
Rudi Marek

Klaus Nitsche

Praxis der Wärmeübertragung

Grundlagen – Anwendungen – Übungsaufgaben

5., überarbeitete Auflage

Mit 778 Abbildungen, 62 Tabellen, 50 vollständig durchgerechneten Beispielen sowie 168 Übungsaufgaben mit über 300 Seiten ausführlicher Lösungen zum Download

HANSER

Inhaltsverzeichnis

1	Grundlagen der Wärmeübertragung	15
1.1	Praktische Bedeutung	15
1.2	Wärme, Wärmestrom, Wärmestromdichte	16
1.3	Temperatur und Temperaturfelder	17
1.4	Wärmetransportmechanismen	18
1.4.1	Arten des Wärmetransports	19
1.4.2	Wärmeleitung	19
1.4.3	Konvektion	20
1.4.4	Wärmestrahlung	21
1.5	Fourier'sche Wärmeleitungsgleichung	22
1.5.1	Mehrdimensionale instationäre Wärmeleitung mit inneren Wärmequellen	22
1.5.2	Koordinatenunabhängige Schreibweise	23
1.5.3	Eindimensionale instationäre Wärmeleitung	23
1.5.4	Stationäre Wärmeleitung mit Wärmequellen	23
1.5.5	Stationäre Wärmeleitung ohne Wärmequellen	23
1.6	Anfangs- und Randbedingungen	24
1.6.1	Anfangsbedingungen	24
1.6.2	Randbedingungen	24
1.6.3	Koppelbedingungen	25
1.7	Elektrische Analogie	25
1.7.1	Thermische Widerstände und Leitwerte	26
1.7.2	Spezifische thermische Widerstände und Leitwerte	26
1.7.3	Wärmedurchgangskoeffizient und Wärmedurchgangswiderstand	27
1.7.4	Reihenschaltung thermischer Widerstände	27
1.7.5	Parallelschaltung thermischer Widerstände	28
1.7.6	Thermischer Kontaktwiderstand	28
1.7.7	3/4-Regel	28
1.8	Beispiele	29
1.9	Aufgaben zum Selbststudium	45
2	Massen- und Energiebilanzen	49
2.1	Grundlagen	49
2.1.1	System	49
2.1.2	Kontinuitätsgleichung	49
2.1.3	Erster Hauptsatz der Thermodynamik	50
2.1.4	Hinweise zur Aufstellung von Energiebilanzen	57
2.1.5	Innere Energie und Enthalpie	59
2.1.6	Enthalpieströme	59
2.2	Beispiele	61
2.3	Aufgaben zum Selbststudium	94

3 Stationäre Wärmeleitung	99
3.1 Grundlagen	99
3.1.1 Péclet-Gleichungen für mehrschichtige Bauteile	99
3.1.2 Mehrschichtige ebene Platte	99
3.1.3 Zylinderschalen	99
3.1.4 Kugelschalen	100
3.1.5 Oberflächen- und Schichttemperaturen	101
3.1.6 Stationäre eindimensionale Wärmeleitung mit inneren Wärmequellen	101
3.1.7 Ebene Platte mit Wärmequellen	101
3.1.8 Vollzylinder und Zylinderschale mit Wärmequellen	101
3.1.9 Vollkugel und Kugelschale mit Wärmequellen	102
3.1.10 Stationäre zweidimensionale Wärmeleitung ohne innere Wärmequellen	102
3.2 Beispiele	106
3.3 Aufgaben zum Selbststudium	117
4 Rippen und Nadeln	120
4.1 Grundlagen	120
4.1.1 Kenngrößen von Rippen	120
4.1.2 Universelle Rippendifferenzialgleichung	121
4.1.3 Rechteckrippen	121
4.1.4 Zylindrische Nadeln	122
4.1.5 Kreisringrippen	122
4.1.6 Weitere Formen von Rippen und Nadeln	122
4.1.7 Optimale Rippen	124
4.1.8 Thermischer Widerstand von Rippen und Nadeln	124
4.2 Beispiele	125
4.3 Aufgaben zum Selbststudium	136
5 Instationäre Wärmeleitung	138
5.1 Grundlagen	138
5.1.1 Dimensionslose Kennzahlen	138
5.1.2 Dimensionslose Grundgleichung	139
5.1.3 Dimensionslose Anfangs- und Randbedingungen	140
5.1.4 Modelle der instationären Wärmeleitung	141
5.1.5 Ideal gerührter Behälter	143
5.1.6 Halbbunendlicher Körper	144
5.1.7 Exakte Lösung für Platte, Zylinder und Kugel	147
5.1.8 Näherungslösung für große Zeiten	149
5.1.9 Kurzzeitznäherung des erweiterten ideal gerührten Behälters für RB 3. Art	151
5.1.10 Produktansatz bei mehrdimensionaler Wärmeleitung	155
5.2 Beispiele	158
5.3 Aufgaben zum Selbststudium	181

6	Konvektion	185
6.1	Grundlagen	185
6.1.1	Arten von Konvektion	185
6.1.2	Ähnlichkeitstheorie und dimensionslose Kennzahlen	186
6.1.3	Erzwungene Konvektion	187
6.1.4	Längs angeströmte ebene Platte und Kreisscheibe	187
6.1.5	Quer und schräg angeströmte Zylinder und Profile	187
6.1.6	Quer angeströmte Profile	188
6.1.7	Umströmte Kugel	188
6.1.8	Einlaufproblematik bei der Rohr- und Kanalströmung	188
6.1.9	Vollständig ausgebildete laminare Rohrströmung	189
6.1.10	Thermischer Einlauf bei laminarer Rohrströmung	189
6.1.11	Hydrodynamischer und thermischer Einlauf bei laminarer Rohrströmung	190
6.1.12	Vollständig ausgebildete turbulente Rohrströmung	190
6.1.13	Ausgebildete Rohrströmung im Übergangsbereich	191
6.1.14	Nichtkreisförmige Querschnitte	191
6.1.15	Fluidtemperaturänderung in Strömungsrichtung	191
6.1.16	Freie Konvektion	192
6.1.17	Vertikale ebene Platte	193
6.1.18	Vertikaler Zylinder	193
6.1.19	Geneigte ebene Platte	193
6.1.20	Horizontale ebene Platte und Kreisscheibe	194
6.1.21	Horizontaler Zylinder	194
6.1.22	Kugel	194
6.1.23	Freie Konvektion in geschlossenen Fluidschichten	195
6.1.24	Horizontale ebene Schichten	195
6.1.25	Geneigte ebene Schichten	196
6.1.26	Vertikale ebene Schichten	196
6.1.27	Freie Konvektion in offenen Fluidschichten	197
6.1.28	Senkrechte Kanäle	197
6.1.29	Geneigte Kanäle	198
6.1.30	Parallele vertikale Platten	199
6.1.31	Mischkonvektion an umströmten Körpern	199
6.2	Beispiele	201
6.3	Aufgaben zum Selbststudium	214
7	Wärmeübertrager	216
7.1	Grundlagen	216
7.1.1	Begriffe und Nomenklatur	216
7.1.2	Bauformen von Wärmeübertragern	217
7.1.3	Einseitig konstante Fluidtemperatur	217
7.1.4	Beidseitige Temperaturänderung	218
7.1.5	Wärmeübertrager-Hauptgleichung	219
7.1.6	Gleichstrom-Wärmeübertrager	219
7.1.7	Gegenstrom-Wärmeübertrager	220
7.1.8	Kreuzstrom-Wärmeübertrager	221
7.1.9	Wärmewirkungsgrade von Wärmeübertragern	222
7.1.10	Korrekturfaktor	223
7.1.11	Wärmeübertrager mit Phasenübergang	223
7.1.12	Ablagerungen (Fouling)	223
7.2	Beispiele	224
7.3	Aufgaben zum Selbststudium	236

8 Wärmestrahlung	238
8.1 Grundlagen	238
8.1.1 Wellenlängenbereiche der Strahlung	238
8.1.2 Modell des schwarzen Körpers	239
8.1.3 Strahlungsfunktion des schwarzen Körpers	240
8.1.4 Strahlungsintensität und emittierte Strahlung	241
8.1.5 Auftreffende Strahlung	242
8.1.6 Helligkeit	242
8.1.7 Spektrale Kenngrößen	243
8.1.8 Emissionsgrad	244
8.1.9 Absorption, Reflexion und Transmission	245
8.1.10 Graue und selektive Strahler	246
8.1.11 Kirchhoff'sches Gesetz	248
8.1.12 Helligkeit grauer opaker Oberflächen	249
8.1.13 Oberflächenwiderstand für Strahlung	249
8.1.14 Raumwiderstand zweier strahlender Oberflächen	250
8.1.15 Helligkeitsverfahren für Wärmestrahlungsprobleme	251
8.1.16 Wärmestrahlung zwischen zwei Oberflächen	252
8.1.17 Wärmestrahlung zwischen drei Oberflächen	253
8.1.18 Wärmeübergangskoeffizient für Strahlung	254
8.1.19 Strahlungsaustauschkoeffizient	255
8.1.20 Einstrahlzahlen	255
8.1.21 Einstrahlzahlen zwischen zwei Flächen	255
8.1.22 Eigeneinstrahlzahlen	257
8.1.23 Einstrahlzahlen-Algebra	257
8.1.24 Methode der gekreuzten Fäden	259
8.1.25 Einstrahlzahlen einfacher Konfigurationen	259
8.1.26 Strahlungsschutzschirme	263
8.2 Beispiele	266
8.3 Aufgaben zum Selbststudium	283
9 Aufgaben aus verschiedenen Themengebieten	286
10 Anhang	331
10.1 Gauß'sche Fehlerfunktion	331
10.2 Bessel-Funktionen	332
10.2.1 Bessel-Funktionen 1. Art	332
10.2.2 Modifizierte Bessel-Funktionen 1. und 2. Art	332
10.2.3 Zahlentafeln der Bessel-Funktionen	334
10.3 Näherungslösung der eindimensionalen instationären Wärmeleitung	338
10.4 Stoffwerte	343
11 Lösungen der Übungsaufgaben	∞
Literatur	345
Arbeitshilfen	346
Index	353