

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einführung.</b>	1
	Literatur.	6
<b>2</b>	<b>Problemschwerpunkt tiefe Frequenzen.</b>	7
	Literatur.	17
<b>3</b>	<b>Grundlagen für den Lärmschutz und die raumakustische Gestaltung.</b>	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
<b>4</b>	<b>Passive Absorber.</b>	39
	4.1 Faserige Materialien	42
	4.2 Offenporige Schaumstoffe	45
	4.3 Geblähte Baustoffe	47
	Literatur.	50
<b>5</b>	<b>Plattenresonatoren.</b>	51
	5.1 Folienabsorber	52
	5.2 Plattenschwinger	57
	5.3 Verbundplatten-Resonatoren	59
	Literatur.	69

<b>6</b>	<b>Helmholtz-Resonatoren</b>	71
6.1	Lochflächenabsorber	72
6.2	Schlitzabsorber	74
6.3	Membranabsorber	80
	Literatur	85
<b>7</b>	<b>Interferenzdämpfer</b>	87
7.1	$\lambda/4$ -Resonatoren	88
7.2	$\lambda/2$ -Resonatoren	90
7.3	Rohrschalldämpfer	91
	Literatur	95
<b>8</b>	<b>Absorber mit aktiven Komponenten</b>	97
8.1	Masse-Feder-Systeme	98
8.2	Abzweigresonatoren	102
8.3	Modendämpfer	106
	Literatur	108
<b>9</b>	<b>Mikroperforierte Absorber</b>	111
9.1	Mikroperforierte Platten	116
9.2	Mikroperforierte Folien	122
9.3	Mikroperforierte Flächengebilde	124
	Literatur	130
<b>10</b>	<b>Integrierte und integrierende Schallabsorber</b>	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
<b>11</b>	<b>Raumakustische Grundlagen für größere Räume</b>	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 Sportstadion . . . . .	242
11.8.4	Berliner Philharmonie als Musterkonzertsaal . . . . .	244
	Literatur. . . . .	250
<b>12</b>	<b>Fallbeispiele akustischer Gestaltung größerer Räume . . . . .</b>	<b>257</b>
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	Konzernutzung . . . . .	270
12.1.6	Ergebnisse und Beurteilung . . . . .	271
12.1.7	Zusammenfassung . . . . .	276
12.2	Orchesterprobephase 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
<b>13</b>	<b>Raumakustische Grundlagen für kleinere Räume. . . . .</b>	<b>323</b>
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
<b>14</b>	<b>Fallbeispiele akustischer Gestaltung kleinerer Räume . . . . .</b>	<b>381</b>
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
<b>15</b>	<b>Raumakustische Grundlagen für schalltechnische Prüfstände . . . . .</b>	<b>499</b>
15.1	Schalltechnisches Konzept für praktikable Hallräume . . . . .	500
15.1.1	Messung der Schallleistung 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
<b>16</b>	<b>Fallbeispiele akustischer Gestaltung schalltechnischer Prüfstände. . .</b>	<b>545</b>
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
<b>17</b>	<b>Grundlagen für Schalldämpfer in Strömungskanälen. . . . .</b>	<b>625</b>
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
<b>18</b>	<b>Fallbeispiele akustischer Gestaltung von Schalldämpferanlagen . . . .</b>	<b>663</b>
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
<b>Sachverzeichnis . . . . .</b>		<b>.703</b>

Raum-Akustik und Lärm-Minderung  
Konzepte mit innovativen Schallabsorbern und  
-dämpfern

Fuchs, H.V.

2017, XXXI, 717 S. 565 Abb., 237 Abb. in Farbe.,

Hardcover

ISBN: 978-3-662-53162-4