

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	5
Formelzeichen und Einheiten	11
1 Einleitung	17
2 Wärmeleitung	19
2.1 Stationäre Wärmeleitung	19
2.1.1 Wärmeleitfähigkeit	20
2.1.2 Wärmeleitung durch eine ebene Wand	20
2.1.3 Wärmeleitung durch einen Hohlzylinder	22
2.1.4 Wärmeleitung durch eine Hohlkugel	24
2.1.5 Berücksichtigung von Wärme-Übergangswiderständen bei der Wärmeleitung	25
2.2 Wärmeleitung mit gleichzeitigem Wärmeübergang an der Oberfläche	26
2.2.1 Langer Stab	27
2.2.2 Kurzer Stab	28
2.2.3 Wärmestrom am Stabanfang	30
2.2.4 Rippenwirkungsgrad	31
2.3 Instationäre Wärmeleitung	32
2.3.1 Ableitung der Grundgleichung	32
2.3.2 Differentialgleichung des Temperaturfeldes	33
2.3.3 Mathematische Lösung des Temperaturfeldes	34
2.3.3.1 Grenzbedingungen für die größtmöglichen Temperaturunterschiede	39
2.3.3.2 Asymptotische Näherungsgleichungen für die praktische Berechnung	42
2.3.4 Zeichnerische Lösung des Temperaturfeldes	43
2.4 Gekoppelte Systeme	45
2.5 Wärmeausgleichsprobleme	47
2.5.1 Ein Körper mit kleiner Abmessung taucht in ein großes Fluidbecken	47
2.5.2 Ein Körper mit kleinen Abmessungen taucht in ein kleines, gedämmtes Fluidbecken	47
2.5.3 Energiezufuhr unter Abkühlung des Wärmeträgers	49
2.6 2-dimensionale Wärmeleitung	50
2.7 Aufgaben und Lösungen	51
3 Konvektion	67
3.1 Wärmeübergang	67
3.2 Nusselt-Kennzahl	68
3.3 Grenzschicht	68
3.3.1 Wärmestromgleichung der Temperaturgrenzschicht	68
3.3.2 Strömungsgrenzschicht	70
3.3.3 Temperaturgrenzschicht	71
3.3.4 Bestimmung der Grenzschichtdicken aus dem Druckverlust	72
3.3.5 Turbulente Grenzschicht	74
3.4 Randbedingungen	80
3.4.1 REYNOLDS-Zahl	80
3.4.2 PRANDTL-Zahl	80
3.4.3 Bezugstemperatur für Stoffwerte	81
3.4.4 Richtung des Wärmestroms	81
3.4.5 Anlaufbedingungen	82
3.4.6 Rauigkeit	87
3.4.7 Gekrümmte Rohre	88
3.4.8 Nichtkreisförmige Querschnitte	89
3.4.8.1 Strömung durch Ringspalte	90
3.4.8.2 Ebener Spalt	91

3.5	Medien mit sehr kleinen Pr -Zahlen (flüssige Metalle)	91
3.6	Überströmter Einzelkörper	92
3.6.1	Wärmeübergang im Staupunkt	95
3.7	Quer angeströmte Rohrreihen und Rohrbündel	97
3.7.1	Rohrbündel mit Umlenklechen	99
3.8	Berippte Oberflächen	100
3.8.1	Wärmeübergang bezogen auf den Rohraußendurchmesser d_a	100
3.8.2	Wärmeübertragung bezogen auf die äußere Gesamtoberfläche A	104
3.9	Freie Konvektion	108
3.9.1	Freie Konvektion in Fluidschichten	111
3.9.2	Freie Konvektion bei Luft	112
3.9.3	Überlagerung von erzwungener und freier Strömung	112
3.9.3.1	Überlagerung von freier und erzwungener Konvektion bei Luft	113
3.10	Aufgaben und Lösungen	115
4	Kondensation	127
4.1	Filmkondensation bei ruhendem Sattedampf	127
4.1.1	Filmdicke	127
4.2	Dimensionslose Darstellung	129
4.3	Turbulente Kondensatströmung	130
4.4	Geneigte Wand und waagerechte Rohre	130
4.5	Kondensation von strömendem Sattedampf	131
4.6	Kondensation von überhitztem Dampf (Heißdampf)	132
4.7	Kondensation vom Dämpfen mit inerten Gasen	132
4.8	Aufgaben und Lösungen	134
5	Verdampfung	141
5.1	Sieden bei freier Konvektion	143
5.2	Blasensieden	143
5.3	Kritische Wärmestromdichte	146
5.4	Filmsieden	146
5.5	Verdampfung mit erzwungener Strömung in Rohren	147
5.5.1	1-phasige Flüssigkeitsströmung	149
5.5.2	Unterkühltes Sieden	149
5.5.3	Blasensieden (Sättigungssieden)	149
5.5.4	Stilles Sieden	151
5.5.5	Filmsieden	152
5.5.6	Kritische Wärmestromdichte	152
5.6	Aufgaben und Lösungen	154
6	Strahlung	159
6.1	Grundgesetz der Temperaturstrahlung	160
6.2	Das STEFAN-BOLTZMANNsche Gesetz	161
6.3	Die LAMBERTschen Gesetze	164
6.3.1	Spektrale Strahldichte einer schwarzen Fläche	165
6.4	Strahlungsaustausch	168
6.4.1	Strahlungsaustausch in einem offenen System	168
6.4.2	Strahlungsaustausch in einem umschlossenen System	176
6.4.3	Strahlungsaustausch zwischen mehreren Oberflächen	176
6.4.4	Strahlung an Rohrreihen	178
6.5	Strahlung von Gasen	179
6.5.1	Strahlungsaustausch zwischen Gas und Wand	183
6.6	Staubstrahlung	185
6.6.1	Gas- und Staubstrahlung	187
6.7	Wärmestrahlung von Flammen	188
6.7.1	Flammenabmessungen	188
6.7.2	Flammentemperaturen	189
6.7.3	Wärmeübertragung im Flammenraum	190
6.7.4	Emissionsgrad ϵ_H der Flamme	190

6.8	Wärmeübergangskoeffizient durch Strahlung	191
6.9	Aufgaben und Lösungen	193
7	Spezialformen der Wärmeübertragung	201
7.1	Wirbelschicht	201
7.1.1	Druckverlust der wirbelnden Partikelmasse	201
7.1.2	Grenzgeschwindigkeiten	202
7.1.3	Wärmeübergang	202
7.2	Wärmerohr	203
7.2.1	Kapillardruck	203
7.3	Rührkessel	205
7.3.1	Wärmeübertragung durch aufgeschweißte Halbrohrschlangen	206
7.4	Rieselfilme	208
7.5	Durchströmte ruhende Schüttungen	210
7.6	Prallströmung aus einzelnen Rund- und Schlitzdüsen	211
7.7	Wärmeübertragung im Vakuumbereich	212
7.7.1	Wärmeübergang im Gebiet mäßig verdünnter Gase	213
8	Wärmeübertragung durch Stofftransport	215
8.1	Diffusion	215
8.2	Stoffübergang	218
8.3	Verdunstung von Wasserdampf in Luft	221
8.4	Wärmeübertragung mittels Stoffstrom am Beispiel feuchter Luft	223
8.4.1	Physikalische Vorgänge bei der Entfeuchtung von Luft	224
8.4.2	Befeuchtung von Luft (Trocknung)	226
8.5	Aufgaben und Lösungen	230
9	Wärmedurchgang	237
9.1	Beeinflussung des Wärmedurchgangs mit Schutzschichten und Verschmutzung	237
9.1.1	Foulingwiderstand	238
10	Zusammenfassung der wichtigsten Gleichungen	241
11	Stoffwerte	263
	Literaturverzeichnis	281
	Stichwortverzeichnis	283