
Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
	Literatur.	6
2	Problemschwerpunkt tiefe Frequenzen	7
	Literatur.	17
3	Grundlagen für den Lärmschutz und die raumakustische Gestaltung . .	19
	3.1 Verhinderung schädlicher Reflexionen	22
	3.2 Raumakustische Gestaltung	22
	3.3 Pegelsenkung im Raum.	23
	3.4 Vermeidung des Lombard-Effekts	25
	3.5 Herstellung akustischer Transparenz	27
	3.6 Konditionierung akustischer Messräume.	27
	3.7 Schutz gegenüber Außenlärm	29
	3.8 Schalldämpfer in Strömungskanälen	31
	3.9 Kapselung von Maschinen und Anlagen	32
	3.10 Dämmung von Körperschall	33
	3.11 Abschirmung ruhiger gegen laute Bereiche	34
	Literatur.	36
4	Passive Absorber	39
	4.1 Faserige Materialien	42
	4.2 Offenporige Schaumstoffe	45
	4.3 Geblähte Baustoffe	47
	Literatur.	50
5	Plattenresonatoren	51
	5.1 Folienabsorber	52
	5.2 Plattenschwinger	57
	5.3 Verbundplatten-Resonatoren	59
	Literatur.	69

6	Helmholtz-Resonatoren	71
	6.1 Lochflächenabsorber	72
	6.2 Schlitzabsorber	74
	6.3 Membranabsorber	80
	Literatur.	85
7	Interferenzdämpfer	87
	7.1 $\lambda/4$ -Resonatoren	88
	7.2 $\lambda/2$ -Resonatoren	90
	7.3 Rohrschalldämpfer	91
	Literatur.	95
8	Absorber mit aktiven Komponenten	97
	8.1 Masse-Feder-Systeme	98
	8.2 Abzweigresonatoren	102
	8.3 Modendämpfer	106
	Literatur.	108
9	Mikroperforierte Absorber	111
	9.1 Mikroperforierte Platten	116
	9.2 Mikroperforierte Folien	122
	9.3 Mikroperforierte Flächengebilde	124
	Literatur.	130
10	Integrierte und integrierende Schallabsorber	133
	10.1 Schallabsorber als konstruktive Bauteile.	136
	10.2 Breitbandkompaktabsorber.	137
	10.3 Schallabsorber in Kanten und Ecken	140
	10.4 Schallabsorbierende Möbel.	150
	10.5 Thermisch aktivierte Akustikelemente	153
	10.6 Akustisch aktivierte Lüftungskanäle	157
	10.7 Mikroperforiertes Glas in Fenstern und Fassaden	157
	10.8 Reflexionsarme Raumauskleidungen	159
	10.9 Absorbierende Schornsteininnenzüge	163
	10.10 Betonverbundabsorber in Lärmschutzwänden	166
	Literatur.	167
11	Raumakustische Grundlagen für größere Räume	169
	11.1 Subjektive Wahrnehmung von Akustik.	170
	11.2 Objektive Kriterien für die Hörsamkeit von Räumen	173
	11.2.1 Nachhall des Raums	174
	11.2.2 Grobstruktur des Raums	179
	11.2.3 Geometrische Grundregeln	180
	11.2.4 Störpegel im Raum	182
	11.2.5 Pegelverteilung im Raum	184

11.2.6	Impulsantwort des Raums	185
11.2.7	Klarheitsmaß.	187
11.2.8	Deutlichkeitsmaß	187
11.2.9	Schwerpunktszeit	188
11.2.10	Seitenschallmaß	188
11.2.11	Artikulationsverluste	189
11.2.12	Verwischung durch Nachhall	190
11.2.13	Raumakustik im erweiterten Frequenzbereich?	192
11.3	Emissionsspektren der Schallquellen.	193
11.3.1	Frequenzcharakteristik von Musik.	194
11.3.2	Frequenzcharakteristik von Sprache.	199
11.4	Verdeckung hoher durch tiefe Frequenzanteile.	202
11.5	Frühe Reflexionen	206
11.6	Schalltechnisches Konzept für größere Räume.	210
11.7	Vorgefundene Musterräume für eine transparente Akustik.	217
11.7.1	Ein Neubau mit akustischen Risiken	218
11.7.2	Exzellente Akustik als unerwartetes Ergebnis	221
11.7.3	Nachhall, der die Tiefen klärt und die Höhen trägt	223
11.7.4	Beurteilung des Atypischen durch professionelle Nutzer	225
11.7.5	Akustik in barocken Kirchen	229
11.7.6	Akustische Aufwertung von sakralen Räumen	231
11.7.7	Akustik in Rock- und Popumgebungen	233
11.8	Amphitheater als Vorbilder.	235
11.8.1	Akustische Eigenschaften halboffener Räume.	236
11.8.2	Der Kreis als Archetyp für jegliche Darbietung	241
11.8.3	Freilichtbühnen und Sportstadien	242
11.8.4	Berliner Philharmonie als Musterkonzertsaal	244
	Literatur.	250
12	Fallbeispiele akustischer Gestaltung größerer Räume	257
12.1	Großes Haus des Staatstheaters Mainz	258
12.1.1	Das akustische Konzept	259
12.1.2	Notwendige Grobanpassungen	260
12.1.3	Schalllenkende Maßnahmen	262
12.1.4	Schall absorbierende Maßnahmen	266
12.1.5	Konzertnutzung	270
12.1.6	Ergebnisse und Beurteilung	271
12.1.7	Zusammenfassung	276
12.2	Orchesterprobephöhne der Staatstheater Stuttgart.	276
12.3	Orchesterprobenraum des Staatstheaters Mainz	282
12.4	Kleines Haus der Staatstheater Stuttgart	284
12.4.1	Die Ausgangssituation.	285
12.4.2	Die Grobstruktur des Auditoriums.	286

12.4.3	Pegelverteilung	286
12.4.4	Deutlichkeitsmaß	287
12.4.5	Klarheitsmaß.	288
12.4.6	Nachhallzeit	288
12.4.7	Raumakustische Sanierung	289
12.4.8	Erzielte Verbesserungen	291
12.5	Schlüterhof im Deutschen Historischen Museum Berlin	292
12.6	Foyer und Atrium im Fraunhofer-Haus in München	294
12.7	Plenarsaal des Bundestags in Bonn.	296
12.8	Plenarbereich der Akademie der Künste in Berlin	298
12.9	Aula des Wirtschaftsministeriums in Berlin	302
12.10	Eichensaal der ehemaligen Kaiser-Wilhelm-Akademie in Berlin	304
12.11	Vortrags- und Musikraum des Volkshochschulheims in Inzigkofen	305
12.12	Kammermusiksaal im Kloster Bronnbach	305
12.13	Aula der Universität Freiburg	308
12.14	Senatssaal der Universität Freiburg	309
12.15	Schulungszentrum in ehemaliger Fabrikhalle	310
12.16	Vicemoos-Sporthalle in Schopfheim	311
12.17	Erlebnisbad „Die Welle“ in Gütersloh	315
	Literatur.	319
13	Raumakustische Grundlagen für kleinere Räume.	323
13.1	Akustische Phänomene in kleineren Räumen	324
13.1.1	Transparenz von Sprache und Musik	325
13.1.2	Störung durch Fremdgeräusche	326
13.1.3	Quellen tieffrequenter Schallenergie.	328
13.1.4	Wie aus Kommunikation Lärm werden kann	329
13.1.5	Dynamik von Sprache und Musik	332
13.1.6	Lombard-Effekt und Lärmeskalation	333
13.1.7	Cocktail-Party-Effekt und Lärmprävention	333
13.1.8	Frequenzbegrenzung.	335
13.2	Der Raum als Schallüberträger.	335
13.3	Aktuelle Trends in Architektur und Bauweisen	338
13.4	Normen und Richtlinien zur Raumakustik	339
13.4.1	Raumakustische Anforderungen nach DIN 18041-2004.	340
13.4.2	Leitlinien der öffentlichen Hand.	345
13.4.3	Raumakustische Anforderungen nach DIN 18041-2016.	347
13.5	Schalltechnisches Konzept für kleinere Räume	349
13.5.1	Akustische Transparenz erzeugen!.	350
13.5.2	Interferenzeffekten begegnen!	351
13.5.3	Nachhallzeit gleichmäßig senken!.	353
13.6	Raumakustik für offene Bürolandschaften	354

13.7	Raumakustik für Bildungsstätten	359
13.7.1	Lärmauswirkungen an den Arbeitsplätzen	360
13.7.2	Lärmauswirkungen auf die Lernenden.	361
13.8	Raumakustik für Musikerarbeitsplätze	364
13.8.1	Schallbelastungen bei Musikern	364
13.8.2	Die EU-Richtlinie 2003/10/EG	368
13.8.3	Maßnahmen zur Pegelminderung	369
13.8.4	Minderung der Emissionen durch raumakustische Maßnahmen	372
	Literatur.	376
14	Fallbeispiele akustischer Gestaltung kleinerer Räume	381
14.1	Speiseräume	382
14.1.1	Kantine im Fraunhofer-Forschungszentrum Stuttgart	382
14.1.2	Werkskantine in einem Industriekomplex	383
14.1.3	Restaurant der Berufsgenossenschaft Nahrungsmittel und Gastgewerbe in Mannheim	385
14.1.4	Cafeteria der Macromedia Hochschule für Medien und Kommunikation in Berlin-Kreuzberg	386
14.1.5	Mensa der J.-Krüss-Gemeinschaftsschule in Berlin-Moabit.	387
14.1.6	Mensa der R.-Burger-Schule in Berlin-Pankow	388
14.1.7	Speiseräume in der J.-Miró-Europaschule in Berlin-Charlottenburg.	388
14.2	Konferenzräume	392
14.2.1	„Runder Tisch“ im Fraunhofer Institut für Bauphysik in Stuttgart.	392
14.2.2	Seminarräume in der Zentrale der Fraunhofer-Gesellschaft in München	393
14.2.3	Medienraum im Office-Innovation-Center der Fraunhofer- Gesellschaft in Stuttgart	394
14.2.4	Glaskabinen	395
14.2.5	Dozentenzimmer in der Macromedia-Hochschule für Medien und Kommunikation in Berlin-Kreuzberg	398
14.2.6	Versammlungsraum der Freiwilligen Feuerwehr in Schönau/Oberpfalz	400
14.2.7	Konferenzraum bei der Bundesstiftung Baukultur in Potsdam	401
14.3	Räume in Bildungsstätten	406
14.3.1	Nürtingen-Grundschule in Berlin-Kreuzberg	407
14.3.2	Ganztages-Hort der Sonnenuhr-Grundschule in Berlin-Lichtenberg	408
14.3.3	Hörsäle der Macromedia Hochschule für Medien und Kommunikation in Berlin-Kreuzberg	412

14.3.4	Aktivraum der J.-Miró-Europaschule in Berlin-Charlottenburg.	413
14.3.5	Klassenzimmer der Grundschule in Marienrachdorf bei Mainz	413
14.3.6	Krippe und Hort im Hubertus-4-Kindergarten in Hannover .	413
14.3.7	Werk- und Unterrichtsräume der A.-Sander Berufsschule in Berlin-Mitte.	414
14.3.8	Unterrichtsraum der A.-Bode-Schule für Handwerk, Technik, Gestaltung in Kassel	417
14.4	Arbeitsräume für Tonschaffende	420
14.4.1	Schlagzeugunterrichtsraum der Musikschule Waldenbuch .	421
14.4.2	Musikunterrichtsraum der Manfred-von-Ardenne-Schule in Berlin-Lichtenberg	423
14.4.3	Schlagzeugunterrichtsraum der Carlo-Schmid-Oberschule in Berlin-Spandau	423
14.4.4	Musikraum der Kaohsiung University in Taiwan	427
14.4.5	Orchestergraben im Großen Haus der Staatstheater Stuttgart	428
14.4.6	Orchestergraben des Stadttheaters Flensburg	434
14.4.7	Orchestergraben des Aalto-Theaters in Essen	436
14.4.8	Orchestergraben des Großen Hauses im Staatstheater Mainz	437
14.4.9	Musiksaal der Akademie des Schlosses Solitude in Stuttgart	437
14.4.10	Mediengarten des Mitteldeutschen Rundfunks in Leipzig. .	439
14.4.11	Aufnahmesaal 1 des Rundfunks der DDR in Berlin	442
14.4.12	Aufnahmestudio an der Fachhochschule Dessau	444
14.4.13	Sprecherstudio in einer Fernsehanstalt	444
14.5	Hörräume für Sprache und Musik	446
14.5.1	Vorführraum auf einer Tonmeistertagung in München . . .	448
14.5.2	Übertragungswagen der Thein Studios	450
14.5.3	Mehrkanalabhörraum des Fraunhofer-Instituts in Erlangen .	452
14.5.4	Mastering-Raum der Bauer Studios in Ludwigsburg	457
14.5.5	Tonlabor der Fachhochschule Dessau	458
14.5.6	Demonstrationsraum im Fraunhofer-Institut in Stuttgart . .	459
14.5.7	Demonstrationsraum der Casa Acustica in Berlin-Schlachtensee	463
14.6	Büroräume	464
14.6.1	Offene Bürolandschaften	467
14.6.2	Mehrpersonenbüros	480
14.7	Verkehrs- und andere Räume.	482
14.7.1	Regionalbahnhof Potsdamer Platz in Berlin-Mitte	482
14.7.2	Forum im Fraunhofer OIC in Stuttgart	484
14.7.3	Treppenhäuser der Nürtingen-Grundschule in Berlin-Kreuzberg	485

14.7.4	Flur in der Obersee-Grundschule in Berlin-Lichtenberg.	485
14.7.5	Waschräume der Kita im SOS-Kinderdorf in Berlin-Moabit	489
14.7.6	Spiel- und Musizierzimmer im SOS-Kinderdorf in Berlin-Moabit.	490
	Literatur.	495
15	Raumakustische Grundlagen für schalltechnische Prüfstände	499
15.1	Schalltechnisches Konzept für praktikable Hallräume	500
15.1.1	Messung der Schalleistung bei tiefen Frequenzen	501
15.1.2	Messung des Absorptionsgrads bei tiefen Frequenzen.	503
15.1.3	Messung der Schalldämmung bei tiefen Frequenzen	504
15.2	Schalltechnisches Konzept für leise Windkanäle.	506
15.2.1	Quellen des Lärms von Kraftfahrzeugen	509
15.2.2	Konventionelle Auslegungen für Akustikwindkanäle	510
15.2.3	Ein alternatives Konzept für leise Aeroakustikwindkanäle	512
15.3	Schalltechnisches Konzept für reflexionsarme Räume	516
15.3.1	Konventionelle Auslegungen für reflexionsarme Räume	517
15.3.2	Simulationsrechnung für reflexionsarme Räume	523
15.3.3	Einfluss des mittleren Absorptionsgrads.	525
15.3.4	Einfluss des geschlossenen Rechteckraums	527
15.3.5	Einfluss der Raumgeometrie.	527
15.3.6	Einfluss der Quellposition	529
15.3.7	Einfluss der Bodenreflexionen.	530
15.3.8	Einfluss der Bandbreite des Testsignals	532
15.3.9	Optimierung durch eine inhomogene Auskleidung	534
15.4	Alternative Absorber-Bausteine für reflexionsarme Räume	535
	Literatur	541
16	Fallbeispiele akustischer Gestaltung schalltechnischer Prüfstände.	545
16.1	BMW-Akustikwindkanal in München	545
16.2	Audi-Aeroakustikwindkanal in Ingolstadt	546
16.3	DaimlerChrysler-Windkanal in Auburn Hills.	550
16.4	PSA-Peugot/Citroen-Windkanal in St.-Cyr-L'Ecole	559
16.5	Weitere Windkanalprojekte mit faserfreier Schallschutztechnik	563
16.6	Reflexionsarmer Schallschirm von Gebhardt Ventilatoren in Waldenburg	566
16.7	BMW-Motorakustikprüfstand in München.	567
16.8	Mercedes-Technik-Zentrum in Sindelfingen	576
16.9	Volkswagen-Akustikzentrum in Wolfsburg.	580
16.9.1	Außengeräuschemesshalle	584
16.9.2	Rollenprüfstände.	588
16.9.3	Motoren- und Aggregateprüfstände	594
16.9.4	Fensterprüfstand	597

16.9.5	Hörstudio	601
16.9.6	Schalltechnische Erkenntnisse aus einem innovativen Projekt	604
16.10	Erfahrungen aus einem aufstrebenden Markt.	611
16.10.1	Freifeldraum der Shanghai Academy of Public Measurement	613
16.10.2	Halbfreifeldraum der Shanghai Academy of Public Measurement	613
16.10.3	Freifeldraum des Beijing National Institute of Metrology. . .	614
16.10.4	Halbfreifeldraum des Beijing National Institute of Metrology	615
16.10.5	Aggregateprüfstand von Pan-Asia Automobiles	615
16.10.6	Messkabine von Nokia Beijing	616
16.10.7	Messkabine von Motorola Beijing.	616
16.10.8	Vorbeifahrt-Prüfstand der Tongji University Shanghai . . .	617
	Literatur	622
17	Grundlagen für Schalldämpfer in Strömungskanälen.	625
17.1	Schalltechnisches Konzept für zeitgemäße Schalldämpferanlagen. .	626
17.2	Geometrische Parameter von Schalldämpfern	628
17.3	Abschätzung der Dämpfung	630
17.3.1	Begrenzung durch Nebenwege und Durchstrahlung.	631
17.3.2	Erweiterte Piening-Formel.	632
17.3.3	Schwachpunkt tiefer Frequenzen	634
17.3.4	Einfluss der Strömung	635
17.3.5	Einfluss der Temperatur	636
17.3.6	Reflexionsdämpfung.	636
17.3.7	Berücksichtigung von Abdeckungen.	638
17.3.8	Beeinträchtigungen durch Körperschall	638
17.3.9	Dämpfung höherer Moden.	640
17.4	Abschätzung des Eigengeräuschs	641
17.5	Geräuschabstrahlung in einen Raum	642
17.6	Abschätzung der Druckverluste	643
17.7	Messungen an Schalldämpfern	647
17.7.1	Einfügungsdämpfung	652
17.7.2	Durchgangsdämpfung	655
17.7.3	Ausbreitungsdämpfung	655
17.7.4	Immissionswirksame Dämpfung.	656
	Literatur.	661
18	Fallbeispiele akustischer Gestaltung von Schalldämpferanlagen	663
18.1	Resonatorschalldämpfer für Bewetterungsanlagen.	663
18.2	Membranabsorber in Rauchgasreinigungsanlagen	666
18.3	Schalldämpfer an Papiermaschine	671
18.4	Schalldämpfer in Mineralfaserproduktionsanlage	676
18.4.1	Ganzmetallschalldämpfer für die Vakuumanlage	678

18.4.2	Umlenkschalldämpfer an Entstaubungsanlage. . . . .	.680
18.4.3	Schornstein mit integriertem Schalldämpfer. . . . .	.683
18.5	Schalldämpfer für die Nassentstaubung . . . . .	.683
18.6	Schalldämpfer für mit Staub beladene Abluft . . . . .	.687
18.7	Schalldämpfer in Heizungsanlagen. . . . .	.689
18.7.1	Reaktive Rohrschalldämpfer. . . . .	.691
18.7.2	Aktive Resonanzschalldämpfer . . . . .	.692
18.7.3	Schlitzschalldämpfer in Heizkesseln . . . . .	.693
18.8	Aktive Schalldämpfer in Raumklimageräten . . . . .	.694
18.9	Schalldämpferauslegungen für raumluftechnische Anlagen . . . . .	.695
	Literatur. . . . .	.700
	Sachverzeichnis . . . . .	.703