

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



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	
3.2.4.1	Kalibriergeräte	
3.2.4.2	Messschallquellen	
3.2.4.3	Hilfsmittel zur Verringerung	
3.2.5	Handhabung der Schallpegel	
3.2.6	Fehler und Abhilfemaßnahmen	
3.3	Messung von Schwingungen	
3.3.1	Einführung	
3.3.2	Schwingungs- und Körperschall	
3.3.2.1	Wandler	
3.3.2.2	Geräte zur Schwingungsmessung	
3.3.2.3	Aufbau und Funktion der Geräte	
3.3.2.4	Hilfsmittel	
3.3.2.5	Handhabung der Schwingungsmessung	
3.3.2.6	Fehler und Abhilfemaßnahmen	
3.3.3	Kraftmessung	
3.3.4	Dehnungsmessung	
3.4	Speicherung von Messsignalen	
3.4.1	Einführung	
3.4.2	Digitale Speicherung	
3.4.3	Handhabung von Aufzeichnungsgeräten	
3.4.3.1	Herstellung der Signalaufzeichnung	
3.4.3.2	Auswertung der Signalaufzeichnung	
3.4.4	Fehler bei der Zwischenspeicherung	
3.5	Frequenzanalysen	
3.5.1	Einführung	
3.5.2	Filterkenngrößen	
3.5.3	Filterarten	
3.5.4	FFT-Analyse	
3.5.5	Kenngrößen der FFT-Analyse	
3.5.6	Anwendung von Zeitfenstern	
3.5.7	Auswahl und Handhabung	
3.5.8	Auswertung der Ergebnisse	
3.5.9	Cepstrumanalyse	
3.6	Zweikanalige Signal- und Schwingungsmessung	
3.6.1	Einführung	
3.6.2	Messung der Übertragungsfunktion	
3.6.3	Quellenanalyse	
3.7	Mehrkanalmethoden zur Schwingungsmessung	
3.7.1	Einführung	
3.7.2	Bekanntes Verfahren	
3.7.3	Kriterien zur Auswahl eines Verfahrens	
3.7.4	Direkte Messverfahren	
3.7.5	Verfahren mit Berechnung	
3.7.6	Zusammenfassung und Verweise	
3.8	Schrifttum	

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	Kenngößen 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 Geräuschquellenlokalisierung .....	100
3.7.1	Einführung .....	100
3.7.2	Bekanntes 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	Schrifttum .....	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 Geräusentstehung in Maschinen .....	139
4.7	Geräuscharme Varianten passiver Maschinenstrukturen .....	142
4.7.1	Bleche mit Dämpfungselag .....	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 Dämpfungselagen .....	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	Biegeeweiche Vorsatzschichten .....	
5.5	Konstruktionen aus mehreren Schichten .....	
5.5.1	Wände mit Bauteilen unterschiedlicher Dichte .....	
5.5.2	Einfluss flankierender Bauteile .....	
5.6	Messung des Schalldämmmaßes .....	
5.7	Schalldämm-Maße von Bauteilen .....	
5.8	Schrifttum .....	
<b>6</b>	<b>Luftschallabsorption</b>	
	<i>E. Lotze, überarbeitet von W. Schirmer</i> .....	
6.1	Einführung .....	
6.2	Physikalische Grundlagen .....	
6.2.1	Schallreflexion an Grenzflächen .....	
6.2.2	Poröse Absorber ohne Abstrahlung .....	
6.2.2.1	Kenngößen poröser Materialien .....	
6.2.2.2	Poröse Absorber endlicher Dicke .....	
6.2.2.3	Sonderprobleme .....	
6.2.3	Poröse Absorber mit vorgegebener Dicke .....	
6.3	Ermittlung der Stoffkennwerte .....	
6.3.1	Längenbezogener Strömungswiderstand .....	
6.3.2	Porosität .....	
6.4	Realisierungsprobleme bei der Absorption .....	
6.4.1	Gelochte Abdeckung .....	
6.4.2	Folienabdeckung .....	
6.4.3	Montage mit Wandabstand .....	
6.5	Dimensionierung von akustischen Absorbern aus porösen Materialien .....	
6.5.1	Längenbezogener Strömungswiderstand .....	
6.5.2	Berechnungsbeispiel .....	
6.6	Breitband-Schallabsorber .....	
6.7	Messung des Schallabsorptionskoeffizienten .....	
6.7.1	Hallraummessung .....	
6.7.2	Rohrmessung .....	
6.7.3	Form von Schallabsorptionskoeffizienten .....	
6.8	Schrifttum .....	
<b>7</b>	<b>Konstruktion lärmarmen Maschinen</b>	
	<i>W. Schirmer</i> .....	
7.1	Einführung .....	
7.2	Teil-Geräuschquellen und deren Ausbreitung .....	
7.3	Aufteilung der Geräuschleistung .....	
7.3.1	Aufteilung auf Teilquellen .....	
7.3.2	Aufteilung auf Frequenzbereiche .....	
7.4	Ansatzpunkte zur Geräuschminderung .....	
7.4.1	Maschinenakustische Querschnitte .....	
7.4.2	Strömungsmechanische Querschnitte .....	
7.4.3	Mechanische Geräusche .....	

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	Kenngößen 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 Absorbern .....	205
6.4.1	Gelochte Abdeckung .....	205
6.4.2	Folienabdeckung .....	206
6.4.3	Montage mit Wandabstand .....	207
6.5	Dimensionierung von akustischen Absorbern 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	Hallraummessung .....	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	Geräuschestehung	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 d
9.6.4	Handelsübliche Absorpti
9.7	Schrifttum
<b>10</b>	<b>Schallschutzkapseln</b>
	<i>E. Lotze, überarbeitet vo</i>
10.1	Einführung
10.2	Begriffe und Schallübertr
10.3	Abschätzung der Pegelab
	über die Kapselwände –
10.4	Konstruktive Gestaltung
10.4.1	Allgemeine Bemerkunge
10.4.2	Wahl der Kapselabmessu
10.4.3	Ausführung der Kapselw
10.4.4	Vermeidung der Schallfü
	bare Öffnungen – Weg B
10.4.4.1	Pegelabsenkung bei Sch
10.4.4.2	Stoßstellen zwischen de
10.4.4.3	Durchführung von Masc
10.4.4.4	Stoßstellen zwischen Ka
	Weg B3
10.4.4.5	Öffnungen für die Be- u
	von Material oder Werk
10.4.5	Vermeidung der Körpers
10.4.6	Vermeidung der Schalla
10.4.7	Zusammenfassung
10.5	Verfahren zum meßtechn
10.6	Wärmeabführung aus Sc
10.7	Beispiele praktisch ausg
10.7.1	Baukastensysteme für S
10.7.2	Maschinenhaube mit Sc
10.7.3	Integrierte Schallschutz
10.8	Rechenbeispiel
10.8.1	Akustische Dimensionie
10.8.2	Wärmeabführung
10.9	Schrifttum
<b>11</b>	<b>Schwingungsabwehr b</b>
	<i>G. Meltzer</i>
11.1	Einführung
11.2	Notwendigkeit und Ziel
11.2.1	Auswirkung mechanisch
11.2.2	Rechtliche Vorschriften
11.2.3	Normative und Richtwe
11.2.3.1	Nachweis der Festigkeit
	Belastung
11.2.3.2	Nachweis der zuverläss
	unter Schwingungseinw
11.2.3.3	Beurteilung der Schwin

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 Kapsелеlementen – 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 meßtechnischen 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 v
12.2.6	Regeln für die qualitativ
12.2.7	Schritte zur quantitativen
	in Gebäuden
12.3	Praktische Beispiele für
12.3.1	Aufzugsmaschinen und
12.3.2	Pumpen
12.3.3	Lüftungstechnische Anla
12.4	Schrifttum
<b>13</b>	<b>Schallausbreitung und</b>
	<i>S. Gruhl und U.J. Kurze</i>
13.1	Einführung
13.2	Schallausbreitung im Fre
13.2.1	Einzel- oder Punktschall
13.2.2	Ausgedehnte Schallquell
13.2.3	Verluste und Störungen i
13.3	Schallausbreitung in ges
13.3.1	Einflüsse und Beschreibu
13.3.2	Annähernd kubischer Ra
13.3.3	Flachraum
13.3.4	Langraum
13.3.5	Streukörper
13.3.6	Standard-Rechenverfahre
13.4	Schallausbreitung durch
13.4.1	Geschlossene Koppelfläc
13.4.2	Offene Koppelflächen
13.5	Übersicht über Schallsch
13.6	Raumgestaltung und Que
13.7	Schallabsorbierende Rau
13.7.1	Anwendung
13.7.2	Anforderungen
13.7.3	Bauformen
13.7.4	Werkstoffe
13.7.5	Wirksamkeit
13.8	Schallschirme
13.8.1	Anwendung
13.8.2	Berechnung
13.8.3	Bauformen
13.8.4	Werkstoffe
13.8.5	Wirksamkeit
13.9	Trennwände, Kapseln, K
13.9.1	Anwendung
13.9.2	Akustische Wirkung
13.10	Schrifttum

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 U.J. Kurze</i>	382
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

## Mitarbeiterverzeichnis

Bockhoff, Michael, Dr. rer. nat., C  
Senlis, F

Drossel, Welf-Guntram, Dr.-Ing.,  
formtechnik, Chemnitz und Dresden

Frommhold, Werner, Prof. Dr.-Ing.  
Akustik

Gruhl, Siegbert, Dr.-Ing., Müller-B  
Kurze, Ulrich, Dr.-Ing., Müller-B

Meltzer, Gottfried, Prof. Dr.-Ing.  
Technische Diagnostik

Quickert, Martin, Dipl.-Ing., Frau  
technik, Chemnitz und Dresden

Schirmer, Werner, Dr.-Ing., KÖTT

Schmidt, Lothar, Dipl.-Ing., Lomr

Trautmann, Uwe, Dr.-Ing. ABIT I