

Gerhard Müller · Michael Möser (Hrsg.)

Taschenbuch der Technischen Akustik

Dritte, erweiterte und überarbeitete Auflage

Mit 559 Abbildungen und 119 Tabellen



Springer

Inhaltsverzeichnis

| | | | | | |
|-------|--|----|-------|---|----|
| 1 | Grundlagen | 1 | 2 | Akustische Messtechnik | 25 |
| | G. MÜLLER und M. MÖSER | | | M. VORLÄNDER | |
| 1.1 | Einleitung | 1 | 2.1 | Einleitung | 25 |
| 1.2 | Messgrößen und Pegel | 1 | 2.2 | Mikrofone und Lautsprecher | 25 |
| 1.3 | Systemtheoretische Grundlagen | 2 | 2.2.1 | Kondensator-Messmikrofone | 26 |
| 1.3.1 | Beschreibung durch die Impuls- antwort | 2 | 2.2.2 | Schnellemessung | 27 |
| 1.3.2 | Reine Töne (Zeitkonvention) | 3 | 2.2.3 | Körperschallaufnehmer | 29 |
| 1.3.3 | Beschreibung durch die Über- tragungsfunktion | 3 | 2.2.4 | Kalibrierung von Mikrofonen | 31 |
| 1.4 | Grundgleichungen der Schall- ausbreitung in Gasen | 4 | 2.2.5 | Intensitätssonden | 33 |
| 1.5 | Schallenergie und Leistungs- transport in Gasen | 7 | 2.2.6 | Lautsprecher | 34 |
| 1.6 | Schallabstrahlung | 7 | 2.3 | Schallpegelmessung und -bewertung | 36 |
| 1.6.1 | Kompakte Quellen | 7 | 2.3.1 | Zeitkonstanten | 36 |
| 1.6.2 | Abstrahlung von Ebenen | 8 | 2.3.2 | Frequenzbewertung | 37 |
| 1.6.3 | Allgemeines Abstrahlproblem | 10 | 2.3.3 | Präzisionsklassen | 38 |
| 1.7 | Grundgleichung der Schallaus- breitung in Festkörpern | 11 | 2.3.4 | Bandpassfilter | 38 |
| 1.8 | Wellentypen in Festkörpern mit Berandungen | 14 | 2.4 | FFT-Analyse | 40 |
| 1.8.1 | Raum- und Oberflächenwellen | 14 | 2.4.1 | Digitalisierung von Messsignalen | 40 |
| 1.8.2 | Rayleigh-Welle | 14 | 2.4.2 | Diskrete Fourier Transformation (DFT) | 41 |
| 1.8.3 | Dicke Platten, horizontal geschichtete Kontinua | 15 | 2.4.3 | Fast Fourier Transformation (FFT) | 41 |
| 1.8.4 | Dünne Platten und dünne Balken | 16 | 2.4.4 | Mögliche Messfehler | 41 |
| 1.8.5 | Dehn-, Torsions-, Scher- und Seilwellen | 18 | 2.4.5 | Zoom-FFT | 42 |
| 1.9 | Anregung von Körperschall | 18 | 2.4.6 | Fortgeschrittene Signalanalyse | 43 |
| 1.9.1 | Impedanzen unendlich ausge- dehnter Systeme | 19 | 2.5 | Messung von Übertragungs- funktionen und Impulsantworten | 44 |
| 1.9.2 | Anregung begrenzter Systeme | 19 | 2.5.1 | Zwei-Kanal-FFT-Technik | 45 |
| 1.9.3 | Wellenimpedanzen | 22 | 2.5.2 | Time-stretched Pulse | 46 |
| 1.10 | Dämpfung | 22 | 2.5.3 | Korrelationsverfahren | 46 |
| 1.11 | Reziprozitätsprinzip | 22 | 2.5.4 | Maximalfolgen | 46 |
| | Literatur | 23 | 2.5.5 | Fehlerquellen der digitalen Messverfahren | 49 |
| | | | 2.6 | Messräume | 50 |
| | | | 2.6.1 | Reflexionsfreier Raum | 50 |
| | | | 2.6.2 | Hallraum | 52 |
| | | | 2.7 | Anwendungsbeispiele | 53 |

| | | | | | |
|-------|--|-----|--------|--|-----|
| 2.7.1 | Absorptionsgrad und Impedanz | 53 | 5.2.5 | Mittlerer Maximalpegel | 106 |
| 2.7.2 | Modalanalyse | 55 | 5.2.6 | Beurteilungspegel | 106 |
| 2.7.3 | Reziproke Messung der Schall- abstrahlung | 55 | 5.2.7 | Kennzeichnungszeit | 108 |
| | Literatur | 57 | 5.2.8 | Immissionswerte | 108 |
| 3 | Numerische Methoden | 59 | 5.2.9 | Ermittlung der Schallbelastung | 109 |
| | B. A. T. PETERSSON | | 5.2.10 | Qualitätssicherung | 109 |
| 3.1 | Einleitung | 59 | 5.3 | Spezielle Beurteilungsverfahren | 109 |
| 3.2 | Diskretisierung von Differential- gleichungen | 60 | 5.3.1 | Lautstärkepegel, Lautheit | 110 |
| 3.3 | Integralgleichungen | 64 | 5.3.2 | Berechnete Lautheit nach Zwicker | 110 |
| 3.4 | Statistisches Verfahren | 67 | 5.3.3 | Perceived Noise Level nach Kryter | 111 |
| 3.5 | Asymptotische Methoden | 76 | 5.3.4 | Noise-Rating-Kurven | 112 |
| | Literatur | 79 | 5.3.5 | Frequenzbewertungskurven | 112 |
| 4 | Schallwirkungen beim Menschen C. MASCHKE und U. WIDMANN | 81 | 5.3.6 | Sprachverständlichkeit | 114 |
| 4.1 | Physiologische Aspekte | 81 | 5.3.7 | Beurteilung tieffrequenten Schalls im Immissionsschutz | 118 |
| 4.1.1 | Ohr | 81 | 5.3.8 | Beurteilung tonhaltiger Schalle nach DIN 45681 | 119 |
| 4.1.2 | Hörbahn | 82 | 5.4 | Quellenbezogene Beurteilungs- verfahren | 120 |
| 4.2 | Wahrnehmung | 84 | 5.4.1 | Straßenverkehr | 120 |
| 4.2.1 | Allgemeingültige psycho- akustische Ansätze | 84 | 5.4.2 | Schienenverkehr | 126 |
| 4.2.2 | Spezifische psychologische Ansätze | 90 | 5.4.3 | Luftverkehr | 128 |
| 4.2.3 | Lokalisation | 90 | 5.4.4 | Industrie-, Gewerbe- und Freizeit- anlagen | 131 |
| 4.3 | Gesundheitliche Beeinträchti- gungen durch Lärm | 91 | 5.4.5 | Arbeitsplatz | 135 |
| 4.3.1 | Aurale Beeinträchtigungen | 91 | 5.4.6 | Haustechnische Anlagen | 138 |
| 4.3.2 | Extraaurale Beeinträchtigungen | 92 | 5.5 | Gebietsbezogene Beurteilung von Schallimmissionen | 139 |
| 4.3.3 | Belästigung | 96 | 5.5.1 | Lärminderungsplanung | 139 |
| 4.3.4 | Herz-Kreislauf-Krankheiten | 97 | 5.5.2 | Gebietsbezogene Beurteilung hinsichtlich der Belästigung | 144 |
| 4.4 | Nichtakustische Einflussgrößen (Moderatoren) | 97 | | Literatur | 144 |
| | Literatur | 99 | 6 | Beurteilung von Geräusch- emissionen | 149 |
| 5 | Beurteilung von Schallimmis- sionen – Vorschriften – Normen – Richtlinien | 103 | | G. HÜBNER und E. SCHORER | |
| | D. GOTTLÖB und B. VOGELSANG | | 6.1 | Grundlagen und Normung der Geräuschemissionsmessung | 149 |
| 5.1 | Einleitung | 103 | 6.1.1 | Kennzeichnende physikalische Größen | 149 |
| 5.2 | Beurteilungsgrundlagen | 103 | 6.1.2 | Die Messung der Kenngrößen | 157 |
| 5.2.1 | Momentane Schallstärke | 103 | 6.2 | Messung von Geräusch- emissionen in situ | 172 |
| 5.2.2 | Akustische Kenngrößen für einzelne Schallereignisse | 105 | 6.2.1 | Praktische Aspekte bei der Anwendung vorhandener Messverfahren | 173 |
| 5.2.3 | Akustische Kenngrößen für kon- tinuierliche und intermittierende Schallimmissionen | 105 | 6.2.2 | In-situ-Messung der Geräusch- emission von Einzelschallquellen | 179 |
| 5.2.4 | Perzentilpegel | 106 | 6.2.3 | Messung der Geräuschemission ausgedehnter Schallquellen | 183 |
| | | | | Literatur | 188 |

| | | | | | |
|-------|--|-----|--------|--|-----|
| 7 | Schallausbreitung im Freien . . . | 193 | 8.2.5 | Verhalten von schwimmenden Estrichen | 232 |
| | L. SCHREIBER | | 8.2.6 | Verhalten üblicher Massivdecken mit schwimmenden Estrichen . . | 233 |
| 7.1 | Vorbemerkungen | 193 | 8.2.7 | Berechnung der Trittschallübertragung | 234 |
| 7.2 | Verlustlose Schallausbreitung . . | 194 | 8.3 | Schallschutz bei Holzhäusern . . | 234 |
| 7.2.1 | Unbegrenztes Schallfeld | 194 | 8.3.1 | Allgemeines | 234 |
| 7.2.2 | Schallquelle über dem Boden, Reflexion | 194 | 8.3.2 | Schall-Längsleitung | 234 |
| 7.2.3 | Abschirmung durch Hindernisse | 196 | 8.3.3 | Schalldämmung von Holzbalkendecken | 236 |
| 7.2.4 | Diffuse Streuung | 197 | 8.3.4 | Berechnung | 239 |
| 7.3 | Zusatzdämpfung durch Absorption (Dissipation) der Luft | 197 | 8.4 | Haustechnische Anlagen | 240 |
| 7.4 | Einfluss von Bodenbeschaffenheit, Bewuchs und Bebauung auf die Schallausbreitung | 199 | 8.4.1 | Wasserinstallationen | 240 |
| 7.4.1 | Zusatzdämpfung bei Schallausbreitung über Boden und Bewuchs | 199 | 8.4.2 | Aufzugsanlagen | 243 |
| 7.4.2 | Zusatzdämpfung bei Schallausbreitung durch Bewuchs hindurch | 199 | | Literatur | 244 |
| 7.4.3 | Zusatzdämpfung durch Bebauung | 200 | 9 | Schallabsorber | 247 |
| 7.5 | Einfluss von Inhomogenitäten der Luft | 200 | | H. V. FUCHS und M. MÖSER | |
| 7.5.1 | Windgeschwindigkeitsgradient . | 200 | 9.1 | Einleitung | 247 |
| 7.5.2 | Temperaturgradient | 201 | 9.2 | Schallabsorption für Lärmschutz und Raumakustik | 247 |
| 7.5.3 | Turbulenz | 202 | 9.3 | Passive Absorber | 251 |
| 7.6 | Schallimmissionsberechnung . . | 202 | 9.3.1 | Faserige Materialien | 252 |
| 7.6.1 | Vorbemerkung | 202 | 9.3.2 | Offenporige Schaumstoffe . . . | 254 |
| 7.6.2 | Berechnung nach DIN ISO 9613-2 | 202 | 9.3.3 | Gebälhte Baustoffe | 255 |
| 7.6.3 | Einschränkungen | 203 | 9.4 | Reaktive Absorber im Schallfeld | 255 |
| | Literatur | 204 | 9.5 | Plattenresonatoren | 259 |
| 8 | Schallausbreitung in Gebäuden . | 207 | 9.5.1 | Folienabsorber | 260 |
| | K. GÖSELE und E. SCHRÖDER | | 9.5.2 | Plattenschwinger | 262 |
| 8.1 | Luftschalldämmung | 207 | 9.5.3 | Verbundplatten-Resonatoren . . | 264 |
| 8.1.1 | Kennzeichnung | 207 | 9.6 | Helmholtz-Resonatoren | 269 |
| 8.1.2 | Messung | 209 | 9.6.1 | Lochflächenabsorber | 270 |
| 8.1.3 | Verhalten einschaliger Bauteile . | 209 | 9.6.2 | Schlitzförmige Absorber | 271 |
| 8.1.4 | Verhalten doppelschaliger Bauteile | 212 | 9.6.3 | Membranabsorber | 272 |
| 8.1.5 | Schall-Längsleitung im Massivbau | 218 | 9.7 | Interferenzdämpfer | 278 |
| 8.1.6 | Undichtigkeiten | 223 | 9.7.1 | $\lambda/4$ -Resonatoren | 278 |
| 8.2 | Trittschalldämmung | 226 | 9.7.2 | $\lambda/2$ -Resonatoren | 280 |
| 8.2.1 | Messung und Kennzeichnung von Decken | 226 | 9.7.3 | Rohrschalldämpfer | 280 |
| 8.2.2 | Kennzeichnung von Deckenauflagen | 228 | 9.8 | Aktive Resonatoren | 281 |
| 8.2.3 | Verhalten von Decken ohne Auflagen | 229 | 9.9 | Mikroperforierte Absorber . . . | 284 |
| 8.2.4 | Verhalten von Gehbelägen . . . | 231 | 9.9.1 | Mikroperforierte Platten | 287 |
| | | | 9.9.2 | Mikroperforierte Folien | 290 |
| | | | 9.9.3 | Mikroperforierte Flächengebilde | 292 |
| | | | 9.10 | Hochintegrierte Absorber | 293 |
| | | | 9.10.1 | Breitband-Kompaktabsorber . . | 295 |
| | | | 9.10.2 | Reflexionsarme Raumauskleidungen | 297 |
| | | | 9.10.3 | Schalldämpfende Schornsteininnenzüge | 298 |
| | | | 9.11 | Schlussbemerkungen | 300 |
| | | | | Literatur | 302 |

| | | | | | |
|--------|--|-----|--------|--|-----|
| 10 | Körperschalldämmung und -dämpfung | 305 | 11.3.4 | Untersuchungen an physika- lischen Modellen | 351 |
| | M. HECKL† und J. NUTSCH† | | 11.3.5 | Auralisation | 352 |
| 10.1 | Einleitung | 305 | 11.4 | Grundsätze raumakustischer Planung | 352 |
| 10.2 | Isolation bei tiefen Frequenzen (elastische Lagerung) | 305 | 11.4.1 | Allgemeine Hinweise | 352 |
| 10.2.1 | Abstimmfrequenz | 306 | 11.4.2 | Räume für Sprachdarbietungen | 353 |
| 10.2.2 | Ausführung elastischer Lagerungen | 307 | 11.4.3 | Konzertsäle | 355 |
| 10.2.3 | Dämmwirkung einer elastischen Lagerung | 313 | 11.4.4 | Opernhäuser | 356 |
| 10.3 | Körperschalldämmung | 315 | 11.4.5 | Mehrzwecksäle und Räume mit veränderlicher Nachhallzeit | 357 |
| 10.3.1 | Entfernungsabnahme | 315 | 11.4.6 | Kirchen | 358 |
| 10.3.2 | Materialwechsel, Querschnitts- sprünge und Umlenkungen | 316 | 11.4.7 | Räume mit elektroakustischem Nutzungsschwerpunkt | 359 |
| 10.4 | Körperschalldämmung | 316 | 11.4.8 | Arbeitsräume und weitere Raum- gruppen | 359 |
| 10.4.1 | Verlustfaktor von verschiede- nen Materialien und Konstruk- tionen | 319 | 11.5 | Raumakustische Messungen | 360 |
| 10.4.2 | Kombinationen von Materialien mit großen und kleinen Verlust- faktoren | 320 | | Literatur | 362 |
| 10.4.3 | Dämpfung an Kontaktflächen | 323 | 12 | Schalldämpfer | 367 |
| 10.4.4 | Kombination von Dämmung und Dämpfung | 324 | | U. KURZE und E. RIEDEL | |
| 10.5 | Abstrahlung von Körperschall | 326 | 12.1 | Übersicht | 367 |
| 10.6 | Charakterisierung der Emissions- stärke von Körperschallquellen | 328 | 12.1.1 | Anwendungsbereiche | 367 |
| | Literatur | 328 | 12.1.2 | Bauformen | 368 |
| | | | 12.1.3 | Anforderungen und Merkmale | 369 |
| 11 | Raumakustik | 331 | 12.2 | Wirkprinzipien | 372 |
| | H. KUTTRUFF und E. MOMMERTZ | | 12.2.1 | Pulsationsabbau durch Drossel- schalldämpfer | 372 |
| 11.1 | Grundtatsachen der Schallaus- breitung in Räumen | 331 | 12.2.2 | Absorption in feinporigen oder -faserigen Strukturen | 373 |
| 11.1.1 | Vorbemerkung | 331 | 12.2.3 | Absorption durch Nichtlinearitäten | 374 |
| 11.1.2 | Wellentheorie der Raumakustik | 332 | 12.2.4 | Reflexion | 374 |
| 11.1.3 | Geometrische Raumakustik | 333 | 12.2.5 | Regeneration von Schall | 375 |
| 11.1.4 | Nachhall und stationäre Energie- dichte in Räumen mit diffussem Schallfeld | 336 | 12.3 | Auslegungsgrenngrößen und -grundsätze | 376 |
| 11.2 | Zur subjektiven Wirkung räum- licher Schallfelder | 338 | 12.3.1 | Primäre Kenngrößen | 376 |
| 11.2.1 | Einzelne Rückwürfe | 339 | 12.3.2 | Weitere betriebliche Anforderungen | 378 |
| 11.2.2 | Rückwurffolgen | 340 | 12.3.3 | Leitlinien für wirtschaftliche Konstruktionen | 379 |
| 11.2.3 | Nachhall | 344 | 12.4 | Erfahrungswerte | 380 |
| 11.3 | Entwurfsmethoden der Raumakustik | 345 | 12.4.1 | Kulissenschalldämpfer | 380 |
| 11.3.1 | Zeichnerische Konstruktion von Schallstrahlen | 345 | 12.4.2 | Kanalauskleidungen | 382 |
| 11.3.2 | Berechnung der Nachhallzeit | 345 | 12.4.3 | Ausblaseschalldämpfer | 384 |
| 11.3.3 | Computersimulation der Schall- übertragung | 347 | 12.5 | Berechnungsverfahren | 384 |
| | | | 12.5.1 | Dämpfung | 384 |
| | | | 12.5.2 | Druckverminderung | 393 |
| | | | 12.5.3 | Strömungsrauschen | 397 |
| | | | 12.6 | Messverfahren | 398 |
| | | | 12.6.1 | Regelwerke | 398 |
| | | | 12.6.2 | Labormessungen | 398 |
| | | | 12.6.3 | Feldmessungen | 399 |
| | | | | Literatur | 400 |

| | | | | | |
|--------|---|------------|--------|---|-----|
| 13 | Aktive Beeinflussung von Schall und Schwingungen | 401 | 14.6.1 | Druckempfänger | 455 |
| | J. SCHEUREN | | 14.6.2 | Druckgradientenempfänger | 456 |
| 13.1 | Einleitung | 401 | 14.6.3 | Interferenzempfänger | 456 |
| 13.2 | Anmerkungen zur historisch technischen Entwicklung | 402 | 14.6.4 | Wandlertypen | 457 |
| 13.3 | Struktur der allgemeinen Problemstellung | 403 | | Literatur | 458 |
| 13.4 | Grundsätzliche Betrachtungen zur Wirkungsweise aktiver Systeme | 406 | 15 | Schallquellen | 459 |
| 13.4.1 | Vorgehensweise bei der Auslegung aktiver Systeme | 407 | | U. KURZE | |
| 13.4.2 | Quellnachbildung | 408 | 15.1 | Schallentstehung | 459 |
| 13.4.3 | Aktive Beeinflussung der Wellenausbreitung | 410 | 15.1.1 | Breitbandige Geräusche | 459 |
| 13.4.4 | Aktive Beeinflussung abge- schlossener Bereiche | 418 | 15.1.2 | Schmalbandige Geräusche | 463 |
| 13.4.5 | Aktive Kompensation der Schallabstrahlung | 423 | 15.2 | Quellterm und innere Impedanz/ Admittanz | 465 |
| 13.4.6 | Stabilisierung selbsterregter Systeme | 425 | 15.2.1 | Modell zur linearen Akustik | 465 |
| 13.4.7 | Energie- und Leistungs- betrachtungen | 427 | 15.2.2 | Leistungsanpassung | 466 |
| 13.5 | Aktive Klanggestaltung | 428 | 15.2.3 | Luftschall in Kanälen | 467 |
| 13.6 | Aspekte der Signalverarbeitung | 430 | 15.2.4 | Rollgeräusche | 467 |
| 13.7 | Elektromechanische Wandler als Stellglieder | 433 | 15.2.5 | Zahnräder | 468 |
| 13.8 | Weitere Anwendungen | 434 | 15.3 | Maßnahmen zur Geräusch- minderung | 469 |
| 13.9 | Zusammenfassung und Ausblick Literatur | 435 436 | 15.3.1 | Minderung des Quellterms | 469 |
| | | | 15.3.2 | Änderung der Impedanz | 472 |
| | | | 15.3.3 | Abkopplung, Verstimmung und Bedämpfung von Resonatoren | 472 |
| | | | | Literatur | 473 |
| 14 | Beschallungstechnik | 441 | 16 | Straßenverkehrslärm | 475 |
| | H. FRISCH | | | L. SCHREIBER | |
| 14.1 | Einleitung | 441 | 16.1 | Bedeutung des Straßenverkehrs als Lärmquelle | 475 |
| 14.2 | Verstärkungsanlagen für Sprache und Musik | 441 | 16.2 | Das einzelne Fahrzeug als Schallquelle | 476 |
| 14.2.1 | Verstärkungsanlagen in Räumen | 442 | 16.2.1 | Antriebsgeräusche | 476 |
| 14.2.2 | Verstärkungsanlagen im Freien | 444 | 16.2.2 | Rollgeräusch | 476 |
| 14.3 | Anlagen zur Simulation raum- akustischer Gegebenheiten | 446 | 16.2.3 | Windgeräusche | 476 |
| 14.3.1 | Nachhallzeitverlängerung | 446 | 16.2.4 | Grenzwerte für die Schall- emission von Kraftfahrzeugen | 477 |
| 14.3.2 | Raumakustikmanipulation | 446 | 16.3 | Straßenverkehr als Schallquelle | 478 |
| 14.4 | Lautsprecher | 447 | 16.3.1 | Maße und Grenzwerte für die Stärke der Schallimmission durch Straßenverkehr | 478 |
| 14.4.1 | Elektromechanische Wandler- arten | 447 | 16.3.2 | Berechnung des Beurteilungs- pegels von Straßenverkehrs- geräuschen | 478 |
| 14.4.2 | Richtcharakteristik eines Konustreibers | 448 | 16.4 | Messung von Straßenverkehrs- geräuschen | 480 |
| 14.4.3 | Tieftonlautsprecher | 448 | 16.5 | Vorschriften zum Schutz gegen Straßenverkehrslärm | 480 |
| 14.4.4 | Mittel-Hochton-Lautsprecher | 448 | 16.6 | Maßnahmen zum Schutz gegen Verkehrslärm | 481 |
| 14.5 | Kopplung von Lautsprechern | 450 | | Literatur | 482 |
| 14.5.1 | Spezielle Arrays | 452 | | | |
| 14.6 | Mikrofone | 455 | | | |

| | | | | | |
|---------|---|-----|--------|---|-----|
| 17 | Geräusche und Erschütterungen aus dem Schienenverkehr | 483 | 17.5.4 | Körperschall und Erschütterungen | 574 |
| | R.G. WETTSCHURECK, G. HAUCK, R.J. DIEHL und L. WILLENBRINK | | | Literatur | 575 |
| 17.1 | Einleitung | 483 | 18 | Fluglärm | 585 |
| 17.2 | Luftschall bei Eisenbahnen . . . | 484 | | J. DELFS, W. DOBRZYNSKI, H. HELLER, U. ISERMANN, U. MICHEL, W. SPLETTSTÖSSER und F. OBERMEIER | |
| 17.2.1 | Begriffsbestimmungen | 484 | 18.1 | Schallmission | 585 |
| 17.2.2 | Schallemissionen | 494 | 18.1.1 | Flugzeuge mit Strahltriebwerken | 585 |
| 17.2.3 | Schallimmissionen | 512 | 18.1.2 | Propellerantriebe | 595 |
| 17.2.4 | Wirkung und Bewertung von Schienenverkehrsgeräuschen . . | 523 | 18.1.3 | Hubschrauber | 602 |
| 17.2.5 | Gesetzliche Regelungen | 526 | 18.1.4 | Umströmungsgeräusch von Flächenflugzeugen | 611 |
| 17.2.6 | Geräuschmessungen an Schienenfahrzeugen | 527 | 18.2 | Schallimmission | 617 |
| 17.3 | Körperschall, Erschütterungen bei Eisenbahnen | 528 | 18.2.1 | Einzelgeräusche | 617 |
| 17.3.1 | Allgemeines, Begriffsbestimmungen | 528 | 18.2.2 | Abhängigkeit der Kenngrößen des Einzelgeräusches vom Vorbeiflugabstand und von der Flugeschwindigkeit | 618 |
| 17.3.2 | Körperschallentstehung | 530 | 18.2.3 | Fluglärmberechnungsverfahren . | 618 |
| 17.3.3 | Körperschallausbreitung im Boden | 537 | 18.3 | Fluglärmbewertung | 621 |
| 17.3.4 | Körperschalleinleitung in Gebäude und Körperschallausbreitung im Inneren von Gebäuden . | 538 | 18.4 | Überschallknall | 622 |
| 17.3.5 | Sekundärer Luftschall in Gebäuden | 539 | 18.4.1 | Definition und Beschreibung . | 622 |
| 17.3.6 | Beurteilung von Körperschall, Erschütterungen und sekundärem Luftschall | 542 | 18.4.2 | Erläuterungen der den Überschallknall beschreibenden Größen . | 624 |
| 17.3.7 | Schutzmaßnahmen im Bereich der Körperschallentstehung . . | 544 | 18.4.3 | Knallteppich | 624 |
| 17.3.8 | Schutzmaßnahmen im Bereich der Körperschallausbreitung im Boden | 555 | 18.4.4 | Wirkung des Überschallknalls auf den Menschen | 627 |
| 17.3.9 | Schutzmaßnahmen an Gebäuden | 556 | 18.4.5 | Wirkung des Überschallknalls auf Tiere | 628 |
| 17.3.10 | Prognose von Körperschall- und Erschütterungsmissionen | 557 | 18.4.6 | Wirkung des Überschallknalls auf Bauwerke und auf den Erdboden | 628 |
| 17.4 | Luftschall und Körperschall, Erschütterungen bei Nahverkehrsbahnen | 559 | 18.4.7 | Bibliographien | 629 |
| 17.4.1 | Allgemeines | 559 | 19 | Baulärm | 639 |
| 17.4.2 | Besonderheiten bei Nahverkehrsbahnen gegenüber Eisenbahnen . | 560 | | A. BÖHM, O.T. STRACHOTTA und V. IRMER | |
| 17.4.3 | Spezielle Körperschallminderungsmaßnahmen für den innerstädtischen Bereich von Straßenbahnen | 561 | 19.1 | Einleitung | 639 |
| 17.5 | Simulationsmodelle zur Prognose von Luftschall und Körperschall/ Erschütterungen von Bahnen . . | 565 | 19.2 | Geräuschmissionen | 640 |
| 17.5.1 | Überblick | 565 | 19.2.1 | Geräuschmissionen am Arbeitsplatz | 640 |
| 17.5.2 | Rollgeräusche | 565 | 19.2.2 | Geräuschmissionen in der Umgebung von Baustellen . . . | 640 |
| 17.5.3 | Innengeräusche und Aggregatgeräusche | 572 | 19.3 | Geräuschmissionen von im Freien betriebenen Geräten, Maschinen und Baustellen . . . | 644 |
| | | | 19.3.1 | EU-Richtlinie zur Begrenzung der Geräuschmissionen | 644 |

| | | | | | |
|--------|--|-----|--------|--|-----|
| 19.3.2 | Inhalt der EU-Richtlinie zur Begrenzung der Geräuschemissionen | 645 | 21 | Strömungsgeräusche | 683 |
| 19.3.3 | Auswirkungen auf die Hersteller und Verbraucher | 650 | | B. STÜBER, K.R. FRITZ, C.-C. HANTSCHK, S. HEIM, H. NÜRNBERGER, E. SCHORER und D. VORTMEYER | |
| 19.3.4 | Derzeitige und zukünftige Benutzervorteile für lärmarme Geräte und Maschinen | 650 | 21.1 | Schallentstehung durch Strömungen | 683 |
| 19.3.5 | Schallleistungspegel von Geräten und Baumaschinen – relative Spektren | 654 | 21.1.1 | Quellterme | 683 |
| 19.4 | Geräuschbegrenzung und Schallschutzmaßnahmen | 654 | 21.1.2 | Kavitation | 685 |
| 19.4.1 | Beschwerden über unzureichende Geräuschbegrenzung und Schallschutzmaßnahmen | 654 | 21.1.3 | Angeströmte Kreiszylinder | 692 |
| 19.4.2 | Schalltechnische Planung, Einrichtung und Räumung von Baustellen | 654 | 21.1.4 | Turbulenter Freistrahle | 696 |
| 19.4.3 | Geräuschminderung an im Freien betriebenen Maschinen, Geräten und Baustellen | 655 | 21.1.5 | Turbulente Grenzschicht | 699 |
| | Literatur | 657 | 21.2 | Rohrleitungen (Kanäle) | 700 |
| 20 | Städtebaulicher Schallschutz | 661 | 21.2.1 | Schallabstrahlung in die Rohrleitung | 700 |
| | M. JÄCKER-CÜPPERS | | 21.2.2 | Innerer Schallleistungspegel und Schalldruckpegel | 701 |
| 20.1 | Einleitung | 661 | 21.2.3 | Schallleistung gasgefüllter Rohrleitungen | 701 |
| 20.2 | Beeinträchtigungen durch Lärm im Wohnumfeld | 661 | 21.2.4 | Schallleistung flüssigkeitsgefüllter Rohre | 701 |
| 20.3 | Grundsätze des städtebaulichen Lärmschutzes | 663 | 21.2.5 | Schallpegelabnahme in gasgefüllten Rohrleitungen | 702 |
| 20.3.1 | Lärmwirkungen und Ziele des städtebaulichen Lärmschutzes | 663 | 21.2.6 | Schallpegelabnahme auf Rohrleitungen bei Körperschallanregung | 703 |
| 20.3.2 | Prinzipielle Konfliktfälle im städtebaulichen Lärmschutz | 664 | 21.2.7 | Schalldämmung gasgefüllter Rohrleitungen | 703 |
| 20.3.3 | Methodik des städtebaulichen Lärmschutzes | 665 | 21.2.8 | Abstrahlgrade | 705 |
| 20.3.4 | Prinzipien, Instrumente, Maßnahmen und Akteure der Lärmbekämpfung | 668 | 21.2.9 | Schalldämmende Ummantelungen kreisförmiger Rohre | 706 |
| 20.4 | Rechtsgrundlagen des städtebaulichen Lärmschutzes | 669 | 21.3 | Ventilatoren (Gebläse) | 706 |
| 20.5 | Maßnahmen | 673 | 21.3.1 | Kennzeichnung | 706 |
| 20.5.1 | Verkehrsvermeidung | 673 | 21.3.2 | Schallentstehung | 707 |
| 20.5.2 | Maßnahmen zur Verlagerung auf emissionsarme Quellen | 675 | 21.3.3 | Näherungsweise Berechnung der Schallabstrahlung | 709 |
| 20.5.3 | Vermindern der Emissionen | 676 | 21.3.4 | Geräuschminderung | 713 |
| 20.5.4 | Maßnahmen auf dem Ausbreitungsweg | 678 | 21.4 | Verdichter | 715 |
| 20.5.5 | Maßnahmen am Immissionsort | 679 | 21.4.1 | Schallentstehung | 715 |
| | Literatur | 680 | 21.4.2 | Näherungsweise Berechnung der Schallabstrahlung | 716 |
| | | | 21.4.3 | Geräuschminderung | 716 |
| | | | 21.5 | Pumpen | 716 |
| | | | 21.5.1 | Schallentstehung | 717 |
| | | | 21.5.2 | Näherungsweise Berechnung der Schallabstrahlung | 720 |
| | | | 21.5.3 | Geräuschminderung | 721 |
| | | | 21.6 | Elektromotoren | 723 |
| | | | 21.7 | Windenergieanlagen (WEA) | 724 |
| | | | 21.7.1 | Bauformen und Betrieb | 724 |
| | | | 21.7.2 | Schallentstehung | 724 |
| | | | 21.7.3 | Näherungsweise Berechnung der Schallabstrahlung | 725 |

| | | | | | |
|---------|--|-----|--------|--|-----|
| 21.7.4 | Geräuschminderung | 725 | 22.6.2 | Ultraschallreinigung | 761 |
| 21.7.5 | Messung und Beurteilung der Geräusche | 726 | 22.6.3 | Verbindungstechnik | 762 |
| 21.8 | Verwirbelte Ausströmung und Umströmung | 726 | 22.6.4 | Bohren und Schneiden | 763 |
| 21.8.1 | Schallentstehung | 726 | 22.6.5 | Vernebelung von Flüssigkeiten | 764 |
| 21.8.2 | Näherungsweise Berechnung der Schallabstrahlung | 727 | 22.6.6 | Medizinische Therapie | 765 |
| 21.8.3 | Geräuschminderung | 728 | | Literatur | 765 |
| 21.9 | Armaturen (Ventile) | 728 | 23 | Erschütterungen | 767 |
| 21.9.1 | Schallentstehung | 728 | | J. GUGGENBERGER und G. MÜLLER | |
| 21.9.2 | Näherungsweise Berechnung der Schallabstrahlung | 730 | 23.1 | Allgemeines, Begriffsbestim- mung | 767 |
| 21.9.3 | Geräuschminderung | 732 | 23.2 | Anhaltswerte und Grenzwerte zur Beurteilung von Erschütterungen | 767 |
| 21.10 | Wassergeräusche in Kühltürmen | 732 | 23.2.1 | Einwirkung von Erschütterungen auf den Menschen | 767 |
| 21.11 | Pneumatische Feststoff- Transportleitungen | 733 | 23.2.2 | Einwirkung von Erschütterungen auf Gebäude | 772 |
| 21.11.1 | Niederdruck-Förderanlagen | 733 | 23.2.3 | Einwirkung von Erschütterungen auf empfindliche Anlagen und Vorgänge | 773 |
| 21.11.2 | Hochdruck-Förderanlagen | 734 | 23.3 | Erschütterungsquellen und Isoliermaßnahmen | 775 |
| 21.12 | Industrielle Brenner | 736 | 23.3.1 | Allgemeines | 775 |
| 21.12.1 | Näherungsweise Berechnung der Schallabstrahlung | 736 | 23.3.2 | Maschinen | 775 |
| 21.12.2 | Geräuschminderung | 737 | 23.3.3 | Erschütterungen bei Bauarbeiten | 780 |
| 21.13 | Selbsterregte Schwingungen in Feuerungen | 738 | 23.3.4 | Sprengungen | 782 |
| 21.13.1 | Entstehungsmechanismus | 738 | 23.3.5 | Straßenverkehr | 783 |
| 21.13.2 | Berechnung | 739 | 23.3.6 | Menscheninduzierte Schwin- gungen | 784 |
| 21.13.3 | Gegenmaßnahmen | 740 | 23.4 | Übertragung von Erschütterungen und Erschütterungsschutz | 788 |
| | Literatur | 742 | 23.4.1 | Anregung und Übertragung von Erschütterungen im Erdreich | 788 |
| 22 | Ultraschall | 751 | 23.4.2 | Einleitung von Erschütterungen in Gebäude | 790 |
| | H. KUTTRUFF | | 23.4.3 | Übertragung von Erschütterungen innerhalb von Gebäuden | 792 |
| 22.1 | Einleitung | 751 | 23.4.4 | Erschütterungsreduzierende Maß- nahmen an Gebäuden | 792 |
| 22.2 | Ausbreitung und Abstrahlung | 751 | 23.4.5 | Isoliermaßnahmen an empfind- lichen Geräten | 796 |
| 22.2.1 | Dämpfung | 751 | | Literatur | 798 |
| 22.2.2 | Reflexion und Brechung | 752 | | | |
| 22.2.3 | Abgestrahltes Schallfeld | 753 | | | |
| 22.3 | Erzeugung von Ultraschall | 754 | | | |
| 22.4 | Nachweis und Empfang | 756 | | | |
| 22.5 | Kleinsignalanwendungen | 757 | | | |
| 22.5.1 | Impulsechoverfahren | 757 | | | |
| 22.5.2 | Zerstörungsfreie Materialprüfung | 758 | | | |
| 22.5.3 | Medizinische Diagnostik | 759 | | | |
| 22.5.4 | Weitere Anwendungen | 760 | | | |
| 22.6 | Wirkungen und Anwendungen von Leistungultraschall | 761 | | | |
| 22.6.1 | Kavitation | 761 | | | |
| | | | | Sachverzeichnis | 803 |