

# Inhaltsverzeichnis

## Vorwort

v

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Thermodynamik aus der Perspektive des Ingenieurs .....	1
1.2	Größen, Einheiten und Gleichungen.....	5
1.3	Wichtige Naturkonstanten.....	9
1.4	Das thermodynamische System .....	10
1.5	Der thermodynamische Zustand eines Systems.....	13
1.5.1	Der Zusammenhang zwischen Volumen, Masse und Stoffmenge .....	14
1.5.2	Druck .....	15
1.5.3	Temperatur.....	16
1.6	Prozessgrößen .....	18
1.7	Verstehen durch Üben: Grundlagen .....	22
<b>2</b>	<b>Zustandsänderungen für Ideales Gas</b>	<b>31</b>
2.1	Der Modellstoff ideales Gas .....	31
2.2	Die thermische Zustandsgleichung des idealen Gases .....	32
2.3	Isentrope und polytrope Zustandsänderungen mit idealem Gas .....	34
2.4	Darstellung des Zustandsverhaltens in Diagrammen .....	36
2.5	Gemische idealer Gase.....	38
2.6	Grenzen für die Anwendung der thermischen Zustandsgleichung.....	40
2.7	Verstehen durch Üben: Ideales Gas .....	41
<b>3</b>	<b>Kalorische Zustandsgleichungen und spezifische Wärmekapazitäten</b>	<b>57</b>
3.1	Die kalorischen Zustandsgößen innere Energie und Enthalpie.....	57
3.2	Die spezifischen Wärmekapazitäten für ideales Gas .....	58
3.3	Die spezifische Wärmekapazität für polytrope Zustandsänderungen .....	61
3.4	Eigenschaften der spezifischen Wärmekapazität .....	63
3.5	Die Grundgleichung der Kalorik und ihre Anwendung .....	65
3.6	Ergänzende Bemerkungen zur Modellbildung für Gase .....	68
3.7	Verstehen durch Üben: Grundgleichung der Kalorik .....	69

<b>4</b>	<b>Erster Hauptsatz der Thermodynamik</b>	<b>81</b>
4.1	Energiebilanz für das geschlossene System.....	82
4.2	Energiebilanz für ruhende offene Systeme .....	83
4.3	Verstehen durch Üben: Erster Hauptsatz .....	85
<b>5</b>	<b>Zweiter Hauptsatz der Thermodynamik</b>	<b>97</b>
5.1	Definition der Entropie und Hauptaussagen .....	97
5.2	Hauptgleichungen der Thermodynamik .....	101
5.3	Berechnung der Entropie für ideales Gas .....	101
5.4	Ausgewählte Anwendungen .....	102
5.4.1	Der irreversible Vorgang der Drosselung.....	102
5.4.2	Mischung und Diffusion .....	103
5.4.3	Folgerungen aus Exergie und Anergie der Wärme .....	105
5.5	Verstehen durch Üben: Zweiter Hauptsatz .....	110
<b>6</b>	<b>Thermisches Verhalten von reinen Stoffen bei Phasenübergängen</b>	<b>123</b>
6.1	Phasengleichgewichtskurven im $p, T$ -Diagramm .....	123
6.2	Phasenübergang fest-flüssig und flüssig-fest.....	126
6.3	Isobare Verdampfung und Kondensation.....	127
6.4	Verstehen durch Üben: Phasenübergang fest-flüssig .....	129
6.5	Verstehen durch Üben: Verdampfung und Kondensation .....	134
<b>7</b>	<b>Kompressoren</b>	<b>151</b>
7.1	Thermodynamische Grundlagen.....	151
7.2	Schadraumverhältnis und Füllungsgrad bei Kolbenverdichtern .....	155
7.3	Isentroper Wirkungsgrad bei Verdichtung .....	157
7.4	Effizienzsteigerung durch Mehrstufigkeit .....	157
7.5	Verstehen durch Üben: Kompressoren .....	160
<b>8</b>	<b>Kreisprozesse für Wärmekraftmaschinen</b>	<b>179</b>
8.1	Der Carnot-Prozess als Vorbild für alle Wärmekraftmaschinen .....	181
8.1.1	Thermodynamische Grundlagen.....	182
8.1.2	Prozesscharakteristik mit idealem Gas als Arbeitsmittel .....	183
8.1.3	Verstehen durch Üben: Carnot-Prozess .....	186
8.2	Vergleichsprozesse für Motoren mit innerer Verbrennung .....	196
8.2.1	Gleichraumprozess als Vergleichsprozess für Ottomotoren.....	198
8.2.2	Gleichdruckprozess als Vergleichsprozess für das Prinzip des Dieselmotors (klassischer Diesel-Prozess) .....	200

8.2.3	Der Seiliger-Prozess als Vergleichsprozess für Dieselmotoren.....	202
8.2.4	Verstehen durch Üben: Vergleichsprozesse für Motoren .....	204
8.3	Der Joule-Prozess als Vergleichsprozess für Gasturbinen.....	221
8.3.1	Der reversible thermodynamische Vergleichsprozess .....	221
8.3.2	Die Kreisprozesscharakteristik des Joule-Prozesses .....	225
8.3.3	Annäherung an den realen Prozess .....	227
8.3.4	Regeneration zur Steigerung des Wirkungsgrades.....	230
8.3.5	Verstehen durch Üben: Joule-Prozess .....	232
8.4	Der Clausius-Rankine-Prozess für Dampfkraftanlagen .....	252
8.4.1	Der reversible thermodynamische Vergleichsprozess .....	252
8.4.2	Beeinflussung des thermischen Prozesswirkungsgrades.....	257
8.4.3	Annäherung an den realen Kraftwerksprozess.....	260
8.4.4	Verstehen durch Üben: Clausius-Rankine-Prozess .....	262
<b>9</b>	<b>Anhang</b>	<b>279</b>
9.1	Verzeichnis der Aufgaben .....	279
9.2	Verzeichnis der Abbildungen .....	282
9.3	Verzeichnis der Formelzeichen .....	285
9.4	Maßeinheiten und Normzustände .....	287
9.5	Internationale Normatmosphäre nach DIN ISO 2533 .....	290
9.6	Spezifische Wärmekapazitäten von Gasen .....	291
9.7	Formelzusammenstellung für ideales Gas .....	292
9.8	Stoffdaten für Wasser nach IAPWS-IF 97 .....	294
<b>Literatur</b>		<b>305</b>
<b>Index</b>		<b>307</b>