14.3.2.2	Datenbanken	838
14.3.2.3	Benutzeroberflächen	839
14.3.2.4	Einspielstationen	842
14.3.2.5	Ausspielstationen	845
14.3.2.6	Schnittstellen	845
14.3.3	Metadaten	846
14.3.3.1	Kategorien von Metadaten	846
14.3.3.2	Bedeutung von Metadaten im digitalen Workflow	847
14.3.3.3	Technischer Umgang mit Metadaten	847
	Standards	853
	Literatur	854
<b>15</b>	<b>FILM- UND FERNSEHTON</b>	<b>857</b>
<b>15.1</b>	<b>Einführung</b>	<b>857</b>
<b>15.2</b>	<b>Zeitliche Relationen zwischen Bild und Ton</b>	<b>858</b>
15.2.1	Zeitliche Wahrnehmung	858
15.2.2	Synchronität und Bild-Ton-Versatz	859
<b>15.3</b>	<b>Inhaltliche Relationen zwischen Bild und Ton</b>	<b>861</b>
15.3.1	Sounddesign und Montage	861
<b>15.4</b>	<b>Mikrofonierung und Tonaufzeichnung</b>	<b>862</b>
15.4.1	Mikrofonierung des Original-Tons	862
15.4.2	Mikrofonierung für Stereo und Surround	865
15.4.3	Mikrofonierung im Synchronstudio	866

15.4.4.	Mikrofonierung im Fernsehstudio	867
15.4.5	Tonaufzeichnung mit dem Camcorder	867
15.4.6	Aufnahme mit abgesetztem Recorder	868
15.4.7	Workflow mit analogen und digitalen Medien	868
15.4.8	Portable Audiomischer	869
15.4.9	Ü-Wagen- und Studio-Produktion	870
<b>15.5</b>	<b>Bildbezogene Aufzeichnungs- und Dateiformate für Ton</b>	<b>871</b>
15.5.1	Analoge, bandgestützte Aufzeichnungsformate	871
15.5.2	Digitale, bandgestützte Aufzeichnungsformate	872
15.5.3	Digitale, dateibasierte Aufzeichnungsformate	873
15.5.3.1	AVI - Audio Video Interleaved	873
15.5.3.2	MXF – Media Exchange Format	874
15.5.3.3	GXF - General Exchange Format	875
15.5.4	Kanal- und Spurenbelegung für den Programmaustausch	876
<b>15.6</b>	<b>Synchronisation und Synchronverfahren</b>	<b>876</b>
15.6.1	Pilotton und Neo-Pilotton	877
15.6.2	SMPTE/EBU-Timecode	878
15.6.3	MIDI-Timecode	880
15.6.4	Rotosyn	880
15.6.5	Multiplexing, Interleaving und Time-Stamping	880
15.6.6	Time-Alignment Audio/Video	883
<b>15.7</b>	<b>Nachbearbeitung und Mischung</b>	<b>884</b>
15.7.1	Schnitt	884
15.7.2	Integrierte Audioproduktion	884
15.7.3	Synchronregie und Mischung	886
15.7.4	Lautheitssteuerung und Fernseh-Soundprocessing	887
<b>15.8</b>	<b>Filmtonformate und Wiedergabeverfahren</b>	<b>889</b>
15.8.1	Analoger und digitaler Lichtton	890
15.8.2	Magnetton	891
15.8.3	dci - Digital Cinema Initiative	892
15.8.4	Wiedergabe in der Filmtonregie und im Kino	892
15.8.5	Wiedergabe im Kino - A-Chain, B-Chain	894
<b>15.9</b>	<b>Fernsehtonformate und Wiedergabeverfahren</b>	<b>895</b>
15.9.1	Kanalformate und Wiedergabesysteme für Fernsehton	896
15.9.2	IRT-Zweitonverfahren (A2)	896
15.9.3	NICAM 728, NICAM Stereo	896
15.9.4	Matrizierter Surroundton	897
15.9.5	Digitale Fernsehtonverfahren für Stereo- und Surroundton	898
15.9.6	Stereo- und Mehrkanalübertragung für professionelle Anwendungen	899

<b>15.10 Spezifische Audio-Schnittstellen in Videosystemen</b> .....	903
15.10.1 SDI und HD-SDI .....	903
15.10.2 SDTI – Serial Digital Transport Interface .....	905
15.10.3 RS-422 und Sony 9-Pin .....	906
15.10.4 Mehrkanalton über Zweikanalschnittstellen .....	906
Standards .....	907
Literatur .....	908
<b>16 DIGITALE BETRIEBSTECHNIK</b> .....	909
<b>16.1 Zentrale Einrichtungen</b> .....	909
16.1.1 Betriebszentrale .....	910
16.1.1.1 Koppelfeld .....	911
16.1.1.2 Leitungsanbindung .....	914
16.1.1.3 Sendeverteilung .....	917
16.1.1.4 Weitere Einrichtungen .....	919
16.1.1.5 Handhabung der Systeme .....	920
16.1.2 Synchronisation .....	920
16.1.3 Vernetzung .....	921
16.1.3.1 Server .....	921
16.1.3.2 Produktion .....	922
16.1.3.3 Kontribution von Programmbeiträgen .....	922
16.1.3.4 Programmaustausch .....	923
16.1.3.5 Datensicherheit .....	924
16.1.3.6 Anwendungssoftware .....	924
16.1.4 Sendestudio .....	924
16.1.4.1 Konventioneller Regiebetrieb .....	926
16.1.4.2 Selbstfahrerbetrieb .....	927
16.1.4.3 Leitungsanbindung .....	927
16.1.4.4 Weitere Einrichtungen .....	928
16.1.5 Vorproduktion .....	929
16.1.6 Intercom .....	929
16.1.6.1 Sprechanlagen .....	930
16.1.6.2 Betriebsfernsprecheranlage .....	931
16.1.7 Stromversorgung .....	933
<b>16.2 Übertragungswege</b> .....	934
16.2.1 Problemstellung .....	934
16.2.2 Codierverfahren .....	935
16.2.2.1 Quellencodierung .....	935
16.2.2.2 Kanalcodierung .....	935
16.2.2.3 Kryptologische Codierung / Verschlüsselung .....	936
16.2.3 Synchronisation .....	936

16.2.4	Die E1-Schnittstelle	936
16.2.4.1	Übersicht	936
16.2.4.2	Technische Parameter	937
16.2.4.3	Quellencodierungsverfahren bei E1	940
16.2.4.4	Synchronisation bei E1	945
16.2.5	Die ASI-Schnittstelle	946
16.2.5.1	Übersicht	946
16.2.5.2	Technische Beschreibung	947
16.2.6	HYBNET - das Netz der ARD	951
16.2.6.1	Übersicht	951
16.2.6.2	Struktur des HYBNET	952
16.2.6.3	Dienste im HYBNET	953
16.2.7	Filetransfer	955
16.2.7.1	Übersicht	955
16.2.7.2	ARD-Filetransfer und Replikation	955
16.2.7.3	Breitbandiger Audio-Filetransfer	957
16.2.7.4	Digitale Bemusterung	957
16.2.8	Codecs	960
16.2.8.1	Übersicht	960
16.2.8.2	ISDN-Audiocodecs	960
16.2.8.3	Satelliten-Codecs	961
	Standards	962
	Literatur	962
<b>17</b>	<b>RUNDFUNKSYSTEME</b>	<b>963</b>
<b>17.1</b>	<b>Grundlagen</b>	<b>964</b>
17.1.1	Übertragungskanäle	964
17.1.1.1	Terrestrischer Mehrwege-Rundfunkkanal	964
17.1.1.2	Satelliten-Rundfunkkanal	966
17.1.1.3	Kabel-Rundfunkkanal	967
17.1.2	Modulationsverfahren	968
17.1.2.1	Definitionen und Grundlagen	968
17.1.2.2	Klassische analoge Modulationsverfahren	969
17.1.2.3	Klassische digitale Modulationsverfahren	972
17.1.2.4	Multiträger-Modulation (OFDM)	976
17.1.3	Kanalcodierung	979
17.1.3.1	Definitionen und Grundlagen	979
17.1.3.2	Faltungscodes	980
17.1.3.3	Reed-Solomon-Codes	982
<b>17.2</b>	<b>Terrestrische Rundfunksysteme</b>	<b>984</b>
17.2.1	Analoge Rundfunkübertragung	984
17.2.1.1	AM-Rundfunk unterhalb 30 MHz	984
17.2.1.2	FM-Rundfunk im UKW-Band II	986
17.2.1.3	Analoges Fernsehen	988

17.2.2	Digital Audio Broadcasting (DAB) .....	988
17.2.2.1	Übersicht .....	988
17.2.2.2	Tonübertragung bei DAB .....	989
17.2.2.3	OFDM-Parameter und Übertragungs-Modi .....	990
17.2.2.4	DAB-Übertragungsrahmen .....	991
17.2.2.5	Quellenangepasste Kanalcodierung .....	992
17.2.2.6	Interleaving .....	995
17.2.2.7	Transportmechanismen bei DAB .....	996
17.2.2.8	DAB - Multiplexkonfiguration .....	998
17.2.2.9	DAB Service Information .....	999
17.2.2.10	DAB Ensemble-Information .....	1001
17.2.2.11	DAB-Dienstestruktur .....	1001
17.2.3	Digital Multimedia Broadcasting (DMB) .....	1003
17.2.3.1	DMB - TV .....	1003
17.2.3.2	DMB – Radio .....	1003
17.2.3.3	Koexistenz von DMB und DAB .....	1004
17.2.3.4	Implementierung von DAB/DMB-Netzen .....	1004
17.2.4	Digital Video Broadcasting (DVB) .....	1005
17.2.4.1	Überblick .....	1005
17.2.4.2	Terrestrisches Digitalfernsehen (DVB-T) .....	1007
17.2.4.3	Erweiterung zu DVB-H (Handheld) .....	1011
17.2.4.4	Kabelfernsehen DVB-C (Cabel) .....	1012
17.2.4.5	DVB-Multiplex und Service-Information .....	1013
17.2.5	Digital Radio Mondiale (DRM) .....	1014
17.2.5.1	Übertragungs-Modi und OFDM-Parameter .....	1015
17.2.5.2	Modulation und Codierung .....	1015
17.2.5.3	Audiocodierung für DRM .....	1017
17.2.5.4	DRM-Multiplex .....	1017
17.2.5.5	DRM Service-Information .....	1018
17.2.5.6	Erweiterung auf DRM+ .....	1019
17.2.6	In-Band-On-Channel (IBOC) – System „High Definition Radio“ .....	1019
17.2.6.1	Service Modes .....	1020
17.2.6.2	Audiocodierung .....	1021
17.2.6.3	Kanalcodierung .....	1022
17.2.7	Integrated Services Digital Broadcasting (ISDB) .....	1023
<b>17.3</b>	<b>Satellitenrundfunk</b> .....	<b>1024</b>
17.3.1	Astra Digital Radio (ADR) .....	1024
17.3.2	DVB über Satellit .....	1025
17.3.2.1	DVB-S .....	1025
17.3.2.2	DVB-S2 .....	1026
<b>17.4</b>	<b>Internet Radio</b> .....	<b>1026</b>
17.4.1	Übersicht .....	1026
17.4.2	Technische Grundlagen .....	1028
17.4.2.1	Download .....	1029
17.4.2.2	Streaming .....	1030

17.4.2.3 Unicast und Broadcast	1030
17.4.2.4 Multicast	1032
17.4.2.5 Content Caching und Content Distribution Networks	1032
17.4.3 Streaming Protokolle	1033
17.4.3.1 IP-Protokoll	1033
17.4.3.2 RTP/UDP-Protokoll	1034
17.4.3.3 HTTP/TCP	1034
17.4.4 Streaming-Architektur	1035
17.4.4.1 Source	1036
17.4.4.2 Server	1036
17.4.4.3 Client	1037
17.4.4.4 Streaming-Plattformen und -Formate	1037
17.4.5 Shoutcast	1038
17.4.5.1 Shoutcast-Source	1038
17.4.5.2 Shoutcast-Server	1039
17.4.5.3 Shoutcast-Client	1040
17.4.5.4 Shoutcast-Protokoll	1040
17.4.5.5 Metadaten	1041
17.4.6 Verzeichnisse und Personalisierte Dienste	1042
17.4.7 Podcast	1043
17.4.7.1 Download und Dateiformat	1044
17.4.7.2 Abonnement über RSS	1044
17.4.7.3 Podcast Komponenten und Nachrichtenfluss	1045
<b>17.5 Programmbegleitende Dienste</b>	<b>1047</b>
17.5.1 Übersicht	1047
17.5.2 Typologie der Dienste	1047
17.5.2.1 Programmbegleitende und nicht-programmbegleitende Dienste	1048
17.5.2.2 Funktionen	1048
17.5.3 Datenmanagement	1049
17.5.3.1 Generierung programmbegleitender Dienste	1049
17.5.3.2 Einspeisung und Übertragung bei RDS	1053
17.5.3.3 Einspeisung und Übertragung bei DAB	1055
17.5.3.4 DAB-Dateneintaster	1056
17.5.4 Serviceinformationen	1058
17.5.4.1 Programm-Identifikation	1060
17.5.4.2 Programm Service Name	1060
17.5.4.3 Programm-Typ	1060
17.5.4.4 Traffic Announcement	1061
17.5.4.5 Alternative Frequenzliste	1061
17.5.4.6 Programm-Nummer	1062
17.5.5 Radiotext	1062
17.5.5.1 Radiotext in RDS	1062
17.5.5.2 Radiotext plus	1062
17.5.5.3 Dynamic Label Segment	1063
17.5.5.4 Dynamic Label plus	1064

---

17.5.6	Multimedia-Daten	1064
17.5.6.1	MOT	1065
17.5.6.2	MOT-Applikationen	1066
17.5.7	Electronic Programme Guide	1068
17.5.8	TopNews	1070
17.5.9	Codierte Verkehrsinformationen	1071
17.5.9.1	RDS-TMC	1072
17.5.9.2	TPEG	1074
<b>17.6</b>	<b>Mehrkanal-Stereofonie in Hörfunk und Fernsehen</b>	<b>1078</b>
17.6.1	Vom Mehrkanal-Kinoton zum Heimkino-Tonsystem	1078
17.6.2	Formate für Mehrkanalton	1079
17.6.2.1	ITU-R Surround Sound Standard	1079
17.6.2.2	Weitere Mehrkanalton-Formate	1080
17.6.3	Postproduktion und Distribution von Mehrkanalton im Fernsehen	1081
17.6.3.1	Dolby E-Format	1081
17.6.3.2	apt-X-Format	1084
17.6.4	Standardisierte Kanalbelegungen für Mehrkanalton	1084
17.6.4.1	Aufzeichnung von 5.1-Mehrkanalton nach EBU/ITU-R	1084
17.6.4.2	Aufzeichnung von 5.1-Mehrkanalton nach SMPTE	1085
17.6.4.3	Austausch-, Zuführungs- und Verteilleitungen in ARD und ZDF	1086
17.6.4.4	DVB-Zuführungsleitung für die Dritten Programme der ARD	1087
17.6.4.5	MAZ-Spurbelegung für den Programmaustausch	1087
17.6.5	Kontrolle und Überwachung von Mehrkanal-Tonprogrammen beim Rundfunk	1088
17.6.6	Übertragung von 5.1-Mehrkanalton über Rundfunksysteme	1089
17.6.6.1	Programmverbreitung über DVB	1090
17.6.6.2	Programmverbreitung über DAB	1092
17.6.6.3	Verhalten von DVB Set-Top-Boxen bei 5.1-Mehrkanalton	1093
17.6.7	Quellencodierung für die Ausstrahlung von 5.1-Mehrkanalton	1094
17.6.7.1	Dolby Digital-Format	1094
17.6.7.2	DTS-Format	1096
17.6.7.3	MPEG Advanced Audio Coding	1097
17.6.7.4	Metadaten	1098
17.6.8	Laufzeiten bei Übertragung von 5.1-Mehrkanalton	1103
Standards		1104
Literatur		1105
<b>18</b>	<b>QUALITÄTSSICHERUNG</b>	<b>1109</b>
<b>18.1</b>	<b>Einführung</b>	<b>1109</b>
<b>18.2</b>	<b>Qualitätsparameter des analogen und digitalen Tonkanals</b>	<b>1111</b>
18.2.1	Subjektive Grenzwerte	1111
18.2.2	Anzustrebende Zielwerte	1111
18.2.3	Additionsgesetze für Werte und Toleranzen	1113

18.2.4	A/D- und D/A-Wandlung	1114
18.2.4.1	Abtastrate	1114
18.2.4.2	Bitauflösung, Bitanzahl	1114
18.2.4.3	Weitere Parameter	1115
18.2.5	Pegelbedingungen	1115
18.2.5.1	Systemgrenzpegel	1116
18.2.5.2	Zugelassener Maximalpegel	1116
18.2.5.3	Einstellpegel	1117
18.2.5.4	Messpegel	1117
18.2.5.5	Minimaler Programmpegel	1118
18.2.5.6	Pegelprofile im analogen und digitalen Tonkanal	1118
18.2.6	Störpegel	1118
18.2.6.1	Störpegelmessung	1120
18.2.6.2	Störspektrum	1120
18.2.6.3	Gesamtverzerrung mit Rauschen	1121
18.2.7	Zeitbedingungen	1121
18.2.7.1	Jitter	1122
18.2.7.2	Augendiagramm	1123
18.2.7.3	Synchronisation	1123
18.2.7.4	Zeitversatz	1124
18.2.7.5	Phasenversatz	1124
18.2.8	Störungen im digitalen Datenstrom	1125
18.2.8.1	Störungen im Audiobitstrom	1125
18.2.8.2	Störungen in den Zusatzinformationen	1126
18.2.8.3	Fehlerursachen und -wirkungen	1126
18.2.8.4	Fehlererkennung	1127
18.2.8.5	Fehlerkorrektur	1128
<b>18.3</b>	<b>Digitale Audiomesstechnik</b>	<b>1129</b>
18.3.1	Messverfahren	1129
18.3.2	Messsysteme	1130
18.3.3	Gehörbasierte objektive Messverfahren	1131
18.3.3.1	PEAQ	1131
18.3.3.2	NMR	1132
18.3.3.3	PESQ	1132
<b>18.4</b>	<b>Visuelle Programmsignalkontrolle</b>	<b>1133</b>
18.4.1	Rundfunk-Aussteuerungsmesser	1133
18.4.2	Quasi-Spitzenwert-Aussteuerungsmesser	1134
18.4.3	Weitere Geräte zur Programmsignalkontrolle	1138
18.4.3.1	VU-Meter	1138
18.4.3.2	Darstellung des Frequenzspektrums	1138
18.4.3.3	Korrelationsanzeige	1139
18.4.4	Aussteuerungsrichtlinien	1140
18.4.4.1	Aussteuerungsrichtlinien der ARD	1140
18.4.4.2	Lautstärkeangepasste Programmaussteuerung	1141

18.4.5	Lautstärkemessung	1142
18.4.5.1	Studiotaugliche Lautstärkemesser	1143
18.4.5.2	Internationale Standardisierung	1144
18.4.6	Goniometrische Messverfahren	1145
18.4.6.1	Stereo-Sichtgerät	1145
18.4.6.2	Mehrkanal-Sichtgerät	1147
<b>18.5</b>	<b>Dynamik</b>	<b>1149</b>
18.5.1	Dynamikbereiche	1149
18.5.1.1	Originaldynamik	1149
18.5.1.2	Systemdynamik	1150
18.5.1.3	Programmdynamik	1152
18.5.1.4	Wiedergabedynamik	1152
18.5.2	Dynamikkompression	1153
18.5.2.1	Anpassung an den Übertragungsweg	1153
18.5.2.2	Anpassung an den Programmcharakter	1154
18.5.2.3	Anpassung an die Wiedergabesituation	1154
18.5.3	Dynamiksteuerung	1155
18.5.3.1	Variable Dynamik für UKW/FM	1155
18.5.3.2	Dynamic Range Control (DRC) für DAB	1155
18.5.3.3	Dynamiksteuerung für Dolby Digital	1156
18.5.3.4	Empfängerorientierte Dynamiksteuerung	1157
<b>18.6</b>	<b>Auditive Programmsignalkontrolle</b>	<b>1157</b>
18.6.1	Abhörstandard für Lautsprecherwiedergabe	1158
18.6.1.1	Abhörräume	1158
18.6.1.2	Geometrische Abmessungen von Abhörräumen	1159
18.6.1.3	Bezugs-Schallfeld	1160
18.6.1.4	Bezugs-Abhörpegel	1162
18.6.1.5	Anforderungen an Regielautsprecher	1162
18.6.1.6	Nahfeldabhören	1164
18.6.2	Abhörstandard für Kopfhörerwiedergabe	1164
18.6.3	Virtuelle Abhörräume	1164
<b>18.7</b>	<b>Methoden zur subjektiven Beurteilung der Audioqualität</b>	<b>1166</b>
18.7.1	Teststrategien	1166
18.7.2	Standardisierte Testmethoden	1167
18.7.2.1	Vergleichstest	1167
18.7.2.2	Triple stimulus – hidden reference – double blind Test	1167
18.7.2.3	MUSHRA-Test	1168
18.7.3	Subjektive akustische Qualitätsparameter	1169
18.7.3.1	Globale Attribute	1169
18.7.3.2	Detaillierte Parameter zur absoluten Bewertung	1169
18.7.3.3	Parameter zur Beschreibung digitaler Tonsignalstörungen	1171
18.7.3.4	Beurteilung von kombinierten Bild- und Toninformationen	1171

18.7.4	Testbedingungen	1172
18.7.4.1	Bewertungsskalen	1172
18.7.4.2	Testpersonen	1173
18.7.4.3	Programm-Material	1173
18.7.5.4	Auswertung von Testergebnissen	1174
<b>18.8</b>	<b>Softwarepflege und Datensicherheit</b>	<b>1174</b>
18.8.1	Softwaretypen	1174
18.8.1.1	Software	1174
18.8.1.2	Firmware	1175
18.8.1.3	Update	1175
18.8.1.4	Upgrade	1176
18.8.2	Datensicherung	1176
18.8.2.1	Sicherungskopie	1176
18.8.2.2	Arbeitskopien	1176
18.8.2.3	Passwortschutz	1177
18.8.2.4	Archivsicherheit	1178
18.8.2.5	Virenschutz	1178
18.8.2.6	Umgang mit Updates und Upgrades in Audioarchiven	1179
18.8.3	Mensch–Maschine–System im digitalen Hörfunkprozess	1179
18.8.3.1	Fehlerquellen	1180
18.8.3.2	Durchgängiger Workflow von Audio- und Metadaten	1182
	Standards	1184
	Literatur	1186
<b>19</b>	<b>ARBEITSSICHERHEIT UND GESUNDHEITSSCHUTZ</b>	<b>1187</b>
<b>19.1</b>	<b>Arbeitssicherheit</b>	<b>1187</b>
19.1.1	Allgemeines	1187
19.1.1.1	Das duale System im Arbeitsschutz	1187
19.1.1.2	Staatliche Institutionen im Arbeitsschutz	1188
19.1.1.3	Berufsgenossenschaftlicher Arbeitsschutz	1188
19.1.1.4	Einfluss der EU	1189
19.1.2	Richtlinien und Regelwerke	1190
19.1.2.1	EG-Richtlinie 2003/10/EG „Lärm“	1190
19.1.2.2	Sicherheitsvorschriften für Produktionsstätten	1190
19.1.2.3	Das Arbeitsschutzgesetz	1192
19.1.2.4	Die Betriebssicherheitsverordnung	1192
19.1.2.5	Die Musterversammlungsstättenverordnung	1192
19.1.2.6	Berufsgenossenschaftlichen Vorschriften und Regeln	1192
19.1.3	Verantwortlichkeiten	1193
19.1.4	Arten der Verantwortung	1194
19.1.5	Gefährdungsermittlung	1196
19.1.6	Gefährdungsbeurteilung	1198
<b>19.2</b>	<b>Gesundheitsschutz</b>	<b>1198</b>
19.2.1	Gehörgefährdung durch elektroakustische Beschallung	1198

19.2.2	Hörschädigungen .....	1201
19.2.2.1	Gehörschaden aus arbeitsmedizinischer Sicht .....	1201
19.2.2.2	Vorübergehende und permanente Hörschwellenverschiebung .....	1202
19.2.2.3	Fehlender Lautheitsausgleich .....	1202
19.2.2.4	Stapediusreflex .....	1203
19.2.2.5	Gehörschäden und Musik .....	1203
19.2.3	Gesundheitsschutz-Gehör nach DIN 15905-5 .....	1203
19.2.3.1	Verkehrssicherungspflicht .....	1204
19.2.3.2	Schutzmaßnahmen und Information .....	1205
19.2.3.3	Anhang .....	1206
19.2.4	Messung der Schallimmission .....	1206
19.2.4.1	Konsequenz der DIN 15905-5 .....	1208
19.2.4.2	Die Praxis für Veranstaltungen .....	1209
19.2.4.3	Probleme der Norm DIN-15905-5 .....	1210
19.2.5	Elektrische Sicherheit .....	1211
19.2.5.1	Produktionsstätten beim Hörfunk .....	1211
19.2.5.2	Kabelverlegung .....	1212
19.2.5.3	Anschluss elektrischer Geräte und Musikanlagen .....	1213
19.2.5.4	Gefahren des elektrischen Stroms .....	1213
19.2.5.5	Schutz vor einem elektrischen Schlag .....	1214
19.2.6	Inbetriebnahme von elektrischen Geräten und Anlagen .....	1219
19.2.6.1	Anschluss ortsveränderlicher Musikanlagen .....	1220
19.2.7	Verhalten bei Stromunfällen .....	1224
	Standards .....	1226
	Literatur .....	1227
	<b>Fachwörter und Abkürzungen Englisch - Deutsch</b> .....	1229
	<b>Sachregister</b> .....	1257