

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Berechnungshilfen</b> .....	1
<b>1.1</b>	<b>Einheitenumrechnungstabeln</b> .....	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
<b>1.2</b>	<b>Griechisches Alphabet</b> .....	5
<b>1.3</b>	<b>Mathematische Grundlagen</b> .....	6
1.3.1	Flächenberechnung.....	6
1.3.2	Volumenberechnung .....	8
1.3.3	Rechenregeln .....	12
1.3.4	Trigonometrie .....	13
<b>1.4</b>	<b>Bauschraffuren gemäß DIN 1356-1, DIN ISO 128-50 und Flachdachrichtlinie</b> .....	14
<b>1.5</b>	<b>Wärme- und feuchtetechnische Kennwerte von Baustoffen</b> .....	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
<b>1.6</b>	<b>Modale Hilfsverben in der Normung .....</b>	<b>34</b>
<b>2</b>	<b>Grundlagen des Wärmeschutzes .....</b>	<b>35</b>
<b>2.1</b>	<b>Grundbegriffe.....</b>	<b>35</b>
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
<b>2.2</b>	<b>Wärmedämmstoffe .....</b>	<b>40</b>
2.2.1	Allgemeines .....	40
2.2.2	Anwendungstypen / -gebiete .....	42
2.2.3	Kennwerte am Markt verfügbarer Wärmedämmstoffe .....	45
<b>2.3</b>	<b>Wärmeübergangswiderstand .....</b>	<b>60</b>
<b>2.4</b>	<b>Wärmedurchlasswiderstand .....</b>	<b>63</b>
2.4.1	Wärmedurchlasswiderstand für eine Baustoffschicht .....	63
2.4.2	Wärmedurchlasswiderstand einer Luftschicht.....	64
2.4.3	Wärmedurchlasswiderstand unbeheizter Räume .....	68
<b>2.5</b>	<b>Wärmedurchgangswiderstand .....</b>	<b>69</b>
2.5.1	Einschichtige, homogene Bauteile .....	69
2.5.2	Mehrschichtige homogene Bauteile .....	70
2.5.3	Mehrschichtige inhomogene Bauteile .....	70
<b>2.6</b>	<b>Wärmedurchgangskoeffizient opaker Bauteile .....</b>	<b>73</b>

---

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 Stahlleichtbau .....	80
2.6.6	Berechnung des U-Wertes für Metall-Sandwichelemente .....	89
2.6.7	Berechnung des U-Wertes für Beton-Sandwichelemente .....	91
<b>2.7</b>	<b>Wärmedurchgangskoeffizient erdberührter Bauteile</b> .....	<b>97</b>
2.7.1	Einordnung der Verfahren .....	97
2.7.2	Berechnungsverfahren gemäß DIN EN ISO 13370 .....	98
2.7.3	Bewertung der Rechenverfahren .....	106
<b>2.8</b>	<b>Wärmedurchgangskoeffizient von Fenstern</b> .....	<b>111</b>
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 Rollladenkästen .....	123
2.8.5	Wärmedurchlasswiderstand von Rollläden, Fensterläden, etc. ....	124
<b>2.9</b>	<b>Wärmedurchgangskoeffizient von Türen</b> .....	<b>126</b>
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
<b>2.10</b>	<b>Wärmedurchgangskoeffizient von Vorhangfassaden</b> .....	<b>127</b>
2.10.1	Einzelbeurteilungsmethode gemäß DIN EN 13947 .....	127
2.10.2	Komponentenmethode gemäß DIN EN 13947 .....	132
<b>2.11</b>	<b>Wärmedurchgangskoeffizient von Rohrleitungen</b> .....	<b>135</b>
<b>2.12</b>	<b>Temperaturverteilungen in Bauteilen</b> .....	<b>136</b>
2.12.1	Eindimensional, stationär .....	136
2.12.2	Eindimensional, instationär .....	138
2.12.3	Mehrdimensionale Aufgabenstellungen .....	143
<b>2.13</b>	<b>Wärmebilanzen</b> .....	<b>145</b>
2.13.1	Einführung .....	145
2.13.2	Netzwerk-Verfahren .....	145

2.13.3	Anwendung auf eindimensionale Aufgabenstellungen .....	148
<b>3</b>	<b>Wärmebrücken</b> .....	151
<b>3.1</b>	<b>Einführung</b> .....	151
3.1.1	Definition „Wärmebrücke“ .....	151
3.1.2	Auswirkungen von Wärmebrücken .....	155
<b>3.2</b>	<b>Rechnerische Untersuchung von Wärmebrücken</b> .....	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
<b>3.3</b>	<b>Sanierung von Wärmebrücken durch Beheizung</b> .....	179
3.3.1	Anwendungsfälle .....	179
3.3.2	Passive Beheizung.....	180
3.3.3	Aktive Beheizung.....	181
<b>4</b>	<b>Anforderungen an den winterlichen Wärmeschutz</b> .....	183
<b>4.1</b>	<b>Abgrenzung und Historie</b> .....	183
<b>4.2</b>	<b>Mindestwärmeschutz – DIN 4108-2</b> .....	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
<b>4.3</b>	<b>Mindestwärmeschutz - DIN EN ISO 13788</b> .....	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
<b>4.4</b>	<b>Energiesparender Wärmeschutz</b> .....	200

---

<b>5</b>	<b>Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz</b> .....	201
<b>5.1</b>	<b>Abgrenzung der Zielsetzungen</b> .....	201
<b>5.2</b>	<b>Einflussgrößen</b> .....	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
<b>5.3</b>	<b>Temperaturamplitudenverhältnis und Phasenverschiebung</b> .....	217
<b>5.4</b>	<b>Sonneneintragskennwerte-Verfahren gemäß DIN 4108-2</b> .....	221
5.4.1	Nachweisprinzip .....	221
5.4.2	Sonneneintragskennwert S .....	222
<b>5.5</b>	<b>Nachweis durch thermische Gebäudesimulation</b> .....	228
5.5.1	Nachweisprinzip .....	228
5.5.2	Klimarandbedingungen .....	230
<b>6</b>	<b>Vereinfachte Berechnung des Heizenergiebedarfs</b> .....	233
<b>6.1</b>	<b>Allgemeines</b> .....	233
<b>6.2</b>	<b>Begriffe</b> .....	233
<b>6.3</b>	<b>Wärmeverluste</b> .....	235
6.3.1	Transmissionswärmeverlust.....	235
6.3.2	Lüftungswärmeverlust .....	236
<b>6.4</b>	<b>Wärmegewinne</b> .....	236
6.4.1	Interne Wärmegewinne .....	236
6.4.2	Solare Wärmegewinne .....	237
<b>6.5</b>	<b>Jahres-Heizwärmebedarf</b> .....	238

<b>6.6</b>	<b>Jahres-Heizenergiebedarf</b> .....	239
<b>7</b>	<b>Bemessung von Gebäudegründungen zur Vermeidung von Frosthebungen</b> .....	241
<b>7.1</b>	<b>Einführung</b> .....	241
<b>7.2</b>	<b>Begriffe</b> .....	241
7.2.1	Gründungstiefe .....	241
7.2.2	Frostindex .....	241
7.2.3	Frosteindringtiefe .....	246
<b>7.3</b>	<b>Bodenplatten auf Erdreich bei beheizten Gebäuden</b> .....	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
<b>7.4</b>	<b>Numerische Berechnungen</b> .....	250
7.4.1	Allgemeines .....	250
7.4.2	Randbedingungen .....	250
7.4.3	Bemessungskriterium .....	252
<b>8</b>	<b>Lüftung und Luftdichtheit</b> .....	253
<b>8.1</b>	<b>Luftbedarf</b> .....	253
8.1.1	Raumluftqualität .....	253
8.1.2	Zielsetzungen einer ausreichenden und kontrollierten Lüftung .....	255
<b>8.2</b>	<b>Luftdichtheit</b> .....	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
<b>8.3</b>	<b>Lüftungssysteme</b> .....	267
8.3.1	Freie Lüftung .....	267
8.3.2	Ventilatorgestützte Lüftung .....	271
<b>8.4</b>	<b>Luftführung bei ventilatorgestützter Lüftung</b> .....	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
<b>8.5</b>	<b>Wärmetauscher in Lüftungsanlagen</b> .....	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
<b>8.6</b>	<b>Lüftungskonzepte für Wohngebäude</b> .....	<b>286</b>
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
<b>9</b>	<b>Thermische Behaglichkeit</b> .....	<b>292</b>
<b>9.1</b>	<b>Einführung</b> .....	<b>292</b>
<b>9.2</b>	<b>Wertepaar: Raumlufttemperatur vs. Oberflächentemperaturen</b> .....	<b>294</b>
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
<b>9.3</b>	<b>Raumlufttemperatur vs. Luftfeuchte</b> .....	<b>300</b>
<b>9.4</b>	<b>Raumlufttemperatur vs. Luftgeschwindigkeit</b> .....	<b>302</b>
<b>9.5</b>	<b>Analytische Bestimmung der thermischen Behaglichkeit nach DIN EN ISO 7730</b> .....	<b>302</b>
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
<b>10</b>	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>313</b>
<b>10.1</b>	<b>Verordnungen und Veröffentlichungen</b> .....	<b>313</b>
<b>10.2</b>	<b>Normen und Richtlinien</b> .....	<b>315</b>