

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	39
3.3	Fundamentalgleichungen	39
3.4	Einfache Zustandsänderungen des idealen Gases	40
3.4.1	Isochore Zustandsänderung	40
3.4.2	Isobare Zustandsänderung	44
3.4.3	Isotherme Zustandsänderung	48
3.4.4	Isentrope Zustandsänderung	51
3.4.5	Polytrope Zustandsänderung	51
3.4.6	Zustandsänderungen in adiabaten Systemen	58
3.5	Kreisprozesse	62
3.6	Adiabate Drosselung	68
3.7	Instationäre Prozesse	69
3.7.1	Füllen eines Behälters	69
3.7.2	Temperaturausgleich	69
3.8	Wärmetransport	70
3.9	Exergie und Anergie	70
3.9.1	Begrenzte Umwandelbarkeit der inneren Energie und der Wärme ...	70
3.9.2	Exergie und Anergie eines strömenden Fluids	70
3.9.3	Exergie und Anergie eines geschlossenen Systems	72
3.9.4	Exergie und Anergie der Wärme	74
3.9.5	Exergieverlust	79
3.9.6	Exergetischer Wirkungsgrad	82
3.9.7	Energie- und Exergie-Flussbild	83
4	Das ideale Gas in Maschinen und Anlagen	92
4.1	Kreisprozesse für Wärme- und Verbrennungskraftanlagen	92
4.2	Kreisprozesse der Gasturbinenanlagen	92
4.2.1	Arbeitsprinzip der Gasturbinenanlagen	92
4.2.2	Joule-Prozess als Vergleichsprozess der Gasturbinenanlage	92

4.2.3	Ericsson-Prozess als Vergleichsprozess der Gasturbinenanlage	93
4.2.4	Der wirkliche Prozess in der Gasturbinenanlage	95
4.3	Kreisprozess des Heißgasmotors	103
4.4	Kreisprozesse der Verbrennungsmotoren	108
4.4.1	Übertragung des Arbeitsprinzips der Motoren in einen Kreisprozess	108
4.4.2	Otto-Prozess als Vergleichsprozess des Verbrennungsmotors	108
4.4.3	Diesel-Prozess als Vergleichsprozess des Verbrennungsmotors	108
4.4.4	Seiliger-Prozess als Vergleichsprozess des Verbrennungsmotors ..	112
4.4.5	Der wirkliche Prozess in den Verbrennungsmotoren	113
4.5	Kolbenverdichter	122
5	Der Dampf und seine Anwendung in Maschinen und Anlagen	127
5.1	Das reale Verhalten der Stoffe	127
5.2	Wasserdampf	129
5.3	Dampfkraftanlagen	146
5.4	Kombiniertes Gas-Dampf-Kraftwerk (GUD-Prozess)	154
5.5	Organische Rankine-Prozesse (ORC)	155
5.6	Linkslaufende Kreisprozesse mit Dämpfen	157
6	Gemische	163
6.1	Die Zusammensetzungen von Gemischen	163
6.2	Ideale Gemische	163
6.3	Gemisch idealer Gase	163
6.4	Gas-Dampf-Gemisch; Feuchte Luft	164
6.5	Reale Gemische	169
7	Strömungsvorgänge	174
7.1	Kontinuitätsgleichung	174
7.2	Der erste Hauptsatz der Thermodynamik für Strömungsvorgänge	174
7.2.1	Arbeitsprozesse	174
7.2.2	Strömungsprozesse	176

7.3	Kraftwirkung bei Strömungsvorgängen	176
7.4	Düsen- und Diffusorströmung	176
8	Wärmeübertragung	177
8.1	Arten der Wärmeübertragung	177
8.2	Wärmeleitung	177
8.2.1	Ebene Wand	177
8.2.2	Zylindrische Wand	178
8.2.3	Hohlkugelwand	180
8.3	Konvektiver Wärmeübergang	180
8.3.1	Wärmeübergangsbeziehungen	180
8.3.2	Ähnlichkeitstheorie des Wärmeübergangs	181
8.3.3	Wärmeübergang beim Kondensieren und Verdampfen	202
8.4	Temperaturstrahlung	202
8.5	Wärmedurchgang	205
8.6	Wärmeübertrager	211
9	Energieumwandlung durch Verbrennung und in Brennstoffzellen	220
9.1	Umwandlung der Brennstoffenergie durch Verbrennung	220
9.2	Verbrennungsrechnung	221
9.2.1	Feste und flüssige Brennstoffe	221
9.2.2	Gasförmige Brennstoffe	222
9.2.3	Näherungslösungen	225
9.3	Verbrennungskontrolle	226
9.4	Theoretische Verbrennungstemperatur	229
9.5	Abgasverlust und feuerungstechnischer Wirkungsgrad	230
9.6	Abgastaupunkt	234
9.7	Emissionen aus Verbrennungsanlagen	235
9.8	Chemische Reaktionen und Irreversibilität der Verbrennung	235
9.9	Brennstoffzellen	235
10	Lösungsergebnisse der Aufgaben	236