

Inhaltsverzeichnis

Vorwort..... V

Vorwort zur 2. Auflage.....IX

InhaltsverzeichnisXI

Liste der Formelzeichen XVII

1 Grundlagen der Technischen Thermodynamik..... 1

1.1 Gegenstand und Untersuchungsmethodik 1

1.2 Thermodynamisches System 4

1.3 Austausch zwischen System und Umgebung 6

1.4 Thermische Zustandsgrößen; Thermische
Zustandsgleichungen 9

1.5 Thermodynamische Zustandsänderungen..... 14

1.6. Anwendbarkeit von Differentialquotienten der
Zustandsgrößen..... 17

1.7 Reversible und irreversible Zustandsänderungen 19

1.8 Formen der Energieübertragung zwischen System und
Umgebung 21

1.8.1 Volumenänderungsarbeit 21

1.8.2 Druckänderungsarbeit 29

1.8.3 Wärme 35

Anwendungsbeispiele und Übungen zu Kapitel 1 39

Anwendbarkeit von Differentialquotienten der Zustandsgrößen..... 39

Reversible und irreversible Zustandsänderungen 46

Volumenänderungs- und Druckänderungsarbeit 53

Fragen zu Kapitel 1 65

Aufgaben zu Kapitel 1 66

2 Energiebilanz: Der erste Hauptsatz der Thermodynamik..... 69

2.1 Einführung; Erläuterung 69

2.2 Energiebilanz für Zustandsänderungen in geschlossenen
Systemen; Innere Energie 72

2.2.1 Innere Energie	74
2.3 Energiebilanz für Zustandsänderungen in offenen Systemen (stationäre Prozesse); Enthalpie	78
2.3.1 Enthalpie	81
2.3.2 Gegenüberstellung der inneren Energie und der Enthalpie	83
2.4 Energiebilanz auf Basis der Enthalpie für Zustandsänderungen in geschlossenen und in offenen Systemen	84
2.5 Anwendung des Ersten Hauptsatzes in elementaren Prozessen	86
2.5.1 Elementare Prozesse in geschlossenen Systemen	87
2.5.2 Elementare Prozesse in offenen Systemen	89
Anwendungsbeispiele und Übungen zu Kapitel 2	95
Energiebilanz, Innere Energie, Enthalpie	95
Fragen zu Kapitel 2	105
Aufgaben zu Kapitel 2	106

3 Arbeitsmedien: Gase und Gasgemische..... 107

3.1 Ideale und reale Gase	107
3.1.1 Thermische Zustandsgleichung für ideale Gase	107
3.1.2 Universelle (allgemeine; molare) Gaskonstante	110
3.1.3 Molar-spezifische Größen	112
3.1.4 Normkubikmeter	113
3.1.5 Reale Gase	114
3.2 Spezifische Wärmekapazität der idealen Gase	116
3.2.1 Gesetz der inneren Energie bei idealen Gasen (Joule)	116
3.2.2 Formen der spezifischen Wärmekapazität	117
3.2.3 Zusammenhang der spezifischen Wärmekapazität bei konstanten Volumen und bei konstanten Druck	122
3.3 Das ideale Gasgemisch	125
3.3.1 Die Gaskonstante eines Gasgemisches	126
3.3.2 Molare Masse, Dichte, Zusammenhänge der Massen- und Volumenanteile	129
3.3.3 Innere Energie, Enthalpie und spezifische Wärmekapazität eines Gasgemisches	132
3.4 Elementare Zustandsänderungen in gasförmigen Arbeitsmedien	135
3.4.1 Isochore Zustandsänderung ($V = \text{konst.}$)	135
3.4.2 Isobare Zustandsänderung ($p = \text{konst.}$)	139
3.4.3 Isotherme Zustandsänderung ($T = \text{konst.}$)	143
3.4.4 Adiabate Zustandsänderung ($pV^k = \text{konst.}$)	146
3.4.5 Polytrope Zustandsänderung ($pV^n = \text{konst.}$)	152
Anwendungsbeispiele und Übungen zu Kapitel 3	159
Zustandsänderungen in Gasen und Gasgemischen	159

Fragen zu Kapitel 3.....	186
Aufgaben zu Kapitel 3	187
4 Energieumwandlung: Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik	189
4.1 Formulierungen	189
4.2 Thermischer Wirkungsgrad	192
4.3 Entropie reversibler (idealer) Prozesse	194
4.4 Entropie irreversibler (natürlicher) Prozesse	204
4.5 Berechnung der Entropie	209
4.6 Darstellungsformen von Prozessen mittels Entropie:	
(T,s), (U,s), (h,s) - Diagramme	212
4.6.1 T,s-Diagramme (Wärmediagramme).....	212
4.6.2 Elementare, reversible Zustandsänderungen im	
T,s-Diagramm.....	216
4.6.3 u,s- und h,s-Diagramme.....	221
4.7 Exergie und Anergie	223
Anwendungsbeispiele und Übungen zu Kapitel 4.....	225
Berechnung der Entropie in thermodynamischen Vorgängen.....	225
Fragen zu Kapitel 4.....	236
Aufgaben zu Kapitel 4.....	237
5 Prozesse in thermischen Maschinen für Kraftfahrzeuge	239
5.1 Kreisprozesse in Wärmekraftmaschinen	239
5.1.1 Rechtslaufende Kreisprozesse	239
5.1.2 Kreisprozesse in Wärmekraftmaschinen mit sukzessiven	
Zustandsänderungen.....	241
5.1.3 Kreisprozesse in Wärmekraftmaschinen mit simultanen	
Zustandsänderungen.....	258
5.2. Kreisprozesse in Klimaanlage und Wärmepumpen.....	265
5.2.1 Linkslaufende Kreisprozesse	265
5.2.2 Kreisprozesse in Kältemaschinen.....	267
5.2.3 Kreisprozesse in Wärmepumpen (Heizanlagen)	274
Anwendungsbeispiele und Übungen zu Kapitel 5	277
Kreisprozesse in Wärmekraftmaschinen	277
Fragen zu Kapitel 5.....	307
Aufgaben zu Kapitel 5	309
6 Arbeitsmedien: Dämpfe und Gas-Dampf-Gemische	313
6.1 Phasen und Komponenten eines Dampfes.....	313
6.2 Diagrammdarstellungen der Zustands- und energetischen	
Größen eines Dampfes.....	317
6.3 Kreisprozesse mit Dampf in der Kraftfahrzeugtechnik	326

6.3.1 Rechtslaufende Kreisprozesse mit Dampf in Kraftanlagen...	326
6.3.2 Linkslaufende Kreisprozesse mit Dampf in Klimaanlage...	328
6.3.3 Linkslaufende Kreisprozesse mit Dampf in Wärmepumpenanlagen	330
6.3.4 Drosselung von Nassdampf	331
6.4 Gas-Dampf-Gemische	333
6.4.1 Kenngrößen der Gas-Dampf-Gemische	333
6.4.2 Kenngrößen der Gas-Dampf-Gemische in Diagrammform...	342
6.4.3 Zustandsänderungen der feuchten Luft in der Kraftfahrzeugtechnik	345
Anwendungsbeispiele und Übungen zu Kapitel 6	357
Dampf und Gas-Dampf-Gemische	357
Fragen zu Kapitel 6	368
7 Verbrennung	369
7.1 Kraftstoffe	369
7.2 Kraftstoff-Luft-Gemische	376
7.3 Heizwerte	378
7.4 Verbrennungsrechnung	387
7.4.1 Verfahren zur Verbrennungsrechnung	387
7.4.2 Stöchiometrischer Luftbedarf	390
7.4.3 Zusammensetzung der Abgaskomponenten bei vollständiger Verbrennung	392
7.4.4 Zusammensetzung der Abgaskomponenten bei unvollständiger Verbrennung	396
7.5 Ablauf der Verbrennungsreaktionen	402
7.6 Verbrennungsformen in Otto- und Dieselmotoren	411
Anwendungsbeispiele und Übungen zu Kapitel 7	423
Verbrennung	423
Fragen zu Kapitel 7	434
Aufgaben zu Kapitel 7	435
8 Wärmeübertragung	437
8.1 Arten der Wärmeübertragung	437
8.2 Die Wärmeleitung	440
8.2.1 Elementares Modell der Wärmeleitung	440
8.2.2 Wärmeleitung durch eine ebene Wand	443
8.2.3 Wärmeleitung durch Rohrwände	446
8.3 Der Wärmeübergang (die Konvektion)	449
8.3.1 Elementare Modelle der Konvektion	449
8.3.2 Grundlagen der Ähnlichkeitstheorie im Bezug auf die Konvektion	455

8.3.3 Wärmetauscher	462
8.4 Die Wärmestrahlung	464
8.4.1 Elementare Modelle der Wärmestrahlung	464
8.4.2 Wärmeübertragung durch Strahlung zwischen Körperoberflächen	473
Anwendungsbeispiele und Übungen zu Kapitel 8	475
Wärmeleitung	475
Fragen zu Kapitel 8	487
Aufgaben zu Kapitel 8	488
9 Messung thermodynamischer Größen	489
9.1 Thermodynamische Messgrößen in der Kraftfahrzeugtechnik	489
9.1.1 Arbeitsmedium	489
9.1.2 Verhalten des Arbeitsmediums in thermodynamischen Prozessen	491
9.2 Messung von Zustandsgrößen in Arbeitsmedien	492
9.2.2 Temperaturmessung	496
9.2.3 Feuchtemessung	499
9.2.4 Wegmessung	500
9.3 Ermittlung von Zustandsänderungen	502
Literatur	505
Sachwortverzeichnis	509
Verzeichnis angeführter Thermodynamiker	517
Lösungen zu den Fragen	521
Lösungen zu den Aufgaben	550