

Inhaltsverzeichnis

Formalzeichen

vii

1	Einleitung und Definitionen	1
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
2	Wärmeleitung in ruhenden Stoffen	17
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
3	Erzwungene Konvektion	73
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
4	Freie Konvektion	111
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
5	Kondensation	123
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
6	Verdampfung	163
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
7	Strahlung	181
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
8	Wärmeübertrager	207
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

Anhang	233
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
Sachverzeichnis	246
Literatur	249
Deutsch-Englisch Glossar	252