
Inhaltsverzeichnis

1	Wahrnehmung von Schall	1
1.1	Terz- und Oktav-Filter	8
1.2	Die Hörfläche	10
1.3	Die A-Bewertung	11
1.4	Zeitlich veränderliche Geräusche	13
1.5	Zusammenfassung	14
1.6	Literaturhinweise	14
1.7	Übungsaufgaben	15
2	Grundbegriffe der Wellenausbreitung	19
2.1	Thermodynamik von Schallfeldern in Gasen	20
2.2	Eindimensionale Schallfelder	27
2.2.1	Grundgleichungen	27
2.2.2	Fortschreitende Wellen	32
2.2.3	Komplexe Schreibweise	37
2.2.4	Stehende Wellen und Resonanzphänomene	38
2.3	Dreidimensionale Schallfelder	41
2.4	Energie- und Leistungstransport	44
2.5	Intensitäts-Messverfahren	49
2.5.1	Zeitbereichsverfahren	50
2.5.2	Frequenzbereichsverfahren	51
2.5.3	Messfehler und Grenzen des Verfahrens	55
2.5.4	Normen	59
2.6	Wellenausbreitung im bewegten Medium	59
2.7	Brechung	65
2.8	Wellenaufteilung	67
2.9	Zusammenfassung	69
2.10	Literaturhinweise	70
2.11	Übungsaufgaben	71

3	Schallausbreitung und Schallabstrahlung	75
3.1	Ungerichtete Schallabstrahlung von Punktquellen	75
3.2	Ungerichtete Schallabstrahlung von Linienquellen	77
3.3	Volumenquellen	78
3.4	Das Schallfeld zweier Quellen	81
3.5	Lautsprecherzeilen	93
3.5.1	Eindimensionale Kolbenmembran	95
3.5.2	Die Formung von Haupt- und Nebenkeulen	98
3.5.3	Elektronisches Schwenken	101
3.5.4	Fernfeldbedingungen	106
3.6	Schallabstrahlung von Ebenen	110
3.6.1	Schallfeld auf der Achse vor einer Kreis-Membran	113
3.7	Zusammenfassung	117
3.8	Literaturhinweise	118
3.9	Übungsaufgaben	118
4	Körperschall	123
4.1	Einleitung	123
4.2	Die Biegewellengleichung für Stäbe	125
4.3	Die Ausbreitung der Biegewellen	129
4.4	Stabresonanzen	130
4.4.1	Unterstützte Stabenden	132
4.4.2	Eingespannte Stabenden	134
4.4.3	Freie Stabenden	137
4.5	Biegeschwingungen von Platten	138
4.5.1	Die Wellengleichung und ihre Lösungen	138
4.5.2	Plattenresonanzen	142
4.6	Zusammenfassung	146
4.7	Literaturhinweise	146
4.8	Übungsaufgaben	147
5	Elastische Isolation	149
5.1	Wirkung elastischer Lagerung auf starrem Fundament	151
5.2	Dimensionierung elastischer Lagerung	157
5.3	Einfluss der Fundamentnachgiebigkeit	159
5.3.1	Fundament-Impedanz	160
5.3.2	Die Wirkung der Fundament-Impedanz	161
5.4	Ermittlung des Übertragungspfades	167
5.5	Messung des Verlustfaktors	169
5.6	Die dynamische Masse	170
5.7	Ausblick	173
5.8	Zusammenfassung	173

5.9	Literaturhinweis	174
5.10	Übungsaufgaben	174
6	Schallabsorption	177
6.1	Schallausbreitung im Kundtschen Rohr	177
6.1.1	Rohre mit Rechteck-Querschnitt	182
6.1.2	Rohre mit Kreis-Querschnitt	183
6.2	Messungen im Kundtschen Rohr	185
6.2.1	Mini-Max-Verfahren	187
6.2.2	Wellentrennung	190
6.3	Die Wandimpedanz	192
6.4	Theorie des quasi-homogenen Absorbers	195
6.5	Spezielle absorbierende Anordnungen	201
6.5.1	Die „unendlich dicke“ poröse Schicht	201
6.5.2	Die poröse Schicht endlicher Dicke	204
6.5.3	Der poröse Vorhang	209
6.5.4	Resonanzabsorber	211
6.6	Der schräge Schalleinfall	218
6.7	Zusammenfassung	222
6.8	Literaturhinweise	222
6.9	Übungsaufgaben	223
7	Grundlagen der Raumakustik	227
7.1	Das diffuse Schallfeld	232
7.1.1	Nachhall	234
7.1.2	Der stationäre Zustand	236
7.1.3	Messung des Absorptionsgrades im Hallraum	242
7.2	Zusammenfassung	243
7.3	Literaturhinweise	244
7.4	Übungsaufgaben	244
8	Schalldämmung	247
8.1	Messung der Luftschalldämmung	249
8.2	Luftschalldämmung einschaliger Bauteile	252
8.3	Zweischalige Bauteile (biegeweiche Vorsatzschalen)	263
8.4	Trittschalldämmung	269
8.4.1	Messung des Trittschallpegels	269
8.4.2	Verbesserungsmaßnahmen	270
8.5	Zusammenfassung	273
8.6	Literaturhinweise	274
8.7	Übungsaufgaben	274

9	Schalldämpfer	277
9.1	Querschnittsänderungen schallharter Rohrleitungen	278
9.1.1	Einfacher Querschnittssprung	278
9.1.2	Verzweigungen	281
9.1.3	Kammerschalldämpfer	285
9.1.4	Kammer-Kombinationen	291
9.2	Wandungsschalldämpfer	295
9.2.1	Der schallhart berandete Kanal	296
9.2.2	Der schallweich berandete Kanal	298
9.2.3	Der Schalldämpfer mit beliebiger Wandungsimpedanz	300
9.2.4	Näherungsbetrachtungen für die Grundmode	301
9.2.5	Wandungen aus absorbierenden Schichten	304
9.2.6	Wandungen aus Resonatoren	307
9.2.7	Beliebige Querschnittsgeometrien	311
9.2.8	Exakte Berechnung bei beliebiger Impedanz	313
9.3	Zusammenfassung	319
9.4	Literaturhinweis	319
9.5	Übungsaufgaben	319
10	Schallschutzwände	321
10.1	Beugung an der halbunendlichen Schneide	322
10.2	Diskussion des Schallfeldes	331
10.2.1	Graphische Darstellung	331
10.2.2	Interpretation des Schallfeldes	334
10.2.3	Diskussion der Raumbezirke	335
10.3	Wirkung im Schallschatten	340
10.3.1	Bedeutung der Höhe von Schallschutzwänden	343
10.3.2	Schallschutzwälle	344
10.3.3	Absorbierende Schallschutzwände	346
10.3.4	Bedeutung des Schalldurchgangs	349
10.4	Ausblick	350
10.5	Zusammenfassung	350
10.6	Literaturhinweise	350
10.7	Übungsaufgaben	351
10.8	Anhang: MATLAB-Programm für die Fresnel-Integrale	352
11	Elektroakustische Wandler für Luftschall	355
11.1	Das Kondensatormikrofon	358
11.2	Richtungsempfindlichkeit von Mikrofonen	365
11.3	Das elektrodynamische Mikrofon	369
11.4	Der elektrodynamische Lautsprecher	372
11.5	Akustische Antennen	375

11.5.1	Mikrophon-Zeilen	377
11.5.2	Zweidimensionale Sensor-Anordnungen	384
11.6	Zusammenfassung	388
11.7	Literaturhinweise	389
11.8	Übungsaufgaben	389
12	Grundlagen der aktiven Lärmbekämpfung	391
12.1	Der Einfluss von Nachbildefehlern	395
12.1.1	Gekreuzt laufende Wellen	397
12.2	Reflexion und Absorption	398
12.3	Aktive Stabilisierung selbsterregter Schwingungen	404
12.4	Zusammenfassung	412
12.5	Literaturhinweise	412
12.6	Übungsaufgaben	412
13	Eigenschaften und Beschreibung von Übertragern	415
13.1	Eigenschaften von Übertragern	416
13.1.1	Linearität	416
13.1.2	Zeitinvarianz	417
13.2	Beschreibung durch die Impulsantwort	418
13.3	Das Invarianz-Prinzip	422
13.4	Fourier-Zerlegung	423
13.4.1	Fourier-Reihen	424
13.4.2	Fourier-Transformation	432
13.4.3	Die Übertragungsfunktion und der Faltungssatz	435
13.4.4	Symmetrien	437
13.4.5	Impulsantworten und Hilbert-Transformation	439
13.5	Fourier-Akustik: Die Wellenlängen-Zerlegung örtlich verteilter Schallfelder	441
13.5.1	Abstrahlung von Ebenen	443
13.5.2	Abstrahlung von Biegewellen	445
13.5.3	Akustische Holographie	448
13.5.4	Dreidimensionale Schallfelder	448
13.6	Zusammenfassung	452
13.7	Literaturhinweise	453
13.8	Übungsaufgaben	453
14	Rechnen mit Pegeln	457
14.1	Dekadischer Logarithmus	457
14.2	Pegel-Umkehrgesetz	458
14.3	Gesetz der Pegeladdition	459

15	Komplexe Zeiger	463
15.1	Einführung in das Rechnen mit komplexen Zahlen	463
15.2	Verwendung komplexer Zeiger zur Beschreibung akustischer Vorgänge	466
16	Lösungen der Übungsaufgaben	469
16.1	Übungsaufgaben aus Kap. 1	469
16.2	Übungsaufgaben aus Kap. 2	472
16.3	Übungsaufgaben aus Kap. 3	477
16.4	Übungsaufgaben aus Kap. 4	489
16.5	Übungsaufgaben aus Kap. 5	494
16.6	Übungsaufgaben aus Kap. 6	496
16.7	Übungsaufgaben aus Kap. 7	503
16.8	Übungsaufgaben aus Kap. 8	506
16.9	Übungsaufgaben aus Kap. 9	507
16.10	Übungsaufgaben aus Kap. 10	509
16.11	Übungsaufgaben aus Kap. 11	511
16.12	Übungsaufgaben aus Kap. 12	513
16.13	Übungsaufgaben aus Kap. 13	516
	Sachverzeichnis	529