

# Inhaltsverzeichnis

<b>Einleitung</b> .....	1
<b><i>Physikalische Grundlagen</i></b> .....	5
<b>1</b> <b>Allgemeiner Überblick</b> .....	7
<b>2</b> <b>Grundlagen des Wärmeschutzes</b> .....	17
2.1    Grundbegriffe der Wärmelehre .....	17
2.2    Grundbegriffe der Wärmeübertragung .....	20
2.2.1    Die wichtigsten Wärmeübertragungsvorgänge .....	20
2.2.2    Wärmeleitfähigkeit von Bau- und Wärmedämmstoffen .....	25
2.2.3    Temperaturleitfähigkeit und Wärmeeindringfähigkeit .....	30
2.2.4    Wärmeübergang an Oberflächen von festen Körpern .....	31
2.2.5    Wärmedurchlässigkeit und Wärmedurchgang von Bauteilen oder Wärmedämmungen .....	34
2.2.6    Wärmebrücken .....	36
2.3    Einflußgrößen auf die Wärmeleitfähigkeit poröser Stoffe .....	36
2.3.1    Wärmeleitfähigkeit trockener Stoffe .....	37
2.3.2    Wärmeleitfähigkeit feuchter Stoffe bei Temperaturen über 0°C .....	68
2.3.3    Wärmeleitfähigkeit feuchter Stoffe bei Temperaturen unter 0°C .....	90
2.3.4    Feuchtigkeitseinfluß auf die Wärmeleitfähigkeit durchchemisch gebundenes Wasser .....	92
<b>3</b> <b>Grundlagen des Feuchteschutzes</b> .....	97
3.1    Luftfeuchte und Taupunkttemperatur .....	97
3.2    Stofffeuchte und Trocknung .....	100
3.2.1    Wasseraufnahme von porösen Stoffen .....	100
3.2.2    Feuchtigkeitsbegriffe, bezogen auf den Wassergehalt .....	101
3.2.3    Feuchtigkeitsbegriffe, bezogen auf die Wasseraufnahme .....	103
3.2.4    Trocknung .....	107
3.3    Feuchtigkeitstransport in porösen Stoffen .....	108
3.3.1    Kapillare Wasserbewegung .....	108
3.3.2    Wasserdampfdiffusion .....	114
3.3.3    Wasserdampftransport durch strömende feuchte Luft .....	121

<b>Berechnungsgrundlagen .....</b>	<b>123</b>
<b>4 Berechnung von Vorgängen der Wärmeübertragung .....</b>	<b>125</b>
4.1 Vorbemerkungen zur Benutzung der Berechnungsgleichungen .....	125
4.2 Zeitlich unveränderliche Wärmeströmung .....	127
4.2.1 Wärmetransport in Bau- und Dämmkonstruktionen .....	127
4.2.2 Wärmeübertragung durch Wärmestrahlung .....	133
4.2.3 Wärmeübergang an Oberflächen von Bau- und Dämmkonstruktionen ..	135
4.2.4 Wärmeübertragung in abgeschlossenen (unbelüfteten) Luftschichten ...	144
4.2.5 Wärmedurchgang von Bau- und Dämmkonstruktionen .....	152
4.2.6 Temperaturverteilung in mehrschichtigen Bau- und Dämmkonstruk- tionen .....	157
4.2.7 Näherungsgleichungen für den Wärmetransport in Sonderfällen .....	159
4.2.8 Wärmeübertragung an das Erdreich .....	163
4.2.9 Zusätzliche Verluste über Wärmebrücken .....	167
4.2.10 Wärmetransport durch Gasströme .....	169
4.3 Zeitlich veränderliche Wärmeströmung .....	173
4.3.1 Temperatursausgleich und Wärmeeindringvorgang .....	173
4.3.2 Beispiele aus dem Gebiet des Hochbaus .....	174
4.3.3 Beispiele aus dem Gebiet der betriebstechnischen Anlagen .....	177
4.4 Speicherwärme .....	180
<b>5 Berechnung von Vorgängen der Feuchtigkeitsbewegung .....</b>	<b>185</b>
5.1 Kapillare Wasserbewegung .....	185
5.2 Zeitlich unveränderliche Wasserdampfdiffusion .....	186
5.2.1 Wasserdampfübergang an Oberflächen .....	186
5.2 Zeitlich unveränderliche Wasserdampfdiffusion .....	187
5.2.2 Wasserdampfdiffusion in ein- und mehrschichtigen Konstruktionen ....	189
5.2 Zeitlich unveränderliche Wasserdampfdiffusion .....	191
5.2.3 Abschätzung eines Tauwasserausfalls im Innern von Bau-oder Dämmkonstruktionen und der möglichen Austrocknung .....	191
5.3 Zeitlich veränderliche Wasserdampfdiffusion .....	196
5.4 Berechnung des Wasserdampftransports durch Strömung feuchter Luft in Bau- oder Dämmkonstruktionen .....	196
<b>6 Anwendung der Computertechnik bei wärme- und feuchteschutztechnischen Berechnungen .....</b>	<b>199</b>
<b>Technische Grundlagen .....</b>	<b>203</b>
<b>7 Allgemeine Gesichtspunkte über Bedeutung und Bemessungs- kriterien des Wärme- und Kälteschutzes .....</b>	<b>205</b>

7.1	Bedeutung für die Gesellschaft .....	205
7.2	Kriterien für die Ausführung von Wärme- und Kälte­dämmungen .....	206
7.2.	Ausführung nach hygienischen und betriebstechnischen Gesichtspunkten .....	206
7.2.2	Ausführung nach energiesparenden Gesichtspunkten .....	207
7.2.3	Entscheidung über das anzuwendende Bemessungskriterium .....	209
<b>8</b>	<b>Bau- und Wärmedämmstoffe für das Bauwesen; Eigenschaften und Verwendung .....</b>	<b>211</b>
8.1	Allgemeines .....	211
8.2	Baustoffe .....	214
8.2.1	Natürliche Baustoffe .....	214
8.2.2	Künstliche Baustoffe .....	215
8.3	Wärmedämmstoffe .....	218
8.3.1.	Natürliche Wärmedämmstoffe .....	218
8.3.2	Künstliche Wärmedämmstoffe .....	220
8.4	Bauaufsichtlich geforderte Überwachung (Güteüberwachung) von Bau- und Wärmedämmstoffen .....	228
<b>9</b>	<b>Wärmedämmstoffe für betriebs- und haustechnische Anlagen; Eigenschaften und Verwendung .....</b>	<b>231</b>
9.1	Allgemeines .....	231
9.2	Natürliche Dämmstoffe .....	232
9.3	Künstliche Wärmedämmstoffe .....	233
9.4	Gütesicherung von Wärmedämmstoffen nach VDI 2055 .....	237
	<b><i>Anforderungen und Anwendung des Wärme- und Kälteschutzes im Bauwesen .....</i></b>	<b><i>239</i></b>
<b>10</b>	<b>Wärmeschutz im Hochbau .....</b>	<b>241</b>
10.1	Planungshinweise für den Wärmeschutz von Gebäuden unter bau-technischen Gesichtspunkten .....	241
10.2	Planungshinweise für den Wärmeschutz von Gebäuden unter Nutzungsgesichtspunkten .....	243
10.2.1	Mindestanforderungen an den Wärmeschutz im Winter bei Wohn-gebäuden nach DIN 4108 .....	243
10.2.2	Empfehlungen für einen sommerlichen Wärmeschutz bei Wohn-gebäuden nach DIN 4108 .....	245
10.2.3	Behagliches Raumklima .....	247
10.2.4	Wärmeschutztechnische Hinweise für Gebäude mit unterbrochener Betriebsweise .....	248
10.3	Anforderungen an einen energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden nach der Wärmeschutzverordnung .....	249
10.3.1	Gebäude mit normalen Innentemperaturen .....	249

10.3.2	Gebäude mit niedrigen Innentemperaturen sowie für Sport- und Versammlungszwecke .....	251
10.3.3	Kurzbeschreibung der 2. Novellierung der Wärmeschutzverordnung, die am 1.1.1995 in Kraft tritt .....	252
10.4	Ausführungshinweise für den Wärmeschutz von Außenbauteilen unter Berücksichtigung bauphysikalischer Gesichtspunkte .....	253
10.4.1	Außenwände .....	253
10.4.2	Verglasungen .....	257
10.4.3	Dach- und Deckenkonstruktionen .....	261
10.4.4	Fußböden .....	264
10.4.5	Einfluß von geometrischen und konstruktiven Wärmebrücken .....	266
10.5	Grenzen des baulichen Wärmeschutzes .....	271
<b>11</b>	<b>Klimabedingter Feuchteschutz im Hochbau .....</b>	<b>273</b>
11.1	Tauwasserschutz .....	273
11.1.1	Tauwasserbildung auf Oberflächen von Bauteilen .....	273
11.1.2	Tauwasserbildung im Innern von Bauteilen .....	274
11.2	Schlagregenschutz von Wänden .....	279
11.3	Wohnungshygienische Anforderungen an die Außenwand .....	279
<b>12</b>	<b>Zusammenhang zwischen Wärmedämmung und anderen bauphysikalischen Anforderungen .....</b>	<b>281</b>
<b>13</b>	<b>Hinweise zur Beurteilung von Bauwerksmängeln bei Verdacht auf unzureichenden oder unsachgemäßen Wärme- oder Feuchteschutz bei Wohngebäuden .....</b>	<b>287</b>
<b>14</b>	<b>Wärmeschutz von Schornsteinen .....</b>	<b>291</b>
<b>15</b>	<b>Wärmeschutz im landwirtschaftlichen Bauen .....</b>	<b>293</b>
<b>16</b>	<b>Frostschutz im Straßenbau .....</b>	<b>297</b>
 <i>Anforderungen und Anwendung des Wärme- und Kälteschutzes bei betriebs- und haustechnischen Anlagen .....</i>		 <i>299</i>
<b>17</b>	<b>Planungshinweise .....</b>	<b>301</b>
17.1	Allgemeine Hinweise .....	301
17.2	Regelwerke für wärmeschutztechnische Maßnahmen .....	303
17.2.1	VDI-Richtlinie 2055 „Wärme- und Kälteschutz“ .....	303
17.2.2	DIN 4140 T1 „Dämmen betriebstechnischer Anlagen; Wärmedämmung“; DIN 4140 T2 „Dämmen betriebstechnischer Anlagen; Kälte­dämmung“ .....	305
17.2.3	AGI-Arbeitblätter .....	306

<b>18</b>	<b>Hinweise für Berechnungen .....</b>	<b>309</b>
18.1	Wärme- und Kälteverluste von nichtgedämmten Anlagen .....	309
18.2	Wärmeschutztechnische Berechnungen bei gedämmten Anlagen .....	310
18.2.1	Rechenwerte .....	310
18.2.2	Wärme- und Kälteverluste im stationären Temperaturzustand .....	311
18.2.3	Wärmeverluste bei unterbrochener Betriebsweise .....	313
18.2.4	Gespeicherte Wärmemengen in Wärme- und Kälteschutzanlagen während des Betriebes .....	313
18.2.5	Temperaturberechnungen .....	314
18.3	Feuchteschutztechnische Berechnungen bei Kälteedämmungen .....	317
18.3.1	Tauwasserschutz für Oberflächen von kältetechnischen Anlagen .....	317
18.3.2	Tauwasserausfall im Innern von Kälteedämmungen .....	317
<b>19</b>	<b>Ausführung von Wärme- und Kälteedämmungen .....</b>	<b>319</b>
19.1	Allgemeines .....	319
19.2	Wahl des Dämmstoffs .....	319
19.3	Bestimmung der Dämmschichtdicke nach betriebstechnischen Gesichtspunkten .....	321
19.3.1	Wärmeschutz .....	321
19.3.2	Kälteschutz .....	322
19.4	Bestimmung der Dämmschichtdicke für Wärme- und Kälteanlagen nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten .....	323
19.5	Besondere Hinweise für die Ausführung von Wärme- und Kälteedämmungen .....	323
19.5.1	Allgemeine Hinweise .....	323
19.5.2	Ausführungsbeispiele für wärmedämmende Anlagen .....	326
19.5.3	Ausführungsbeispiele für kälteedämmende Anlagen .....	329
<b>20</b>	<b>Gewährleistungen .....</b>	<b>339</b>
20.1	Allgemeines .....	339
20.2	Wärmeschutztechnische Gewährleistungen .....	340
20.2.1	Gewährleistungsfähige Größen .....	340
20.2.2	Bedingt gewährleistungsfähige Größen .....	341
20.2.3	Bedeutung von wärmeschutztechnischen Gewährleistungen .....	343
20.3	Gewährleistungen für sonstige Eigenschaften von Wärmedämm- stoffen .....	344
20.3.1	Maße, Rohdichte, Formbeständigkeit, mechanische Eigenschaften .....	345
20.3.2	Thermische Eigenschaften .....	345
20.3.3	Weitere Eigenschaften .....	345
20.4	Umrechnung von Auslegungswerten bei abweichenden Überprüfungs- bedingungen und Gewährleistungsvergleich .....	346

<b>Meßtechnik</b> .....	349
<b>21 Grundlagen</b> .....	351
21.1 Grundbegriffe .....	351
21.2 Meßunsicherheit .....	352
<b>22 Temperaturmessung</b> .....	355
22.1 Allgemeines .....	355
22.2 Gebräuchliche Geräte .....	356
22.2.1 Thermische Ausdehnungsthermometer .....	356
22.2.2 Elektrische Berührungsthermometer .....	357
22.2.3 Strahlungsthermometer .....	359
<b>23 Bestimmung wärmeschutztechnischer Größen</b> .....	363
23.1 Wärmeströme .....	363
23.2 Wärmeleitfähigkeit .....	367
23.2.1 Laboratoriums-Meßverfahren .....	368
23.2.2 Betriebsmeßverfahren <sup>14</sup> .....	379
23.3 Wärmedurchlässigkeit und Wärmedurchgang .....	380
23.3.1 Laboratoriums-Meßverfahren .....	380
23.3.2 Betriebsmeßverfahren .....	387
23.4 Wärmeübergangskoeffizient an Oberflächen gegenüber Luft .....	392
23.5 Wärmeableitung von Fußböden .....	393
23.6 Anwendungsgrenztemperatur .....	393
<b>24 Bestimmung feuchteschutztechnischer Größen</b> .....	397
24.1 Luft- und Stofffeuchtigkeit .....	397
24.1.1 Relative Luftfeuchte .....	397
24.1.2 Feuchtegehalt von Bau- oder Dämmstoffen .....	399
24.1.3 Bezugsfeuchte von Baustoffen .....	404
24.2 Kapillare Wasseraufnahme .....	404
24.3 Kapillare Leitfähigkeit .....	405
24.4 Wasserdampfdurchlässigkeit von Bau- und Dämmstoffen .....	405
24.5 Wasserabweisende Eigenschaft von Mineralfaser-Dämmstoffen .....	407
<b>25 Bestimmung sonstiger wichtiger Größen</b> .....	409
25.1 Maße und Rohdichte .....	409
25.2 Mechanische Eigenschaften .....	410
25.3 Strömungswiderstand .....	411
<b>Anhang</b> .....	413
<b>Literaturverzeichnis</b> .....	427
<b>Stichwortverzeichnis</b> .....	451