

Inhaltsverzeichnis

1	Grundbegriffe	1
1.1	Thermodynamisches System	1
1.2	Zustand und Zustandsgrößen; Prozeß	2
1.3	Natürliche Vorgänge und Gleichgewicht; Temperatur	4
1.4	Nullter Hauptsatz	5
1.5	Temperaturfixpunkte und empirische Temperaturskala	5
1.6	Thermische Zustandsgleichung idealer Gase	6
1.6.1	Versuch von Gay-Lussac	6
1.6.2	Boyle-Mariottesches Gesetz	6
1.6.3	Zustandsgleichung idealer Gase	7
1.6.4	Vollständiges Differential	8
2	Erster Hauptsatz der Thermodynamik	11
2.1	Volumenänderungsarbeit	11
2.2	Innere Energie	13
2.3	Erster Hauptsatz für geschlossene Systeme	14
2.4	Innere Energie idealer Gase	15
2.5	Spezifische Wärmekapazität	18
3	Zustandsänderungen	23
3.1	Quasistatische und nichtstatische Zustandsänderungen	23
3.2	Quasistatische Zustandsänderungen	24
3.2.1	Zustandsänderung bei konstantem Volumen (Isochore)	24
3.2.2	Zustandsänderung bei konstantem Druck (Isobare)	25
3.2.3	Zustandsänderung bei $pV = \text{konst.}$	26
3.2.4	Isentrope Zustandsänderung	26
3.2.5	Polytrope Zustandsänderungen	29
4	Kreisprozesse	33
4.1	Otto-Prozeß	33
4.2	Rechtslaufender Carnot-Prozeß	35
4.3	Linkslaufender Carnot-Prozeß	36
4.4	Rechtslaufende und linkslaufende Kreisprozesse	38
5	Zweiter Hauptsatz der Thermodynamik	39
5.1	Umkehrbare und nichtumkehrbare Prozesse	40
5.2	Umkehrbare Kreisprozesse	41
5.3	Absolute Temperatur	43
5.4	Nichtumkehrbare Kreisprozesse	43
5.5	Clausiusssche Ungleichung	44

5.6	Entropie	46
5.7	Arbeitsleistung und Nichtumkehrbarkeit	47
5.8	Entropieänderung idealer Gase	48
5.9	T,s-Diagramm für einfache Stoffe	50
6	Offene Systeme	53
6.1	Drucklifterzeugung (Gleichdruckprozeß)	53
6.2	Stationärer Fließprozeß	54
6.2.1	Quasistatische Zustandsänderungen bei stationären Fließprozessen	55
6.2.2	Reibungsbehaftete adiabate Expansion und Kompression	57
6.3	Erster und Zweiter Hauptsatz für offene Systeme	59
7	Das Wesen der Entropie	61
7.1	Statistische Deutung des adiabaten Druckausgleichs	61
7.2	Statistische Energieverteilung	65
7.3	Wahrscheinlichkeit und Entropie	69
8	Reale Gase und Dämpfe	71
8.1	Der Verdampfungsvorgang	71
8.2	Zustandsänderungen des Naßdampfes	74
8.3	Clapeyron-Clausius-Gleichung	76
8.4	Zustandsgleichung nach van der Waals	76
8.5	Weitere Zustandsgleichungen	80
8.5.1	Redlich-Kwong-Gleichung	80
8.5.2	Virialgleichung	80
8.5.3	Wasserdampfformeln	80
8.6	Kalorische Zustandsgrößen	81
8.7	Zweiphasengebiete	84
9	Wärmekraftprozesse	87
9.1	Mittlere Temperatur des Wärmeumsatzes	87
9.2	Dampfkraftprozeß	89
9.2.1	Einfache Dampfkraftanlage	89
9.3	Dampfkraftprozeß im Mollier h,s-Diagramm	91
9.3.1	h,s-Diagramm von R. Mollier	91
9.3.2	Zwischenüberhitzung	92
9.3.3	Speisewasservorwärmung	93
9.3.4	Kraft-Wärme-Kopplung	95
9.4	Gasturbinenprozesse	97
9.4.1	Der einfache offene Gasturbinenprozeß	97
9.4.2	Gasturbinenprozeß mit interner Wärmerückgewinnung (Rekuperator)	100

10 Exergie	103
10.1 Exergie eines Fremdstoffs mit der Umgebung	103
10.2 Mollier-h,s-Diagramm und Exergie	104
11 Strömungsvorgänge	107
11.1 Kontinuitätsgleichung	108
11.2 Energieumsatz; Erster Hauptsatz	108
11.3 Polytrope Zustandsänderungen	109
11.4 Adiabate Strömungsprozesse	114
11.4.1 Strömungsquerschnitte	117
11.4.2 Der senkrechte Verdichtungsstoß	121
11.4.3 Schwacher Stoß; Schallgeschwindigkeit	123
11.5 Prinzip des Strahltriebwerkes	124
12 Grundlagen der Kältetechnik	127
12.1 Kältemaschinen und Kältetechnik	127
12.2 Grundlagen der Gasverflüssigung	130
12.2.1 Joule-Thomson-Effekt	130
12.2.2 Gasverflüssigungsverfahren nach Linde	131
13 Gemische und Mischungsprozesse	133
13.1 Gemische	133
13.1.1 Gemische idealer Gase	134
13.2 Adiabate Mischung idealer Gase	135
13.2.1 Mischung im geschlossenen System	135
13.2.2 Stationärer und adiabater Mischungsprozeß	138
13.3 Feuchte Luft	139
13.3.1 Zustandsgrößen feuchter Luft	139
13.3.2 Mollier-h,x-Diagramm für feuchte Luft	143
13.3.3 Adiabate Mischung feuchter Luft	144
13.3.4 Mischung mit Wärmezufuhr	146
13.3.5 Zumischung von Wasser bzw. Wasserdampf	146
14 Verbrennungsvorgänge und andere chemische Umsetzungen	149
14.1 Stoffumsatz	149
14.1.1 Oxidationsverhältnis λ und Verbrennungsverhältnis χ	151
14.2 Feste und flüssige Brennstoffe	152
14.3 Energiebilanz	153
14.3.1 Adiabate Verbrennungstemperatur	156
14.4 Entropiebilanz und Irreversibilitäten der Verbrennung	157
14.4.1 Exergieverlust bei adiabater Verbrennung	157