

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Wahrnehmung von Schall</b> .....	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 .....	15
1.6	Literaturhinweise .....	15
1.7	Übungsaufgaben .....	15
<b>2</b>	<b>Grundbegriffe der Wellenausbreitung</b> .....	19
2.1	Thermodynamik von Schallfeldern in Gasen .....	20
2.2	Eindimensionale Schallfelder .....	27
2.2.1	Grundgleichungen .....	27
2.2.2	Fortschreitende Wellen .....	33
2.2.3	Komplexe Schreibweise .....	37
2.2.4	Stehende Wellen und Resonanzphänomen .....	38
2.3	Dreidimensionale Schallfelder .....	42
2.4	Energie- und Leistungstransport .....	44
2.5	Intensitäts-Messverfahren .....	50
2.5.1	Zeitbereichsverfahren .....	51
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 .....	60
2.7	Wellenaufteilung .....	66
2.8	Zusammenfassung .....	68
2.9	Literaturhinweise .....	70
2.10	Übungsaufgaben .....	70

<b>3</b>	<b>Schallausbreitung und Schallabstrahlung</b> .....	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 .....	94
3.5.1	Eindimensionale Kolbenmembran.....	96
3.5.2	Die Formung von Haupt- und Nebenkeulen .....	99
3.5.3	Elektronisches Schwenken .....	104
3.5.4	Fernfeldbedingungen .....	109
3.6	Schallabstrahlung von Ebenen.....	112
3.6.1	Schallfeld auf der Achse vor einer Kreis-Membran .....	115
3.7	Zusammenfassung .....	120
3.8	Literaturhinweise .....	120
3.9	Übungsaufgaben .....	120
<b>4</b>	<b>Körperschall</b> .....	127
4.1	Einleitung .....	127
4.2	Die Biegewellengleichung für Stäbe .....	130
4.3	Die Ausbreitung der Biegewellen .....	134
4.4	Stabresonanzen .....	136
4.4.1	Unterstützte Stabenden .....	137
4.4.2	Eingespannte Stabenden .....	139
4.4.3	Freie Stabenden .....	142
4.5	Biegeschwingungen von Platten .....	143
4.5.1	Die Wellengleichung und ihre Lösungen .....	143
4.5.2	Plattenresonanzen .....	147
4.6	Zusammenfassung .....	150
4.7	Literaturhinweise .....	151
4.8	Übungsaufgaben .....	151
<b>5</b>	<b>Elastische Isolation</b> .....	153
5.1	Wirkung elastischer Lagerung auf starrem Fundament.....	155
5.2	Dimensionierung elastischer Lagerung .....	161
5.3	Einfluss der Fundamentnachgiebigkeit .....	163
5.3.1	Fundament-Impedanz .....	164
5.3.2	Die Wirkung der Fundament-Impedanz .....	165
5.4	Ermittlung des Übertragungspfades .....	171
5.5	Messung des Verlustfaktors .....	173
5.6	Die dynamische Masse .....	175
5.7	Ausblick .....	177
5.8	Zusammenfassung .....	178
5.9	Literaturhinweis .....	178
5.10	Übungsaufgaben .....	179

<b>6</b>	<b>Schallabsorption</b> .....	181
6.1	Schallausbreitung im Kundtschen Rohr .....	181
6.1.1	Rohre mit Rechteck-Querschnitt .....	186
6.1.2	Rohre mit Kreis-Querschnitt .....	187
6.2	Messungen im Kundtschen Rohr .....	189
6.2.1	Mini-Max-Verfahren .....	191
6.2.2	Wellentrennung .....	194
6.3	Die Wandimpedanz .....	196
6.4	Theorie des quasi-homogenen Absorbers .....	199
6.5	Spezielle absorbierende Anordnungen .....	205
6.5.1	Die „unendlich dicke“ poröse Schicht .....	205
6.5.2	Die poröse Schicht endlicher Dicke .....	208
6.5.3	Der poröse Vorhang .....	213
6.5.4	Resonanzabsorber .....	216
6.6	Der schräge Schalleinfall .....	223
6.7	Zusammenfassung .....	226
6.8	Literaturhinweise .....	227
6.9	Übungsaufgaben .....	228
<b>7</b>	<b>Grundlagen der Raumakustik</b> .....	231
7.1	Das diffuse Schallfeld .....	236
7.1.1	Nachhall .....	238
7.1.2	Der stationäre Zustand .....	240
7.1.3	Messung des Absorptionsgrades im Hallraum .....	246
7.2	Zusammenfassung .....	247
7.3	Literaturhinweise .....	248
7.4	Übungsaufgaben .....	248
<b>8</b>	<b>Schalldämmung</b> .....	253
8.1	Messung der Luftschalldämmung .....	255
8.2	Luftschalldämmung einschaliger Bauteile .....	258
8.3	Zweischalige Bauteile (biegeweiche Vorsatzschalen) .....	270
8.4	Trittschalldämmung .....	276
8.4.1	Messung des Trittschallpegels .....	276
8.4.2	Verbesserungsmaßnahmen .....	277
8.5	Zusammenfassung .....	281
8.6	Literaturhinweise .....	282
8.7	Übungsaufgaben .....	282
<b>9</b>	<b>Schalldämpfer</b> .....	285
9.1	Querschnittsänderungen schallharter Rohrleitungen .....	286
9.1.1	Einfacher Querschnittssprung .....	286
9.1.2	Verzweigungen .....	289
9.1.3	Kammerschalldämpfer .....	294
9.1.4	Kammer-Kombinationen .....	299

9.2	Wandungsschalldämpfer .....	304
9.2.1	Der schallhart berandete Kanal .....	305
9.2.2	Der schallweich berandete Kanal .....	307
9.2.3	Der Schalldämpfer mit beliebiger Wandungsimpedanz ..	309
9.2.4	Näherungsbetrachtungen für die Grundmode .....	310
9.2.5	Wandungen aus absorbierenden Schichten .....	313
9.2.6	Wandungen aus Resonatoren .....	317
9.2.7	Beliebige Querschnittsgeometrien .....	320
9.2.8	Exakte Berechnung bei beliebiger Impedanz .....	322
9.3	Zusammenfassung .....	328
9.4	Literaturhinweis .....	329
9.5	Übungsaufgaben .....	329
<b>10</b>	<b>Schallschutzwände .....</b>	<b>331</b>
10.1	Beugung an der schallharten Schneide .....	332
10.2	Näherung für das Einfügungsdämmmaß .....	350
10.3	Bedeutung der Höhe von Schallschutzwänden .....	353
10.4	Schallschutzwälle .....	354
10.5	Absorbierende Schallschutzwände .....	356
10.6	Bedeutung des Schalldurchganges durch die Abschirmwand ..	359
10.7	Ausblick .....	360
10.8	Zusammenfassung .....	360
10.9	Literaturhinweise .....	360
10.10	Übungsaufgaben .....	361
10.11	Anhang: MATLAB-Programm für die Fresnel-Integrale .....	363
<b>11</b>	<b>Elektroakustische Wandler für Luftschall .....</b>	<b>365</b>
11.1	Das Kondensatormikrofon .....	368
11.2	Richtungsempfindlichkeit von Mikrofonen .....	375
11.3	Das elektrodynamische Mikrofon .....	379
11.4	Der elektrodynamische Lautsprecher .....	382
11.5	Akustische Antennen .....	386
11.5.1	Mikrofon-Zeilen .....	387
11.5.2	Zweidimensionale Sensor-Anordnungen .....	395
11.6	Zusammenfassung .....	402
11.7	Literaturhinweise .....	402
11.8	Übungsaufgaben .....	403
<b>12</b>	<b>Grundlagen der aktiven Lärmbekämpfung .....</b>	<b>405</b>
12.1	Der Einfluss von Nachbildfehlern .....	410
12.1.1	Gekreuzt laufende Wellen .....	411
12.2	Reflexion und Absorption .....	413
12.3	Aktive Stabilisierung selbsterregter Schwingungen .....	418
12.4	Zusammenfassung .....	427
12.5	Literaturhinweise .....	427

12.6	Übungsaufgaben .....	427
<b>13</b>	<b>Eigenschaften und Beschreibung von Übertragern .....</b>	<b>429</b>
13.1	Eigenschaften von Übertragern .....	430
13.1.1	Linearität .....	430
13.1.2	Zeitinvarianz .....	431
13.2	Beschreibung durch die Impulsantwort .....	432
13.3	Das Invarianz-Prinzip .....	437
13.4	Fourier-Zerlegung .....	437
13.4.1	Fourier-Reihen .....	438
13.4.2	Fourier-Transformation .....	447
13.4.3	Die Übertragungsfunktion und der Faltungssatz .....	450
13.4.4	Symmetrien .....	451
13.4.5	Impulsantworten und Hilbert-Transformation .....	454
13.5	Fourier-Akustik: Die Wellenlängen-Zerlegung örtlich verteilter Schallfelder .....	456
13.5.1	Abstrahlung von Ebenen .....	458
13.5.2	Abstrahlung von Biegewellen .....	460
13.5.3	Akustische Holographie .....	461
13.5.4	Dreidimensionale Schallfelder .....	463
13.6	Zusammenfassung .....	466
13.7	Literaturhinweise .....	467
13.8	Übungsaufgaben .....	468
<b>A</b>	<b>Rechnen mit Pegeln .....</b>	<b>473</b>
A.1	Dekadischer Logarithmus .....	473
A.2	Pegel-Umkehrgesetz .....	474
A.3	Gesetz der Pegeladdition .....	475
<b>B</b>	<b>Komplexe Zeiger .....</b>	<b>479</b>
B.1	Einführung in das Rechnen mit komplexen Zahlen .....	479
B.2	Verwendung komplexer Zeiger zur Beschreibung akustischer Vorgänge .....	481
<b>C</b>	<b>Lösungen der Übungsaufgaben .....</b>	<b>485</b>
C.1	Übungsaufgaben aus Kapitel 1 .....	485
C.2	Übungsaufgaben aus Kapitel 2 .....	489
C.3	Übungsaufgaben aus Kapitel 3 .....	494
C.4	Übungsaufgaben aus Kapitel 4 .....	506
C.5	Übungsaufgaben aus Kapitel 5 .....	512
C.6	Übungsaufgaben aus Kapitel 6 .....	515
C.7	Übungsaufgaben aus Kapitel 7 .....	523
C.8	Übungsaufgaben aus Kapitel 8 .....	527
C.9	Übungsaufgaben aus Kapitel 9 .....	529
C.10	Übungsaufgaben aus Kapitel 10 .....	531

XX Inhaltsverzeichnis

C.11 Übungsaufgaben aus Kapitel 11 .....	534
C.12 Übungsaufgaben aus Kapitel 12 .....	536
C.13 Übungsaufgaben aus Kapitel 13 .....	540
<b>Index</b> .....	<b>553</b>