
Kai Schild • Wolfgang M. Willems

Wärmeschutz

Grundlagen – Berechnung – Bewertung

2. Auflage

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, DIN ISO 128-50 und Flachdachrichtlinie	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
1.6	Modale Hilfsverben in der Normung	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	45
2.3	Wärmeübergangswiderstand	60
2.4	Wärmedurchlasswiderstand	63
2.4.1	Wärmedurchlasswiderstand für eine Baustoffschicht	63
2.4.2	Wärmedurchlasswiderstand einer Luftschicht.....	64
2.4.3	Wärmedurchlasswiderstand unbeheizter Räume	68
2.5	Wärmedurchgangswiderstand	69
2.5.1	Einschichtige, homogene Bauteile	69
2.5.2	Mehrschichtige homogene Bauteile	70
2.5.3	Mehrschichtige inhomogene Bauteile	70
2.6	Wärmedurchgangskoeffizient opaker Bauteile	73

2.6.1	Korrektur des U-Wertes bei Luftspalten im Bauteil	74
2.6.2	Korrektur des U-Wertes bei Durchdringung der Dämmschicht durch Befestigungsteile	74
2.6.3	Korrektur des U-Wertes durch Niederschlag auf Umkehrdächern.....	75
2.6.4	Berechnung des U-Wertes für Bauteile mit keilförmigen Schichten	77
2.6.5	Berechnung des U-Wertes für zweischalige Dach- und Wand- aufbauten im Stahleleichtbau	80
2.6.6	Berechnung des U-Wertes für Metall-Sandwichelemente	89
2.6.7	Berechnung des U-Wertes für Beton-Sandwichelemente	91
2.7	Wärmedurchgangskoeffizient erdberührter Bauteile	97
2.7.1	Einordnung der Verfahren	97
2.7.2	Berechnungsverfahren gemäß DIN EN ISO 13370	98
2.7.3	Bewertung der Rechenverfahren	106
2.8	Wärmedurchgangskoeffizient von Fenstern	111
2.8.1	Wärmedurchgangskoeffizient der Verglasung	111
2.8.2	Wärmedurchgangskoeffizient des Rahmens	114
2.8.3	Wärmedurchgangskoeffizient des Fensters.....	117
2.8.4	Wärmedurchgangskoeffizient von Rolladenkästen	123
2.8.5	Wärmedurchlasswiderstand von Rollläden, Fensterläden, etc.	124
2.9	Wärmedurchgangskoeffizient von Türen	126
2.9.1	Vollverglaste Türen	126
2.9.2	Türen mit Verglasungen und opaken Füllungen	126
2.9.3	Türen ohne Verglasung.....	126
2.9.4	Experimentelle Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten kompletter Fenster und Türen	127
2.10	Wärmedurchgangskoeffizient von Vorhangfassaden	127
2.10.1	Einzelbeurteilungsmethode gemäß DIN EN 13947	127
2.10.2	Komponentenmethode gemäß DIN EN 13947	132
2.11	Wärmedurchgangskoeffizient von Rohrleitungen	135
2.12	Temperaturverteilungen in Bauteilen	136
2.12.1	Eindimensional, stationär	136
2.12.2	Eindimensional, instationär	138
2.12.3	Mehrdimensionale Aufgabenstellungen	143
2.13	Wärmebilanzen	145
2.13.1	Einführung	145
2.13.2	Netzwerk-Verfahren	145

2.13.3	Anwendung auf eindimensionale Aufgabenstellungen	148
3	Wärmebrücken	151
3.1	Einführung	151
3.1.1	Definition „Wärmebrücke“	151
3.1.2	Auswirkungen von Wärmebrücken	155
3.2	Rechnerische Untersuchung von Wärmebrücken	157
3.2.1	Allgemeines	157
3.2.2	Randbedingungen gemäß DIN EN ISO 10211	159
3.2.3	Randbedingungen gemäß DIN 4108, Beiblatt 2	162
3.2.4	Ermittlung des längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten	165
3.2.5	Ermittlung des punktbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten	168
3.2.6	Wärmebrückenkataloge	170
3.2.7	Sonderfall Erdreich	170
3.2.8	Weitere Definitionslücken und Sonderfälle	178
3.3	Sanierung von Wärmebrücken durch Beheizung	179
3.3.1	Anwendungsfälle	179
3.3.2	Passive Beheizung	180
3.3.3	Aktive Beheizung	181
4	Anforderungen an den winterlichen Wärmeschutz	183
4.1	Abgrenzung und Historie	183
4.2	Mindestwärmeschutz – DIN 4108-2	185
4.2.1	Bautechnische Maßnahmen für eine energiesparende Bauweise	185
4.2.2	Anforderungen an schwere opake Massivbauteile	186
4.2.3	Anforderungen an leichte opake Außenbauteile, Rahmen- und Skelettbauarten sowie Fenster und Fenstertüren	187
4.2.4	Anforderungen im Bereich von Wärmebrücken	189
4.2.5	Anforderungen an die Luftdichtheit von Außenbauteilen	191
4.3	Mindestwärmeschutz - DIN EN ISO 13788	192
4.3.1	Außenseitige klimatische Randbedingungen	192
4.3.2	Raumseitige klimatische Randbedingungen	197
4.3.3	Außenseitiger Wasserdampfpartialdampfdruck	199
4.3.4	Zulässiger raumseitiger Sättigungsdampfdruck	199
4.3.5	Zulässige monatliche Innenoberflächentemperatur	199
4.4	Energiesparender Wärmeschutz	200

5	Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz	201
5.1	Abgrenzung der Zielsetzungen	201
5.2	Einflussgrößen	201
5.2.1	Allgemeines	201
5.2.2	Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung.....	202
5.2.3	Wirksamkeit einer Sonnenschutzvorrichtung	203
5.2.4	Position des Sonnenschutzes	204
5.2.5	Art der Verglasung	209
5.2.6	Hinterlüftung des Sonnenschutzes	209
5.2.7	Nutzerverhalten	210
5.2.8	Flächenanteil der transparenten Außenbauteile	210
5.2.9	Orientierung der transparenten Außenbauteile.....	212
5.2.10	Neigungswinkel transparenter Außenbauteile	213
5.2.11	Art und Intensität der Raumlüftung	214
5.2.12	Wärmespeicherfähigkeit der raumumschließenden Bauteile.....	215
5.2.13	Raumgeometrie	217
5.2.14	Gebäudestandort.....	217
5.3	Temperaturamplitudenverhältnis und Phasenverschiebung	217
5.4	Sonneneintragskennwerte-Verfahren gemäß DIN 4108-2	221
5.4.1	Nachweisprinzip	221
5.4.2	Sonneneintragskennwert S	222
5.5	Nachweis durch thermische Gebäudesimulation	228
5.5.1	Nachweisprinzip	228
5.5.2	Klimarandbedingungen	230
6	Vereinfachte Berechnung des Heizenergiebedarfs	233
6.1	Allgemeines	233
6.2	Begriffe	233
6.3	Wärmeverluste	235
6.3.1	Transmissionswärmeverlust.....	235
6.3.2	Lüftungswärmeverlust	236
6.4	Wärmegewinne	236
6.4.1	Interne Wärmegewinne	236
6.4.2	Solare Wärmegewinne	237
6.5	Jahres-Heizwärmebedarf	238

6.6	Jahres-Heizenergiebedarf	239
7	Bemessung von Gebäudegründungen zur Vermeidung von Frosthebungen	241
7.1	Einführung	241
7.2	Begriffe	241
7.2.1	Gründungstiefe	241
7.2.2	Frostindex	241
7.2.3	Frosteindringtiefe	246
7.3	Bodenplatten auf Erdreich bei beheizten Gebäuden	246
7.3.1	Fall 1 – ausschließlich vertikale Randdämmung	247
7.3.2	Fall 2 – zusätzlich horizontale Erdreichdämmung in den Ecken	247
7.3.3	Fall 3 – zusätzlich horizontale Erdreichdämmung um das Gebäude	248
7.4	Numerische Berechnungen	250
7.4.1	Allgemeines	250
7.4.2	Randbedingungen	250
7.4.3	Bemessungskriterium	252
8	Lüftung und Luftdichtheit	253
8.1	Luftbedarf	253
8.1.1	Raumluftqualität	253
8.1.2	Zielsetzungen einer ausreichenden und kontrollierten Lüftung	255
8.2	Luftdichtheit	257
8.2.1	Einführung	257
8.2.2	Anforderungen und Planungsempfehlungen gemäß DIN 4108-7	258
8.2.3	Überprüfung der Luftdichtheit (Blower-Door Test)	263
8.3	Lüftungssysteme	267
8.3.1	Freie Lüftung	267
8.3.2	Ventilatorgestützte Lüftung	271
8.4	Luftführung bei ventilatorgestützter Lüftung	276
8.4.1	Arten der Luftführung	276
8.4.2	Lüftungstechnische Zonierung von Nutzungseinheiten	277
8.4.3	Vortemperierung der Zuluft über Erdwärmetauscher	279
8.5	Wärmetauscher in Lüftungsanlagen	281
8.5.1	Verfahren zur Wärmerückgewinnung	281
8.5.2	Kreuzwärmetauscher	282

8.5.3	Gegenstrom-Wärmetauscher	282
8.5.4	Kreisverbund-Wärmetauscher	283
8.5.5	Wärmerohre („heat-pipes“).....	284
8.5.6	Rotations-Wärmetauscher.....	284
8.5.7	Kapillar-Ventilatoren	285
8.6	Lüftungskonzepte für Wohngebäude	286
8.6.1	Allgemeines	286
8.6.2	Lüftungsstufen gemäß DIN 1946-6	286
8.6.3	Systeme der Wohnungslüftung gemäß DIN 1946-6	287
8.6.4	Notwendigkeit Lüftungstechnischer Maßnahmen	288
8.6.5	Anrechenbarer Luftvolumenstrom durch Infiltration	288
8.6.6	Notwendige Außenluftvolumenströme	289
8.6.7	Darstellung der Anforderungssystematik	290
9	Thermische Behaglichkeit	292
9.1	Einführung	292
9.2	Wertepaar: Raumlufttemperatur vs. Oberflächentemperaturen	294
9.2.1	Raumlufttemperatur vs. Oberflächentemperatur insgesamt	294
9.2.2	Raumlufttemperatur vs. Fußbodentemperatur	296
9.2.3	Raumlufttemperatur vs. Deckentemperatur	297
9.2.4	Innenoberflächentemperatur verschiedener Bauteile	298
9.2.5	Raumlufttemperaturen bei unterschiedlichen Nutzungen	300
9.3	Raumlufttemperatur vs. Luftfeuchte	300
9.4	Raumlufttemperatur vs. Luftgeschwindigkeit	302
9.5	Analytische Bestimmung der thermischen Behaglichkeit nach DIN EN ISO 7730	302
9.5.1	Anforderungen.....	302
9.5.2	Bestimmung des vorausgesagten mittleren Votums (PMV)	304
9.5.3	Bestimmung des vorausgesagten Prozentsatzes an Unzufriedenen (PPD)	308
9.5.4	Bestimmung der Beeinträchtigung durch Zugluft (DR)	308
10	Literaturverzeichnis	313
10.1	Verordnungen und Veröffentlichungen	313
10.2	Normen und Richtlinien	315