

Wolfgang M. Willems  
Kai Schild  
Simone Dinter  
Diana Stricker

**Formeln und Tabellen**  
**Bauphysik**

## Aus dem Programm

### Bauwesen

#### **Sichtbeton Planung**

von J. Schulz

#### **Architektur der Bauschäden**

von J. Schulz

#### **Vieweg Handbuch Bauphysik Teil 1**

von W. M. Willems, K. Schild und S. Dinter

#### **Vieweg Handbuch Bauphysik Teil 2**

von W. M. Willems, K. Schild und S. Dinter

#### **Bausanierung**

von M. Stahr (Hrsg.)

#### **Formeln und Tabellen Bauphysik**

von W. M. Willems, K. Schild, S. Dinter und D. Stricker

#### **Estriche**

von H. Timm

#### **Bauentwurfslehre**

von E. Neufert

#### **Hinzunehmende Unregelmäßigkeiten**

von R. Oswald und R. Abel

Wolfgang M. Willems  
Kai Schild  
Simone Dinter  
Diana Stricker

# **Formeln und Tabellen Bauphysik**

**Wärmeschutz – Feuchteschutz –  
Klima – Akustik – Brandschutz**

Mit 117 Abbildungen und 218 Tabellen



Bibliografische Information Der Deutschen Nationalbibliothek  
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der  
Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über  
<<http://dnb.d-nb.de>> abrufbar.

1. Auflage Juni 2007

Alle Rechte vorbehalten

© Friedr. Vieweg & Sohn Verlag | GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden 2007

Lektorat: Karina Danulat / Annette Prenzer

Der Vieweg Verlag ist ein Unternehmen von Springer Science+Business Media.  
[www.vieweg.de](http://www.vieweg.de)



Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlags unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Umschlaggestaltung: Ulrike Weigel, [www.CorporateDesignGroup.de](http://www.CorporateDesignGroup.de)

Druck und buchbinderische Verarbeitung: Wilhelm & Adam, Heusenstamm

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier.

Printed in Germany

ISBN 978-3-8348-0303-0

# Vorwort

Wer die Entwicklung der Bauphysik während der letzten Dekaden mitverfolgte, wird heute feststellen, dass sich diese von einer Randerscheinung des Bauwesens zu einem ihrer komplexesten Arbeitsbereiche gewandelt hat. Mit diesem Prozess einher geht eine mit der Zeit immer differenzierter und vielschichtiger werdende „Vernormung“, die in der Praxis letztendlich zu einer Unüberschaubarkeit dieser Regelwerke führt – und es nicht zu erwarten, dass sich dieses in der Zukunft ändern wird.

Angesichts dieser Entwicklung erschien es uns wichtig, den planenden Architekten und Ingenieuren sowie den Studierenden der entsprechenden Fachrichtungen ein Nachschlagewerk mit den wesentlichen Anforderungen, Nachweisverfahren und Kennwerten der Bauphysik an die Hand zu geben. Ergänzt werden diese Informationen – so es uns erforderlich und sinnvoll erschien – durch komprimierte Ausführungen zu den jeweiligen physikalischen Grundlagen und Zusammenhängen.

In dieser Struktur liegt auch die Abgrenzung dieses Werkes zum wesentlich umfangreicheren „Vieweg Handbuch Bauphysik“, welches eher als Kompendium mit ausführlichen Hintergrundinformationen ausgelegt ist.

Wir haben die Themen dieses Buches unter dem Gesichtspunkt der Praxisrelevanz ausgewählt und alle damit verknüpften Informationen äußerst sorgfältig zusammengetragen und überprüft. Dennoch können Fehler auftreten und vielleicht auch die Einbeziehung zusätzlicher Themenbereiche erforderlich werden. Es würde uns freuen, wenn Sie - die Anwender dieses Tabellenwerkes - uns die notwendige Rückmeldung zukommen lassen würden, um dieses Werk in der nächsten Auflage dann weiter Ihren Wünschen anpassen zu können.

Bochum, im April 2007

Die Autoren

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Berechnungshilfen</b>	
1.1	<b>Griechisches Alphabet</b> .....	1
1.2	<b>Mathematische Grundlagen</b> .....	2
1.2.1	Geometrie .....	2
	<i>Flächenberechnung</i> .....	2
	<i>Volumenberechnung</i> .....	5
1.2.2	Rechenregeln .....	9
	<i>Potenzen</i> .....	9
	<i>Wurzeln</i> .....	9
	<i>Logarithmen</i> .....	10
	<i>Quadratische Gleichung</i> .....	10
	<i>Trigonometrie</i> .....	10
1.3	<b>Bauschraffuren</b> .....	11
1.4	<b>Wärme- und feuchtetechnische Kennwerte</b> .....	13
1.4.1	Putze, Mörtel, Asphalt und Estriche .....	13
1.4.2	Beton .....	14
1.4.3	Bauplatten .....	16
1.4.4	Mauerwerk aus Klinkern und Ziegeln .....	17
1.4.5	Mauerwerk aus Kalksandsteinen, Hüttensteinen und Porenbeton- Plansteinen .....	19
1.4.6	Mauerwerk aus Betonsteinen .....	20
1.4.7	Holz und Holzwerkstoffe .....	22
1.4.8	Wärmedämmstoffe .....	23
1.4.9	Lose Schüttungen .....	26
1.4.10	Fußbodenbeläge, Abdichtstoffe, Dachbahnen, Folien .....	27
1.4.11	Glas, Natursteine .....	28
1.4.12	Lehmbaustoffe .....	28
1.4.13	Metalle .....	29
1.4.14	Wasser, Eis, Schnee .....	29
1.4.15	Böden .....	30
1.4.16	Gase .....	30
1.4.17	Gummi, massive Kunststoffe .....	31
<b>2</b>	<b>Wärmeschutz</b>	
2.1	<b>Wärmeschutztechnische Begriffe</b> .....	33
2.1.1	Temperatur .....	33
2.1.2	Rohdichte .....	33
2.1.3	Spezifische Wärmekapazität .....	33
2.1.4	Wärmeleitfähigkeit .....	34
2.1.5	Temperaturleitzahl .....	34
2.1.6	Wärmeeindringkoeffizient .....	34

2.1.7	Wärmestrom.....	35
2.1.8	Wärmestromdichte.....	35
2.1.9	Wärmeübergangskoeffizient .....	36
	<i>Wärmeübergang infolge Konvektion.....</i>	36
	<i>Wärmeübergang infolge Strahlung.....</i>	37
2.1.10	Wärmeübergangswiderstand.....	38
	<i>Bauteile mit nicht ebenen Oberflächen.....</i>	39
2.1.11	Wärmedurchlasswiderstand.....	39
	<i>Wärmedurchlasswiderstand für eine Baustoffschicht.....</i>	39
	<i>Wärmedurchlasswiderstand für eine Luftschicht.....</i>	40
	<i>Wärmedurchlasswiderstand für einen Luftraum.....</i>	43
	<i>Wärmedurchlasswiderstand unbeheizter Räume.....</i>	44
2.1.12	Wärmedurchgangswiderstand.....	46
2.1.13	Wärmedurchgangskoeffizient für opake Bauteile.....	47
	<i>Korrektur des U-Wertes bei Luftspalten im Bauteil.....</i>	47
	<i>Korrektur des U-Wertes bei Durchdringung der Dämmschicht</i>	
	<i>durch Befestigungsteile.....</i>	48
	<i>Korrektur des U-Wertes durch Niederschlag auf Umkehrdächern.....</i>	49
	<i>Berechnung des U-Wertes für Bauteile mit keilförmigen Schichten.....</i>	50
	<i>Berechnung des U-Wertes für zweischalige Dach- und</i>	
	<i>Wandaufbauten im Stahlleichtbau.....</i>	51
	<i>Berechnung des U-Wertes für Sandwichelemente.....</i>	51
2.1.14	Wärmedurchgangskoeffizient für Fenster.....	51
	<i>Wärmedurchgangskoeffizient der Verglasung.....</i>	51
	<i>Wärmedurchgangskoeffizient des Rahmens.....</i>	52
	<i>Wärmedurchgangskoeffizient des Fensters.....</i>	52
<b>2.2</b>	<b>Bestimmung von Temperaturverteilungen.....</b>	<b>58</b>
2.2.1	Stationäre Randbedingungen.....	58
	<i>Rechnerisches Verfahren.....</i>	58
	<i>Graphisches Verfahren.....</i>	58
2.2.2	Instationäre Randbedingungen - Binder/Schmidt Verfahren.....	60
<b>2.3</b>	<b>Wärmebrücken.....</b>	<b>63</b>
2.3.1	Definition und Formen des Auftretens.....	63
	<i>Definition nach DIN EN ISO 10211-1.....</i>	63
	<i>Konstruktiv bedingte Wärmebrücken / stoffbedingte Wärmebrücken ..</i>	63
	<i>Geometrisch bedingte Wärmebrücken / formbedingte Wärmebrücke ..</i>	63
	<i>Mischformen.....</i>	64
	<i>Lüftungs- und umgebungsbedingte „Wärmebrücken“.....</i>	64
2.3.2	Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient.....	64
2.3.3	Wärmebrückenkataloge.....	67
2.3.4	Berücksichtigung von Wärmebrücken beim Nachweis nach EnEV.....	68
<b>2.4</b>	<b>Mindestanforderungen an den Wärmeschutz im Winter.....</b>	<b>69</b>
	<i>Anforderungen an opake Massivbauteile.....</i>	69
	<i>Anforderungen an leichte Bauteile, Rahmen- und Skelettbauarten.....</i>	69

	<i>Anforderungen an Gebäude mit niedrigen Innentemperaturen</i> .....	69
	<i>Anforderungen im Bereich von Wärmebrücken</i> .....	69
	<i>Anforderungen an Fenster, Fenstertüren und Türen</i> .....	71
<b>2.5</b>	<b>Energiesparender Wärmeschutz - Energieeinsparverordnung</b> .....	71
2.5.1	Geltungsbereich der EnEV.....	71
2.5.2	Bezugsgrößen und Anforderungen für Neubauten .....	72
2.5.3	Bezugsgrößen und Anforderungen für Änderungen an bestehenden Gebäude und Anlagen sowie für Gebäude mit geringem Volumen .....	74
2.5.4	Struktur der Nachweisverfahren für Neubauten.....	77
	<i>Verfahren für Gebäude mit niedrigen Innentemperaturen</i> .....	77
	<i>Vereinfachtes Verfahren für Wohngebäude mit einen Fensterflächenanteil &lt; 30 % (Periodenbilanzverfahren)</i> .....	77
	<i>Detailliertes Verfahren (Monatsbilanzverfahren)</i> .....	77
2.5.5	Ermittlung der Eingangsgrößen .....	80
	<i>Wärmeübertragende Umfassungsfläche</i> .....	80
	<i>Bruttovolumen</i> .....	81
	<i>Wärmedurchgangskoeffizienten</i> .....	81
	<i>Nutzfläche</i> .....	81
2.5.6	Tabellen zur Ermittlung der Wärmeverluste und -gewinne .....	81
	<i>Transmissionswärmeverlust</i> .....	81
	<i>Lüftungswärmeverlust</i> .....	81
	<i>Solare Wärmegewinne</i> .....	81
	<i>Interne Wärmegewinne</i> .....	81
2.5.7	Ermittlung des Ausnutzungsgrades der solaren und internen Gewinne .....	92
2.5.8	Ermittlung der Anlagenaufwandszahl.....	93
	<i>Diagrammverfahren</i> .....	93
	<i>Tabellenverfahren</i> .....	94
	<i>Formulare zur Anlagenbewertung</i> .....	95
<b>2.6</b>	<b>Wärmeübertragung über das Erdreich</b> .....	99
2.6.1	Einführung.....	99
	<i>Wärmebrücken am Wand-Bodenplatten-Anschluss</i> .....	101
2.6.2	Wärmeverluste über erdberührte Bodenplatten (nicht unterkellert) .....	102
2.6.3	Wärmeverluste über aufgeständerte Bodenplatten (Kriechkeller) .....	103
2.6.4	Wärmeverluste bei beheiztem Keller .....	104
2.6.5	Wärmeverluste bei unbeheiztem oder teilweise beheiztem Keller .....	105
2.6.6	Wärmetechnische Bemessung von Gebäudegründungen zur Vermeidung von Frosthebung gemäß DIN EN ISO 13793 .....	106
	<i>Frostindex</i> .....	106
	<i>Bemessungswert des Frostindex</i> .....	106
	<i>Gründungstiefe</i> .....	108
	<i>Frost Eindringtiefe in ungestörtem Erdreich</i> .....	108
	<i>Bemessung für Bodenplatten auf Erdreich bei beheizten Gebäuden</i> ..	108



<b>2.7</b>	<b>Sommerlicher Wärmeschutz</b> .....	112
2.7.1	Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes nach DIN 4108-2 .....	112
	<i>Sonneneintragskennwert</i> .....	113
	<i>Zulässiger Sonneneintragskennwert</i> .....	115
	<i>Wärmespeicherfähigkeit der raumumschließenden Bauteile</i> .....	118
	<i>Raumgeometrie</i> .....	118
<b>2.8</b>	<b>Luftdichtheit</b> .....	119
2.8.1	Anforderungen und Planungsempfehlungen gemäß DIN 4108-7 .....	119
	<i>Anforderungen</i> .....	119
	<i>Materialien</i> .....	119
	<i>Planungsempfehlungen</i> .....	120
<b>3</b>	<b>Feuchteschutz</b>	
<b>3.1</b>	<b>Feuchteschutztechnische Begriffe</b> .....	125
3.1.1	Wasserdampf .....	125
3.1.2	Wasserdampfpartialdruck .....	125
3.1.3	Wasserdampfsättigungsdruck.....	126
3.1.4	Norm-Atmosphäre .....	128
3.1.5	Relative Luftfeuchte .....	129
3.1.6	Konzentration der trockenen Luft.....	130
3.1.7	Wasserdampfkonzentration .....	130
3.1.8	Wasserdampfsättigungskonzentration .....	130
3.1.9	Taupunkttemperatur.....	131
3.1.10	Wasserdampf-Diffusionsübergangswiderstand.....	133
3.1.11	Wasserdampf-Diffusionsleitkoeffizient ruhender Luft.....	134
3.1.12	Wasserdampf-Diffusionsdurchlasswiderstandszahl.....	135
	<i>Wahl des <math>\mu</math>-Wertes für poröse Baustoffe bei stationären</i> <i>Diffusionsberechnungen</i> .....	136
3.1.13	Wasserdampf-Diffusionsdurchlasswiderstandszahl .....	137
3.1.14	Wasserdampf-Diffusionsdurchgangskoeffizient.....	137
3.1.15	Wasserdampf-Diffusionsstromdichte .....	138
3.1.16	Wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke.....	139
3.1.17	Sorptionsisotherme .....	140
3.1.18	Massebezogener Feuchtegehalt.....	141
3.1.19	Volumenbezogener Feuchtegehalt .....	141
3.1.20	Gleichgewichtsfeuchtegehalt .....	141
3.1.21	Praktischer Feuchtegehalt .....	141
3.1.22	Kritischer Feuchtegehalt .....	142
3.1.23	Maximaler Feuchtegehalt.....	142
<b>3.2</b>	<b>Bestimmung des Wasserdampfpartialdruckverlaufes</b> .....	142
3.2.1	Rechnerisches Verfahren.....	142
3.2.2	Graphisches Verfahren .....	142
3.2.3	Zusammenstellung der wasserdampfdiffusionstechnischen Größen...	144

<b>3.3</b>	<b>Schlagregenschutz</b> .....	145
3.3.1	Schlagregenbeanspruchungsgruppen .....	145
3.3.2	Kriterien für Putze und Beschichtungen.....	147
3.3.3	Zuordnung von Bauteilkonstruktionen und Beanspruchungsgruppen nach DIN 4108-3.....	147
<b>3.4</b>	<b>Klimabedingter Feuchteschutz nach DIN 4108-3</b> .....	149
3.4.1	Tauwasserbildung und Schimmelpilzbildung auf Bauteiloberflächen ..	149
	<i>Bauteiloberflächentemperatur</i> .....	149
	<i>Mindestwärmeschutz</i> .....	149
3.4.2	Tauwasserbildung im Innern von Bauteilen .....	150
	<i>Nachweisfreie Bauteilkonstruktionen nach DIN 4108-3</i> .....	150
3.4.3	Ablauf der Nachweisführung im Glaser-Verfahren.....	156
	1. Schritt - Zusammenstellung der klimatischen Randbedingungen....	157
	2. Schritt - Berechnung der Wasserdampfsättigungsdrücke.....	158
	3. Schritt - Darstellung des $p_s$ -Verlaufes.....	159
	4. Schritt - Darstellung des $p_D$ -Verlaufes bei tauwasserfreiem .....	
	<i>Querschnitt</i> .....	160
	5. Schritt - Darstellung des $p_D$ -Verlaufes bei Tauwasserausfall im .....	
	<i>Querschnitt</i> .....	160
	6. Schritt - Berechnung der Tauwassermenge .....	161
	<i>Nachweis zur Vermeidung extremer Feuchteansammlung</i> .....	165
	7. Schritt - Berechnung der Verdunstungswassermenge.....	165
3.4.4	Bemessung einer erforderlichen Dampfbremse.....	170
	<i>Rechnerisch</i> .....	170
	<i>Graphisch</i> .....	170
3.5	Klimabedingter Feuchteschutz nach DIN EN ISO 13788.....	171
3.5.1	Außenseitige klimatische Randbedingungen .....	171
	<i>Lufttemperatur und relative Feuchte</i> .....	171
	<i>Wasserdampfpartialdruck</i> .....	175
3.5.2	Raumseitige klimatische Randbedingungen .....	175
	<i>Lufttemperatur und relative Feuchte</i> .....	175
	<i>Wasserdampfpartialdruck</i> .....	177
3.5.3	Raumseitige Oberflächentemperatur zur Vermeidung kritischer Oberflächenfeuchte.....	178
	<i>Struktur des Nachweisverfahren bei schwerer Bauweise</i> .....	178
	<i>Struktur des Nachweisverfahren für Fenster und bei leichter Bauweise</i> .....	182
3.5.4	Tauwasserbildung im Bauteilinnern .....	183
	<i>Struktur des Berechnungsverfahrens</i> .....	183
	<i>Ermittlung des Anfangsmonats</i> .....	183
	1. Schritt - Zusammenstellung der klimatischen Randbedingungen....	184
	2. Schritt - Erstellung der Diffusionsdiagramme.....	184
	3. Schritt - Berechnung der Tauwasser- und Verdunstungsmengen...	191
	4. Schritt - Ergebnis der Jahresbilanzberechnung .....	195

## 4 Schallausbreitung

<b>4.1</b>	<b>Physikalische Grundlagen der Schallausbreitung</b> .....	197
4.1.1	Schallschwingung .....	197
	<i>effektiver Schalldruck</i> .....	197
	<i>Frequenz</i> .....	198
	<i>Wellenlänge</i> .....	198
	<i>Frequenzspektrum</i> .....	198
4.1.2	Schallgeschwindigkeiten .....	201
4.1.3	Definition unterschiedlicher Schallpegel .....	201
	<i>Schalldruckpegel</i> .....	201
	<i>Addition und Subtraktion von Schallpegeln</i> .....	202
	<i>Mittelung zeitlich veränderlicher Schallpegel</i> .....	202
	<i>Mittelung örtlicher veränderlicher Schallpegel</i> .....	202
4.1.4	Lautstärkeempfinden und Frequenzbewertung .....	205
4.1.5	Schallausbreitung .....	207
	<i>Punktschallquellen</i> .....	207
	<i>Linien-schallquellen</i> .....	208
<b>4.2</b>	<b>Immissionsgrenzwerte bei Schallausbreitung im Freien</b> .....	209
4.2.1	Anforderungen und Orientierungswerten .....	209
	<i>Anforderungen nach TA Lärm</i> .....	209
	<i>Anforderungen nach Sportanlagenlärmschutzverordnung</i> .....	212
	<i>Anforderungen nach der Verkehrslärmschutzverordnung</i> .....	213
	<i>Orientierungswerte nach DIN 18005-1 Bbl. 1</i> .....	214
<b>4.3</b>	<b>Ermittlung von Schallimmissionen nach TA Lärm</b> .....	215
4.3.1	Allgemeines .....	215
4.3.2	Ermittlung der Geräuschimmissionen aus Vorbelastung durch Messung .....	216
4.3.3	Ermittlung der Geräuschimmissionen aus Zusatzbelastung mit der überschlägigen Prognose .....	218
<b>4.4</b>	<b>Ermittlung von Schallimmissionen nach DIN ISO 9613-2</b> .....	221
4.4.1	Anwendungsbereich .....	221
4.4.2	Randbedingungen .....	222
4.4.3	Rechenvorgaben .....	224
	<i>Äquivalenter Oktavband-Dauerschalldruckpegel bei Mitwind</i> .....	224
	<i>Äquivalenter A-bewerteter Dauerschalldruckpegel bei Mitwind</i> .....	225
	<i>Äquivalenter A-bewerteter Langzeit-Mittelungspegel</i> .....	225
	<i>Richtwirkungskorrektur</i> .....	226
	<i>Dämpfung - Oktavbanddämpfung</i> .....	228
	<i>Dämpfung - Geometrische Ausbreitung</i> .....	228
	<i>Dämpfung - Luftabsorption</i> .....	228
	<i>Dämpfung - Bodeneffekt</i> .....	229
	<i>Dämpfung - Vereinfachtes Verfahren für den Bodeneffekt</i> .....	232
	<i>Dämpfung - Abschirmung</i> .....	234

	<i>Dämpfung - Zusätzliche Dämpfungsarten</i> .....	238
	<i>Bewuchs</i> .....	239
	<i>Industriegelände</i> .....	240
	<i>Bebauung</i> .....	241
	<i>Meteorologische Korrektur</i> .....	241
<b>5</b>	<b>Bauakustik</b>	
<b>5.1</b>	<b>Grundlagen des Luftschallschutzes</b> .....	243
5.1.1	Schalltransmissionsgrad .....	243
5.1.2	Schallpegeldifferenz.....	243
5.1.3	Norm-Schallpegeldifferenz.....	244
5.1.4	Standard-Schallpegeldifferenz.....	244
5.1.5	Schalldämm-Maß.....	244
5.1.6	Schachtpegeldifferenz.....	245
5.1.7	Schallübertragungswege.....	246
5.1.8	Bewertung des Schalldämm-Maßes .....	246
5.1.9	Spektrum-Anpassung.....	248
5.1.10	Schalldämmung zusammengesetzter Flächen .....	252
5.1.11	Schalldämmung eines Bauelements.....	253
5.1.12	BERGERSches Massegesetz .....	253
5.1.13	Einschalige Bauteile.....	255
	<i>Koinzidenzfrequenz</i> .....	255
	<i>Koinzidenzgrenzfrequenz</i> .....	256
	<i>Eigenfrequenz</i> .....	257
5.1.14	Mehrschalige Bauteile.....	257
	<i>Dynamische Steifigkeit</i> .....	258
	<i>Resonanzfrequenz</i> .....	259
	<i>Stehende Wellen</i> .....	259
<b>5.2</b>	<b>Grundlagen des Trittschallschutzes</b> .....	260
5.2.1	Schallübertragungswege.....	260
5.2.2	Trittschallpegel .....	260
5.2.3	Norm-Trittschallpegel .....	260
5.2.4	Standard-Trittschallpegel .....	261
5.2.5	Trittschallminderung.....	261
5.2.6	Bewertung des Norm-Trittschallpegels .....	262
5.2.7	Spektrum-Anpassung.....	263
<b>5.3</b>	<b>Anforderungen an den Schallschutz</b> .....	264
5.3.1	Allgemeines.....	264
5.3.2	Anforderungen nach DIN 4109 (11.89).....	266
	<i>Schallschutz gegen Außenlärm</i> .....	266
	<i>Luft- und Trittschalldämmung zum Schutz gegen Schallübertragung aus fremden Wohn- und Arbeitsbereich</i> .....	267
	<i>Anforderungen bei „besonders lauten“ Räumen</i> .....	275
	<i>Schallschutz vor Geräuschen aus haustechnischen Anlagen und Gewerbebetrieben</i> .....	276

5.3.3	Empfehlungen nach Beiblatt 2 der DIN 4109 (11.89) .....	278
	<i>Schallübertragung aus fremden Wohn- und Arbeitsbereich .....</i>	278
	<i>Schallübertragung aus eigenem Wohn- und Arbeitsbereich.....</i>	282
5.3.4	Anforderungen nach VDI 4100.....	284
	<i>Schallschutz gegen Außenlärm .....</i>	284
	<i>Luftschallschutz.....</i>	285
	<i>Trittschallschutz .....</i>	286
5.3.5	Anforderungen nach DIN 4109-1 -Entwurf- (10.06) .....	287
	<i>Raumgruppen für den Luftschallschutz.....</i>	287
	<i>Raumgruppen für den Trittschallschutz .....</i>	291
	<i>Anforderungswerte für Gebäude mit Wohn- und Arbeitsbereichen .....</i>	293
	<i>Anforderungswerte für den Luftschallschutz gegen Außenlärm .....</i>	295
	<i>Schallschutz vor Geräuschen aus haustechnischen Anlagen .....</i>	298
<b>5.4</b>	<b>Nachweisverfahren .....</b>	<b>301</b>
5.4.1	Außenlärm nach Bbl. 1 der DIN 4109 (11.89).....	301
	<i>Ermittlung des maßgeblichen Außenlärmpegels .....</i>	301
	<i>Straßenverkehr .....</i>	301
	<i>Nachweisführung .....</i>	301
5.4.2	Luftschallschutz im Gebäude nach Bbl. 1 der DIN 4109 (11.89) - für Gebäude in Massivbauweise .....	303
	<i>Flankierende Bauteile - vorausgesetzte Randbedingungen .....</i>	303
	<i>Flankierende Bauteile - Korrekturwert bei biegesteifen trennenden Bauteilen .....</i>	303
	<i>Flankierende Bauteile - Korrekturwert bei biegeweichen trennenden Bauteilen.....</i>	305
	<i>Flankierende Bauteile - Korrekturwert bei Vorsatzschalen und biegeweichen trennenden Bauteilen.....</i>	305
	<i>Nachweisführung .....</i>	306
5.4.3	Luftschallschutz im Gebäude nach Bbl. 1 der DIN 4109 (11.89) - für Gebäude in Skelett- oder Holzbauweise.....	306
	<i>Voraussetzungen .....</i>	306
	<i>Ermittlung der Rechenwerte - Trennendes Bauteil.....</i>	306
	<i>Ermittlung der Rechenwerte - Flankierende Bauteile.....</i>	307
	<i>Vereinfachte Nachweisführung .....</i>	308
	<i>Genaue Nachweisführung.....</i>	308
5.4.4	Trittschallschutz im Gebäude nach Bbl. 1 der DIN 4109 (11.89) - für Gebäude in Massivbauweise .....	308
	<i>Voraussetzungen .....</i>	308
	<i>Anordnung der Räume.....</i>	308
	<i>Ermittlung der Rechenwerte für Massivdecken.....</i>	310
	<i>Ermittlung der Rechenwerte für Holzbalkendecken.....</i>	310
	<i>Nachweis.....</i>	310
5.4.5	Trittschallschutz im Gebäude nach Bbl. 1 der DIN 4109 (11.89) - für Gebäude in Skelett- oder Holzbauweise.....	310
	<i>Ermittlung der Rechenwerte.....</i>	310
	<i>Nachweis.....</i>	311

<b>5.5</b>	<b>Kennwerte für den Luft- und Trittschallschutz</b> .....	311
5.5.1	Bewertetes Luftschalldämm-Maß massiver Bauteile .....	311
	<i>Rechenwerte der Rohdichten nach DIN 4109 Bbl. 1</i> .....	311
	<i>Einschalige, biegesteife Wand</i> .....	312
	<i>Zweischalige Haustrennwände</i> .....	313
	<i>Mehrschalige massive Wände mit biegeweicher Vorsatzschale</i> .....	313
5.5.2	Schalldämm-Maß von Fenstern, Türen, Toren und Rolladenkästen ...	315
5.5.3	Bewerteter Normtrittschallpegel massiver Bauteile .....	319
	<i>Massive Trenndecken</i> .....	319
	<i>Massive Treppen (Läufe und Podeste)</i> .....	321
5.5.4	Bewerteter Normtrittschallpegel von Bauteilen in Holzbauweise .....	323
<b>6</b>	<b>Raumakustik</b>	
<b>6.1</b>	<b>Grundlagen der Raumakustik</b> .....	329
6.1.1	Ziele der Raumakustik .....	329
6.1.2	Hörsamkeit .....	329
6.1.3	Verständlichkeit .....	329
6.1.4	Gesamtstörschallpegel .....	330
6.1.5	Reflexions-, Transmissions- und Absorptionsgrad .....	331
6.1.6	Äquivalente Schallabsorptionsfläche .....	331
6.1.7	Nachhallzeit .....	332
<b>6.2</b>	<b>Schallpegelminderung</b> .....	333
<b>6.3</b>	<b>Technische Absorber</b> .....	334
6.3.1	Differenzierungen .....	334
6.3.2	Poröse Absorber .....	334
6.3.3	Plattenresonatoren .....	336
	<i>Eigenfrequenz</i> .....	336
	<i>Stehende Wellen</i> .....	336
6.3.4	Helmholtz-Resonator .....	337
6.3.5	Mikroperforierte Absorber .....	338
<b>6.4</b>	<b>Anforderungen an die Hörsamkeit</b> .....	339
6.4.1	Volumenkennzahl .....	339
6.4.2	Störgeräusche .....	339
6.4.3	Nachhallzeit .....	340
6.4.4	geometrische Gestaltung der Räume .....	342
<b>6.5</b>	<b>Schallreflexionen</b> .....	343
6.5.1	Allgemeines .....	343
6.5.2	Spiegelnde Reflexion .....	343
6.5.3	Diffuse Reflexion .....	346
6.5.4	Anordnung schallabsorbierender Flächen .....	347
	<i>Kleine Räume</i> .....	347
	<i>Mittelgroße Räume und kleine Hallen</i> .....	349
<b>6.6</b>	<b>Zusammenstellung Schallabsorptionsgrade</b> .....	351

<b>7</b>	<b>Brandschutz</b>	
7.1	<b>Anforderungen an den Brandschutz</b> .....	361
7.2	<b>Brandverhalten</b> .....	362
7.3	<b>Brandverlauf</b> .....	362
7.4	<b>Deutsches Klassifizierungssystem nach DIN 4102</b> .....	364
7.4.1	DIN 4102-1.....	364
7.4.2	DIN 4102-2.....	366
7.5	<b>Europäisches Klassifizierungssystem nach DIN EN 13501</b> .....	368
7.5.1	DIN EN 13501-1: Benennung des Brandverhaltens von Bauprodukten.....	368
7.5.2	Europäische Klassen und bauaufsichtliche Anforderungen.....	371
7.5.3	DIN EN 13501-2: Benennung des Feuerwiderstandes .....	372
	<i>Klassifizierungskriterien</i> .....	373
	<i>Feuerwiderstandsklassen von Bauteilen</i> .....	374
<b>8</b>	<b>Literatur</b> .....	375
8.1	Berechnungshilfen .....	375
8.2	Wärmeschutz .....	377
8.3	Feuchteschutz.....	379
8.4	Schallausbreitung.....	381
8.5	Bauakustik.....	381
8.6	Raumakustik .....	383
8.7	Brandschutz .....	384
	<b>Index</b> .....	385