
Gernot Wilhelms

Übungsaufgaben Technische Thermodynamik

2., aktualisierte Auflage

Mit 36 Beispielen und 154 Aufgaben

HANSER

Inhaltsverzeichnis

1 Grundlagen der Thermodynamik	11
1.1 Aufgabe der Thermodynamik	11
1.2 Größen und Einheitensysteme	11
1.3 Thermische Zustandsgrößen	12
1.3.1 Volumen	12
1.3.2 Druck	13
1.3.3 Temperatur	14
1.4 Thermische Zustandsgleichung	15
1.4.1 Thermische Zustandsgleichung eines homogenen Systems	15
1.4.2 Thermische Zustandsgleichung des idealen Gases	15
1.5 Mengenmaße Kilomol und Normvolumen; molare Gaskonstante	16
1.6 Thermische Ausdehnung	18
2 Erster Hauptsatz der Thermodynamik	20
2.1 Energieerhaltung, Energiebilanz	20
2.2 Arbeit am geschlossenen System	20
2.3 Innere Energie	23
2.4 Wärme	24
2.5 Arbeit am offenen System und Enthalpie	24
2.6 Formulierungen des ersten Hauptsatzes der Thermodynamik	26
2.7 Kalorische Zustandsgleichungen	27
2.7.1 Kalorische Zustandsgleichungen eines homogenen Systems	27
2.7.2 Spezifische Wärmekapazitäten eines homogenen Systems	27
2.7.3 Kalorische Zustandsgleichungen des idealen Gases	30
2.7.4 Spezifische Wärmekapazitäten des idealen Gases	30
2.7.5 Molare Wärmekapazitäten des idealen Gases	34
3 Zweiter Hauptsatz der Thermodynamik	35
3.1 Definition der Entropie	35
3.2 Entropie und zweiter Hauptsatz der Thermodynamik	35
3.3 T,S -Diagramm	35
3.4 Einfache Zustandsänderungen des idealen Gases	36

3.4.1	Isochore Zustandsänderung.....	36
3.4.2	Isobare Zustandsänderung.....	40
3.4.3	Isotherme Zustandsänderung.....	43
3.4.4	Isentrope Zustandsänderung.....	44
3.4.5	Polytrope Zustandsänderung.....	44
3.4.6	Zustandsänderungen in adiabaten Systemen.....	51
3.5	Kreisprozesse.....	55
3.6	Adiabate Drosselung.....	58
3.7	Füllen eines Behälters.....	59
3.8	Temperaturausgleich.....	59
3.9	Exergie und Anergie.....	60
3.9.1	Begrenzte Umwandelbarkeit der inneren Energie und der Wärme... ..	60
3.9.2	Exergie und Anergie eines strömenden Fluids.....	60
3.9.3	Exergie und Anergie eines geschlossenen Systems.....	62
3.9.4	Exergie und Anergie der Wärme.....	63
3.9.5	Exergieverlust.....	66
3.9.6	Exergetischer Wirkungsgrad.....	69
3.9.7	Energiequalitätsgrad.....	69
3.9.8	Energie- und Exergieflussbild.....	70
4	Das ideale Gas in Maschinen und Anlagen.....	79
4.1	Kreisprozesse für Wärme- und Verbrennungskraftanlagen.....	79
4.2	Kreisprozesse der Gasturbinenanlagen.....	79
4.2.1	Arbeitsprinzip der Gasturbinenanlagen.....	79
4.2.2	Joule-Prozess als Vergleichsprozess der Gasturbinenanlage.....	79
4.2.3	Ericsson-Prozess als Vergleichsprozess der Gasturbinenanlage.....	80
4.2.4	Der wirkliche Prozess in der Gasturbinenanlage.....	82
4.3	Kreisprozess des Heißgasmotors.....	90
4.4	Kreisprozesse der Verbrennungsmotoren.....	94
4.4.1	Übertragung des Arbeitsprinzips der Motoren in einen Kreisprozess.....	94
4.4.2	Otto-Prozess als Vergleichsprozess des Verbrennungsmotors.....	94
4.4.3	Diesel-Prozess als Vergleichsprozess des Verbrennungsmotors.....	94

4.4.4	Seiliger-Prozess als Vergleichsprozess des Verbrennungsmotors	98
4.4.5	Der wirkliche Prozess in den Verbrennungsmotoren	99
4.5	Kolbenverdichter	107
5	Der Dampf und seine Anwendung in Maschinen und Anlagen	109
5.1	Das reale Verhalten der Stoffe	109
5.2	Wasserdampf	110
5.3	Dampfkraftanlagen	126
5.4	Kombiniertes Gas-Dampf-Kraftwerk (GUD-Prozess).....	134
5.5	Organische Rankine-Prozesse (ORC).....	135
5.6	Linkslaufende Kreisprozesse mit Dämpfen	137
6	Gemische.....	140
6.1	Die Zusammensetzungen von Gemischen	140
6.2	Ideale Gemische.....	140
6.3	Gemisch idealer Gase	140
6.4	Gas-Dampf-Gemisch	140
7	Strömungsvorgänge	142
7.1	Kontinuitätsgleichung	142
7.2	Der erste Hauptsatz der Thermodynamik für Strömungsvorgänge.....	142
7.3	Kraftwirkung bei Strömungsvorgängen.....	142
7.4	Düsen- und Diffusorströmung	142
8	Wärmeübertragung	143
8.1	Arten der Wärmeübertragung	143
8.2	Wärmeleitung.....	143
8.2.1	Ebene Wand	143
8.2.2	Zylindrische Wand	144
8.2.3	Hohlkugelwand	146
8.3	Konvektiver Wärmeübergang.....	146
8.4	Temperaturstrahlung	150
8.5	Wärmedurchgang.....	151
8.6	Wärmeübertrager	156

9	Energieumwandlung durch Verbrennung und in Brennstoffzellen.....	162
9.1	Umwandlung der Brennstoffenergie durch Verbrennung.....	162
9.2	Verbrennungsrechnung.....	163
9.2.1	Feste und flüssige Brennstoffe.....	163
9.2.2	Gasförmige Brennstoffe.....	164
9.2.3	Näherungslösungen.....	167
9.3	Verbrennungskontrolle.....	168
9.4	Theoretische Verbrennungstemperatur.....	171
9.5	Abgasverlust und feuerungstechnischer Wirkungsgrad.....	172
9.6	Abgastaupunkt.....	176
9.7	Emissionen aus Verbrennungsanlagen.....	176
9.8	Chemische Reaktionen und Irreversibilität der Verbrennung.....	176
9.9	Brennstoffzellen.....	176
L	Lösungsergebnisse der Aufgaben.....	177