

Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis der illustrierenden Beispiele	XIV
Formelzeichen	XV
1 Einführende Beispiele	1
1.1 Zwei Beispiele aus dem Alltag	1
1.2 Zwei Beispiele aus technischen Anwendungen	2
2 Begriffs- und Zielbestimmung	3
2.1 Was ist „Wärme“?	3
2.2 Was ist „Wärmeübertragung“?	4
2.3 Was ist eine „gute Wärmeübertragung“?	4
2.4 Was soll das Fachgebiet „Wärmeübertragung“ leisten können?	6
3 Dimensionsanalytische Überlegungen	9
3.1 Vorüberlegungen	9
3.2 Das Π -Theorem	9
3.3 Anwendung des Π -Theorems auf Probleme der Wärmeübertragung	11
3.4 Kennzahlen versus empirische Koeffizienten	13
3.5 Untersuchungen im Modellmaßstab	13
4 Allgemeine Betrachtungen zum Wärmeübergang an Systemgrenzen	15
4.1 Kurz-Charakterisierung verschiedener Wärmeübertragungssituationen	15
4.2 Leitungsbasierter Energietransport über eine Systemgrenze	15
4.3 Thermische Randbedingungen, konjugierte Probleme	17
4.4 Entropieproduktion bei der Wärmeübertragung	18
4.5 Der Grenzfall reversibler Wärmeübertragung	20
5 Wärmeleitung	21
5.1 Energiebilanz	21
5.2 Fourier-Ansatz als konstitutive Gleichung	23
5.3 Stationäre, eindimensionale Wärmeleitung	25
5.4 Wärmedurchgang	28
5.5 Instationäre Wärmeleitung, Einfluss der Biot-Zahl	29
5.6 Instationäre Wärmeleitung in einer halbinendlichen ebenen Wand	32
5.7 Übungsaufgaben zur Wärmeleitung	47
5.7.1 Übungsaufgaben und Ergebnisse	47
5.7.2 Lösungswege	51
6 Konvektiver Wärmeübergang	63
6.1 Die Physik des konvektiven Wärmeüberganges	63

6.1.1	Konvektiver Wärmeübergang für $\lambda^* \rightarrow \infty$	66
6.1.2	Konvektiver Wärmeübergang bei homogenen Geschwindigkeitsprofilen	67
6.1.3	Konvektiver Wärmeübergang bei turbulenten Strömungen	69
6.1.4	Wärmeübergang bei natürlicher Konvektion entlang von Wänden	71
6.1.5	Systematik bei konvektiven Wärmeübergängen	73
6.2	Grundgleichungen zur Beschreibung des konvektiven Wärmeüberganges	74
6.2.1	Grundgleichungen für konstante Stoffwerte	75
6.2.2	Bezugszustand für konstante Stoffwerte	77
6.2.3	Berücksichtigung variabler Stoffwerte	78
6.3	Erzwungene Konvektion, laminare Strömung	79
6.3.1	Wärmeübergang bei Körperumströmungen, laminar	79
6.3.2	Wärmeübergang bei Durchströmungen, laminar	85
6.4	Erzwungene Konvektion, turbulente Strömung	89
6.4.1	Wärmeübergang bei Körperumströmungen, turbulent	90
6.4.2	Wärmeübergang bei Durchströmungen, turbulent	94
6.5	Natürliche Konvektion bei Körperumströmungen, laminar	97
6.6	Komplexe, technisch bedeutende konvektive Wärmeübergangs-Situationen	99
6.6.1	Wärmeübergang am querangeströmten Kreiszylinder	100
6.6.2	Wärmeübergang an querangeströmten Kreiszylinder-Bündeln	101
6.6.3	Wärmeübergang bei Prallstrahlen	102
6.7	Bewertungskriterien für konvektive Wärmeübergänge	104
6.7.1	Ökonomische Analyse konvektiver Wärmeübertragung	105
6.7.2	Exergetische Analyse konvektiver Wärmeübertragung	108
6.8	Schlussbemerkung zum konvektiven Wärmeübergang	109
6.9	Übungsaufgaben zur konvektiven Wärmeübertragung	117
6.9.1	Übungsaufgaben und Ergebnisse	118
6.9.2	Lösungswege	122
7	Zweiphasen-Wärmeübergang	135
7.1	Die Physik des Zweiphasen-Wärmeüberganges	135
7.2	Dimensionsanalyse und Systematik bei Zweiphasen-Wärmeübergängen	138
7.3	Kondensation	140
7.3.1	Filmkondensation	140
7.3.2	Tropfenkondensation	143
7.3.3	Strömungskondensation	145
7.4	Sieden	146
7.4.1	Behältersieden	146
7.4.2	Strömungssieden	152
7.5	Übungsaufgaben zum Zweiphasen-Wärmeübergang	160
7.5.1	Übungsaufgaben und Ergebnisse	160
7.5.2	Lösungswege	162
8	Wärmeübergang durch Strahlung	167
8.1	Die Physik elektromagnetischer Energieübertragung (Wärmestrahlung)	167
8.2	Globalbilanzen	169
8.2.1	Generelles Vorgehen	170
8.3	Ideales Strahlungsverhalten / Schwarze Körper	171

8.3.1	Das Emissionsverhalten Schwarzer Körper	171
8.3.2	Das Absorptionsverhalten Schwarzer Körper	175
8.3.3	Die Realisierung Schwarzer Körper / Hohlraumstrahlung	176
8.4	Reales Strahlungsverhalten / Reale Körper	177
8.4.1	Das Emissionsverhalten realer Körper im Vergleich zum Schwarzen Körper	178
8.4.2	Das Absorptionsverhalten realer Körper im Vergleich zum Schwarzen Körper	180
8.4.3	Das Reflexionsverhalten realer Körper	182
8.4.4	Das Transmissionsverhalten realer Körper	182
8.5	Strahlungsaustausch zwischen Körpern	183
8.5.1	Sichtfaktoren für zwei Flächen im Strahlungsaustausch	184
8.5.2	Strahlungsaustausch zwischen zwei Schwarzen Körpern	187
8.5.3	Strahlungsaustausch zwischen Grauen Lambert-Strahlern	187
8.6	Gasstrahlung	189
8.6.1	Die optische Dicke von Gasschichten	190
8.6.2	Absorption und Emission von Gasräumen	190
8.7	Besonderheiten bei der Solarstrahlung	191
8.7.1	Extraterrestrische Solarstrahlung	192
8.7.2	Terrestrische Solarstrahlung	193
8.8	Übungsaufgaben zum Wärmeübergang durch Strahlung	199
8.8.1	Übungsaufgaben und Ergebnisse	200
8.8.2	Lösungswege	205
9	Wärmetechnische Apparate	215
9.1	Wärmeübertrager	215
9.1.1	Bauformen	215
9.1.2	Globalanalyse	216
9.1.3	Verschmutzungen (Fouling)	217
9.2	Kondensatoren	218
9.3	Verdampfer	220
9.4	Wärmespeicher	221
9.4.1	Auswahl- und Auslegungskriterien	223
9.4.2	Bauformen und Speichermedien	224
10	Messung von Temperaturen und Wärmeströmen	231
10.1	Temperaturmessungen	231
10.1.1	Berührungsbehaftete Messmethoden	231
10.1.2	Berührungsfreie Messmethoden	234
10.1.3	Temperaturmessungen an Körperoberflächen	235
10.2	Wärmestrommessungen	236
10.2.1	Messprinzipien	236
11	Schlussbetrachtung	241
11.1	Die zwei Beispiele aus dem Alltag	241
11.2	Zehn mal „Warum ...?“	242
11.2.1	Fragen	242
11.2.2	Antworten	243

A	Arbeitsblätter	247
B	Stoffwerte	272
C	Standard-Werke zur Wärmeübertragung	274
D	Fachbegriffe Deutsch ↔ Englisch	275