
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	50
3.4.5	Polytrope Zustandsänderung	50
3.4.6	Zustandsänderungen in adiabaten Systemen	57
3.5	Kreisprozesse	61
3.6	Adiabate Drosselung	67
3.7	Instationäre Prozesse	68
3.7.1	Füllen eines Behälters	68
3.7.2	Temperaturausgleich	68
3.8	Wärmetransport	69
3.9	Exergie und Anergie	69
3.9.1	Begrenzte Umwandelbarkeit der inneren Energie und der Wärme ...	69
3.9.2	Exergie und Anergie eines strömenden Fluids	69
3.9.3	Exergie und Anergie eines geschlossenen Systems	71
3.9.4	Exergie und Anergie der Wärme	73
3.9.5	Exergieverlust	78
3.9.6	Exergetischer Wirkungsgrad	81
3.9.7	Energie- und Exergie-Flussbild	82
4	Das ideale Gas in Maschinen und Anlagen	91
4.1	Kreisprozesse für Wärme- und Verbrennungskraftanlagen	91
4.2	Kreisprozesse der Gasturbinenanlagen	91
4.2.1	Arbeitsprinzip der Gasturbinenanlagen	91
4.2.2	Joule-Prozess als Vergleichsprozess der Gasturbinenanlage	91

4.2.3	Ericsson-Prozess als Vergleichsprozess der Gasturbinenanlage	92
4.2.4	Der wirkliche Prozess in der Gasturbinenanlage	94
4.3	Kreisprozess des Heißgasmotors	102
4.4	Kreisprozesse der Verbrennungsmotoren	106
4.4.1	Übertragung des Arbeitsprinzips der Motoren in einen Kreisprozess	106
4.4.2	Otto-Prozess als Vergleichsprozess des Verbrennungsmotors	106
4.4.3	Diesel-Prozess als Vergleichsprozess des Verbrennungsmotors	106
4.4.4	Seiliger-Prozess als Vergleichsprozess des Verbrennungsmotors ..	110
4.4.5	Der wirkliche Prozess in den Verbrennungsmotoren	111
4.5	Kolbenverdichter	120
5	Der Dampf und seine Anwendung in Maschinen und Anlagen	125
5.1	Das reale Verhalten der Stoffe	125
5.2	Wasserdampf	127
5.3	Dampfkraftanlagen	144
5.4	Kombiniertes Gas-Dampf-Kraftwerk (GUD-Prozess)	152
5.5	Organische Rankine-Prozesse (ORC)	153
5.6	Linkslaufende Kreisprozesse mit Dämpfen	155
6	Gemische	161
6.1	Die Zusammensetzungen von Gemischen	161
6.2	Ideale Gemische	161
6.3	Gemisch idealer Gase	161
6.4	Gas-Dampf-Gemisch; Feuchte Luft	162
6.5	Reale Gemische	167
7	Strömungsvorgänge	172
7.1	Kontinuitätsgleichung	172
7.2	Der erste Hauptsatz der Thermodynamik für Strömungsvorgänge	172
7.2.1	Arbeitsprozesse	172
7.2.2	Strömungsprozesse	174

7.3	Kraftwirkung bei Strömungsvorgängen	174
7.4	Düsen- und Diffusorströmung	174
8	Wärmeübertragung	175
8.1	Arten der Wärmeübertragung	175
8.2	Wärmeleitung	175
8.2.1	Ebene Wand	175
8.2.2	Zylindrische Wand	176
8.2.3	Hohlkugelwand	178
8.3	Konvektiver Wärmeübergang	178
8.3.1	Wärmeübergang bei erzwungener Strömung	178
8.3.2	Wärmeübergang bei freier Strömung	181
8.3.3	Wärmeübergang beim Kondensieren und Verdampfen	185
8.4	Temperaturstrahlung	185
8.5	Wärmedurchgang	188
8.6	Wärmeübertrager	193
9	Energieumwandlung durch Verbrennung und in Brennstoffzellen	199
9.1	Umwandlung der Brennstoffenergie durch Verbrennung	199
9.2	Verbrennungsrechnung	200
9.2.1	Feste und flüssige Brennstoffe	200
9.2.2	Gasförmige Brennstoffe	201
9.2.3	Näherungslösungen	204
9.3	Verbrennungskontrolle	205
9.4	Theoretische Verbrennungstemperatur	208
9.5	Abgasverlust und feuerungstechnischer Wirkungsgrad	209
9.6	Abgastaupunkt	213
9.7	Emissionen aus Verbrennungsanlagen	214
9.8	Chemische Reaktionen und Irreversibilität der Verbrennung	214
9.9	Brennstoffzellen	214
10	Lösungsergebnisse der Aufgaben	215