

Repetitorium der Technischen Thermodynamik

Von Prof. Dr.-Ing. habil. Achim Dittmann,
Prof. Dr.-Ing. habil. Siegfried Fischer,
Prof. Dr.-Ing. habil. Jörg Huhn
und Dr.-Ing. Jochen Klinger,
Technische Universität Dresden

Mit 200 Bildern



B. G. Teubner Stuttgart 1995

Inhaltsverzeichnis

I	Energielehre	13
1	Einführung	15
1.1	System und Zustand	15
1.2	Bilanzen und Prozesse	19
1.2.1	Massen- bzw. Mengestrombilanzen	19
1.2.2	Energiestrombilanzen	23
1.2.3	Prozesse	25
2	Thermisches Zustandsverhalten von Fluiden	27
2.1	Thermische Zustandsgrößen	27
2.2	Thermisches Zustandsverhalten realer Fluide	30
2.2.1	Zustandsdiagramme und -tabellen	30
2.2.2	Zustandsgleichungen	34
2.3	Thermisches Zustandsverhalten idealer Gase und Gemische	40
3	Energetisches Zustandsverhalten von Fluiden	47
3.1	Zusammenstellung wichtiger thermodynamischer Funktionen	48
3.2	Energetisches Zustandsverhalten realer Fluide	51
3.2.1	Überhitzter Dampf	51
3.2.2	Fluides Zweiphasengebiet	60
3.2.3	Unterkühlte Flüssigkeit	68
3.2.4	Energetische Zustandsdiagramme	70
3.3	Energetisches Zustandsverhalten idealer Gase	73
3.3.1	Ideale Einzelgase	74
3.3.2	Ideale Gasgemische	76

4	Energetische Bilanzierung mit dem Ersten Hauptsatz	83
4.1	Anwendung auf stoffdichte Systeme	83
4.2	Energiestrombilanz an stoffdurchlässigen Systemen	88
5	Der Zweite Hauptsatz der Thermodynamik	93
5.1	Formulierungen und Konsequenzen	93
5.2	Anwendungen des 2. Hauptsatzes	100
6	Modellierung einfacher Prozesse	107
6.1	Einfache reversible Prozesse	107
6.1.1	Prozesse mit isentropen Zustandsänderungen	110
6.1.2	Prozesse mit isobaren und isochoren Zustandsänderungen	115
6.1.3	Prozesse mit polytropen Zustandsänderungen	116
6.2	Ausgewählte irreversible Prozesse	118
6.2.1	Verdichtungs- und Entspannungsvorgänge	119
6.2.2	Strömungsvorgänge in Kanälen und Rohren	123
6.3	Speicherprozesse	134
6.3.1	Berechnungsgrundlagen	134
6.3.2	Speicherung im fluiden Einphasengebiet	136
6.3.3	Speicherung im fluiden Zweiphasengebiet	140
7	Technische Verbrennungsvorgänge	145
7.1	Stoffumsatzberechnungen	145
7.1.1	Brennstoffzusammensetzung	145
7.1.2	Luftbedarf und Abgaszusammensetzung	147
7.2	Energetische Bewertung des Verbrennungsprozesses	151
7.2.1	Verbrennungsenthalpie	152
7.2.2	Adiabate Verbrennungstemperatur	155
7.2.3	Abkühlung der Verbrennungsgase	161
8	Kreisprozesse	165
8.1	Prozeßgrößen und Bewertungskennziffern	165
8.2	Rechtsprozesse	168
8.2.1	Rechtsprozesse mit gasförmigen Arbeitsmedien	169
8.2.2	Der Clausius-Rankine-Prozeß	184
8.2.3	Dampfkraftprozeß mit Kraft-Wärme-Kopplung	198
8.2.4	Kombinierte Gas- und Dampfkraftwerke	203
8.3	Linksprozesse	210

8.3.1	Prozesse mit gasförmigen Arbeitsmedien	210
8.3.2	Kältemaschinen und Wärmepumpen mit realen Fluiden	218
8.4	Weiterführende Literatur zu Kreisprozessen	226

II Wärmeübertragung 227

9 Einführung in die Wärmeübertragung 229

10 Stationäre Wärmeleitung 233

10.1	Fouriersches Erfahrungsgesetz	233
10.2	Wärmeleitkoeffizient	236
10.2.1	Metalle bzw. elektrische Leiter	237
10.2.2	Gase und Dämpfe	238
10.2.3	Flüssigkeiten	240
10.2.4	Nichtmetalle, Bau- und Isolierstoffe	241
10.3	Fouriersche Differentialgleichung	242
10.3.1	Differentialgleichung für das Temperaturfeld	242
10.3.2	Grenzbedingung	244
10.4	Eindimensionale stationäre Wärmeleitung ohne Quellen	246
10.5	Eindimensionaler Wärmedurchgang	251
10.6	Berippte Wände	259
10.6.1	Äquivalenter Wärmeübergangskoeffizient	260
10.6.2	Berechnung von anderen Rippenformen	262
10.7	Eindimensionale Wärmeleitung mit Quellen	265
10.8	Temperaturabhängige Wärmeleitfähigkeit	266
10.9	Mehrdimensionale stationäre Wärmeleitung	269

11 Instationäre Wärmeleitung 271

11.1	Quasistatische instationäre Wärmeleitung	274
11.1.1	Erwärmung oder Abkühlung eines Vollkörpers	274
11.1.2	Temperaturausgleich zwischen einem Körper und einem isolierten Fluidbecken	276
11.1.3	Näherungsverfahren nach Schlünder	278
11.1.4	Numerische Lösung	280
11.2	Einseitig unendlich ausgedehnte ebene Wand	283
11.3	Einfache Körper	288
11.4	Periodische Umgebungstemperaturänderung	296

11.5	Phasenübergang fest-flüssig	303
11.6	Differenzenverfahren	307
12	Konvektion	313
12.1	Wärmeübergangskoeffizient	313
12.2	Ähnlichkeitskennzahlen	316
12.3	Grenzschichten	318
12.3.1	Strömungsgrenzschicht	318
12.3.2	Temperaturgrenzschicht	322
12.4	Ähnlichkeitstheorie	324
12.5	Freie Konvektion	332
12.5.1	Freie Konvektion an Wänden und Einzelkörpern	333
12.5.2	Freie Konvektion in Spalten	335
12.6	Erzwungene Konvektion	337
12.6.1	Erzwungene Konvektion in Rohren und Kanälen	338
12.6.2	Erzwungene Konvektion an Wänden und Körpern	341
12.7	Wärmeübergang bei gemischter Konvektion	346
12.8	Wärmeübergang bei Kondensation	347
12.9	Wärmeübergang bei Verdampfung	353
12.9.1	Behältersieden	354
12.9.2	Strömungssieden	356
13	Wärmestrahlung	359
13.1	Energiebilanz der Strahlung	360
13.2	Gesetze des Schwarzen Strahlers	362
13.3	Reale Strahler	367
13.3.1	Technische Oberflächen	367
13.3.2	Strahlungsaktives Medium	368
13.3.3	Gase	369
13.4	Grauer Strahler	371
13.4.1	Beschreibung der realen Strahler mit dem Modell des Grauen Strahlers	371
13.4.2	Gasstrahlung	374
13.5	Strahlungsaustausch	379
13.5.1	Einstrahlzahl	380
13.5.2	Strahlungsaustausch ohne strahlungsaktives Zwischenmedium	386
13.5.3	Strahlungsaustausch zwischen einem strahlungsaktiven Gas und einer Wand	394

13.5.4	Wärmeübergangskoeffizient bei Strahlung	395
13.6	Solarstrahlung	398
13.6.1	Solarkonstante	398
13.6.2	Direkte Sonnenstrahlung	400
13.6.3	Diffuse Strahlung	405
13.6.4	Global- oder Gesamtstrahlung	407
14	Wärmeübertrager	409
14.1	Mischwärmeübertrager	410
14.2	Rührkessel	410
14.3	Rekuperatoren	415
14.3.1	Überblick zur Berechnung von Rekuperatoren . .	415
14.3.2	Betriebscharakteristik für einige Stromführungen	422
14.3.3	Gekoppelte Rekuperatoren	432
14.4	Regeneratoren	437
15	Anhang	443
15.1	Thermodynamische Stoffwerte	443
15.2	Strahlungseigenschaften	455
	Literaturverzeichnis	457
	Index	464