

Werner Schirmer (Hrsg.)

# Technischer Lärmschutz

Grundlagen und praktische Maßnahmen  
zum Schutz vor Lärm und Schwingungen  
von Maschinen

2., bearbeitete und erweiterte Auflage

Mit 300 Abbildungen und 40 Tabellen

Springer

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Vorschriften und Normen für Maschinengeräusche</b>	
	<i>U. Trautmann.</i>	1
1.1	Einführung	1
1.2	Geräuschemission, Maschinenrichtlinie	1
1.3	Geräuschemission im Freien betriebener Maschinen	3
1.4	Geräuschemission, Umweltzeichen „Blauer Engel“	7
1.5	Geräuschmmission, Arbeitsschutz	8
1.6	Geräuschmmission, baulicher Schallschutz	10
1.7	Geräuschmmission, Nachbarschaftschutz	10
1.8	Schrifttum	11
1.8.1	Literatur	11
1.8.2	Gesetze, EU-Richtlinien	12
1.8.3	Normen, Richtlinien	12
<b>2</b>	<b>Größen und Messverfahren zur Kennzeichnung von Geräuschen und Geräuschquellen</b>	
	<i>K. Biehn, überarbeitet von U. Trautmann.</i>	17
2.1	Einführung	17
2.2	Kennzeichnung der physikalischen Eigenschaften von Geräuschen	17
2.2.1	Schalldruck	17
2.2.2	Schalldruckpegel	18
2.2.3	Bandschalldruckpegel	20
2.3	Größen zur Kennzeichnung der Schallimmission	21
2.3.1	Überblick	21
2.3.2	Bewerteter Schalldruckpegel	22
2.3.3	Äquivalenter Dauerschallpegel, Taktmaximal-Mittelungspegel	23
2.3.4	Beurteilungspegel	24
2.3.5	Spitzen-Schalldruckpegel	25
2.3.6	Einzelereignis-Schalldruckpegel	25
2.3.7	Lärmdosis	25
2.4	Größen zur Kennzeichnung der Schallemission	26
2.4.1	Überblick	26
2.4.2	Schalleistungspegel, Richtwirkungsmaß	26
2.4.3	Schallintensitätspegel	27
2.4.4	Schallenergiepegel	28
2.4.5.1	Schalldruckpegel an festgelegten Messorten	28
2.4.6	Emissions-Schalldruckpegel am Arbeitsplatz	28

2.4.7	Geräuschemissionsangabe . . . . .	29
2.5	Rechenoperationen mit Schallpegelwerten . . . . .	30
2.5.1	Addition . . . . .	30
2.5.2	Subtraktion . . . . .	32
2.5.3	Mittelwertbildung . . . . .	32
2.6	Verfahren zur Messung der Schallimmission . . . . .	33
2.6.1	Vorbemerkungen . . . . .	33
2.6.2	Vorbereitung der Messung . . . . .	33
2.6.3	Messdurchführung . . . . .	33
2.6.4	Messauswertung . . . . .	34
2.7	Verfahren zur Messung der Schallemission . . . . .	35
2.7.1	Überblick . . . . .	35
2.7.2	Freifeldverfahren . . . . .	38
2.7.2.1	Messprinzip . . . . .	38
2.7.2.2	Messunsicherheit . . . . .	40
2.7.3	Hallraumverfahren . . . . .	43
2.7.3.1	Messprinzip . . . . .	43
2.7.3.2	Messunsicherheit . . . . .	43
2.7.4	Vergleichsverfahren . . . . .	45
2.7.4.1	Messprinzip . . . . .	45
2.7.4.2	Messunsicherheit . . . . .	46
2.7.5	Kanalverfahren . . . . .	47
2.7.5.1	Messprinzip . . . . .	47
2.7.5.2	Messunsicherheit . . . . .	47
2.7.6	Intensitätsverfahren . . . . .	48
2.7.6.1	Messprinzip . . . . .	48
2.7.6.2	Messunsicherheit . . . . .	50
2.8	Verfahren zur Nachprüfung angegebener Geräuschemissionswerte . . . . .	52
2.8.1	Nachprüfverfahren für Einzelmaschinen . . . . .	52
2.8.2	Nachprüfverfahren für Maschinenlose . . . . .	52
2.9	Verfahren zur Schallquellenanalyse . . . . .	55
2.9.1	Überblick . . . . .	55
2.9.2	Voruntersuchung . . . . .	55
2.9.3	Verfahren ohne Änderungen an der Maschine . . . . .	58
2.9.3.1	Schalldruckpegelmessung auf der Messfläche . . . . .	58
2.9.3.2	Nahfeldmessung . . . . .	58
2.9.3.3	Körperschallmessung . . . . .	59
2.9.3.4	Intensitätsmessung . . . . .	59
2.9.3.5	Frequenzanalyse . . . . .	60
2.9.4	Verfahren mit Änderungen an der Maschine . . . . .	60
2.10	Schrifttum . . . . .	61
<b>3</b>	<b>Messtechnik</b>	
	<i>E. Seidel, überarbeitet von M. Quickert</i> . . . . .	64
3.1	Einführung . . . . .	64
3.2	Schalldruckpegelmessung . . . . .	65
3.2.1	Mikrofone . . . . .	65
3.2.2	Geräte zur Schalldruckpegel- und Schalldosismessung . . . . .	67
3.2.3	Aufbau und Funktion des Schallpegelmessers . . . . .	68

3.2.4	Hilfsmittel	68
3.2.4.1	Kalibriergeräte	68
3.2.4.2	Messschallquellen	70
3.2.4.3	Hilfsmittel zur Verringerung von Störeinflüssen	71
3.2.5	Handhabung der Schallpegelmesser	72
3.2.6	Fehler und Abhilfemaßnahmen	73
3.3	Messung von Schwingungsgrößen	74
3.3.1	Einführung	74
3.3.2	Schwingungs- und Körperschallmessung	74
3.3.2.1	Wandler	75
3.3.2.2	Geräte zur Schwingungsmessung	77
3.3.2.3	Aufbau und Funktion der Schwingungsmessgeräte	77
3.3.2.4	Hilfsmittel	78
3.3.2.5	Handhabung der Schwingungsmessgeräte	79
3.3.2.6	Fehler und Abhilfemaßnahmen	81
3.3.3	Kraftmessung	82
3.3.4	Dehnungsmessung	84
3.4	Speicherung von Messsignalen	85
3.4.1	Einführung	85
3.4.2	Digitale Speicherung	85
3.4.3	Handhabung von Aufzeichnungsgeräten	86
3.4.3.1	Herstellung der Signalaufzeichnung	86
3.4.3.2	Auswertung der Signalaufzeichnung	87
3.4.4	Fehler bei der Zwischenspeicherung	87
3.5	Frequenzanalysen	88
3.5.1	Einführung	88
3.5.2	Filterkenngrößen	88
3.5.3	Filterarten	90
3.5.4	FFT-Analyse	90
3.5.5	Kenngrößen der FFT-Analyse	91
3.5.6	Anwendung von Zeitfenstern	92
3.5.7	Auswahl und Handhabung der Frequenzanalyseverfahren	92
3.5.8	Auswertung der Ergebnisse	95
3.5.9	Cepstrumanalyse	95
3.6	Zweikanalige Signal- und Systemanalyse	97
3.6.1	Einführung	97
3.6.2	Messung der Übertragungsfunktion	97
3.6.3	Quellenanalyse	98
3.7	Mehrkanalmethoden zur Geräuschquellenlokalisation	100
3.7.1	Einführung	100
3.7.2	Bekannte Verfahren	101
3.7.3	Kriterien zur Auswahl eines geeigneten Verfahrens	102
3.7.4	Direkte Messverfahren	104
3.7.5	Verfahren mit Berechnungsmodellen	108
3.7.6	Zusammenfassung und Vergleich	112
3.8	Schriftum	112

<b>4</b>	<b>Schwingungen und Schallabstrahlung von festen Körpern</b>	
	<i>W. Schirmer</i> . . . . .	115
4.1	Einführung . . . . .	115
4.2	Biegewellenausbreitung auf Platten . . . . .	115
4.3	Biegeeigenfrequenzen von Stäben und Platten . . . . .	122
4.4	Admittanz mechanischer Strukturen . . . . .	125
4.5	Schallabstrahlung fester Körper . . . . .	130
4.5.1	Abstrahlgrad, Definition und Grenzwerte . . . . .	130
4.5.2	Schallabstrahlung konphas schwingender Körper - Monopol- und Dipolstrahler . . . . .	131
4.5.3	Schallabstrahlung schwach gedämpfter Platten mit Biegeschwingungen	134
4.5.4	Schallabstrahlung stark gedämpfter Platten mit Biegeschwingungen ..	138
4.6	Modelldarstellungen, Begriffe, Mess- und Berechnungsverfahren zur mechanischen Geräuschenstehung in Maschinen . . . . .	139
4.7	Geräuscharme Varianten passiver Maschinenstrukturen . . . . .	142
4.7.1	Bleche mit Dämpfungsbelag . . . . .	142
4.7.1.1	Zu erwartende Verminderung der Schallabstrahlung . . . . .	142
4.7.1.2	Einfacher Belag . . . . .	144
4.7.1.3	Eingezwängter Belag . . . . .	145
4.7.1.4	Praktische Ausführung von Dämpfungsbelägen . . . . .	150
4.7.2	Gehäuseformen . . . . .	150
4.7.3	Zusatzelemente an Krafteinleitungsstellen, Zusatzmassen bei elastischen Verbindungen . . . . .	153
4.8	Schrifttum . . . . .	156
<b>5</b>	<b>Luftschalldämmung</b>	
	<i>E. Lotze, überarbeitet von W. Schirmer</i> . . . . .	159
5.1	Einführung . . . . .	159
5.2	Physikalische Grundlagen der Schalldämmung . . . . .	159
5.2.1	Erläuterung des Begriffes Schalldämmung und Definition des Schalldämm-Maßes . . . . .	159
5.2.2	Anregung einer Wand zu Biegeschwingungen durch Luftschall . . . . .	160
5.2.3	Trennimpedanz, Koinzidenzeffekt und Abstrahlwinkel . . . . .	162
5.2.3.1	Trennimpedanz . . . . .	162
5.2.3.2	Koinzidenzeffekt . . . . .	163
5.2.3.3	Abstrahlwinkel . . . . .	163
5.3	Einschalige ebene Wände . . . . .	164
5.3.1	Schalldämmung unterhalb der Grenzfrequenz . . . . .	165
5.3.1.1	Schalldämmung großer bzw. gedämpfter Platten . . . . .	165
5.3.1.2	Schalldämmung kleiner bzw. ungedämpfter Platten . . . . .	167
5.3.2	Schalldämmung oberhalb der Grenzfrequenz . . . . .	170
5.3.3	Zusammenfassung . . . . .	170
5.4	Spezielle Wandarten . . . . .	171
5.4.1	Rohrwandungen . . . . .	171
5.4.2	Doppelwände . . . . .	175
5.4.2.1	Schallübertragung über die Luftschicht . . . . .	176
5.4.2.2	Schallübertragung über die gemeinsame Einspannstelle und über starre Verbindungen zwischen den Wandschalen . . . . .	179

5.4.3	Biegeweiche Vorsatzschalen . . . . .	180
5.5	Konstruktionen aus mehreren Bauteilen . . . . .	184
5.5.1	Wände mit Bauteilen unterschiedlicher Schalldämmung . . . . .	184
5.5.2	Einfluss flankierender Bauteile . . . . .	185
5.6	Messung des Schalldämm-Maßes . . . . .	187
5.7	Schalldämm-Maße von Bauteilen . . . . .	188
5.8	Schrifttum . . . . .	189
<b>6</b>	<b>Luftschallabsorption</b>	
	<i>E. Lotze, überarbeitet von W. Schirmer</i> . . . . .	191
6.1	Einführung . . . . .	191
6.2	Physikalische Grundlagen und Berechnungsverfahren . . . . .	191
6.2.1	Schallreflexion an Grenzschichten . . . . .	191
6.2.2	Poröse Absorber ohne Abdeckung . . . . .	192
6.2.2.1	Kenngrößen poröser Materialien . . . . .	192
6.2.2.2	Poröse Absorber endlicher Schichtdicke . . . . .	194
6.2.2.3	Sonderprobleme . . . . .	198
6.2.3	Poröse Absorber mit vorgeschalteter Masse (Resonanzabsorber) . . . . .	199
6.3	Ermittlung der Stoffkennwerte für poröses Material . . . . .	203
6.3.1	Längenbezogener Strömungswiderstand . . . . .	203
6.3.2	Porosität . . . . .	204
6.4	Realisierungsprobleme bei porösen Absorbem . . . . .	205
6.4.1	Gelochte Abdeckung . . . . .	205
6.4.2	Folienabdeckung . . . . .	206
6.4.3	Montage mit Wandabstand . . . . .	207
6.5	Dimensionierung von akustischen Absorbem aus handelsüblichen porösen Materialien . . . . .	208
6.5.1	Längenbezogener Strömungswiderstand . . . . .	208
6.5.2	Berechnungsbeispiel . . . . .	210
6.6	Breitband-Schallabsorber ohne poröses Material . . . . .	210
6.7	Messung des Schallabsorptionsgrades . . . . .	213
6.7.1	Haikaummessung . . . . .	213
6.7.2	Rohrmessung . . . . .	214
6.7.3	Form von Schallabsorptionsgrad-Angaben . . . . .	214
6.8	Schrifttum . . . . .	216
<b>7</b>	<b>Konstruktion lärmarmen Maschinen</b>	
	<i>W. Schirmer</i> . . . . .	218
7.1	Einführung . . . . .	218
7.2	Teil-Geräuschquellen und Gesamtgeräusch einer Maschine . . . . .	219
7.3	Aufteilung der Geräuschminderung auf Maschinengeräuschanteile . . . . .	221
7.3.1	Aufteilung auf Teilquellen . . . . .	221
7.3.2	Aufteilung auf Frequenzbänder . . . . .	222
7.4	Ansatzpunkte zur Geräuschminderung an Maschinen . . . . .	224
7.4.1	Maschinenakustische Quellenarten . . . . .	224
7.4.2	Strömungsmechanische Geräusche . . . . .	225
7.4.3	Mechanische Geräusche . . . . .	226

7.4.3.1	Beeinflussung der Körperschallquellen . . . . .	227
7.4.3.2	Beeinflussung der passiven Maschinenstruktur . . . . .	229
7.4.4	Aktive Lärmschutzsysteme - „Antischall“ . . . . .	230
7.5	Einbindung in den Konstruktionsprozess . . . . .	233
7.6	Schrifttum . . . . .	233
<b>8</b>	<b>Ventilatorgeräusche</b>	
	<i>L. Schmidt</i> . . . . .	235
8.1	Ventilatorbauarten . . . . .	235
8.2	Ventilator Kennzahlen . . . . .	236
8.3	Ventilator Kennlinien . . . . .	237
8.4	Ventilatorbetriebspunkt . . . . .	237
8.5	Geräuschenstehung . . . . .	238
8.6	Kennlinie und Geräuschemission . . . . .	243
8.7	Konstruktive Maßnahmen und Geräuschemission . . . . .	244
8.8	Einfluss der Einbausituation . . . . .	245
8.9	Stand der Technik . . . . .	246
8.10	Ventilator und Schalldämpfer . . . . .	246
8.11	Schrifttum . . . . .	247
<b>9</b>	<b>Absorptionsschalldämpfer</b>	
	<i>W. Frommhold</i> . . . . .	249
9.1	Einführung . . . . .	249
9.2	Dämpfungsmechanismus . . . . .	250
9.3	Kenngrößen . . . . .	253
9.3.1	Dämpfungsmaße . . . . .	253
9.3.1.1	Ausbreitungsdämpfung $D_a$ . . . . .	253
9.3.1.2	Einfügungsdämpfungsmaß $D_e$ . . . . .	254
9.3.1.3	Durchgangsdämpfungsmaß $D_d$ . . . . .	255
9.3.2	Kanalquerschnittsformen . . . . .	255
9.3.3	Normierte Größen . . . . .	255
9.4	Akustische Bemessung . . . . .	257
9.4.1	Exakte Lösung für die Ausbreitungsdämpfung . . . . .	257
9.4.2	Normierte grafische Darstellung (Trapez-Diagramm) . . . . .	260
9.4.3	Näherungsformel nach <i>Piening</i> . . . . .	262
9.4.4	Reflexionsdämpfung . . . . .	264
9.4.5	Einfluss verschiedener Abdeckungen des Absorbermaterials . . . . .	265
9.4.6	Einfluss der Strömung auf die Schalldämpfung . . . . .	266
9.4.7	Einfluss der Temperatur auf die Schalldämpfung . . . . .	268
9.4.8	Unterteilung des Kanalquerschnittes . . . . .	269
9.4.9	Bedämpfung tiefer Frequenzen . . . . .	270
9.4.10	Bedämpfung hoher Frequenzen . . . . .	271
9.5	Schalldämpfer mit Strömung . . . . .	274
9.5.1	Strömungsgeräusch des Schalldämpfers . . . . .	274
9.5.2	Druckverlust im Schalldämpfer . . . . .	275
9.6	Konstruktive Ausführung . . . . .	276
9.6.1	Verhältnis Kulissenbreite - Spaltweite . . . . .	276
9.6.2	Absorbermaterial . . . . .	277

9.6.3	Dämpfungsminderung durch akustische Nebenwege . . . . .	277
9.6.4	Handelsübliche Absorptionsschalldämpfer . . . . .	278
9.7	Schrifttum . . . . .	280
<b>10</b>	<b>Schallschutzkapseln</b>	
	<i>E. Lotze, überarbeitet von W. Schirmer</i> . . . . .	281
10.1	Einführung . . . . .	281
10.2	Begriffe und Schallübertragungswege bei einer Maschinenkapsel . . . . .	281
10.3	Abschätzung der Pegelabsenkung bei Schallübertragung über die Kapselwände - Weg A . . . . .	283
10.4	Konstruktive Gestaltung . . . . .	285
10.4.1	Allgemeine Bemerkungen . . . . .	285
10.4.2	Wahl der Kapselabmessungen . . . . .	285
10.4.3	Ausführung der Kapselwand . . . . .	286
10.4.4	Vermeidung der Schallübertragung über Undichtigkeiten unvermeid- bare Öffnungen - Weg B . . . . .	287
10.4.4.1	Pegelabsenkung bei Schallübertragung über Weg B . . . . .	287
10.4.4.2	Stoßstellen zwischen den Kapselementen - Weg B1 . . . . .	290
10.4.4.3	Durchführung von Maschinenteilen - Weg B2 . . . . .	290
10.4.4.4	Stoßstellen zwischen Kapselwänden und angrenzenden Bauteilen - Weg B3 . . . . .	292
10.4.4.5	Öffnungen für die Be- und Entlüftung sowie die Zu- und Abführung von Material oder Werkstücken - Weg B4 . . . . .	292
10.4.5	Vermeidung der Körperschallanregung der Kapsel - Weg C . . . . .	295
10.4.6	Vermeidung der Schallabstrahlung außerhalb der Kapsel - Weg D . . . . .	296
10.4.7	Zusammenfassung . . . . .	296
10.5	Verfahren zum maßtechnischen Nachweis der Einfügungsdämmung . . . . .	296
10.6	Wärmeabführung aus Schallschutzkapseln . . . . .	297
10.7	Beispiele praktisch ausgeführter Schallschutzkapseln . . . . .	300
10.7.1	Baukastensysteme für Schallschutzkapseln . . . . .	300
10.7.2	Maschinenhaube mit Schallschutzkapselfunktion . . . . .	301
10.7.3	Integrierte Schallschutzkapsel für eine Schnellläuferpresse . . . . .	301
10.8	Rechenbeispiel . . . . .	303
10.8.1	Akustische Dimensionierung . . . . .	303
10.8.2	Wärmeabführung . . . . .	304
10.9	Schrifttum . . . . .	305
<b>11</b>	<b>Schwingungsabwehr bei Maschinenaufstellungen</b>	
	<i>G. Meltzer</i> . . . . .	306
11.1	Einführung . . . . .	306
11.2	Notwendigkeit und Zielsetzung der Schwingungsabwehr . . . . .	306
11.2.1	Auswirkung mechanischer Schwingungen . . . . .	306
11.2.2	Rechtliche Vorschriften . . . . .	307
11.2.3	Normative und Richtwerte . . . . .	308
11.2.3.1	Nachweis der Festigkeit von Baukonstruktionen unter dynamischer Belastung . . . . .	308
11.2.3.2	Nachweis der zuverlässigen Funktion von Maschinen und Geräten unter Schwingungseinwirkung . . . . .	310
11.2.3.3	Beurteilung der Schwingungseinwirkung auf den Menschen . . . . .	312

11.3	Verfahren zur Schwingungsabwehr	315
11.3.1	Schwingungssysteme und Schwingungsmodelle	315
11.3.2	Verfahrensgruppen	318
11.3.2.1	Mathematische Beschreibung eines Schwingungssystems	318
11.3.2.2	Dynamische und kinematische Anregung	320
11.3.2.3	Primärmaßnahmen und Sekundärmaßnahmen	* 321
11.3.2.4	Quelle - Ausbreitungsweg - Empfänger	322
11.3.2.5	Passive und aktive Schwingungsabwehr	322
11.3.2.6	Spürbare Schwingungen und Körperschall	322
11.3.2.7	Projektzustand und ausgeführte Anlage	322
11.3.3	Schwingungserregung	323
11.3.3.1	Erregungsarten	323
11.3.3.2	Entstehung freier Massenkräfte	323
11.3.4	Primärmaßnahmen der Schwingungsabwehr	326
11.3.4.1	Massenausgleich	326
11.3.4.2	Auswuchten	327
11.3.5	Schwingungsisolierung	329
11.3.5.1	Zielstellung und konstruktive Realisierung	329
11.3.5.2	Isolierwirkungsgrad	331
11.3.5.3	Zweistufige Schwingungsisolierung	331
11.3.5.4	Schwingungsisolatoren und Dämpfer	332
11.3.6	Stoßisolierung	337
11.3.7	Aktiver Schwingungsschutz durch Ausregelung	338
11.3.8	Schwingungstilger	340
11.3.9	Verminderung von Verkehrs- und Industrieerschütterungen	342
11.4	Berechnungsverfahren zur Schwingungsisolierung	345
11.4.1	Zusammenstellung der Berechnungsziele	345
11.4.2	Orientierungsrechnung mit 1 Freiheitsgrad	346
11.4.2.1	Berechnungsgang	346
11.4.2.2	Berechnungsbeispiel	347
11.4.3	Genauere Berechnung	349
11.4.3.1	Räumliche Schwingungen des Einmassensystems (Freiheitsgrad 6)	349
11.4.3.2	Zweistufige Schwingungsisolierung (bis Freiheitsgrad 12)	349
11.4.3.3	Berücksichtigung der Nachgiebigkeit des Aufstellortes	350
11.5	Ausgeführte Beispiele	350
11.6	Schrifttum	353
<b>12</b>	<b>Körperschallisolierung</b>	
	<i>R. Melzig-Thiel, überarbeitet von M. Bockhoff.</i>	356
12.1	Einführung	356
12.2	Grundlagen der Körperschallisolierung	356
12.2.1	Grundgleichung der Körperschallisolierung	357
12.2.2	Admittanzen des Systems Maschine - Schwingungsisolatoren - Gebäudedecke	362
12.2.2.1	Maschinenadmittanz	362
12.2.2.2	Admittanz der Schwingungsisolatoren	363
12.2.2.3	Admittanz der Gebäudedecken	366
12.2.3	Wirkung eines Zwischenfundamentes	367
12.2.4	Körperschalldämmung in Rohrleitungen	371

12.2.5	Körperschallisolierung von Aggregaten in Maschinenstrukturen . . . . .	372
12.2.6	Regeln für die qualitativ optimierte Körperschallisolierung . . . . .	373
12.2.7	Schritte zur quantitativen Optimierung der Körperschallisolierung in Gebäuden . . . . .	375
12.3	Praktische Beispiele für die Körperschallisolierung von Maschinen . . .	376
12.3.1	Aufzugsmaschinen und dazugehörige Schalteinrichtungen . . . . .	376
12.3.2	Pumpen . . . . .	378
12.3.3	Lüftungstechnische Anlagen . . . . .	379
12.4	Schrifttum . . . . .	379
<b>13</b>	<b>Schallausbreitung und Schallschutz in Räumen</b>	
	<i>S. Gruhl und V.J. Kurze . . . . .</i>	<i>382</i>
13.1	Einführung . . . . .	382
13.2	Schallausbreitung im Freifeld . . . . .	383
13.2.1	Einzel- oder Punktschallquelle . . . . .	383
13.2.2	Ausgedehnte Schallquellen . . . . .	385
13.2.3	Verluste und Störungen im Ausbreitungsweg . . . . .	386
13.3	Schallausbreitung in geschlossenen Räumen . . . . .	387
13.3.1	Einflüsse und Beschreibungsarten . . . . .	387
13.3.2	Annähernd kubischer Raum . . . . .	389
13.3.3	Flachraum . . . . .	392
13.3.4	Langraum . . . . .	394
13.3.5	Streukörper . . . . .	395
13.3.6	Standard-Rechenverfahren . . . . .	396
13.4	Schallausbreitung durch Koppelflächen . . . . .	403
13.4.1	Geschlossene Koppelflächen . . . . .	403
13.4.2	Offene Koppelflächen . . . . .	405
13.5	Übersicht über Schallschutzmaßnahmen in Räumen . . . . .	407
13.6	Raumgestaltung und Quellenanordnung . . . . .	410
13.7	Schallabsorbierende Raumauskleidungen . . . . .	411
13.7.1	Anwendung . . . . .	411
13.7.2	Anforderungen . . . . .	411
13.7.3	Bauformen . . . . .	412
13.7.4	Werkstoffe . . . . .	413
13.7.5	Wirksamkeit . . . . .	413
13.8	Schallschirme . . . . .	416
13.8.1	Anwendung . . . . .	416
13.8.2	Berechnung . . . . .	416
13.8.3	Bauformen . . . . .	420
13.8.4	Werkstoffe . . . . .	421
13.8.5	Wirksamkeit . . . . .	421
13.9	Trennwände, Kapseln, Kabinen . . . . .	422
13.9.1	Anwendung . . . . .	422
13.9.2	Akustische Wirkung . . . . .	423
13.10	Schrifttum . . . . .	423

<b>14</b>	<b>Adaptronik-Anwendungen</b>	
	<i>W.-G. Drossel</i> . . . . .	426
14.1	Einführung . . . . .	426
14.2	Aktive Werkstoffe . . . . .	428
14.3	Systementwurf . . . . .	432
14.4	Systemtechnik . . . . .	433
14.5	Anwendungsbeispiel . . . . .	434
14.5.1	Strukturkontrolle . . . . .	435
14.5.2	Schwingungsdämpfung . . . . .	437
14.5.3	Schwingungstilgung . . . . .	438
14.5.4	Schwingungsisolation . . . . .	441
14.6	Schrifttum . . . . .	443
	<b>Sachverzeichnis</b> . . . . .	445