

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Berechnungshilfen</b>	1
<b>1.1</b>	<b>Einheitenumrechnungstafeln</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 und DIN ISO 128-50</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>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 .....	44
<b>2.3</b>	<b>Wärmeübergangswiderstand .....</b>	<b>59</b>
<b>2.4</b>	<b>Wärmedurchlasswiderstand .....</b>	<b>62</b>
2.4.1	Wärmedurchlasswiderstand für eine Baustoffschicht .....	62
2.4.2	Wärmedurchlasswiderstand einer Luftschicht.....	63
2.4.3	Wärmedurchlasswiderstand unbeheizter Räume .....	67
<b>2.5</b>	<b>Wärmedurchgangswiderstand .....</b>	<b>68</b>
2.5.1	Einschichtige, homogene Bauteile .....	69
2.5.2	Mehrschichtige homogene Bauteile .....	69
2.5.3	Mehrschichtige inhomogene Bauteile .....	69
<b>2.6</b>	<b>Wärmedurchgangskoeffizient opaker Bauteile .....</b>	<b>71</b>
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
<b>2.7</b>	<b>Wärmedurchgangskoeffizient erdberührter Bauteile .....</b>	<b>93</b>
2.7.1	Einordnung der Verfahren .....	93
2.7.2	Berechnungsverfahren gemäß DIN EN ISO 13370 .....	94
2.7.3	Bewertung der Rechenverfahren .....	102
<b>2.8</b>	<b>Wärmedurchgangskoeffizient von Fenstern .....</b>	<b>107</b>
2.8.1	Wärmedurchgangskoeffizient der Verglasung .....	107
2.8.2	Wärmedurchgangskoeffizient des Rahmens .....	110
2.8.3	Wärmedurchgangskoeffizient des Fensters.....	113
<b>2.9</b>	<b>Wärmedurchgangskoeffizient von Türen .....</b>	<b>119</b>
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
<b>2.10</b>	<b>Wärmedurchgangskoeffizient von Vorhangsfassaden .....</b>	<b>120</b>
2.10.1	Einzelbeurteilungsmethode gemäß DIN EN 13947 .....	120
2.10.2	Komponentenmethode gemäß DIN EN 13947 .....	125
<b>2.11</b>	<b>Wärmedurchgangskoeffizient von Rohrleitungen .....</b>	<b>128</b>
<b>2.12</b>	<b>Temperaturverteilungen in Bauteilen.....</b>	<b>129</b>
2.12.1	Eindimensional, stationär .....	129
2.12.2	Eindimensional, instationär .....	131
2.12.3	Mehrdimensionale Aufgabenstellungen .....	136
<b>2.13</b>	<b>Wärmebilanzen .....</b>	<b>138</b>
2.13.1	Einführung .....	138
2.13.2	Netzwerk-Verfahren .....	138
2.13.3	Anwendung auf eindimensionale Aufgabenstellungen .....	141

---

<b>3</b>	<b>Wärmebrücken .....</b>	145
<b>3.1</b>	<b>Einführung .....</b>	145
3.1.1	Definition „Wärmebrücke“.....	145
3.1.2	Auswirkungen von Wärmebrücken .....	149
<b>3.2</b>	<b>Rechnerische Untersuchung von Wärmebrücken.....</b>	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
<b>3.3</b>	<b>Sanierung von Wärmebrücken durch Beheizung.....</b>	173
3.3.1	Anwendungsfälle .....	173
3.3.2	Passive Beheizung.....	173
3.3.3	Aktive Beheizung.....	176
<b>4</b>	<b>Anforderungen an den winterlichen Wärmeschutz .....</b>	177
<b>4.1</b>	<b>Abgrenzung und Historie .....</b>	177
<b>4.2</b>	<b>Mindestwärmeschutz – DIN 4108-2 .....</b>	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
<b>4.3</b>	<b>Energiesparender Wärmeschutz .....</b>	184
<b>5</b>	<b>Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz .....</b>	185
<b>5.1</b>	<b>Abgrenzung der Zielsetzungen.....</b>	185
<b>5.2</b>	<b>Einflussgrößen .....</b>	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	<b>Temperaturamplitudenverhältnis und Phasenverschiebung .....</b>	198
5.4	<b>Nachweis nach DIN 4108-2.....</b>	202
5.4.1	Nachweisprinzip .....	202
5.4.2	Sonneneintragskennwert S .....	203
<b>6</b>	<b>Vereinfachte Berechnung des Heizenergiebedarfs .....</b>	209
6.1	Allgemeines .....	209
6.2	Begriffe .....	209
6.3	<b>Wärmeverluste.....</b>	211
6.3.1	Transmissionswärmeverlust.....	211
6.3.2	Lüftungswärmeverlust.....	212
6.4	<b>Wärmegewinne .....</b>	212
6.4.1	Interne Wärmegewinne .....	212
6.4.2	Solare Wärmegewinne .....	213
6.5	<b>Jahres-Heizwärmebedarf.....</b>	214
6.6	<b>Jahres-Heizenergiebedarf .....</b>	215
<b>7</b>	<b>Bemessung von Gebäudegründungen zur Vermeidung von Frosthobungen .....</b>	217
7.1	Einführung .....	217
7.2	Begriffe .....	217
7.2.1	Gründungstiefe .....	218
7.2.2	Frostindex.....	218

---

7.2.3	Frosteindringtiefe.....	222
<b>7.3</b>	<b>Bodenplatten auf Erdreich bei beheizten Gebäuden.....</b>	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
<b>7.4</b>	<b>Numerische Berechnungen.....</b>	226
7.4.1	Allgemeines .....	226
7.4.2	Randbedingungen .....	226
7.4.3	Bemessungskriterium.....	228
<b>8</b>	<b>Lüftung und Luftdichtheit.....</b>	229
<b>8.1</b>	<b>Luftbedarf.....</b>	229
8.1.1	Raumluftqualität .....	229
8.1.2	Zielsetzungen einer ausreichenden und kontrollierten Lüftung .....	231
<b>8.2</b>	<b>Luftdichtheit.....</b>	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
<b>8.3</b>	<b>Lüftungssysteme.....</b>	243
8.3.1	Freie Lüftung .....	243
8.3.2	Ventilatorgestützte Lüftung.....	247
<b>8.4</b>	<b>Luftführung bei ventilatorgestützter Lüftung.....</b>	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
<b>8.5</b>	<b>Wärmetauscher in Lüftungsanlagen .....</b>	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
<b>8.6</b>	<b>Lüftungskonzepte für Wohngebäude .....</b>	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
<b>9</b>	<b>Thermische Behaglichkeit.....</b>	<b>267</b>
9.1	Einführung .....	267
9.2	<b>Wertepaar: Raumlufttemperatur vs. Oberflächentemperaturen.....</b>	<b>269</b>
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	<b>Raumlufttemperatur vs. Luftfeuchte .....</b>	<b>274</b>
9.4	<b>Raumlufttemperatur vs. Luftgeschwindigkeit.....</b>	<b>276</b>
9.5	<b>Analytische Bestimmung der thermischen Behaglichkeit nach DIN EN ISO 7730 .....</b>	<b>276</b>
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	282
9.5.4	Bestimmung der Beeinträchtigung durch Zugluft (DR) .....	282
<b>10</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>287</b>
10.1	<b>Verordnungen und Veröffentlichungen .....</b>	<b>287</b>
10.2	<b>Normen und Richtlinien.....</b>	<b>289</b>