

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	15
1.7	Übungsaufgaben	15
2	Grundbegriffe der Wellenausbreitung	19
2.1	Thermodynamik von Schallfeldern in Gasen	20
2.1.1	Zustandsgleichungen der Gase	20
2.1.2	Bedeutung der Zustandsgleichungen für die Schallfeld-Größen	25
2.2	Eindimensionale Schallfelder	28
2.2.1	Grundgleichungen	28
2.2.2	Fortschreitende Wellen	34
2.2.3	Komplexe Schreibweise	38
2.2.4	Stehende Wellen und Resonanzphänomen	39
2.3	Dreidimensionale Schallfelder	43
2.4	Energie- und Leistungstransport	45
2.5	Intensitäts-Messverfahren	51
2.5.1	Zeitbereichsverfahren	52
2.5.2	Frequenzbereichsverfahren	53
2.5.3	Messfehler und Grenzen des Verfahrens	56
2.5.4	Normen	60
2.6	Wellenausbreitung im bewegten Medium	61
2.7	Brechung	67
2.8	Wellenaufteilung	69
2.9	Zusammenfassung	71
2.10	Literaturhinweise	72
2.11	Übungsaufgaben	73

3	Schallausbreitung und Schallabstrahlung	77
3.1	Ungerichtete Schallabstrahlung von Punktquellen	77
3.2	Ungerichtete Schallabstrahlung von Linienquellen	79
3.3	Volumenquellen	80
3.4	Das Schallfeld zweier Quellen	83
3.5	Lautsprecherzeilen	95
3.5.1	Eindimensionale Kolbenmembran	97
3.5.2	Die Formung von Haupt- und Nebenkeulen	100
3.5.3	Elektronisches Schwenken	105
3.5.4	Fernfeldbedingungen	108
3.6	Schallabstrahlung von Ebenen	112
3.7	Schallfeld vor einer kreisförmigen Kolben-Membran	115
3.7.1	Schallfeld auf der Mittel-Achse	116
3.7.2	Allgemeine Schallfeld-Verteilung vor der Membran	120
3.8	Zusammenfassung	122
3.9	Literaturhinweise	123
3.10	Übungsaufgaben	123
4	Körperschall	129
4.1	Einleitung	129
4.2	Die Biegewellengleichung für Stäbe	132
4.3	Die Ausbreitung der Biegewellen	135
4.4	Stabresonanzen	137
4.4.1	Unterstützte Stabenden	138
4.4.2	Eingespannte Stabenden	141
4.4.3	Freie Stabenden	143
4.5	Biegeschwingungen von Platten	145
4.5.1	Die Wellengleichung und ihre Lösungen	145
4.5.2	Plattenresonanzen	148
4.6	Zusammenfassung	152
4.7	Literaturhinweise	153
4.8	Übungsaufgaben	153
5	Elastische Isolation	155
5.1	Wirkung elastischer Lagerung auf starrem Fundament	158
5.2	Dimensionierung elastischer Lagerung	163
5.3	Einfluss der Fundamentnachgiebigkeit	166
5.3.1	Fundament-Impedanz	166
5.3.2	Die Wirkung der Fundament-Impedanz	167
5.4	Ermittlung des Übertragungspfades	173
5.5	Messung des Verlustfaktors	175
5.6	Die dynamische Masse	177

5.7	Ausblick	179
5.8	Zusammenfassung	179
5.9	Literaturhinweis	180
5.10	Übungsaufgaben	180
6	Schallabsorption	183
6.1	Schallausbreitung im Kundt'schen Rohr	183
6.1.1	Rohre mit Rechteck-Querschnitt	188
6.1.2	Rohre mit Kreis-Querschnitt	189
6.2	Messungen im Kundt'schen Rohr	191
6.2.1	Mini-Max-Verfahren	193
6.2.2	Wellentrennung	196
6.3	Die Wandimpedanz	198
6.4	Theorie des quasi-homogenen Absorbers	201
6.5	Spezielle absorbierende Anordnungen	207
6.5.1	Die „unendlich dicke“ poröse Schicht	207
6.5.2	Die poröse Schicht endlicher Dicke	210
6.5.3	Der poröse Vorhang	215
6.5.4	Resonanzabsorber	217
6.6	Der schräge Schalleinfall	225
6.7	Zusammenfassung	229
6.8	Literaturhinweise	229
6.9	Übungsaufgaben	230
7	Grundlagen der Raumakustik	233
7.1	Das diffuse Schallfeld	238
7.1.1	Nachhall	240
7.1.2	Der stationäre Zustand	242
7.1.3	Messung des Absorptionsgrades im Hallraum	248
7.2	Zusammenfassung	249
7.3	Literaturhinweise	250
7.4	Übungsaufgaben	250
8	Schalldämmung	253
8.1	Messung der Luftschalldämmung	255
8.2	Luftschalldämmung einschaliger Bauteile	258
8.3	Zweischalige Bauteile (biegeweiche Vorsatzschalen)	269
8.4	Trittschalldämmung	275
8.4.1	Messung des Trittschallpegels	275
8.4.2	Verbesserungsmaßnahmen	277
8.5	Zusammenfassung	279

8.6	Literaturhinweise	280
8.7	Übungsaufgaben	281
9	Schalldämpfer	283
9.1	Querschnittsänderungen schallharter Rohrleitungen	284
9.1.1	Einfacher Querschnittssprung	284
9.1.2	Verzweigungen	286
9.1.3	Kammerschalldämpfer	291
9.1.4	Kammer-Kombinationen	297
9.2	Wandungsschalldämpfer	302
9.2.1	Der schallhart berandete Kanal	303
9.2.2	Der schallweich berandete Kanal	304
9.2.3	Der Schalldämpfer mit beliebiger Wandungsimpedanz	307
9.2.4	Näherungsbetrachtungen für die Grundmode	307
9.2.5	Wandungen aus absorbierenden Schichten	311
9.2.6	Wandungen aus Resonatoren	314
9.2.7	Beliebige Querschnittsgeometrien	318
9.2.8	Exakte Berechnung bei beliebiger Impedanz	320
9.3	Zusammenfassung	326
9.4	Literaturhinweis	326
9.5	Übungsaufgaben	326
10	Schallschutzwände	329
10.1	Beugung an der halbbunendlichen Schneide	330
10.2	Diskussion des Schallfeldes	339
10.2.1	Graphische Darstellung	339
10.2.2	Interpretation des Schallfeldes	341
10.2.3	Diskussion der Raumbezirke	344
10.3	Wirkung im Schallschatten	348
10.3.1	Bedeutung der Höhe von Schallschutzwänden	351
10.3.2	Schallschutzwälle	352
10.3.3	Absorbierende Schallschutzwände	354
10.3.4	Bedeutung des Schalldurchganges	357
10.4	Ausblick	357
10.5	Zusammenfassung	358
10.6	Literaturhinweise	358
10.7	Übungsaufgaben	358
10.8	Anhang: MATLAB-Programm für die Fresnel-Integrale	360
11	Elektroakustische Wandler für Luftschall	363
11.1	Das Kondensatormikrophon	366
11.2	Richtungsempfindlichkeit von Mikrofonen	373

11.3	Das elektrodynamische Mikrophon	377
11.4	Der elektrodynamische Lautsprecher	381
11.5	Akustische Antennen	384
11.5.1	Mikrophon-Zeilen	385
11.5.2	Zweidimensionale Sensor-Anordnungen	393
11.6	Zusammenfassung	398
11.7	Literaturhinweise	398
11.8	Übungsaufgaben	399
12	Grundlagen der aktiven Lärmbekämpfung	401
12.1	Der Einfluss von Nachbildefehlern	405
12.1.1	Gekreuzt laufende Wellen	407
12.2	Reflexion und Absorption	409
12.3	Aktive Stabilisierung selbsterregter Schwingungen	414
12.4	Zusammenfassung	422
12.5	Literaturhinweise	423
12.6	Übungsaufgaben	423
13	Eigenschaften und Beschreibung von Übertragern	425
13.1	Eigenschaften von Übertragern	426
13.1.1	Linearität	426
13.1.2	Zeitinvarianz	427
13.2	Beschreibung durch die Impulsantwort	428
13.3	Das Invarianz-Prinzip	432
13.4	Fourier-Zerlegung	433
13.4.1	Fourier-Reihen	434
13.4.2	Fourier-Transformation	442
13.4.3	Die Übertragungsfunktion und der Faltungssatz	445
13.4.4	Symmetrien	447
13.4.5	Impulsantworten und Hilbert-Transformation	449
13.5	Fourier-Akustik: Die Wellenlängen-Zerlegung örtlich verteilter Schallfelder	451
13.5.1	Abstrahlung von Ebenen	453
13.5.2	Abstrahlung von Biegewellen	455
13.5.3	Akustische Holographie	457
13.5.4	Dreidimensionale Schallfelder	458
13.6	Zusammenfassung	462
13.7	Literaturhinweise	463
13.8	Übungsaufgaben	463

14	Rechnen mit Pegeln	467
14.1	Dekadischer Logarithmus	467
14.2	Pegel-Umkehrgesetz	468
14.3	Gesetz der Pegeladdition	469
15	Komplexe Zeiger	473
15.1	Einführung in das Rechnen mit komplexen Zahlen	473
15.2	Verwendung komplexer Zeiger zur Beschreibung akustischer Vorgänge	476
16	Lösungen der Übungsaufgaben	479
16.1	Übungsaufgaben aus Kapitel 1	479
16.2	Übungsaufgaben aus Kapitel 2	482
16.3	Übungsaufgaben aus Kapitel 3	486
16.4	Übungsaufgaben aus Kapitel 4	497
16.5	Übungsaufgaben aus Kapitel 5	503
16.6	Übungsaufgaben aus Kapitel 6	505
16.7	Übungsaufgaben aus Kapitel 7	511
16.8	Übungsaufgaben aus Kapitel 8	514
16.9	Übungsaufgaben aus Kapitel 9	516
16.10	Übungsaufgaben aus Kapitel 10	518
16.11	Übungsaufgaben aus Kapitel 11	520
16.12	Übungsaufgaben aus Kapitel 12	521
16.13	Übungsaufgaben aus Kapitel 13	525
	Sachverzeichnis	537