

## Inhaltsverzeichnis

### Formalzeichen

vii

<b>1</b>	<b>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</b>	<b>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 Umlenklechen .....	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) .....	146
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
7.3.1.1	Emissionsverhältnisse des Kohlendioxyds .....	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>233</b>
A1: Wichtige physikalische Konstanten .....	233
A2: Stoffwerte unterkühlten Wassers bei 1 bar Druck .....	234
A3: Stoffwerte gesättigten Wassers und Dampfes .....	235
A4: Stoffwerte des Wassers und Dampfes .....	236
A5: Stoffwerte des Wassers und Dampfes .....	237
A6: Stoffwerte des Frigens 134a auf der Sättigungslinie .....	238
A7: Stoffwerte der Luft bei 1 bar Druck .....	239
A8: Stoffwerte de Feststoffe .....	240
A9: Stoffwerte technischer Wärmeträger auf Mineralölbasis .....	241
A10: Stoffwerte der Kraftstoffe bei 1,013 bar .....	242
A11: Emissionskoeffizienten verschiedener Oberflächen .....	243
<b>Sachverzeichnis</b>	<b>246</b>
<b>Literatur</b>	<b>249</b>
<b>Deutsch-Englisch Glossar</b>	<b>252</b>