

Bauphysikalische Formeln und Tabellen

Wärmeschutz - Feuchteschutz - Schallschutz

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

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	6
2.4.1	Wärmeleitung	7
2.4.2	Konvektion	16
2.4.3	Temperaturstrahlung	19
2.4.3.1	Spektrum elektromagnetischer Wellen	19
2.4.3.2	Strahlungsmenge, Strahlungsenergie	19
2.4.3.3	Strahlungsleistung	19
2.4.3.4	Spezifische Ausstrahlung	20
2.4.3.5	Spektrale spezifische Ausstrahlung	20
2.4.3.6	Strahlung des schwarzen Körpers	21
2.4.3.7	Emission eines beliebigen Körpers	23
2.4.3.8	Absorption, Reflexion, Transmission	23
2.4.3.8.1	Absorption und Emission	24
2.4.3.8.2	Strahlungsaustausch zwischen parallelen Flächen	25
2.5	Wärmedurchlaßkoeffizient	28
2.6	Wärmedurchlaßwiderstand	28
2.7	Wärmeübergangskoeffizient und Wärmeübergangswiderstand	29
2.8	Wärmedurchgangskoeffizient	29
2.9	Wärmedurchgangswiderstand	31
3	Wärmetechnische Berechnungen	32
3.1	Mittlerer Wärmedurchgangskoeffizient	32
3.2	Temperaturverlauf bei mehrschichtigen Bauteilen	33
3.3	Graphische Verfahren zur Temperaturermittlung	34
3.4	Wärmebilanz für eine Bauteilschicht	35
3.5	Netzwerkverfahren	36
3.6	Wärmedurchgang bei Rohren	38
3.7	Modifizierte Sonnenlufttemperatur	40
4	Strahlungsgewinne und temporärer Wärmeschutz bei Fenstern	41
5	Strahlungsgewinne bei Außenwänden	43

6 Wärmeströme	44
6.1 Transmissionswärmestrom	44
6.2 Lüftungswärmestrom	44
6.2.1 Wärmeverluste durch Lüftung	45
6.2.2 Wärmeverluste durch Fugen	46
7 Wärmebilanz für einen Raum	46
8 Wärmebilanz für ein Gebäude	48
9 Anforderungen und Nachweise zum Wärmeschutz	51
9.1 Wärmeschutz nach DIN 4108 "Wärmeschutz im Hochbau"	52
9.1.1 Winterlicher Wärmeschutz nach DIN 4108	52
9.1.1.1 Anforderungen an Außenbauteile	53
9.1.1.2 Besonderheiten bei der k-Wert-Berechnung	55
9.1.2 Wärmeschutz im Sommer nach DIN 4108	58
9.1.2.1 Energiedurchlaßgrad der Verglasung	58
9.1.2.2 Gesamtennergiedurchlaßgrad	61
9.2 Wärmeschutz nach der Wärmeschutzverordnung	63
9.2.1 Wärmeschutznachweis nach Verfahren 1	63
9.2.2 Wärmeschutznachweis nach Verfahren 2	69
9.2.3 Anforderungen zur Begrenzung des Wärmedurchgangs bei erst- maligem Einbau, Ersatz oder Erneuerung von Außenbauteilen bestehender Gebäude	71
9.2.4 Anforderungen der Wärmeschutzverordnung an Fenster, Fenster- türen, Fugen, Flächenheizungen und Heizkörpernischen	72
10 Temperaturfelder	74
11 Wärmebrücken	76
11.1 Unterscheidung der verschiedenen Wärmebrücken	76
11.2 Näherungen zur Berechnung von Wärmebrücken	78
12 Instationäres Verhalten von Bauteilen	79
12.1 Eindringen von Temperaturwellen in homogenes Material	79
12.2 Temperaturamplitudenverhältnis	81
12.3 Numerische Lösung der Fourier-Differentialgleichung	85
13 Thermische Längenänderungen	88
14 Gasgesetze	89

15 Feuchtetechnische Grundbegriffe	91
15.1 Zustandsformen des Wassers.....	91
15.2 Wasserdampfsättigungskonzentration.....	91
15.3 Wasserdampfsättigungsdruck.....	92
15.4 Absolute Luftfeuchtigkeit.....	94
15.5 Relative Luftfeuchtigkeit.....	94
15.6 Taupunkttemperatur.....	96
15.7 Feuchtegehalte von Baustoffen.....	97
15.7.1 Massebezogener Feuchtegehalt.....	97
15.7.2 Volumenbezogener Feuchtegehalt.....	97
15.7.3 Praktischer Feuchtegehalt.....	98
15.8 Wasserdampf-Diffusionswiderstand.....	99
15.9 Wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke.....	99
15.10 Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl.....	100
15.11 Wasserdampf-Diffusionsstromdichte.....	101
15.12 Gegenüberstellung der wärme- und diffusionstechnischen Größen.....	104
16 Feuchteschutz nach DIN 4108 "Wärmeschutz im Hochbau"	105
16.1 Tauwasser im Bauteilquerschnitt.....	105
16.1.1 Berechnung der Tauwassermasse und der Verdunstungsmenge.....	105
16.1.2 Normbedingungen zur Berechnung der Tauwassermenge und der Verdunstungsmenge.....	114
16.1.3 Anforderung an den Feuchteschutz nach DIN 4108.....	115
16.1.4 Bauteile, für die kein Nachweis erforderlich ist.....	116
16.2 Tauwasserbildung auf der Oberfläche von Bauteilen.....	119
17 Mindestwärmeschutz	120
17.1 Mindestwärmedurchlaßwiderstand.....	120
17.2 Maximal zulässiger Wärmedurchgangskoeffizient.....	121
18 Bemessung einer Dampfbremse	121
19 Maximal zulässige Raumluffteuchte	123
20 Feuchtebilanz für einen Raum	124
21 Kapillarität	127
21.1 Oberflächenspannung und Randwinkel.....	127
21.2 Kapillares Saugen.....	128
21.3 Wasseraufnahmekoeffizient.....	132

2

	25.4.1.2.2 Berechnung des Beurteilungspegels nach DIN 18005 Teil 1, Abschnitt 6	168
25.4.2	Verfahren nach VDI-Richtlinie 2714 "Schallausbreitung im Freien"...	174
25.4.3	Verfahren nach der Richtlinie für Lärmschutz an Straßen RLS 90	184
25.4.4	Verfahren nach der Richtlinie zur Berechnung der Schallimmissionen von Schienenwegen - Schall 03	194
	25.4.4.1 Emissionspegel	194
	25.4.4.2 Beurteilungspegel	196
25.4.5	Verfahren nach der VDI-Richtlinie 2571 "Schallabstrahlung von Industriebauten"	198
26	Schallabsorption, Nachhallzeit	200
26.1	Schallabsorptionsgrad	200
26.2	Nachhallzeit	201
26.3	Optimale Nachhallzeiten	201
26.4	Äquivalente Schallabsorptionsfläche	202
26.5	Schallpegelminderung durch Schallschluckung	204
26.6	Absorber und Resonatoren	205
	26.6.1 Poröser Absorber	206
	26.6.2 Plattenresonator	207
	26.6.3 Helmholtzresonator	208
	26.6.4 Schallabsorptionsgrade verschiedener Materialien	210
	26.6.5 Anordnung von Absorbern und Reflektoren	211
27	Raumresonanzen	213
28	Schallausbreitung in Räumen	214
28.1	Hallradius	214
28.2	Schalldruckpegel im diffusen Schallfeld	216
28.3	Schallabstrahlung aus einem diffusen Schallfeld über ein Bauteil	218
	28.3.1 Schallabstrahlung in ein Diffusfeld	220
	28.3.2 Schallabstrahlung ins Freifeld	221
29	Grundlagen der Luftschalldämmung von Bauteilen	222
29.1	Schalldämmung einschaliger Bauteile	224
	29.1.1 Prinzipieller Verlauf des Schalldämm-Maßes	224
	29.1.2 Bergersches Massengesetz	224
	29.1.3 Koinzidenzgrenzfrequenz	225
29.2	Schalldämmung zweischaliger Bauteile	230
	29.2.1 Prinzipieller Verlauf des Schalldämm-Maßes	230
	29.2.2 Resonanzfrequenz des Systems	231
	29.2.3 Koinzidenzgrenzfrequenz der einzelnen Schalen	232
	29.2.4 Stehende Welle	233

30 Luftschallschutz	234
30.1 Luftschallschutztechnische Kenngrößen	234
30.1.1 Schallpegeldifferenz	234
30.1.2 Schalldämm-Maß.....	235
30.1.3 Bewertetes Schalldämm-Maß bzw. bewertetes Bauschalldämm-Maß...	236
30.1.4 Normschallpegeldifferenz	237
30.1.5 Bewertete Normschallpegeldifferenz	238
30.1.6 Mittleres Schalldämm-Maß	238
30.1.7 Schalldämmung von Schächten und Kanälen.....	239
30.2 Schalldämmung zusammengesetzter Flächen	239
31 Trittschallschutz	241
31.1 Trittschalltechnische Kenngrößen	241
31.1.1 Trittschallpegel	241
31.1.2 Norm-Trittschallpegel	242
31.1.3 Bewerteter Norm-Trittschallpegel	242
31.1.4 Trittschallminderung	243
31.1.5 Äquivalenter bewerteter Norm-Trittschallpegel.....	244
31.1.6 Trittschallverbesserungsmaß einer Deckenauflage	244
32 Trittschall- und Luftschallschutz von Holzbalkendecken	244
33 Ermittlung der Einzahlangaben für die Trittschalldämmung	248
33.1 Bewertungsverfahren	248
33.2 Ermittlung des äquivalenten bewerteten Norm-Trittschallpegels	249
33.3 Ermittlung des Trittschallverbesserungsmaßes von Deckenauflagen	251
34 Schallschutz nach DIN 4109	253
34.1 Nachweisverfahren nach DIN 4109	253
34.1.1 Schutz gegen Außenlärm.....	253
34.1.2 Luftschallschutz im Gebäudeinneren	256
34.1.3 Trittschallschutz	262
34.2 Ausführungsbeispiele nach DIN 4109	262
34.2.1 Kennwerte zum Luftschallschutz.....	262
34.2.2 Kennwerte zum Trittschallschutz	282
34.3 Anforderungen nach DIN 4109.....	284
35 Beurteilung von Schallimmissionen	290
35.1 Immissionsrichtwerte, Orientierungswerte oder Immissionsgrenzwerte	290
35.2 Beurteilungspegel	292

36 Maschinengeräusche	297
36.1 Körperschall	302
36.2 Schwingungen	304
37 Literatur zur Bauphysik	306
37.1 Bücher	306
37.2 DIN-Normen	309
37.3 Richtlinien	313
37.3.1 VDI-Richtlinien	313
37.3.2 Sonstige Richtlinien	314
37.4 Verordnungen	315
38 Stichwortverzeichnis	316