

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	XI
Symbolverzeichnis	XIII
1 Einleitung	1
2 Excel mit VBA für energietechnische Anwendungen	3
2.1 Einrichten von Berechnungsblättern in Excel	4
2.2 Grundlagen und Tipps zu VBA	7
2.3 Anwendung des Solvers	15
2.4 Anwendung benutzerdefinierter Funktionen	17
2.4.1 Berechnungen zum Wärmeübergang innendurchströmter Rohre	17
2.4.2 Berechnung der Dichte eines idealen Gases	20
2.4.3 Berechnung des Sättigungsdampfdrucks und der Sättigungstemperatur	21
2.4.4 Berechnung der Dichte eines realen Gases	26
2.4.5 Kurzbeschreibungen zu benutzerdefinierten Funktionen	31
2.5 Erstellung und Verwendung von Add-Ins	32
2.6 Ermittlung von Ausgleichsfunktionen	33
3 Thermophysikalische Stoffwerte und Stoffwertekorrelationen	37
3.1 Stoffwerte aus dem VDI-Wärmeatlas	37
3.2 Stoffwertekorrelationen für Gase und Flüssigkeiten	39
3.2.1 Dichte von Gasen und Flüssigkeiten	40
3.2.2 Spezifische Wärmekapazitäten von Gasen und Flüssigkeiten . .	41
3.2.3 Wärmeleitfähigkeit, dynamische Viskosität und Oberflächenspannung	42
3.2.4 Sättigungsdampfdruck und spezifische Verdampfungsenthalpie .	43
3.3 Beispielhaft berechnete Stoffwerte für Luft, Wasser und Ethen	44
4 Energiebilanzierung, Definitionen, Wärme, Entropie	51
4.1 Erster Hauptsatz, Energieformen, Energietransport und Wärme	52
4.2 Erster Hauptsatz für geschlossene Systeme	54
4.3 Erster Hauptsatz für offene Systeme	61
4.4 Zweiter Hauptsatz, Entropie und Exergie	73
5 Grundlagen der Wärmeübertragung	81
5.1 Grundsätzliche Arten der Wärmeübertragung	81
5.2 Wärmeleitung	83
5.3 Konvektiver Wärmeübergang	87

5.4	Wärmestrahlung	91
5.5	Wärmewiderstände und Wärmedurchgang	98
5.5.1	Wärmewiderstände	99
5.5.2	Gesamtwärmewiderstand, Wärmedurchgang durch eine einschichtige Wand	100
5.5.3	Wärmedurchgang durch mehrschichtige Wände	102
5.6	Bauarten von Wärmeübertragern	115
6	Wärmeleitung	119
6.1	Grundlagen der Wärmeleitung	119
6.2	Eindimensionale instationäre Wärmeleitung	124
6.2.1	Analytische Lösung für Platten, Zylinder und Kugeln	125
6.2.2	Numerische Lösung für den Zylinder	145
6.3	Zweidimensionale stationäre Wärmeleitung	155
7	Wärmestrahlung	167
7.1	Strahlungsphysikalische Grundlagen	168
7.2	Strahlung Schwarzer Körper	168
7.3	Solarstrahlung	170
7.3.1	Extraterrestrische Solarstrahlung	170
7.3.2	Solarstrahlung in der Erdatmosphäre	174
7.4	Geometrische Betrachtungen	190
7.5	Strahlungsaustausch und Strahlungsschutzschirme	202
7.6	Grundlagen der Fotometrie	208
8	Konvektiver Wärmeübergang	221
8.1	Grenzschichten, laminare und turbulente Strömung	222
8.2	Wärmeübergang bei erzwungener Konvektion	229
8.2.1	Längsangeströhte ebene Platten	231
8.2.2	Quer angeströhte Rohre oder Drähte	237
8.2.3	Quer angeströhte Rohrreihen und Rohrbündel	242
8.2.4	Durchströmte Rohre	250
8.2.5	Durchströmte konzentrische Ringspalte	281
8.3	Wärmeübergang bei freier Konvektion und bei Mischkonvektion	289
9	Wärmeübergang beim Kondensieren	299
9.1	Arten der Kondensation	299
9.2	NUSSELTsche Wasserhauttheorie	301
9.3	Filmkondensation an senkrechten Flächen und senkrechten Rohren	302
9.4	Filmkondensation an waagerechten Rohren	304
10	Wärmeübergang beim Sieden	313
10.1	Siedebereiche	313
10.2	Wärmeübergang beim Behältersieden (freie Konvektion)	317
10.3	Wärmeübergang beim Strömungssieden (erzwungene Konvektion)	322

11 Auslegung, Berechnung und Simulation von Wärmeübertragern	335
11.1 Simulation der Abkühlung eines flüssigkeitsgefüllten Behälters	335
11.2 Clean Air Duct – Temperaturverlauf in einer nichtadiabaten Rohrleitung	343
11.3 Auslegung eines Doppelrohr-Wärmeübertragers	357
11.4 Berechnung eines Rohrbündel-Wärmeübertragers	372
11.5 Anwendung des Konzepts unter Verwendung der NTU-Werte	383
11.6 Nachrechnung des Heat Rejection Subsystems der Raumstation ISS . .	390
12 Mathematische Hilfsmittel	399
12.1 Normzahlen nach RENARD	399
12.2 Numerische Integration	400
12.2.1 Interpolatorische Integrationsformeln	400
12.2.2 Integration einer Differentialgleichung erster Ordnung	406
12.3 Diskretisierung des eindimensionalen LAPLACE-Operators	411
Abbildungsverzeichnis	413
Tabellenverzeichnis	419
Listingsverzeichnis	421
Literaturverzeichnis	423
Stichwortverzeichnis	433