

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einleitung und Definitionen</b>	<b>1</b>
1.1 Arten der Wärmeübertragung .....	3
1.2 Definitionen .....	5
1.2.1 Wärmestrom und Wärmestromdichte .....	5
1.2.2 Wärmeübergangszahl und Wärmedurchgangszahl .....	5
1.2.3 Kinetische Kopplungsgleichungen .....	7
1.2.4 Mittlere Temperaturdifferenz .....	7
1.2.5 Energiebilanzgleichung .....	9
1.2.6 Wärmeleitfähigkeit .....	11
1.3 Problemlösungsmethodik .....	11
<b>2 Wärmeleitung in ruhenden Stoffen</b>	<b>17</b>
2.1 Stationäre Wärmeleitung .....	17
2.1.1 Wärmeleitung in einer ebenen Wand .....	18
2.1.2 Wärmeübergang durch mehrere ebene Wände .....	22
2.1.3 Wärmeleitung in einem Hohlzylinder .....	25
2.1.4 Hohlzylinder mit mehreren Schichten .....	29
2.1.5 Wärmeleitung in einer Hohlkugel .....	33
2.1.6 Wärmeleitung mit seitlichem Wärmetransfer (Rippen) .....	36
2.1.6.1 Temperaturverlauf in der Rippe .....	37
2.1.6.2 Temperatur am Ende der Rippe .....	39
2.1.6.3 Wärmestrom am Anfang der Rippe .....	39
2.1.6.4 Rippenwirkungsgrad .....	40
2.1.6.5 Anwendbarkeit für andere Geometrien .....	41
2.2 Instationäre Wärmeleitung .....	45
2.2.1 Eindimensionale instationäre Wärmeleitung .....	45
2.2.1.1 Bestimmung der zeitlichen Temperaturänderung .....	45
2.2.1.2 Bestimmung der transferierten Wärme .....	49
2.2.1.3 Spezielle Lösungen für kurze Zeiten .....	60
2.2.2 Gekoppelte Systeme .....	62
2.2.3 Sonderfälle bei $Bi = 0$ und $Bi = \infty$ .....	64
2.2.4 Temperaturänderung bei kleinen Biotzahlen .....	65
2.2.4.1 Ein kleiner Körper taucht in ein Fluid großer Masse .....	65
2.2.4.2 Ein Körper taucht in ein Fluid mit vergleichbarer Masse .....	68
2.2.4.3 Wärmetransfer durch einen strömenden Wärmeträger ...	70

<b>3</b>	<b>Erzwungene Konvektion</b>	<b>73</b>
3.1	Kennzahlen	74
3.1.1	Nußeltzahl	74
3.1.2	Reynoldszahl	75
3.1.3	Prandtlzahl	75
3.2	Bestimmung der Wärmeübergangszahlen	75
3.2.1	Rohrströmung	76
3.2.1.1	Turbulente Rohrströmung	76
3.2.1.2	Laminare Rohrströmung bei konstanter Wandtemperatur	78
3.2.1.3	Gleichungen für den Übergangsbereich	79
3.2.1.3	Rohre und Kanäle nicht kreisförmigen Querschnitts	86
3.2.2	Ebene Wand	90
3.2.3	Quer angeströmte Einzelkörper	90
3.2.4	Quer angeströmte Rohrbündel	95
3.2.5	Rohrbündel mit Umlenkblechen	102
3.3	Rippenrohre	102
3.3.1	Kreisrippenrohre	105
<b>4</b>	<b>Freie Konvektion</b>	<b>111</b>
4.1	Freie Konvektion an vertikalen, ebenen Wänden	112
4.1.1	Geneigte, ebene Flächen	117
4.2	Horizontale, ebene Flächen	119
4.3	Freie Konvektion an gekrümmten Flächen	120
4.3.1	Horizontaler Zylinder	120
4.3.2	Kugel	122
4.4	Überlagerung freier und erzwungener Konvektion	122
<b>5</b>	<b>Kondensation</b>	<b>123</b>
5.1	Filmkondensation reiner, ruhender Dämpfe	123
5.1.1	Laminare Filmkondensation	123
5.1.1.1	Kondensation gesättigten Dampfes an einer senkrechten Wand	123
5.1.1.2	Einfluss der veränderlichen Wandtemperatur	127
5.1.1.3	Kondensation nassen oder überhitzten Dampfes	128
5.1.1.4	Kondensation an geneigten Wänden	128
5.1.1.5	Kondensation an waagerechten Rohren	129
5.1.2	Turbulente Filmkondensation	129
5.2	Dimensionslose Darstellung	129
5.2.1	Lokale Wärmeübergangszahlen	130
5.2.2	Mittlere Wärmeübergangszahlen	131
5.2.3	Kondensation an waagerechten Rohren	132
5.2.4	Vorgehen bei der Berechnung der Wärmeübergangszahlen	132
5.2.5	Druckverlust in Rohrbündeln mit waagerechten Rohren	139

5.3	Kondensation strömender, reiner Dämpfe .....	143
5.3.1	Kondensation innerhalb senkrechter Rohre .....	145
5.3.1.1	Gleichstrom (abwärts gerichtete Dampfströmung) .....	145
5.3.1.2	Gegenstrom (Dampfströmung nach oben) .....	147
5.3.2	Kondensation in durchströmten, waagerechten Rohren .....	150
<b>6</b>	<b>Verdampfung</b> .....	<b>163</b>
6.1	Behältersieden .....	163
6.1.1	Sieden bei freier Konvektion .....	165
6.1.2	Blasensieden .....	165
6.2	Sieden bei erzwungener Konvektion .....	174
6.2.1	Unterkühltes Sieden .....	174
6.2.2	Konvektives Strömungssieden .....	175
<b>7</b>	<b>Strahlung</b> .....	<b>181</b>
7.1	Grundgesetz der Temperaturstrahlung .....	182
7.2	Bestimmung der Wärmestromdichte der Strahlung .....	184
7.2.1	Intensität und Richtungsverteilung der Strahlung .....	184
7.2.2	Emissionsverhältnisse technischer Oberflächen .....	185
7.2.3	Wärmeaustausch zwischen Flächen .....	186
7.2.3.1	Gleich große, parallele graue Platten .....	188
7.2.3.2	Umschlossene Körper .....	190
7.3	Gasstrahlung .....	198
7.3.1	Emissionsverhältnisse von Rauchgasen .....	199
7.3.1.1	Emissionsverhältnisse des Wasserdampfes .....	200
7.3.1.2	Emissionsverhältnisse des Kohlendioxids .....	200
7.3.2	Wärmeaustausch zwischen Gas und Wand .....	200
<b>8</b>	<b>Wärmeübertrager</b> .....	<b>207</b>
8.1	Definitionen und grundlegende Gleichungen .....	207
8.2	Berechnungskonzepte .....	210
8.2.1	Zellenmethode .....	210
8.2.2	Berechnung mit der mittleren Temperatur .....	215
8.3	Verschmutzungswiderstand .....	228
<b>Anhang</b>	<b>.....</b>	<b>233</b>
A1:	Wichtige physikalische Konstanten .....	233
A2:	Stoffwerte unterkühlten Wassers bei 1 bar Druck .....	234
A3:	Stoffwerte gesättigten Wassers und Dampfes .....	236
A4:	Stoffwerte des Wassers und Dampfes .....	238
A5:	Stoffwerte des Wassers und Dampfes .....	239
A6:	Stoffwerte des Frigens 134a auf der Sättigungslinie .....	240
A7:	Stoffwerte der Luft bei 1 bar Druck .....	242
A8:	Stoffwerte der Feststoffe .....	243

A9: Stoffwerte technischer Wärmeträger auf Mineralölbasis .....	244
A10: Stoffwerte der Kraftstoffe bei 1,013 bar .....	245
A11: Emissionskoeffizienten verschiedener Oberflächen .....	246
<b>Sachverzeichnis</b>	<b>249</b>
<b>Literatur</b>	<b>253</b>
<b>Deutsch-Englisch-Glossar</b>	<b>257</b>