

Wolfgang Heidemann

Technische Thermodynamik

Kompaktkurs für das Bachelorstudium

WILEY-VCH
Verlag GmbH & Co. KGaA

Inhaltsverzeichnis

Vorwort *XI*

Nomenklatur *XIII*

1	Einleitung	<i>1</i>
1.1	Technische Thermodynamik	<i>1</i>
1.2	Zur Handhabung des Arbeitsbuches	<i>2</i>
2	Grundlagen	<i>5</i>
2.1	Das thermodynamische System	<i>5</i>
2.2	Thermodynamische Größen	<i>8</i>
2.2.1	Zustandsgrößen	<i>9</i>
2.2.2	Zustandsänderungen	<i>11</i>
2.2.3	Energie	<i>15</i>
2.2.4	Prozessgrößen	<i>15</i>
2.3	Temperatur	<i>17</i>
2.3.1	Thermisches Gleichgewicht	<i>18</i>
2.3.2	Nullter Hauptsatz der Thermodynamik und Temperaturmessung	<i>18</i>
	Zusammenfassung	<i>20</i>
	Aufgaben und Lösungen	<i>23</i>
3	Der erste Hauptsatz der Thermodynamik	<i>33</i>
3.1	Allgemeine Formulierung	<i>34</i>
3.1.1	Geschlossenes System	<i>35</i>
3.1.2	Offenes System	<i>35</i>
3.2	Arbeitsformen	<i>36</i>
3.2.1	Mechanische Arbeit	<i>36</i>
3.2.2	Volumenarbeit	<i>37</i>
3.2.3	Dissipationsarbeit (Reibungsarbeit)	<i>37</i>
3.2.4	Nutzarbeit	<i>38</i>
3.2.5	Verschiebearbeit	<i>39</i>
3.2.6	Die technische Arbeit	<i>40</i>
3.2.7	Andere Arbeitsformen	<i>42</i>

3.3	Wärme	43
3.4	Innere Energie	43
3.5	Enthalpie	44
3.6	Mechanische Energie	46
3.7	Spezielle Formulierungen	46
3.7.1	Geschlossenes System	47
3.7.2	Das stationäre offene System	48
3.7.3	Beispiele	48
	Zusammenfassung	51
	Aufgaben und Lösungen	57
4	Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik	87
4.1	Die Richtung von Prozessen	87
4.2	Entropie und deren Bilanzierung	89
4.2.1	Geschlossene Systeme und Kreisprozesse	89
4.2.2	Entropiebilanz am offenen System	90
4.2.3	Schlussfolgerungen	92
4.3	Die Gibbssche Fundamentalgleichung	96
4.3.1	Entropieberechnung	97
4.3.2	Beziehungen zwischen Zustandsgrößen	98
4.4	Beispiele, Tipps und Tricks	100
	Zusammenfassung	105
	Aufgaben und Lösungen	109
5	Stoffthermodynamik – Eigenschaften der Materie	125
5.1	Das p, v, T -Verhalten reiner realer Stoffe	125
5.2	Die Bestimmung thermischer und kalorischer Zustandsgrößen	130
5.2.1	Festkörper, Flüssigkeit, Schmelzen/Erstarren, Sublimieren/Desublimieren	131
5.2.2	Nassdampfgebiet, Verdampfen/Verflüssigen	133
5.2.3	Gase und Dämpfe	134
	Zusammenfassung	148
	Aufgaben und Lösungen	152
6	Einfache Zustandsänderungen	177
6.1	Ideales Gas	177
6.1.1	Isochore Zustandsänderung	178
6.1.2	Isobare Zustandsänderung	179
6.1.3	Isotherme Zustandsänderung	180
6.1.4	Adiabate Zustandsänderung	182
6.1.5	Polytrope Zustandsänderung	183
6.1.6	Irreversibel adiabate Explosion	185
6.2	Nassdampf	186
6.2.1	Isobare, isotherme Zustandsänderung	186
6.2.2	Isochore Zustandsänderung	187

- 6.2.3 Adiabate Zustandsänderung 188
- 6.2.4 Isenthalpe Zustandsänderung 188
- 6.3 Kreisprozesse, Carnot-Prozess 189
 - 6.3.1 Der rechtsgängige Kreisprozess 190
 - 6.3.2 Der linksgängige Kreisprozess 193
 - 6.3.3 Der Carnot-Prozess 195
 - Zusammenfassung 198
 - Aufgaben und Lösungen 203

- 7 Exergie 243**
 - 7.1 Exergie einer Wärme 244
 - 7.2 Exergie der Arbeit 246
 - 7.3 Exergie eines geschlossenen Systems 248
 - 7.4 Exergie eines offenen Systems 250
 - 7.5 Exergieverlust 251
 - 7.6 Der exergetische Wirkungsgrad 253
 - 7.7 Beispiele, Tipps und Tricks 255
 - Zusammenfassung 259
 - Aufgaben und Lösungen 262

- 8 Thermodynamische Prozesse 277**
 - 8.1 Wärme-Kraft-Prozesse 278
 - 8.1.1 Vergleichsprozesse für Verbrennungsmotoren 278
 - 8.1.2 Stirling-Prozess 287
 - 8.1.3 Ericson-Prozess 288
 - 8.1.4 Joule-Prozess 290
 - 8.1.5 Dampfkraftprozesse 293
 - 8.2 Linksgängige Prozesse 299
 - 8.2.1 Kaltgasprozess 300
 - 8.2.2 Kaltdampfprozess 302
 - 8.2.3 Das Linde-Verfahren zur Luftverflüssigung 304
 - 8.2.4 Verdichter 305
 - Zusammenfassung 307
 - Aufgaben und Lösungen 314

- 9 Gasgemische und feuchte Luft 361**
 - 9.1 Gemisch idealer Gase 361
 - 9.1.1 Konzentrationen 361
 - 9.1.2 Eigenschaften idealer Gasmischungen 362
 - 9.2 Feuchte Luft 365
 - 9.2.1 Konzentrationsmaße 367
 - 9.2.2 Thermische und kalorische Zustandsgrößen 369
 - 9.2.3 Das Mollier $h_{G/L}, x$ -Diagramm 371
 - 9.2.4 Zustandsänderungen feuchter Luft 372
 - Zusammenfassung 380
 - Aufgaben und Lösungen 385

10	Chemische Reaktionen	425
10.1	Reaktionsenthalpie	425
10.1.1	Standardreaktionsenthalpie	427
10.1.2	Reaktionsenthalpie bei beliebiger Temperatur	428
10.2	Verbrennungsprozesse	429
10.2.1	Verbrennung mit Luft	431
10.2.2	Verbrennungsreaktionen der Praxis	432
	Zusammenfassung	436
	Aufgaben und Lösungen	438
	Anhang A Tabellen und Stoffwerte	451
	Anhang B Herleitungen	465
B.1	Das vollständige oder totale Differenzial	465
B.2	Betrachtung der Differenzialausdrücke $(\partial u / \partial v)_T$ und $(\partial h / \partial p)_v$	465
B.3	Kinetische Gastheorie	467
	Anhang C Diagramme	469
	Weiterführende Literatur	471
	Sachverzeichnis	473