

Inhaltsverzeichnis

Was ist Tontechnik? 13

- 1 **Schall und Schwingungen** 17
 - 1.1 Mechanische Schwinger 18
 - 1.1.1 Freie und gedämpfte Schwingung 18
 - 1.1.2 Erzwungene Schwingung und Resonanz 21
 - 1.1.3 Effektivwert und Spitzenwert 24
 - 1.1.4 Komplexe Beschreibung 25
 - 1.2 Schallfeld 27
 - 1.2.1 Schallwellen 27
 - 1.2.2 Akustische und elektrische Pegel 32
 - 1.2.3 Ebene Welle, Kugelwelle und Entfernungsgesetz 35
 - 1.2.4 Nahfeld und Fernfeld 37
 - 1.2.5 Nichtlinearität bei großem Schalldruck 39
 - 1.2.6 Bewegte Schallquellen 40
 - 1.3 Überlagerung von Wellen 42
 - 1.3.1 Schallreflexion und stehende Wellen 43
 - 1.3.2 Beugung, Brechung, Interferenz 46
 - 1.3.3 Wiederholungstonhöhe und Schwebung 49
 - 1.4 Tonerzeugung 51
 - 1.4.1 Saiten, Stäbe, Membranen, Platten 51
 - 1.4.2 Röhrenresonatoren 60
 - 1.4.3 Helmholtz-Resonatoren 65
 - 1.5 Stimmung 67
 - 1.5.1 Pythagoras und der Wolf 69
 - 1.5.2 Pythagoreische und mitteltönige Stimmung 71
 - 1.5.3 Wohltemperierte Stimmungen 71
 - 1.5.4 Gleichschwebend temperierte Stimmung 72
 - 1.5.5 Oktavspreizung 74

2	Schall im Raum	76
2.1	Wellentheoretische Betrachtung	77
2.1.1	Raumresonanzen	77
2.1.2	Eigenfrequenzdichte und Großraumfrequenz	79
2.1.3	Druckkammerprinzip	81
2.2	Statistische Betrachtung	82
2.2.1	Schallabsorption und Nachhallzeit	82
2.2.2	Direktfeld, Diffusfeld, Hallradius	86
2.3	Geometrische Betrachtung	87
2.3.1	Frühe Reflexionen	88
2.3.2	Echos und Schallbrennpunkte	89
2.4	Raumakustische Werkzeuge	90
2.4.1	Poröse Absorber	90
2.4.2	Resonanzabsorber	92
2.4.3	Mikroperforierte Absorber	94
2.4.4	Diffusoren	94
2.4.5	Reflektoren	96
2.5	Raumklang	98
2.5.1	Klangeinfluss von Nachhall und Resonanzen	99
2.5.2	Objektive Qualitätskriterien	100
2.5.3	Subjektive Qualitätskriterien	102
2.5.4	Anforderungen an Aufnahme Räume	103
2.5.5	Kleine Tricks zur Verbesserung des Raumklangs	105
2.5.6	Einfluss von Publikum im Saal	107
2.5.7	Regieraum-Akustik	108
3	Hören	110
3.1	Physiologie und Akustik des Ohrs	111
3.1.1	Außenohr	111
3.1.2	Mittelohr und Innenohr	113
3.1.3	Frequenzanalyse im Innenohr	114
3.1.4	Kombinationstöne	116
3.2	Monaurales Hören	116
3.2.1	Ton, Klang, Geräusch	117
3.2.2	Tonhöhe	117
3.2.3	Virtuelle Tonhöhe	119
3.2.4	Hörfläche und Frequenzbewertung	119
3.2.5	Pegel und Lautheit	122
3.2.6	Frequenzgruppen (Critical Bandwidth)	123
3.2.7	Verdeckung in Zeit- und Frequenzbereich	124
3.3	Binaurales Hören: räumliche Wahrnehmung	125
3.3.1	Richtungshören	126
3.3.2	Gesetz der ersten Wellenfront	128

3.3.3	Phantomschallquellen und Stereophonie	129
3.3.4	Kopfbezügliche Stereophonie	130
3.4	Hörschäden	131
3.4.1	Schwerhörigkeit	132
3.4.2	Hörsturz und Tinnitus	133
4	Signale und Systeme	135
4.1	Lineare Systeme	136
4.1.1	Dirac-Stoß, Impulsantwort und Faltung	137
4.1.2	Diskrete Faltung	140
4.2	Vom Zeit- in den Frequenzbereich	141
4.2.1	Fourier-Transformation	141
4.2.2	Diskrete Fourier-Transformation: DFT und FFT	146
4.2.3	Transformation von LTI-Systemen	148
4.2.4	Unschärferelation	148
4.2.5	Musikalische Deutung der Frequenzanalyse	150
4.2.6	Andere Möglichkeiten spektraler Zerlegung	152
4.3	Filter	153
4.3.1	Tiefpass, Hochpass, Bandpass	154
4.3.2	Digitale Filter: FIR und IIR	155
5	Analoge Welt, digitale Welt	157
5.1	Die diskrete Zeit: Abtastung	158
5.1.1	Abtasttheorem	158
5.1.2	Unterabtastung und Alias-Effekt	160
5.1.3	Abtastung, ideal und nichtideal	162
5.1.4	Oversampling	164
5.1.5	Abtastratenwandlung	166
5.2	Spannung in Stufen: Digitalisierung	167
5.2.1	Binäre Codierung und Zweierkomplement	167
5.2.2	Multibit-Quantisierung	169
5.2.3	Digitales Rauschen	170
5.2.4	Dynamik digitaler Systeme	172
5.2.5	Lineare und nichtlineare Quantisierung	173
5.2.6	Dither	173
5.2.7	Noise Shaping	175
5.3	Bauarten von Digitalwandlern	177
5.3.1	Multibit-Wandler (PCM)	177
5.3.2	Differentielle Wandler (DPCM, DM)	178
5.3.3	Sigma-Delta-Wandler (PDM / DSD)	180
6	Information, Modulation, Codierung	182
6.1	Signal und Information	183

6.1.1	Relevanz und Redundanz	184
6.1.2	Der Übertragungskanal	185
6.1.3	Informationsgehalt und Kanalkapazität	186
6.1.4	Multiplexing	188
6.2	Aufbereitung analoger Signale	189
6.2.1	Kompondierung (Rauschunterdrückung)	189
6.2.2	Amplituden- und Frequenzmodulation	191
6.3	Aufbereitung digitaler Signale	194
6.3.1	Quellencodes	195
6.3.2	Datenreduktion: MP3, AC-3 und andere	197
6.3.3	Kanalcodes und Fehlerkorrektur	202
6.3.4	Codespreizung (Interleaving)	206
6.3.5	Leitungscodes	207
7	Anschlusstechnik	210
7.1	Analoge Übertragung	211
7.1.1	Impedanzanpassung	211
7.1.2	Symmetrisch, unsymmetrisch	213
7.1.3	Analoge Übertragungsstandards	215
7.2	Digitale Übertragung	217
7.2.1	Taktsynchronisierung (Word Sync)	218
7.2.2	Transmitter, Receiver, Repeater	219
7.2.3	Digitale Übertragungsstandards	220
7.3	Timecode	226
7.3.1	Chase/Lock-Synchronisierung	227
7.3.2	Formate und Anschlusstechnik	227
7.4	Übertragungsfehler	228
7.4.1	Probleme bei der analogen Übertragung	229
7.4.2	Probleme bei der digitalen Übertragung	231
8	Klangsynthese und MIDI	233
8.1	Synthesetechniken	234
8.1.1	Lineare Synthese im Frequenzbereich	235
8.1.2	Modulationssynthese (AM, FM)	239
8.1.3	Granulare Synthese	240
8.1.4	Physical Modeling, Faltung und Waveguides	241
8.2	Zeitliche Klangformung	243
8.2.1	Hüllkurve (ADSR)	243
8.2.2	Rendering und Morphing	244
8.3	MIDI	245
8.3.1	MIDI-Protokoll und Anschlusstechnik	246
8.3.2	MIDI-Erweiterungen	249
8.3.3	Sequencer und MIDI-Files	251

8.3.4	Musikalischer Takt, Latenz und Timing	251
9	Schallwandlung	253
9.1	Wandlerprinzipien	254
9.1.1	Elektromagnetischer Wandler	255
9.1.2	Elektrodynamischer Wandler	256
9.1.3	Elektrostatischer Wandler	259
9.1.4	Piezelektrischer Wandler	262
9.2	Mikrofone	264
9.2.1	Druckempfänger	264
9.2.2	Druckgradientenempfänger	266
9.2.3	Nahbesprechungseffekt	269
9.2.4	Gradientenempfänger mit Laufzeitglied	271
9.2.5	Eigenschaften idealer Kapseln	273
9.2.6	Variable Richtcharakteristik	275
9.2.7	Richtrohrmikrofone (Interferenzempfänger)	278
9.2.8	Grenzflächenmikrofone	279
9.2.9	Digitale Mikrofone	280
9.2.10	Technische Daten	280
9.2.11	Ausführungen	283
9.3	Lautsprecher	287
9.3.1	Schallerzeugung	288
9.3.2	Gehäuse	290
9.3.3	Elektrik	294
9.3.4	Technische Daten	295
9.3.5	Ausführungen	297
9.4	Leistungsverstärker (Endstufen)	299
9.4.1	Funktionsweise	299
9.4.2	Technische Daten	300
9.5	Kopfhörer	301
9.5.1	Funktionsweise und Bauarten	302
9.5.2	Kopfhörerkompatible Signalbearbeitung (HRTF)	302
9.6	Mehrkanaltechnik	303
9.6.1	Stereofonie	304
9.6.2	MS-Verfahren	305
9.6.3	Surround: matriziert und diskret	306
9.6.4	Wellenfeldsynthese (WFS)	308
9.7	Schallaufnahme und -wiedergabe	310
9.7.1	Stereo-Mikrofonverfahren	310
9.7.2	Surround-Mikrofonverfahren	316
9.7.3	Lautsprecheraufstellung	318

10	Geräte zur Tonaufzeichnung	320
10.1	Gerätetechnik – analog, digital, virtuell	321
10.2	Computer	323
10.2.1	Hardwarestruktur	324
10.2.2	Funktionsweise	325
10.2.3	Festplatte (Hard Disk)	326
10.3	Schallspeicherung	328
10.3.1	Magnetband, analog und digital	329
10.3.2	Optische Speicher	332
10.3.3	Bespielbare optische Medien	336
10.3.4	Magneto-optische Speicher	338
10.4	Mischpulte	339
10.4.1	Struktur	340
10.4.2	Bedienkonzepte	341
10.4.3	Baugruppen	344
10.4.4	Anzeigeinstrumente	347
10.4.5	Pegel, Headroom, Dynamik	349
10.5	Hallgeräte	350
10.5.1	Hallalgorithmen	351
10.5.2	Faltungshall	353
10.6	Effektgeräte	354
10.6.1	Equalizer	354
10.6.2	Dynamikprozessoren	356
10.6.3	Delay-Effekte	360
10.6.4	Synthese-Effekte	361
10.6.5	Offline, Online, Echtzeit	362
10.7	Schnitt (Editing) und Mastering	362
	Quellen	365
	Bildnachweis	370
	Sachwortverzeichnis	371