

Kai Schild | Wolfgang M. Willems

Wärmeschutz

Grundlagen – Berechnung – Bewertung

PRAXIS



VIEWEG+
TEUBNER

Inhaltsverzeichnis

1	Berechnungshilfen	1
1.1	Einheitenumrechnungstabeln	1
1.1.1	Länge.....	1
1.1.2	Fläche.....	1
1.1.3	Volumen	1
1.1.4	Masse.....	2
1.1.5	Zeit.....	2
1.1.6	Kraft.....	2
1.1.7	Spannung	3
1.1.8	Druck	3
1.1.9	Arbeit	3
1.1.10	Leistung	4
1.1.11	Wärmeleitfähigkeit.....	4
1.1.12	Spezifische Wärmekapazität.....	4
1.1.13	Wärmedurchgangskoeffizient.....	4
1.1.14	Wärmestromdichte	5
1.2	Griechisches Alphabet	5
1.3	Mathematische Grundlagen	6
1.3.1	Flächenberechnung.....	6
1.3.2	Volumenberechnung	8
1.3.3	Rechenregeln	12
1.3.4	Trigonometrie	13
1.4	Bauschraffuren gemäß DIN 1356-1 und DIN ISO 128-50	14
1.5	Wärme- und feuchtetechnische Kennwerte von Baustoffen	16
1.5.1	Putze, Mörtel, Asphalt und Estriche	16
1.5.2	Beton	17
1.5.3	Bauplatten	19
1.5.4	Mauerwerk aus Klinkern und Ziegeln.....	20
1.5.5	Mauerwerk aus Kalksand-, Hütten- und Porenbeton-Plansteinen.....	21
1.5.6	Mauerwerk aus Betonsteinen.....	22
1.5.7	Wärmedämmstoffe	24
1.5.8	Holz und Holzwerkstoffe.....	28
1.5.9	Fußbodenbeläge, Abdichtstoffe, Dachbahnen, Folien.....	29

1.5.10	Lose Schüttungen	30
1.5.11	Glas, Natursteine.....	30
1.5.12	Lehmbaustoffe.....	31
1.5.13	Metalle.....	31
1.5.14	Böden	32
1.5.15	Gase	32
1.5.16	Gummi.....	33
1.5.17	Massive Kunststoffe	33
1.5.18	Eis, Wasser, Schnee	34
2	Grundlagen des Wärmeschutzes	35
2.1	Grundbegriffe.....	35
2.1.1	Rohdichte	35
2.1.2	Wärmeleitfähigkeit.....	35
2.1.3	Wärmetransport.....	36
2.1.4	Spezifische Wärmekapazität	38
2.1.5	Temperaturleitzahl.....	38
2.1.6	Wärmeeindringkoeffizient.....	39
2.1.7	Wärmestrom.....	40
2.1.8	Wärmestromdichte	40
2.2	Wärmedämmstoffe	40
2.2.1	Allgemeines	40
2.2.2	Anwendungstypen / -gebiete.....	42
2.2.3	Kennwerte am Markt verfügbarer Wärmedämmstoffe	44
2.3	Wärmeübergangswiderstand	59
2.4	Wärmedurchlasswiderstand	62
2.4.1	Wärmedurchlasswiderstand für eine Baustoffschicht	62
2.4.2	Wärmedurchlasswiderstand einer Luftschicht.....	63
2.4.3	Wärmedurchlasswiderstand unbeheizter Räume	67
2.5	Wärmedurchgangswiderstand.....	68
2.5.1	Einschichtige, homogene Bauteile	69
2.5.2	Mehrschichtige homogene Bauteile	69
2.5.3	Mehrschichtige inhomogene Bauteile	69
2.6	Wärmedurchgangskoeffizient opaker Bauteile	71
2.6.1	Korrektur des U-Wertes bei Luftspalten im Bauteil	72

2.6.2	Korrektur des U-Wertes bei Durchdringung der Dämmschicht durch Befestigungsteile	73
2.6.3	Korrektur des U-Wertes durch Niederschlag auf Umkehrdächern.....	74
2.6.4	Berechnung des U-Wertes für Bauteile mit keilförmigen Schichten	75
2.6.5	Berechnung des U-Wertes für zweischalige Dach- und Wand-aufbauten im Stahlleichtbau	76
2.6.6	Berechnung des U-Wertes für Metall-Sandwichelemente	85
2.6.7	Berechnung des U-Wertes für Beton-Sandwichelemente	87
2.7	Wärmedurchgangskoeffizient erdberührter Bauteile	93
2.7.1	Einordnung der Verfahren	93
2.7.2	Berechnungsverfahren gemäß DIN EN ISO 13370	94
2.7.3	Bewertung der Rechenverfahren	102
2.8	Wärmedurchgangskoeffizient von Fenstern	107
2.8.1	Wärmedurchgangskoeffizient der Verglasung	107
2.8.2	Wärmedurchgangskoeffizient des Rahmens	110
2.8.3	Wärmedurchgangskoeffizient des Fensters.....	113
2.9	Wärmedurchgangskoeffizient von Türen	119
2.9.1	Vollverglaste Türen	119
2.9.2	Türen mit Verglasungen und opaken Füllungen	119
2.9.3	Türen ohne Verglasung.....	119
2.9.4	Experimentelle Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten kompletter Fenster und Türen	120
2.10	Wärmedurchgangskoeffizient von Vorhangfassaden	120
2.10.1	Einzelbeurteilungsmethode gemäß DIN EN 13947	120
2.10.2	Komponentenmethode gemäß DIN EN 13947	125
2.11	Wärmedurchgangskoeffizient von Rohrleitungen	128
2.12	Temperaturverteilungen in Bauteilen	129
2.12.1	Eindimensional, stationär	129
2.12.2	Eindimensional, instationär	131
2.12.3	Mehrdimensionale Aufgabenstellungen	136
2.13	Wärmebilanzen	138
2.13.1	Einführung	138
2.13.2	Netzwerk-Verfahren	138
2.13.3	Anwendung auf eindimensionale Aufgabenstellungen	141

3	Wärmebrücken	145
3.1	Einführung	145
3.1.1	Definition „Wärmebrücke“	145
3.1.2	Auswirkungen von Wärmebrücken	149
3.2	Rechnerische Untersuchung von Wärmebrücken	151
3.2.1	Allgemeines	151
3.2.2	Randbedingungen gemäß DIN EN ISO 10211	153
3.2.3	Randbedingungen gemäß DIN 4108, Beiblatt 2	156
3.2.4	Ermittlung des längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten	159
3.2.5	Ermittlung des punktbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten	162
3.2.6	Wärmebrückenkataloge	164
3.2.7	Sonderfall Erdreich	164
3.2.8	Weitere Definitionslücken und Sonderfälle	172
3.3	Sanierung von Wärmebrücken durch Beheizung	173
3.3.1	Anwendungsfälle	173
3.3.2	Passive Beheizung	173
3.3.3	Aktive Beheizung	176
4	Anforderungen an den winterlichen Wärmeschutz	177
4.1	Abgrenzung und Historie	177
4.2	Mindestwärmeschutz – DIN 4108-2	179
4.2.1	Bautechnische Maßnahmen für eine energiesparende Bauweise	179
4.2.2	Anforderungen an schwere opake Massivbauteile	180
4.2.3	Anforderungen an leichte opake Außenbauteile sowie Rahmen- und Skelettbauarten	180
4.2.4	Anforderungen für Gebäude mit niedrigen Innentemperaturen	180
4.2.5	Anforderungen im Bereich von Wärmebrücken	182
4.2.6	Anforderungen an Fenster, Fenstertüren und Türen	183
4.2.7	Anforderungen an Fassaden aus Pfosten-Riegel-Konstruktionen	183
4.2.8	Anforderungen an die Luftdichtheit von Außenbauteilen	184
4.3	Energiesparender Wärmeschutz	184
5	Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz	185
5.1	Abgrenzung der Zielsetzungen	185
5.2	Einflussgrößen	185
5.2.1	Allgemeines	185

5.2.2	Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung.....	186
5.2.3	Wirksamkeit einer Sonnenschutzvorrichtung.....	187
5.2.4	Position des Sonnenschutzes.....	188
5.2.5	Art der Verglasung.....	190
5.2.6	Hinterlüftung des Sonnenschutzes.....	190
5.2.7	Nutzerverhalten.....	191
5.2.8	Flächenanteil der transparenten Außenbauteile.....	191
5.2.9	Orientierung der transparenten Außenbauteile.....	193
5.2.10	Neigungswinkel transparenter Außenbauteile.....	194
5.2.11	Art und Intensität der Raumlüftung.....	195
5.2.12	Wärmespeicherfähigkeit der raumumschließenden Bauteile.....	196
5.2.13	Raumgeometrie.....	197
5.2.14	Gebäudestandort.....	197
5.3	Temperaturamplitudenverhältnis und Phasenverschiebung.....	198
5.4	Nachweis nach DIN 4108-2.....	202
5.4.1	Nachweisprinzip.....	202
5.4.2	Sonneneintragskennwert S.....	203
6	Vereinfachte Berechnung des Heizenergiebedarfs.....	209
6.1	Allgemeines.....	209
6.2	Begriffe.....	209
6.3	Wärmeverluste.....	211
6.3.1	Transmissionswärmeverlust.....	211
6.3.2	Lüftungswärmeverlust.....	212
6.4	Wärmegewinne.....	212
6.4.1	Interne Wärmegewinne.....	212
6.4.2	Solare Wärmegewinne.....	213
6.5	Jahres-Heizwärmebedarf.....	214
6.6	Jahres-Heizenergiebedarf.....	215
7	Bemessung von Gebäudegründungen zur Vermeidung von Frosthebungen.....	217
7.1	Einführung.....	217
7.2	Begriffe.....	217
7.2.1	Gründungstiefe.....	218
7.2.2	Frostindex.....	218

7.2.3	Frosteindringtiefe.....	222
7.3	Bodenplatten auf Erdreich bei beheizten Gebäuden.....	222
7.3.1	Fall 1 – ausschließlich vertikale Randdämmung.....	223
7.3.2	Fall 2 – zusätzlich horizontale Erdreichdämmung in den Ecken.....	223
7.3.3	Fall 3 – zusätzlich horizontale Erdreichdämmung um das Gebäude.....	224
7.4	Numerische Berechnungen.....	226
7.4.1	Allgemeines.....	226
7.4.2	Randbedingungen.....	226
7.4.3	Bemessungskriterium.....	228
8	Lüftung und Luftdichtheit.....	229
8.1	Luftbedarf.....	229
8.1.1	Raumluftqualität.....	229
8.1.2	Zielsetzungen einer ausreichenden und kontrollierten Lüftung.....	231
8.2	Luftdichtheit.....	233
8.2.1	Einführung.....	233
8.2.2	Anforderungen und Planungsempfehlungen gemäß DIN 4108-7.....	234
8.2.3	Überprüfung der Luftdichtheit (Blower-Door Test).....	239
8.3	Lüftungssysteme.....	243
8.3.1	Freie Lüftung.....	243
8.3.2	Ventilatorgestützte Lüftung.....	247
8.4	Luftführung bei ventilatorgestützter Lüftung.....	251
8.4.1	Arten der Luftführung.....	251
8.4.2	Lüftungstechnische Zonierung von Nutzungseinheiten.....	252
8.4.3	Vortemperierung der Zuluft über Erdwärmetauscher.....	254
8.5	Wärmetauscher in Lüftungsanlagen.....	256
8.5.1	Verfahren zur Wärmerückgewinnung.....	256
8.5.2	Kreuzwärmetauscher.....	257
8.5.3	Gegenstrom-Wärmetauscher.....	257
8.5.4	Kreisverbund-Wärmetauscher.....	258
8.5.5	Wärmerohre („heat-pipes“.....)	259
8.5.6	Rotations-Wärmetauscher.....	259
8.5.7	Kapillar-Ventilatoren.....	260
8.6	Lüftungskonzepte für Wohngebäude.....	261
8.6.1	Allgemeines.....	261
8.6.2	Lüftungsstufen gemäß DIN 1946-6.....	261

8.6.3	Systeme der Wohnungslüftung gemäß DIN 1946-6	262
8.6.4	Notwendigkeit Lüftungstechnischer Maßnahmen	263
8.6.5	Anrechenbarer Luftvolumenstrom durch Infiltration	263
8.6.6	Notwendige Außenluftvolumenströme	264
8.6.7	Darstellung der Anforderungssystematik	265
9	Thermische Behaglichkeit	267
9.1	Einführung	267
9.2	Wertepaar: Raumlufttemperatur vs. Oberflächentemperaturen	269
9.2.1	Raumlufttemperatur vs. Oberflächentemperatur insgesamt	269
9.2.2	Raumlufttemperatur vs. Fußbodentemperatur	271
9.2.3	Raumlufttemperatur vs. Deckentemperatur	272
9.2.4	Innenoberflächentemperatur verschiedener Bauteile	273
9.2.5	Raumlufttemperaturen bei unterschiedlichen Nutzungen	273
9.3	Raumlufttemperatur vs. Luftfeuchte	274
9.4	Raumlufttemperatur vs. Luftgeschwindigkeit	276
9.5	Analytische Bestimmung der thermischen Behaglichkeit nach DIN EN ISO 7730	276
9.5.1	Anforderungen	276
9.5.2	Bestimmung des vorausgesagten mittleren Votums (PMV)	278
9.5.3	Bestimmung des vorausgesagten Prozentsatzes an Unzufriedenen (PPD)	282
9.5.4	Bestimmung der Beeinträchtigung durch Zugluft (DR)	282
10	Literaturverzeichnis	287
10.1	Verordnungen und Veröffentlichungen	287
10.2	Normen und Richtlinien	289