

Gröber / Erk / Grigull

Die Grundgesetze der Wärmeübertragung

Dritte Auflage von Ulrich Grigull / 3. Neudruck

Reprint

Zweiter unveränderter Nachdruck

Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York
London Paris Tokyo 1988

Inhaltsverzeichnis.

Einleitung	Seite 1
----------------------	------------

Erster Teil.

Wärmeleitung in festen Körpern.

A. Die mathematischen Grundlagen	3
1. Das Temperaturfeld und das Feld des Wärmeflusses	3
2. Die Ableitung der Differentialgleichung von FOURIER	9
3. Die allgemeine Aufgabe der analytischen Theorie der Wärme	11
4. Die Grenzbedingungen	11
B. Über die Lösung von Randwertaufgaben	15
1. Die einführende Aufgabe	15
2. Über das Aufsuchen partikulärer Lösungen	25
3. Über das Anpassen an die Oberflächenbedingung	31
4. Über das Anpassen an die Anfangsbedingung	32
C. Die zeitlich veränderlichen Temperaturfelder ohne Wärmequellen	44
1. Die Temperaturunterschiede streben dem Ausgleich zu	44
a) Endlicher Wärmeübergang (Randbedingung dritter Art)	44
Aufgabe 1. Die Platte	44
Aufgabe 2. Der Zylinder	53
Aufgabe 3. Die Kugel	55
b) Oberflächentemperaturen konstant (Randbedingung erster Art)	62
c) Mehrdimensionaler Temperatúrausgleich	64
d) Der unendlich ausgedehnte Körper	67
Aufgabe 4. Der allseitig unendlich ausgedehnte Körper	67
Aufgabe 5. Der einseitig unendlich ausgedehnte Körper	72
2. Temperatur periodisch veränderlich	77
Aufgabe 6. Der einseitig unendlich ausgedehnte Körper	80
Aufgabe 7. Die Platte	89
3. Zusammengesetzte Randwertaufgaben	98
4. Die Anwendung der Differenzenrechnung	100
Aufgabe 8. Der einseitig unendlich ausgedehnte Körper	101
5. Elektrische Analogieverfahren	104
D. Die zeitlich konstanten Temperaturfelder ohne Wärmequellen	105
1. Das Temperaturfeld von einer Koordinate abhängig	106
2. Das Temperaturfeld von zwei Koordinaten abhängig	107
3. Räumliches Temperaturfeld von mehreren Koordinaten abhängig	111
Aufgabe 9. Eindringen der Wärme in den einseitig unendlich ausgedehnten Körper durch eine Kreisfläche	111

	Seite
4. Der Begriff des Wärmeleitwiderstandes	115
5. Die Relaxationsmethode	116
E. Die zeitlich konstanten Temperaturfelder mit Wärmequellen	121
Aufgabe 10. Der Zylinder	121
F. Verschiedene Sonderfälle	122
1. Das Feld ist von mehreren verschiedenartigen Körpern erfüllt	123
2. Der Körper ist nicht isotrop	126
3. Wärmeleitfähigkeit, spezifische Wärme und Dichte sind vom Druck und von der Temperatur abhängig	129
4. Vorgänge mit Änderung des Aggregatzustandes oder der chemischen Natur	131
G. Wärmeleitung in verdünnten Gasen	135

Zweiter Teil.

Konvektive Wärmeübertragung.

A. Flüssigkeits- und Energiebewegung	139
1. Grundgleichungen der reibungsfreien Flüssigkeit	139
2. Die Wirkung der Zähigkeit und die allgemeinen Bewegungsgleichungen zäher Flüssigkeiten	143
3. Laminare und turbulente Strömung. Das Reynoldssche Ähnlichkeitsgesetz	147
4. Die Energiebewegung in zähen Flüssigkeiten	150
5. Wärmeübergang und Wärmedurchgang	152
B. Das Ähnlichkeitsgesetz der Wärmeübertragung	158
1. Aufsuchen der dimensionslosen Kenngrößen aus den Differentialgleichungen	159
2. Dimensionsbefreiung durch Einführen von Eigenmaßstäben	166
3. Dimensionsanalyse	167
4. Voraussetzungen der Ähnlichkeitslehre	170
5. Physikalische Bedeutung der Kenngrößen	174
C. Wärmeübergang bei erzwungener laminarer Strömung	178
1. Exakte Lösungen der Differentialgleichungen	179
2. Strömungs- und Temperaturgrenzschichten in laminarer Strömung	189
3. Versuchsergebnisse und Gebrauchsformeln für den Wärmeübergang bei erzwungener laminarer Strömung	205
D. Wärmeübergang bei erzwungener turbulenter Strömung	215
1. Die Analogie zwischen Impuls- und Wärmeaustausch nach REYNOLDS	215
2. Der Wärmequellenansatz von PRANDTL	217
3. Die Weiterentwicklung der Theorie nach REYNOLDS und PRANDTL	222
4. Versuchsergebnisse und Gebrauchsformeln für den Wärmeübergang bei erzwungener turbulenter Strömung	229
E. Wärmeübergang bei querangeströmten Körpern	242
1. Wärmeübergang bei laminarer Grenzschicht	244
2. Wärmeübergang am Kreiszyylinder	245
3. Wärmeübergang am Rohrbündel	249
4. Wärmeübergang an Kugeln	250
5. Wärmeübergang an der querangeströmten Platte	251

	Seite
F. Wärmeübergang bei hohen Geschwindigkeiten	252
1. Eigentemperatur der längsangeströmten Platte	253
2. Wärmeübergang an der längsangeströmten Platte und im Rohr	256
3. Eigentemperatur querangeströmter Zylinder	260
G. Wärmeübergang bei freier Konvektion	262
1. Lösungen der Grenzschichtgleichungen an der senkrechten Platte und am waagerechten Zylinder	263
2. Näherungslösungen	268
3. Freie Konvektion bei turbulenter Grenzschicht	270
4. Freie Konvektion über waagerechten Flächen	273
5. Freie Konvektion in geschlossenen Räumen	275
6. Gebrauchsgleichungen für freie Konvektion	281
H. Wärmeübergang bei Kondensation	283
1. Die Nußeltsche Wasserhauttheorie	285
2. Filmkondensation mit turbulenter Wasserhaut	293
3. Gebrauchsgleichungen für Filmkondensation bei ruhendem oder langsam strömendem Sattdampf	297
4. Filmkondensation von Heißdampf	298
5. Filmkondensation bei strömendem Dampf	299
6. Tropfenkondensation	303
7. Mischungen von Dämpfen mit Inertgasen und gemischte Dämpfe	310
I. Wärmeübergang bei Verdampfung	311
1. Verdampfen an einer Flüssigkeitsoberfläche ohne Blasenbildung	312
2. Verdampfung mit Blasenbildung an waagerechten und senkrechten Heizflächen bei freier Konvektion	313
3. Verdampfung mit Blasenbildung im senkrechten Rohr	326
4. Filmverdampfung	330
5. Verdampfung in unterkühlter Flüssigkeit (surface boiling)	336
K. Stoffübertragung	341
1. Die dreifache Analogie	343
2. Grenzen der Analogie	349
3. Experimentelle Nachprüfung der Analogie	354

Dritter Teil.

Wärmestrahlung.

A. Einführung	360
1. Wärmestrahlung als Schwingungsvorgang	360
2. Grundlegende Begriffe	361
B. Die Strahlung des schwarzen Körpers	365
1. Das Plancksche Strahlungsgesetz	365
2. Das Stefan-Boltzmannsche Gesetz	368
3. Das Wiensche Verschiebungsgesetz	369
4. Das reduzierte Plancksche Strahlungsgesetz	370
5. Experimentelle Verwirklichung des schwarzen Körpers	370
C. Der Strahlungsaustausch zwischen festen Körpern	372
1. Emission und Absorption nichtschwarzer Körper	372
2. Das Kirchhoffsche Gesetz	374
3. Die Lambertschen Gesetze	380

	Seite
4. Strahlungsaustausch unter bestimmten geometrischen Bedingungen	384
5. Strahlungsaustausch zwischen beliebigen Flächenelementen	389
6. Wirkung von Strahlungsschutzschirmen	390
7. Gleichzeitiges Auftreten von Wärmestrahlung, Leitung und Konvektion	392
D. Strahlung von Gasen und Dämpfen	394
1. Die Absorptionsspektren der Gase und ihre Gesamtstrahlung	394
2. Messungen der Gesamtstrahlung von Kohlensäure und Wasserdampf	398
3. Strahlungsaustausch zwischen Gaskörpern und festen Wänden	400
4. Strahlung leuchtender Flammen	404
Anhang: Einheiten, Umrechnungstabellen, Stoffwerte	407
Formeln aus der Vektoranalysis	424
Übersicht über häufig verwendete Formelzeichen	425
Dimensionslose Kenngrößen	426
Schrifttum	427
Namenverzeichnis	429
Sachverzeichnis	433