

Wolfgang M. Willems • Kai Schild
Diana Stricker

Schallschutz: Bauakustik

Grundlagen – Luftschallschutz –
Trittschallschutz

Mit 125 Abbildungen und 237 Tabellen

Praxis

1	Physikalische Größen, Formelzeichen, Einheiten	1
1.1	Formelzeichen	1
1.2	Einheiten-Umrechnungstafeln	6
1.2.1	Länge	6
1.2.2	Fläche	6
1.2.3	Volumen	6
1.2.4	Masse	7
1.2.5	Zeit	7
1.2.6	Kraft	7
1.2.7	Spannung	7
1.2.8	Druck	8
1.2.9	Arbeit	8
1.2.10	Leistung.....	8
1.2.11	Wärmeleitfähigkeit	9
1.2.12	Spezifische Wärmekapazität	9
1.2.13	Wärmedurchgangskoeffizient	9
1.2.14	Wärmestromdichte	9
1.3	Griechisches Alphabet	10
1.4	Vielfache und Teile der SI-Einheiten	11
2	Berechnungshilfen	13
2.1	Mathematische Grundlagen	13
2.1.1	Geometrie	13
	<i>Flächenberechnung</i>	13
	<i>Volumenberechnung</i>	15
2.1.2	Rechenregeln.....	19
	<i>Potenzen</i>	19
	<i>Wurzeln</i>	19
	<i>Logarithmen</i>	20
	<i>Quadratische Gleichung</i>	20
	<i>Trigonometrie</i>	20
2.2	Bauschraffuren	21
2.3	Materialtechnische Kennwerte	23

2.3.1	Putze, Mörtel, Asphalt und Estriche	23
2.3.2	Beton	24
2.3.3	Bauplatten	26
2.3.4	Mauerwerk aus Klinkern und Ziegeln	27
2.3.5	Mauerwerk aus Kalksandsteinen, Hüttensteinen und Porenbeton- Plansteinen	28
2.3.6	Mauerwerk aus Betonsteinen	29
2.3.7	Holz und Holzwerkstoffe	30
2.3.8	Wärmedämmstoffe	32
2.3.9	Lose Schüttungen	35
2.3.10	Fußbodenbeläge, Abdichtstoffe, Dachbahnen, Folien	35
2.3.11	Glas, Natursteine	37
2.3.12	Lehmbaumstoffe	37
2.3.13	Metalle	38
2.3.14	Wasser, Eis, Schnee	38
2.3.15	Gase	39
2.3.16	Böden	39
2.3.17	Gummi, massive Kunststoffe	40
3	Physikalische Grundlagen der Schallausbreitung	41
3.1	Schallschwingungen	41
3.1.1	Prinzipdarstellung	41
3.1.2	effektiver Schalldruck	42
3.1.3	Frequenz	42
	<i>Frequenzspektrum</i>	44
3.1.4	Wellenlänge	46
3.2	Schallgeschwindigkeiten	47
3.3	Definition unterschiedlicher Schallpegel	47
3.3.1	Allgemeines	47
3.3.2	Schallschnelle-Pegel	48
3.3.3	Schallwellenwiderstand	48
3.3.4	Schallintensität und Schallintensitäts-Pegel	48
3.3.5	Schall-Leistung und Schall-Leistungspegel	49
3.3.6	Schalldruckpegel	51
3.4	Rechnen mit Schallpegeln	52
3.4.1	Addition und Subtraktion von Schallpegeln	52
3.4.2	Mittelung zeitlich veränderlicher Schallpegel	53

- 3.4.3 Mittelung örtlicher veränderlicher Schallpegel 54
- 3.5 Lautstärkeempfinden und Frequenzbewertung** 54
- 3.6 Schallexposition und Schutzmaßnahmen** 57
- 3.6.1 Sprachverständigung 57
- 3.6.2 Zulässige Schallexposition 57

- 4 Grundlagen des Luftschallschutzes** 61
- 4.1 Kennzeichnende Größen** 61
- 4.1.1 Begriffsbestimmungen 61
- 4.1.2 Schalltransmission 63
- 4.1.3 Schalldämm-Maß 64
- 4.1.4 Schalldruckpegeldifferenz 64
- 4.1.5 Norm-Schallpegeldifferenz 65
- 4.1.6 Standard-Schallpegeldifferenz 65
- 4.1.7 Luftschalldämm-Maß 66
- 4.1.8 Schalldämmung eines Bauelements 68
- 4.1.9 Schachtpegeldifferenz 68
- 4.1.10 Schalldämmung zusammengesetzter Flächen 69
- 4.1.11 Bewertung des Schalldämm-Maßes 69
- 4.1.12 Spektrum-Anpassung 71
- 4.1.13 Flanken- und Nebenwegsübertragung 75
- 4.1.14 Norm-Flankenpegeldifferenz 76
- 4.1.15 Schalldämm-Maß mit Berücksichtigung der Flankenübertragung 76
- 4.2 Einschalige Bauteile** 77
- 4.2.1 Schwingungssystem 77
- 4.2.2 BERGERSches Massegesetz 78
- 4.2.3 Koinzidenzfrequenz 79
- 4.2.4 Koinzidenzgrenzfrequenz 81
- 4.2.5 Eigenfrequenz 83
- 4.3 Mehrschalige Bauteile** 83
- 4.3.1 Schwingungssystem 83
- 4.3.2 Resonanzfrequenz 85
- 4.3.3 Stehende Wellen 86

- 5 Anforderungen und Nachweis Luftschallschutz**
- (Teil A: Emissionsquelle außerhalb des Gebäudes)** 91
- 5.1 Anforderungen an die Luftschalldämmung von Außenbauteilen** 91

5.1.1	Allgemeines	91
5.1.2	Anforderungen gemäß DIN 4109 bzw. Schallschutzstufe I	92
5.1.3	Anforderungen gemäß DIN 4109 bzw. Schallschutzstufe II	93
5.1.4	Anforderungen gemäß DIN 4109 bzw. Schallschutzstufe III	93
5.2	Nachweisverfahren nach DIN 4109 Bbl. 1	94
5.2.1	Ermittlung des maßgeblichen Außenlärmpegels	94
5.2.2	Ermittlung des resultierenden bewerteten Luftschalldämm-Maßes	97
5.2.3	Nachweisführung	98
5.3	Nachweisverfahren nach DIN EN 12534	98
5.3.1	Allgemeines	98
5.3.2	Nachweis des bewerteten Bau-Schalldämm-Maßes	98
5.3.3	Ansatz zur Ermittlung des bewerteten Bau-Schalldämm-Maßes	98
5.3.4	Ermittlung des Schall-Leistungsverhältnisse	99
	<i>Bauteile allgemein</i>	99
	<i>Kleine Bauteile</i>	100
	<i>Flankierende Bauteile</i>	102
5.3.5	Messtechnische Größen zur Beschreibung der Schalldämmung einer Fassade	102
	<i>Bauschalldämm-Maß R'_{45°</i>	102
	<i>Bauschalldämm-Maß $R'_{tr,s}$</i>	102
5.3.6	Ermittlung des mittleren Innenschalldruckpegels im Empfangsraum	103
6	Anforderungen und Nachweis Luftschallschutz (Teil B: Emissionsquelle innerhalb des Gebäudes)	109
6.1	Luftschalldämmung zum Schutz von Aufenthaltsräumen gegenüber Schallübertragung	109
6.1.1	Vereinbarung des gewünschten Anforderungsniveaus	109
6.1.2	Anforderungen nach DIN 4109 (11.1989)	109
6.1.3	Anforderungen nach DIN 4109-1 -Entwurf- (10.2006)	115
	<i>Raumgruppen für den Luftschallschutz</i>	116
	<i>Anforderungswerte für Gebäude mit Wohn- und Arbeitsbereichen</i>	119
6.1.4	Anforderungen nach VDI 4100	122
6.1.5	Empfehlungen bei Büros nach VDI 2569	123
6.1.6	Anforderungen bei Gaststätten und Kegelbahnen nach VDI 3726	124
6.2	Nachweisverfahren nach DIN 4109 Bbl. 1 für Gebäude in Massivbauweise	125
6.2.1	Flankierende Bauteile	125
	<i>Vorausgesetzte Randbedingungen</i>	125

	<i>Korrekturwerte $K_{L,1}$ bei biegesteifen trennenden Bauteilen</i>	125
	<i>Korrekturwerte $K_{L,1}$ bei biegeweichen trennenden Bauteilen</i>	126
	<i>Korrekturwert $K_{L,2}$ bei Vorsatzschalen und biegeweichen flankierenden Bauteilen</i>	127
6.2.2	Nachweisführung	127
6.3	Nachweisverfahren nach DIN 4109 Bbl. 1 für Gebäude in Skelett- oder Holzbauweise	128
6.3.1	Einführung	128
6.3.2	Ermittlung der Rechenwerte - Trennendes Bauteil	129
6.3.3	Ermittlung der Rechenwerte - Flankierende Bauteile	129
6.3.4	Vereinfachte Nachweisführung	130
6.3.5	Genaue Nachweisführung	130
6.4	Vereinfachter Nachweis der Luftschalldämmung von Bauteilen zwischen „besonders lauten“ und schutzbedürftigen Räumen	131
6.5	Nachweisverfahren nach DIN EN 12354-1	132
6.5.1	Allgemeines	132
6.5.2	Ansatz zur Ermittlung des bewerteten Bauschalldämm-Maßes	133
6.5.3	Ansatz zur Ermittlung des bewerteten Schalldämm-Maßes für die Direktübertragung	135
6.5.4	Ansatz zur Ermittlung der bewerteten Flankendämm-Maße	136
6.5.5	Zusammenstellung zentraler Eingangswerte	138
	<i>Bewertetes Schalldämm-Maß des trennenden Bauteils</i>	138
	<i>Verbesserung des bewerteten Schalldämm-Maßes eines trennenden Bauteils durch zusätzliche Vorsatzschalen</i>	139
	<i>bewertete Schalldämm-Maße der flankierenden Bauteile</i>	141
	<i>Verbesserung des bewerteten Schalldämm-Maßes eines flankierenden Bauteils durch zusätzliche Vorsatzschalen</i>	142
	<i>Rechnerische Ermittlung der Verbesserung des bewerteten Schalldämm-Maßes von trennenden und flankierenden Bauteilen durch zusätzliche Vorsatzschalen</i>	143
6.5.6	Stoßstellendämm-Maße	146
7	Luftschallschutz Teil C (Emissionen aus dem Gebäude ins Freie)	151
7.1	Nachweisverfahren nach DIN EN 12354-4	151
7.1.1	Allgemeines	151
7.1.2	Schalldruckpegel am Immissionsort	152
7.1.3	Segmentierung der Gebäudehülle	153
7.1.4	Schall-Leistungspegel der einzelnen Segmente	155
7.2	Gaststätten und Kegelbahnen nach VDI 3726	157

8	Kennwerte für den Luftschallschutz	159
8.1	Bewertetes Luftschalldämm-Maß massiver Bauteile	159
8.1.1	Rechenwerte der Rohdichten nach DIN 4109 Bbl. 1	159
8.1.2	Einschalige, biegesteife Wand	160
8.1.3	Einschalige, biegesteife Wand mit biegeweicher Vorsatzschale	163
8.1.4	Außenwände mit Wärmedämmverbundsystem (WDVS)	168
8.1.5	Massive zweischalige Haustrennwände	171
	<i>Schallbrücken in Haustrennwandfugen</i>	173
8.1.6	Mehrschalige massive Wände	176
8.1.7	Massive Trenndecken	178
8.2	Flankenschalldämm-Maß massiver Bauteile	181
8.2.1	Einschalige massive flankierende Bauteile von Trennwänden	181
8.2.2	Massivdecken mit Doppel- oder Hohlraumböden als flankierende Bauteile unter Trennwänden	181
	<i>Konstruktion Doppelböden</i>	182
	<i>Konstruktion Hohlraumböden</i>	183
	<i>Marktübliche Konstruktionen</i>	184
8.2.3	Massivdecken mit Unterdecken als flankierende Bauteile über Trennwänden	186
8.2.4	Massivdecken mit schwimmendem Estrich als flankierende Bauteile unter Trennwänden	191
8.2.5	Massive biegesteife Wände mit biegeweicher Vorsatzschale	192
8.3	Bewertetes Luftschalldämm-Maß von Bauteilen in Holzbauweise ...	194
8.3.1	Außen- und Gebäudetrennwände	194
8.3.2	Dächer	215
	<i>Flachdächer</i>	215
	<i>Geneigte Dächer</i>	216
8.3.3	Holzbalkendecken	223
	<i>Holzbalkendecken im Massivbau</i>	223
	<i>Holzbalkendecken im Skelettbau</i>	224
8.3.4	Trennwände in Holzständerbauart	234
8.4	Flankenschalldämm-Maß von Bauteilen in Holzbauweise	243
8.4.1	Holzbalkendecken	243
8.4.2	Wände	244
8.5	Bewertetes Luftschalldämm-Maß von Bauteilen in Stahlleichtbauweise	245
8.5.1	Außenwände	245
8.5.2	Flachdächer	248
8.5.3	Trennwände in Metallständerbauart	251

8.6	Flankenschalldämm-Maß von Bauteilen in Leichtbauweise	265
8.6.1	Wände	265
8.7	Bewertetes Luftschalldämm-Maß von Fenstern und Rollladenkästen	266
8.8	Bewertetes Luftschalldämm-Maß von Türen	271
9	Grundlagen des Trittschallschutzes	277
9.1	Kennzeichnede Größen	277
9.1.1	Trittschallpegel	277
9.1.2	Norm-Trittschallpegel	277
9.1.3	Standard-Trittschallpegel	278
9.1.4	Bewerteter Norm-Trittschallpegel	278
9.1.5	Trittschallminderung durch Deckenauflagen	279
9.2	Schallübertragungswege	280
9.3	Bewertung des Norm-Trittschallpegels	280
9.4	Spektrum-Anpassungswerte	282
10	Anforderungen und Nachweis Trittschallschutz	283
10.1	Trittschalldämmung zum Schutz von Aufenthaltsräumen gegenüber Schallübertragung	283
10.1.1	Anforderungen und Empfehlungen nach DIN 4109 (11.1989)	283
10.1.2	Anforderungen nach DIN 4109-1 -Entwurf- (10.2006)	289
	<i>Raumgruppen für den Trittschallschutz</i>	289
	<i>Anforderungswerte für Gebäude mit Wohn- und Arbeitsbereichen</i>	291
10.1.3	Anforderungen nach VDI 4100	293
10.1.4	Empfehlungen bei Büros nach VDI 2569	294
10.1.5	Anforderungen bei Gaststätten und Kegelbahnen nach VDI 3726	295
10.2	Nachweis des Trittschallschutzes nach DIN 4109 Bbl. 1 für Gebäude in Massivbaubauweise	296
10.2.1	Voraussetzungen	296
10.2.2	Anordnung der Räume	296
10.2.3	Ermittlung der Rechenwerte für Massivdecken	298
10.2.4	Ermittlung der Rechenwerte für Holzbalkendecken	298
10.2.5	Nachweis	298
10.3	Nachweis des Trittschallschutzes nach DIN 4109 Bbl. 1 für Gebäude in Skelett- und Holzbaubauweise	299
10.3.1	Ermittlung der Rechenwerte	299
10.3.2	Nachweis	299

10.4	Nachweisverfahren nach DIN EN 12354-2	300
10.4.1	Allgemeines	300
10.4.2	Nachweis des bewerteten Trittschallpegels	301
10.4.3	Ermittlung des vorhandenen bewerteten Norm-Trittschallpegels	301
11	Kennwerte für den Trittschallschutz	305
11.1	Bewerteter Trittschallpegel massiver Bauteile nach DIN 4109	305
11.1.1	Massive Trenndecken	305
11.1.2	Deckenauflagen auf massiven Decken	308
11.1.3	Terrassenaufbauten	310
11.1.4	Doppel- und Hohlraumböden	312
	<i>Einflussgrößen</i>	312
	<i>Marktübliche Konstruktionen</i>	312
11.1.5	Massive Treppen (Läufe und Podeste)	314
11.2	Bewerteter Trittschallpegel von Bauteilen in Holz- und Leichtbauweisebauweise nach DIN 4109	323
11.2.1	Holzbalkendecken	323
	<i>Holzbalken-Rohdecken</i>	334
	<i>Ertüchtigungsmaßnahmen für Holzbalkendecken</i>	339
11.2.2	Leichtbautreppen	343
	<i>Einfluss des Baukörpers</i>	343
	<i>Grundrissgestaltung</i>	343
	<i>Befestigungspunkte</i>	343
11.3	Schallbrücken bei schwimmenden Estrichen	345
12	Haustechnische Anlagen	349
12.1	Geräusche aus haustechnischen Anlagen	349
12.2	Anforderungen an den Schutz vor Geräuschen aus haustechnischen Anlagen und Gewebetrieben	350
12.3	Ver- und Entsorgungsanlagen	352
12.3.1	Einführung	352
12.3.2	Anforderungen an Armaturen/ Geräte der Wasserinstallation	352
12.3.3	Nachweis der Anforderungen für Wasserinstallationen	353
12.3.4	Vermeidung von Schallbrücken.....	356
12.4	Aufzugsanlagen	359
12.4.1	Anforderungen	359
12.4.2	Luftschall bei Aufzugsanlagen	361

	<i>Maximale Schalldruckpegel</i>	361
	<i>erforderliche Schalldämmung</i>	362
12.4.3	Körperschall bei Aufzugsanlagen	362
12.4.4	Maßnahmen zum baulichen Schallschutz	362
	<i>Aufzüge mit Triebwerksraum</i>	366
	<i>Aufzüge ohne Triebwerksraum</i>	367
12.4.5	Körperschalldämmende Aufstellung	367
	<i>Elektrisch betrieben Aufzüge</i>	367
	<i>Hydraulisch betrieben Aufzüge</i>	367
	<i>Berechnungsgrundlagen</i>	368
12.5	Haus- und betriebstechnische Anlagen	369
12.5.1	Heizungsanlagen	369
12.5.2	Lüftungsanlagen.....	370
	<i>Telefonie-Dämpfung</i>	373
12.5.3	Wärmepumpen	375
12.5.4	Bauliche Schallschutzmaßnahmen	376
13	Schallschutzausweis - DEGA-Empfehlung 103	377
13.1	Allgemeines	377
13.2	Schallschutzklassen im Wohnungsbau	377
13.2.1	Schallschutzklassen	377
13.2.2	Schallschutz zwischen fremden Wohneinheiten	379
13.2.3	Schallschutz im eigenen Wohnbereich	382
13.2.4	Vertraulichkeitskriterien, Wahrnehmung von Geräuschen	382
13.3	Schallschutzausweis	384
13.3.1	Hinweise zum Kriterienkatalog	384
13.3.2	Kriterien für Standort und Außenlärmsituation	385
13.3.3	Kriterien für baulichen Schallschutz im Gebäude	386
13.3.4	Grundrissituation und Anordnung von lauten Räumen	390
13.3.5	Punktegrenzen	391
13.3.6	Erstellung des Schallschutzausweises	391
14	Normen und Regelwerke	395
15	Literatur	405
	Index	409