

Inhaltsverzeichnis

1	Thermodynamische Größen	11
1.1	Größenarten	11
1.2	Größen und Einheiten	12
1.3	Umrechnung von Einheiten	14
2	Zustandsverhalten reiner Stoffe	15
2.1	Einphasengebiete und Phasenübergänge	15
2.2	Zweiphasengebiet flüssig – gasförmig	16
2.3	Bereiche für Zustandsberechnung	19
2.3.1	Bereiche für Zustandsberechnung im p,T -Diagramm	20
2.3.2	Bereiche für Zustandsberechnung im p,v -Diagramm	21
2.3.3	Bereiche für Zustandsberechnung im T,s -Diagramm	22
2.3.4	Bereiche für Zustandsberechnung im h,s -Diagramm	23
3	Thermische Zustandsgrößen	24
3.1	Temperatur	24
3.2	Druck	25
3.3	Dichte und spezifisches Volumen	26
3.3.1	Definitionen	26
3.3.2	Ermittlung von v und ρ für reale Fluide	27
3.3.3	Ermittlung von v und ρ für ideale Gase	27
3.3.4	Ermittlung von v und ρ für inkompressible (ideale) Flüssigkeiten und Festkörper	30
3.3.5	Ermittlung von v und ρ für Nassdampf	32
3.4	Normzustand und Normvolumen	33
4	Energetische Zustandsgrößen	34
4.1	Wärmekapazitäten	34
4.1.1	Definitionen	34
4.1.2	Ermittlung von c_p und c_v für reale Fluide	34
4.1.3	Ermittlung von c_p und c_v für ideale Gase	35
4.1.4	Ermittlung von c_p und c_v für inkompressible (ideale) Flüssigkeiten und Festkörper	36
4.1.5	Ermittlung von c_p und c_v für Nassdampf	37
4.2	Isentropenexponent und isentrope Schallgeschwindigkeit	37

4.2.1	Definitionen.....	37
4.2.2	Ermittlung von κ und w für reale Fluide.....	38
4.2.3	Ermittlung von κ und w für ideale Gase.....	38
4.2.4	Ermittlung von κ und w für inkompressible (ideale) Flüssigkeiten.....	39
4.2.5	Ermittlung von κ und w für Nassdampf.....	39
4.3	Enthalpie und innere Energie.....	40
4.3.1	Definitionen.....	40
4.3.2	Ermittlung von h und u für reale Fluide.....	42
4.3.3	Ermittlung von h und u für ideale Gase.....	42
4.3.4	Ermittlung von h und u für inkompressible (ideale) Flüssigkeiten und Festkörper.....	47
4.3.5	Ermittlung von h und u für Nassdampf.....	51
4.4	Entropie.....	53
4.4.1	Definition.....	53
4.4.2	Ermittlung von s für reale Fluide.....	54
4.4.3	Ermittlung von s für ideale Gase.....	55
4.4.4	Ermittlung von s für inkompressible (ideale) Flüssigkeiten.....	58
4.4.5	Ermittlung von s für Nassdampf.....	58
4.5	Exergie.....	59
4.5.1	Exergie (der Enthalpie).....	59
4.5.2	Exergie der inneren Energie.....	60
5	Massebilanz.....	62
5.1	Stoffmenge, Masse und Volumen.....	62
5.2	Massestrom und Volumenstrom.....	63
5.3	Massebilanz bei geschlossenen Systemen.....	63
5.4	Massebilanz bei offenen stationären Systemen.....	64
5.5	Massebilanz bei offenen instationären Systemen.....	66
6	Energiebilanz – 1. Hauptsatz der Thermodynamik.....	67
6.1	Ruhendes geschlossenes System.....	67
6.1.1	Energiebilanz zwischen Zustand 1 und 2.....	67
6.1.2	Volumenänderungsarbeit.....	68
6.1.3	Äußere Nutzarbeit und Kolbenarbeit.....	70
6.1.4	Dissipierte Arbeiten.....	71
6.1.5	Wärme.....	73

6.1.6	Instationäre Energiebilanz.....	75
6.2	Ruhendes offenes System.....	76
6.2.1	Stationäre Energiebilanz	76
6.2.2	Technische Arbeit	79
6.2.3	Allgemeine instationäre Energiebilanz.....	81
6.3	Berechnung der Differenzen der spezifischen Enthalpie und der spezifischen inneren Energie	82
6.3.1	Reale Fluide	82
6.3.2	Ideale Gase	82
6.3.3	Inkompressible (ideale) Flüssigkeiten.....	86
6.3.4	Nassdampf.....	90
7	Entropiebilanz – 2. Hauptsatz der Thermodynamik	91
7.1	Ruhendes geschlossenes System	91
7.1.1	Entropiebilanz zwischen Zustand 1 und 2.....	91
7.1.2	Entropie der Wärme	92
7.1.3	Entropieproduktion	93
7.1.4	Dissipationsenergie	95
7.2	Ruhendes offenes System.....	96
7.3	Berechnung der Differenzen der spezifischen Entropie.....	98
7.3.1	Reale Fluide	98
7.3.2	Ideale Gase	98
7.3.3	Inkompressible (ideale) Flüssigkeiten.....	101
7.3.4	Nassdampf.....	103
8	Exergiebilanz.....	104
8.1	Ruhendes geschlossenes System	104
8.1.1	Exergiebilanz zwischen Zustand 1 und 2	104
8.1.2	Exergie der Wärme	105
8.1.3	Exergieverlust	106
8.2	Ruhendes offenes System.....	107
8.3	Berechnung der Differenzen der spezifischen Exergie.....	110
9	Einfache Prozesse.....	111
9.1	Grundlagen der thermodynamischen Modellierung technischer Prozesse.....	111
9.2	Technische Anwendungen.....	117
9.2.1	Fluide in Behältern mit starren Wänden.....	117
9.2.2	Fluide unter konstantem Druck.....	118

9.2.3	Mischen von Fluidströmen	120
9.2.4	Verdichten und Pumpen von Fluidströmen.....	121
9.2.5	Entspannung von Fluidströmen in Turbinen.....	125
9.2.6	Drosselentspannung	128
10	Kreisprozesse	130
10.1	Grundlagen	130
10.2	Gasturbinenanlagen-JOULE-Prozess.....	136
10.3	Dampfturbinenanlagen-CLAUSIUS-RANKINE-Prozess	139
10.4	Kältemaschinen- und Wärmepumpen-Prozess	143
11	Wärmeübertragung.....	146
11.1	Transporteigenschaften der Stoffe.....	146
11.2	Wärmeleitung	147
11.2.1	Grundlagen.....	147
11.2.2	Ebene Wand	150
11.2.3	Zylinderwand (Rohrwand)	151
11.2.4	Kugelwand	153
11.3	Konvektiver Wärmeübergang.....	154
11.3.1	Temperaturfeld.....	155
11.3.2	Wärmestrom und Wärmeübergangskoeffizient.....	156
11.3.3	Ähnlichkeitskennzahlen	158
11.3.4	Wärmeübergang bei freier Konvektion.....	160
11.3.5	Wärmeübergang bei erzwungener Konvektion	165
11.4	Wärmestrahlung	170
11.4.1	Energiebilanz	170
11.4.2	Zweiflächenstrahlungsaustausch.....	172
11.4.3	Strahlungsaustauschkoeffizient (resultierender Strahlungskoeffizient) für ausgewählte Anwen- dungsfälle	175
11.5	Wärmedurchgang	177
12	Thermodynamik der feuchten Luft	182
12.1	Konstanten und Mittelwerte für die Zustandsberechnung....	182
12.2	Arten der feuchten Luft.....	184
12.3	Zusammensetzung der feuchten Luft	186
12.3.1	Allgemeine Zusammensetzung der feuchten Luft – Wassergehalt	186
12.3.2	Ungesättigte feuchte Luft – relative Feuchte.....	189

12.3.3	Gesättigte feuchte Luft.....	192
12.3.4	Übersättigte feuchte Luft (Nebel).....	194
12.4	Luftspezifisches Volumen und Dichte.....	194
12.5	Spezifische Wärmekapazitäten.....	197
12.6	Isentropenexponent und isentrope Schallgeschwindigkeit.....	198
12.7	Luftspezifische Enthalpie und innere Energie.....	199
12.8	Luftspezifische Entropie.....	202
12.9	Taupunkttemperatur.....	202
12.10	Feuchtkugeltemperatur (Kühlgrenztemperatur).....	203
12.11	Das h_{1+x,x_w} -Diagramm.....	205
12.12	Bilanzierung von Prozessen mit feuchter Luft.....	206
12.13	Anwendung der Zustandsberechnung von feuchter Luft auf feuchte Gase.....	210
Literaturverzeichnis.....		211
Anhang		
A	Stoffwertsammlung.....	213
A1	Stoffunabhängige Konstanten.....	213
A2	Stoffspezifische Konstanten.....	213
A3	Stoffwerte von Gasen im Idealgaszustand.....	215
A4	Stoffwerte von siedendem Wasser und gesättigtem Wasserdampf.....	220
A5	Stoffwerte von Wasser (reales Fluid).....	221
A6	Stoffwerte von Wasserflüssigkeit (ideal).....	222
A7	Stoffwerte von Luft (reales Fluid).....	223
A8	Stoffwerte von Luft bei $p = 0,101325$ MPa.....	224
A9	Transportgrößen von Feststoffen (Mittelwerte).....	225
A10	Gesamtemissionsverhältnisse von Stoffen (Mittelwerte).....	226
A11	Heizwerte und Brennwerte.....	227
A12	Sättigungspartialdruck von Wasser.....	228
B	Zustandsdiagramme auf plus.hanser-fachbuch.de	
	Mollier h,s -Diagramm von Wasserdampf	
	T,s -Diagramm von Wasser und Wasserdampf	
	$\log p,h$ -Diagramme von Ammoniak und Propan	
	h_{1+x,x_w} -Diagramme von feuchter Luft	
Sachwortverzeichnis.....		229