

## Inhalt

<b>Vorwort</b> .....	V
<b>Formelzeichen und Abkürzungen</b> .....	XIII
<b>1 Einleitung</b> .....	1
<b>2 Wärmephysiologische Grundlagen</b> .....	3
2.1 Grundlagen .....	3
2.2 Wärmephysiologische Grundlagen .....	3
2.3 Wärmeabgabe des Menschen .....	7
2.3.1 Einflussfaktoren .....	7
2.3.1.1 Wärmetransport durch die Kleidung .....	7
2.3.1.2 Umgebungsfaktoren .....	8
2.3.2 Berechnung der Wärmeabgabe des Menschen .....	11
2.4 Stationäre Behaglichkeitskriterien .....	16
2.4.1 Globale Kriterien .....	17
2.4.2 Lokale Kriterien .....	19
2.4.3 Kombinierte stationäre Betrachtungsweise .....	23
2.5 Instationäre Bewertungskriterien .....	23
2.6 Personenmodelle .....	24
2.7 Adaptive Komfortmodelle .....	25
<b>3 Grundlagen der Wärmeübertragung</b> .....	29
3.1 Konvektion .....	29
3.2 Strahlung .....	35
3.3 Wärmeleitung .....	38
3.3.1 Wärmeleitung – ebene Wand .....	39
3.3.2 Wärmeleitung – Rohrwand .....	40
<b>4 Meteorologische Grundlagen/Heizlastberechnung</b> .....	43
4.1 Meteorologische Grundlagen .....	43
4.1.1 Außentemperatur .....	43
4.1.2 Windgeschwindigkeit .....	46
4.1.3 Solare Strahlung .....	49
4.2 Heizlastberechnung .....	50
4.2.1 Transmissionswärmeverluste .....	51

4.2.2	Lüftungswärmeverluste.....	51
4.2.3	Aufheizleistung.....	54
<b>5</b>	<b>Wärmeübergabe.....</b>	<b>57</b>
5.1	Einleitung.....	57
5.2	Freie Heizflächen.....	57
5.2.1	Leistungsbestimmung.....	57
5.2.2	Bauformen von freien Heizflächen.....	63
5.2.3	Einbau und Konstruktion von freien Heizflächen.....	67
5.3	Bauteilintegrierte Heizflächen.....	70
5.3.1	Leistungsbestimmung.....	71
5.3.2	Bauformen von bauteilintegrierten Heizflächen.....	74
5.3.3	Rohrmaterialien/Rohrverlegung/Hydraulik.....	76
5.3.4	Installation von Flächenheizungen.....	77
5.4	Strahlplattenheizungen.....	78
5.5	Luftheizungen.....	79
5.6	Hell- und Dunkelstrahler.....	82
5.6.1	Hellstrahler.....	82
5.6.2	Dunkelstrahler.....	83
<b>6</b>	<b>Wärmeverteilung.....</b>	<b>85</b>
6.1	Grundlagen.....	85
6.2	Netzberechnung.....	85
6.2.1	Druckverlust in Rohrleitungen.....	86
6.2.2	Einzeldruckverluste.....	88
6.2.3	Heizkörperventile.....	93
6.2.4	Grundzüge der Rohrnetzberechnung.....	96
6.2.5	Hydraulischer Abgleich.....	98
6.3	Umwälzpumpen.....	100
6.3.1	Grundlagen.....	100
6.3.2	Auslegung/Regelung.....	102
6.4	Hydraulik.....	110
6.4.1	Grundlagen.....	110
6.4.2	Betriebsverhalten von Stellorganen.....	112
6.4.3	Hydraulische Grundsaltungen.....	113
6.4.3.1	Hydraulische Schaltungen am Wärmeerzeuger.....	114
6.4.3.2	Hydraulische Schaltungen im Verbraucherkreis.....	117
6.4.3.3	Regelventile.....	120
6.4.4	Systeme zur hydraulischen Entkopplung.....	123
6.4.4.1	Differenzdruckloser Verteiler/Sammler.....	123
6.4.4.2	Pufferspeicher.....	125

6.4.4.3	Hydraulische Weiche .....	125
6.4.5	Druckverteilung in Pumpenwarmwasserheizungen .....	128
6.5	Netzgestaltung .....	135
6.5.1	Vertikale Rohrführung .....	135
6.5.2	Horizontale Rohrführung .....	138
6.5.3	Anordnung des Wärmeerzeugers .....	141
6.5.4	Be- und Entlüftung von hydraulischen Netzen .....	142
<b>7</b>	<b>Wärmeerzeugung .....</b>	<b>145</b>
7.1	Einleitung .....	145
7.2	Heizkessel .....	145
7.2.1	Grundlagen .....	145
7.2.2	Brennwertkessel .....	149
7.2.3	Besonderheiten bei Ölkesseln .....	150
7.2.4	Schadstoffemissionen von Heizkesseln .....	151
7.2.4.1	Staubförmige Emissionen .....	151
7.2.4.2	Gas- und dampfförmige Emissionen .....	151
7.2.5	Bilanzierung von Heizkesseln .....	153
7.3	Wärmepumpen .....	156
7.3.1	Grundlagen .....	156
7.3.2	Aufstellungsort/Wärmequellenart .....	158
7.3.2.1	Wärmequelle Wasser .....	159
7.3.2.2	Wärmequelle Luft .....	159
7.3.2.3	Wärmequelle Erdreich .....	159
7.3.3	Systemintegration .....	162
7.3.4	Betriebsarten/Regelung .....	164
7.4	KWK-Systeme .....	166
7.4.1	Grundlagen .....	167
7.4.2	KWK-Technologien .....	170
7.4.2.1	Verbrennungsmotoren .....	170
7.4.2.2	Stirlingmotoren .....	171
7.4.2.3	Brennstoffzellen .....	172
7.4.3	Systemintegration von KWK-Systemen .....	173
<b>8</b>	<b>Regelung .....</b>	<b>177</b>
8.1	Grundlagen .....	177
8.2	Örtliche Regelung .....	178
8.2.1	Zweipunktregler .....	178
8.2.2	Thermostatische Regler .....	180
8.2.3	Elektronische Regler .....	186
8.2.4	Der geschlossene Raumtemperaturregelkreis .....	187
8.2.5	Einstellregeln für Regler .....	193

8.3	Zentrale Regelung . . . . .	198
8.3.1	Konstante Vorlauftemperatur . . . . .	198
8.3.2	Witterungsgeführte Vorlauftemperatur . . . . .	198
8.3.3	Witterungsgeführte Vorlauftemperatur – teilweiser Informationsverbund . . . . .	202
8.3.4	Witterungsgeführte Vorlauftemperatur – vollständiger Informationsverbund . . . . .	203
8.3.5	Wärmeerzeugersteuerung/-regelung . . . . .	204
<b>9</b>	<b>Trinkwassererwärmung/Thermische Solarsysteme/Wärmespeicher . . . . .</b>	<b>209</b>
9.1	Trinkwassererwärmung . . . . .	209
9.1.1	Anforderungen . . . . .	209
9.1.2	Systeme . . . . .	210
9.1.3	Regelung und Kombination mit Wärmeerzeugern . . . . .	214
9.1.4	Warmhaltung des Trinkwassers . . . . .	216
9.1.5	Bemessung von Trinkwassererwärmungssystemen . . . . .	219
9.1.5.1	Warmwasserbedarf . . . . .	219
9.1.5.2	Bemessung zentraler Speicher-Wassererwärmer . . . . .	220
9.1.5.3	Bemessung zentraler Durchfluss-Wassererwärmer . . . . .	226
9.1.5.4	Bemessung von Zirkulationssystemen . . . . .	226
9.2	Thermische Solarsysteme . . . . .	228
9.2.1	Solarkollektorbauarten . . . . .	229
9.2.1.1	Flachkollektoren . . . . .	230
9.2.1.2	Vakuum-Röhrenkollektoren . . . . .	231
9.2.1.3	Luftkollektoren . . . . .	232
9.2.2	Energetische Bewertung . . . . .	233
9.2.3	Installation . . . . .	235
9.3	Wärmespeicher . . . . .	238
9.3.1	Druckspeicher . . . . .	239
9.3.2	Drucklose Speicher . . . . .	240
9.3.3	Auslegungshinweise . . . . .	241
<b>10</b>	<b>Heizkostenerfassung . . . . .</b>	<b>243</b>
10.1	Heizkostenverteiler . . . . .	243
10.1.1	Grundlagen . . . . .	243
10.1.2	Bauarten von Heizkostenverteilern . . . . .	246
10.1.2.1	Heizkostenverteiler nach dem Verdunstungsprinzip . . . . .	246
10.1.2.2	Elektronische Heizkostenverteiler . . . . .	246
10.2	Wärmemengenzähler . . . . .	247
10.3	Anordnung von Heizkostenverteilern . . . . .	247
<b>11</b>	<b>Sicherheitstechnik von Heizungsanlagen . . . . .</b>	<b>249</b>
11.1	Physikalisch abgesicherte Wärmeerzeugungsanlagen . . . . .	249
11.2	Thermostatisch abgesicherte Wärmeerzeugungsanlagen . . . . .	250

11.3	Auslegung.....	252
11.3.1	Ausdehnungsgefäß.....	252
11.3.2	Bemessung von sicherheitstechnischen Einrichtungen .....	252
11.3.3	Druckhalteanlagen.....	254
<b>12</b>	<b>Energetische Bilanzierung von Heizungsanlagen .....</b>	<b>255</b>
12.1	Grundlagen .....	255
12.1.1	Hintergrund.....	255
12.1.2	Bilanzierungsverfahren in Deutschland.....	256
12.2	Energetische Bewertung nach DIN V 18599/DIN V 4701-10.....	258
12.2.1	Allgemeines .....	258
12.2.2	Nutzenergie und Zonenbilanz.....	259
12.2.3	Bilanzierung von Heizungsanlagen .....	260
12.2.4	Wärmeübergabe .....	261
12.2.5	Wärmeverteilung .....	262
12.2.6	Wärmespeicherung .....	264
12.2.7	Wärmeerzeugung .....	265
12.2.8	Primärenergiefaktoren .....	266
12.2.9	CO <sub>2</sub> -Emissionen .....	268
12.3	Erfüllung der Anforderungen von EnEV, EEWärmeG und KfW.....	269
<b>13</b>	<b>Numerische Simulation .....</b>	<b>273</b>
13.1	Einleitung.....	273
13.1.1	Thermische Gebäudesimulation.....	273
13.1.2	Thermische Gebäude- und Anlagensimulation .....	274
13.1.3	Strömungssimulation.....	274
13.2	Prozesscharakter der Modellbildung und Simulation.....	275
13.3	Modellbildung.....	278
13.3.1	Modelleigenschaften und Modellklassen .....	278
13.3.2	Theoretisch begründete Modelle .....	279
13.3.3	Empirische Modelle.....	282
13.3.4	Halbempirische Modelle.....	283
13.3.5	Algorithmische Modelle.....	284
13.4	Simulation/Simulationsprogramme.....	284
13.4.1	Simulation .....	284
13.4.2	Simulationsprogramme.....	286
13.4.3	Sonderformen der Simulation.....	287
13.5	Numerische Simulation von Heizungsanlagen.....	289
13.5.1	Vorgehensweise/Anforderungen .....	289
13.5.2	Modellierung Hydraulik.....	290
13.5.3	Teilkomponenten Wärmeübergabe/-verteilung/-erzeugung .....	292
13.5.3.1	Rohr.....	292

13.5.3.2	Heizkörper .....	294
13.5.4	Ventile .....	295
13.5.5	Wärmeerzeugung .....	295
13.5.5.1	Motorische KWK-Systeme .....	295
13.5.5.2	Wärmepumpen .....	298
13.5.5.3	Brennwertgeräte .....	299
<b>Literatur</b> .....		<b>301</b>
<b>A</b>	<b>Grundsymbole heizungstechnischer Anlagen</b> .....	<b>311</b>
<b>B</b>	<b>Physikalische Größen und Konstanten</b> .....	<b>313</b>
B.1	Ausgewählte physikalische Größen .....	313
B.2	Ausgewählte Konstanten .....	314
<b>C</b>	<b>Stoffdaten</b> .....	<b>315</b>
<b>D</b>	<b>Komplexbeispiel-1</b> .....	<b>319</b>
D.1	Aufgabenstellung .....	319
D.2	Lösungsweg .....	319
<b>E</b>	<b>Komplexbeispiel-2</b> .....	<b>321</b>
E.1	Aufgabenstellung .....	321
E.2	Lösungsweg .....	321
<b>F</b>	<b>Komplexbeispiel-3</b> .....	<b>325</b>
F.1	Aufgabenstellung .....	325
F.2	Lösungsweg .....	326
<b>G</b>	<b>Komplexbeispiel-4</b> .....	<b>331</b>
G.1	Aufgabenstellung .....	331
G.2	Lösungsweg .....	332
<b>H</b>	<b>Kontrollfragen</b> .....	<b>335</b>
<b>Stichwortverzeichnis</b> .....		<b>339</b>