

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	15
1.4 Thermische Zustandsgleichung	16
1.4.1 Thermische Zustandsgleichung eines homogenen Systems	16
1.4.2 Thermische Zustandsgleichung des idealen Gases	16
1.5 Mengenmaße Kilomol und Normvolumen; molare Gaskonstante	17
1.6 Thermische Ausdehnung	19
2 Erster Hauptsatz der Thermodynamik	21
2.1 Energieerhaltung, Energiebilanz	21
2.2 Arbeit am geschlossenen System	21
2.3 Innere Energie	24
2.4 Wärme	25
2.5 Arbeit am offenen System und Enthalpie	25
2.6 Formulierungen des ersten Hauptsatzes der Thermodynamik	27
2.7 Kalorische Zustandsgleichungen	28
2.7.1 Kalorische Zustandsgleichungen eines homogenen Systems	28
2.7.2 Spezifische Wärmekapazitäten eines homogenen Systems	28
2.7.3 Kalorische Zustandsgleichungen des idealen Gases	31
2.7.4 Spezifische Wärmekapazitäten des idealen Gases	31
2.7.5 Molare Wärmekapazitäten des idealen Gases	36
3 Zweiter Hauptsatz der Thermodynamik	37
3.1 Aussagen des zweiten Hauptsatzes	37

3.2	Entropie	37
3.2.1	Einführung der Entropie	37
3.2.2	Entropiebilanzen	38
3.2.3	T,S -Diagramm	38
3.3	Fundamentalgleichungen	38
3.4	Einfache Zustandsänderungen des idealen Gases	39
3.4.1	Isochore Zustandsänderung	39
3.4.2	Isobare Zustandsänderung	43
3.4.3	Isotherme Zustandsänderung	47
3.4.4	Isentrope Zustandsänderung	49
3.4.5	Polytrope Zustandsänderung	49
3.4.6	Zustandsänderungen in adiabaten Systemen	56
3.5	Kreisprozesse	60
3.6	Adiabate Drosselung	66
3.7	Instationäre Prozesse	67
3.7.1	Füllen eines Behälters	67
3.7.2	Temperaturausgleich	67
3.8	Wärmetransport	68
3.9	Exergie und Anergie	68
3.9.1	Begrenzte Umwandelbarkeit der inneren Energie und der Wärme ...	68
3.9.2	Exergie und Anergie eines strömenden Fluids	68
3.9.3	Exergie und Anergie eines geschlossenen Systems	70
3.9.4	Exergie und Anergie der Wärme	71
3.9.5	Exergieverlust	76
3.9.6	Exergetischer Wirkungsgrad	79
3.9.7	Energie- und Exergie-Flussbild	80
4	Das ideale Gas in Maschinen und Anlagen	89
4.1	Kreisprozesse für Wärme- und Verbrennungskraftanlagen	89
4.2	Kreisprozesse der Gasturbinenanlagen	89
4.2.1	Arbeitsprinzip der Gasturbinenanlagen	89
4.2.2	Joule-Prozess als Vergleichsprozess der Gasturbinenanlage	89

4.2.3	Ericsson-Prozess als Vergleichsprozess der Gasturbinenanlage	90
4.2.4	Der wirkliche Prozess in der Gasturbinenanlage	92
4.3	Kreisprozess des Heißgasmotors	100
4.4	Kreisprozesse der Verbrennungsmotoren	104
4.4.1	Übertragung des Arbeitsprinzips der Motoren in einen Kreisprozess	104
4.4.2	Otto-Prozess als Vergleichsprozess des Verbrennungsmotors	104
4.4.3	Diesel-Prozess als Vergleichsprozess des Verbrennungsmotors	104
4.4.4	Seiliger-Prozess als Vergleichsprozess des Verbrennungsmotors ..	108
4.4.5	Der wirkliche Prozess in den Verbrennungsmotoren	109
4.5	Kolbenverdichter	118
5	Der Dampf und seine Anwendung in Maschinen und Anlagen	123
5.1	Das reale Verhalten der Stoffe	123
5.2	Wasserdampf	125
5.3	Dampfkraftanlagen	142
5.4	Kombiniertes Gas-Dampf-Kraftwerk (GUD-Prozess)	150
5.5	Organische Rankine-Prozesse (ORC)	151
5.6	Linkslaufende Kreisprozesse mit Dämpfen	153
6	Gemische	156
6.1	Die Zusammensetzungen von Gemischen	156
6.2	Ideale Gemische	156
6.3	Gemisch idealer Gase	156
6.4	Gas-Dampf-Gemisch; Feuchte Luft	156
7	Strömungsvorgänge	162
7.1	Kontinuitätsgleichung	162
7.2	Der erste Hauptsatz der Thermodynamik für Strömungsvorgänge	162
7.2.1	Arbeitsprozesse	162
7.2.2	Strömungsprozesse	164
7.3	Kraftwirkung bei Strömungsvorgängen	164
7.4	Düsen- und Diffusorströmung	164

8	Wärmeübertragung	165
8.1	Arten der Wärmeübertragung	165
8.2	Wärmeleitung	165
8.2.1	Ebene Wand	165
8.2.2	Zylindrische Wand	166
8.2.3	Hohlkugelwand	168
8.3	Konvektiver Wärmeübergang	168
8.3.1	Wärmeübergang bei erzwungener Strömung	168
8.3.2	Wärmeübergang bei freier Strömung	171
8.3.3	Wärmeübergang beim Kondensieren und Verdampfen	175
8.4	Temperaturstrahlung	175
8.5	Wärmedurchgang	178
8.6	Wärmeübertrager	183
9	Energieumwandlung durch Verbrennung und in Brennstoffzellen	189
9.1	Umwandlung der Brennstoffenergie durch Verbrennung	189
9.2	Verbrennungsrechnung	190
9.2.1	Feste und flüssige Brennstoffe	190
9.2.2	Gasförmige Brennstoffe	191
9.2.3	Näherungslösungen	194
9.3	Verbrennungskontrolle	195
9.4	Theoretische Verbrennungstemperatur	198
9.5	Abgasverlust und feuerungstechnischer Wirkungsgrad	199
9.6	Abgastaupunkt	203
9.7	Emissionen aus Verbrennungsanlagen	204
9.8	Chemische Reaktionen und Irreversibilität der Verbrennung	204
9.9	Brennstoffzellen	204
10	Lösungsergebnisse der Aufgaben	205