

Bauphysikalische Formeln und Tabellen

Wärmeschutz - Feuchteschutz - Schallschutz

**Dr.-Ing. Rainer Hohmann
Univ.-Prof. Dr. rer. nat. Dr.-Ing. habil. Max J. Setzer**

**3., überarbeitete und erweiterte
Auflage 1997**

Werner Verlag

Inhaltsverzeichnis

1	Physikalische Größen, SI-Einheiten und abgeleitete Größen	1
1.1	Physikalische Größen, Formelzeichen, Einheiten	1
1.2	Internationales Einheitensystem SI-Basiseinheiten	1
1.3	Vielfache und Teile der SI-Einheiten	2
1.4	Abgeleitete Größen	2
1.5	Umrechnungen von alten Einheiten	4
2	Wärmeschutztechnische Begriffe	5
2.1	Wärmemenge	5
2.2	Wärmestrom	5
2.3	Wärmestromdichte	6
2.4	Wärmeübertragungsvorgänge	7
2.4.1	Wärmeleitung	7
2.4.2	Konvektion	19
2.4.3	Temperaturstrahlung	23
2.4.3.1	Spektrum elektromagnetischer Wellen	23
2.4.3.2	Strahlungsmenge, Strahlungsenergie	23
2.4.3.3	Strahlungsleistung	24
2.4.3.4	Spezifische Ausstrahlung	24
2.4.3.5	Spektrale spezifische Ausstrahlung	25
2.4.3.6	Strahlung des schwarzen Körpers	25
2.4.3.7	Emission eines beliebigen Körpers	27
2.4.3.8	Absorption, Reflexion, Transmission	28
2.4.3.8.1	Absorption und Emission	29
2.4.3.8.2	Strahlungsaustausch zwischen parallelen Flächen	30
2.5	Wärmedurchlaßkoeffizient	33
2.6	Wärmedurchlaßwiderstand	33
2.7	Wärmeübergangskoeffizient und Wärmeübergangswiderstand	34
2.8	Wärmedurchgangskoeffizient	35
2.9	Wärmedurchgangswiderstand	37

3	Wärmetechnische Berechnungen	37
3.1	Mittlerer Wärmedurchgangskoeffizient	37
3.2	Temperaturverlauf bei mehrschichtigen Bauteilen	39
3.3	Graphische Verfahren zur Temperaturermittlung	40
3.4	Wärmebilanz für eine Bauteilschicht	41
3.5	Netzwerkverfahren	42
3.6	Wärmedurchgang bei Rohren	44
3.7	Modifizierte Sonnenlufttemperatur	46
4	Strahlungsgewinne und temporärer Wärmeschutz bei Fenstern	47
5	Strahlungsgewinne bei Außenwänden	49
6	Wärmeströme	50
6.1	Transmissionswärmestrom	50
6.2	Lüftungswärmestrom	51
6.2.1	Wärmeverluste durch Lüftung	51
6.2.2	Wärmeverluste durch Fugen	53
7	Wärmebilanz für einen Raum	54
8	Wärmebilanz für ein Gebäude	58
9	Anforderungen und Nachweise zum Wärmeschutz	62
9.1	Wärmeschutz nach DIN 4108 "Wärmeschutz im Hochbau"	62
9.1.1	Winterlicher Wärmeschutz nach DIN 4108	63
9.1.1.1	Anforderungen an Außenbauteile	64
9.1.1.2	Besonderheiten bei der k-Wert-Berechnung	66
9.1.2	Wärmeschutz im Sommer nach DIN 4108	69
9.1.2.1	Energiedurchlaßgrad der Verglasung	69
9.1.2.2	Gesamtenergiedurchlaßgrad	72

9.2	Wärmeschutz nach der Wärmeschutzverordnung	74
9.2.1	Nachweissystem der Wärmeschutzverordnung	75
9.2.2	Nachweise und Anforderungen	76
9.2.2.1	Zu errichtende Gebäude mit normalen Innentemperaturen	76
9.2.2.2	Zu errichtende Gebäude mit niedrigen Innentemperaturen	87
9.2.2.3	Bauliche Änderung bestehender Gebäude	90
10	Temperaturfelder	91
11	Wärmebrücken	92
11.1	Unterscheidung der verschiedenen Wärmebrücken	92
11.2	Näherungen zur Berechnung von Wärmebrücken	94
12	Instationäres Verhalten von Bauteilen (einfache Probleme)	96
12.1	Temperaturwellen in homogenen Materialien	96
12.2	Temperaturamplitudenverhältnis	98
12.3	Numerische Lösung der Fourier-Differentialgleichung	103
13	Thermische Längenänderungen	106
14	Gasgesetze	109
15	Feuchtetechnische Grundbegriffe	111
15.1	Zustandsformen des Wassers	111
15.2	Wasserdampfsättigungskonzentration	112
15.3	Wasserdampfsättigungsdruck	113
15.4	Absolute Luftfeuchtigkeit	115
15.5	Relative Luftfeuchtigkeit	115
15.6	Taupunkttemperatur	117

15.7	Feuchtegehalte von Baustoffen	118
15.7.1	Massebezogener Feuchtegehalt	118
15.7.2	Volumenbezogener Feuchtegehalt	118
15.7.3	Praktischer Feuchtegehalt	119
15.8	Wasserdampfdiffusion	120
15.8.1	Wasserdampf-Diffusionsstromdichte	123
15.8.2	Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl	123
15.8.3	Wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke	125
15.8.4	Wasserdampf-Diffusionswiderstand	126
15.8.5	Gegenüberstellung der wärme- und diffusionstechnischen Größen	126
16	Feuchteschutz nach DIN 4108 "Wärmeschutz im Hochbau"	128
16.1	Tauwasser im Bauteilquerschnitt	128
16.1.1	Berechnung der Tauwassermenge und der Verdunstungsmenge	128
16.1.2	Normbedingungen zur Berechnung der Tauwassermenge und der Verdunstungsmenge	138
16.1.3	Anforderung an den Feuchteschutz nach DIN 4108	140
16.1.4	Bauteile, für die kein Nachweis erforderlich ist	141
16.2	Tauwasserbildung auf der Oberfläche von Bauteilen	144
17	Mindestwärmeschutz	145
17.1	Mindestwärmedurchlaßwiderstand	146
17.2	Maximal zulässiger Wärmedurchgangskoeffizient	146
18	Bemessung einer Dampfbremse	147
19	Maximal zulässige Raumluftheuchte	149
20	Feuchtebilanz für einen Raum	151

21	Kapillarität	153
21.1	Oberflächenspannung und Randwinkel	153
21.2	Kapillares Saugen	155
21.3	Wasseraufnahmekoeffizient	160
22	Grundlagen und schalltechnische Begriffe	163
22.1	Frequenz	163
22.2	Schallspektren und Schallanalysen	163
22.3	Terz- und Oktavbänder	164
22.4	Schallgeschwindigkeit	165
22.4.1	Schallgeschwindigkeit in Festkörpern	166
22.4.2	Schallgeschwindigkeit in Flüssigkeiten	166
22.4.3	Schallgeschwindigkeit in Gasen	167
22.5	Kreisfrequenz	168
22.6	Schallschnelle	168
22.7	Schalldruck	169
22.8	Schallintensität	170
22.9	Schalleistung	171
22.10	Schallenergiedichte	171
22.11	Pegel und dB-Skala	172
22.12	Schallpegel	173
22.12.1	Schalldruckpegel	173
22.12.2	Schallschnellepegel	174
22.12.3	Schallintensitätspegel	175
22.12.4	Schalleistungspegel	175
23	Rechnen mit Schallpegeln	178
23.1	Schallpegeladdition	178
23.2	Addition von Schallpegeln gleicher Intensität	180
23.3	Addition zweier Schallpegel	181

23.4	Menschliches Hörempfinden	182
23.4.1	Anatomie des Ohres	182
23.4.2	Lautstärke	183
23.4.3	A-Bewertung	184
24	Anwendung der Pegelrechnung	185
24.1	Mittelungspegel	185
24.2	Beurteilungspegel	189
25	Schallausbreitung im Freien	190
25.1	Geometrische Ausbreitungsdämpfung	191
25.1.1	Punktschallquelle	191
25.1.2	Linienschallquelle	193
25.2	Pegelminderung durch Luftabsorption	194
25.3	Pegelminderung durch Bewuchs	195
25.4	Pegelminderung durch meteorologische Einflüsse (Temperatur, Wind)	195
25.5	Pegelminderung durch Abschirmung	195
25.5.1	Schirmwert	196
25.5.2	Abschirmmaß	197
25.5.2.1	Abschirmmaß nach DIN 18005	197
25.5.2.2	Abschirmmaß nach VDI-Richtlinie 2720	198
25.6	Pegelminderung durch Bebauung	199
25.7	Pegelerhöhung durch Reflexionen	199
26	Raumakustik	200
26.1	Schallabsorption	200
26.2	Nachhallzeit	201
26.3	Optimale Nachhallzeiten	203
26.4	Äquivalente Schallabsorptionsfläche	204
26.5	Schallpegelminderung durch Schallschluckung	207

26.6	Absorber und Resonatoren	209
26.6.1	Poröser Absorber	209
26.6.2	Plattenresonator	210
26.6.3	Helmholtzresonator	211
26.6.4	Schallabsorptionsgrade verschiedener Materialien	214
26.6.5	Anordnung von Absorbern und Reflektoren	224
27	Raumresonanzen	226
28	Schallausbreitung in Räumen	227
28.1	Hallradius	227
28.2	Schalldruckpegel im diffusen Schallfeld	231
28.3	Schallabstrahlung aus einem diffusen Schallfeld über ein Bauteil	233
28.3.1	Schallabstrahlung in ein Diffusfeld	235
28.3.2	Schallabstrahlung ins Freifeld	237
29	Bauakustik - Grundlagen der Luftschalldämmung von Bauteilen	239
29.1	Schalldämmung einschaliger Bauteile	240
29.1.1	Prinzipieller Verlauf des Schalldämm-Maßes	240
29.1.2	Bergersches Massengesetz	241
29.1.3	Koinzidenzgrenzfrequenz	242
29.2	Schalldämmung zweischaliger Bauteile	247
29.2.1	Prinzipieller Verlauf des Schalldämm-Maßes	247
29.2.2	Resonanzfrequenz des Systems	249
29.2.3	Koinzidenzgrenzfrequenz der einzelnen Schalen	251
29.2.4	Stehende Welle	251
30	Luftschallschutz	252
30.1	Luftschallschutztechnische Kenngrößen	252
30.1.1	Schallpegeldifferenz	253
30.1.2	Schalldämm-Maß	253
30.1.3	Bewertetes Schalldämm-Maß bzw. bewertetes Bauschalldämm-Maß	255

30.1.4	Normschallpegeldifferenz	256
30.1.5	Bewertete Normschallpegeldifferenz	257
30.1.6	Mittleres Schalldämm-Maß	257
30.1.7	Schalldämmung von Schächten und Kanälen	258
30.2	Schalldämmung zusammengesetzter Flächen	259
31	Trittschallschutz	261
31.1	Trittschalltechnische Kenngrößen	261
31.1.1	Trittschallpegel	262
31.1.2	Norm-Trittschallpegel	262
31.1.3	Bewerteter Norm-Trittschallpegel	262
31.1.4	Trittschallminderung	264
31.1.5	Äquivalenter bewerteter Norm-Trittschallpegel	264
31.1.6	Trittschallverbesserungsmaß einer Deckenauflage	265
32	Trittschall- und Luftschallschutz von Holzbalkendecken	265
33	Ermittlung der Einzulangaben für die Trittschalldämmung	269
33.1	Bewertungsverfahren	269
33.2	Ermittlung des äquivalenten bewerteten Norm-Trittschallpegels	271
33.3	Ermittlung des Trittschallverbesserungsmaßes von Deckenauflagen	272
34	Schallschutz nach DIN 4109	274
34.1	Nachweisverfahren nach DIN 4109 (11.89)	274
34.1.1	Schutz gegen Außenlärm	274
34.1.2	Luftschallschutz im Gebäudeinneren	278
34.1.3	Trittschallschutz	284
34.2	Ausführungsbeispiele nach DIN 4109	284
34.2.1	Kennwerte zum Luftschallschutz	284
34.2.2	Kennwerte zum Trittschallschutz	304
34.3	Anforderungen nach DIN 4109	306

35	Berechnung und Beurteilung von Schallimmission	312
35.1	Immissionsrichtwerte, Orientierungswerte oder Immissionsgrenzwerte	312
35.2	Beurteilungspegel	314
35.3	Verfahren zur Berechnung der Schallimmission	319
35.3.1	Verfahren nach DIN 18005 "Schallschutz im Städtebau"	319
35.3.1.1	Berechnung der Schallemission	320
35.3.1.2	Berechnung des Beurteilungspegels	328
35.3.1.2.1	Berechnung des Beurteilungspegels nach DIN 18005 Teil 1, Abschnitt 5	328
35.3.1.2.2	Berechnung des Beurteilungspegels nach DIN 18005 Teil 1, Abschnitt 6	331
35.3.2	Verfahren nach VDI-Richtlinie 2714 "Schallausbreitung im Freien"	339
35.3.3	Verfahren nach der Richtlinie für Lärmschutz an Straßen RLS 90	350
35.3.4	Verfahren nach der Richtlinie zur Berechnung der Schallimmissionen von Schienenwegen - Schall 03	366
35.3.4.1	Emissionspegel	366
35.3.4.2	Beurteilungspegel	369
35.3.5	Verfahren nach der VDI-Richtlinie 2571 "Schallabstrahlung von Industriebauten"	371
36	Maschinengeräusche	374
36.1	Körperschall	379
36.2	Schwingungen	381
37	Literatur zur Bauphysik	384
37.1	Bücher	384
37.2	DIN-Normen	387
37.3	Richtlinien	390
37.3.1	VDI-Richtlinien	390
37.3.2	Sonstige Richtlinien	391
37.4	Verordnungen	392

38	Anhang	393
38.1	Wärmeschutzverordnung	393
38.2	AVV Wärmebedarfsausweis	405
38.3	Formblätter	409
38.4	Anschriften	421
38.5	Auszug aus der HOAI	425
39	Stichwortverzeichnis	435