

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 ν und ρ für reale Fluide	27
3.3.3	Ermittlung von ν und ρ für ideale Gase.....	27
3.3.4	Ermittlung von ν und ρ für inkompressible (ideale) Flüssigkeiten und Festkörper	30
3.3.5	Ermittlung von ν 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	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	κ und w für inkompressible (ideale) Flüssigkeiten	39
4.2.5	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 der spezifischen Entropie 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 von spezifischer Enthalpie und spezifischer innerer 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.....	121
9.2.5	Entspannung 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	Stationäre 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	Freie Konvektion	160
11.3.5	Erzwungene 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 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 luftspezifische innere Energie	199
12.8	Taupunkttemperatur	202
12.9	Feuchtkugeltemperatur (Kühlgrenztemperatur).....	203
12.10	Das h_{1+x}, x_W -Diagramm	205
12.11	Bilanzierung von Prozessen mit feuchter Luft	206
12.12	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

Sachwortverzeichnis	229
----------------------------------	------------

B Zustandsdiagramme (als Beilage)

B1	Mollier h,s -Diagramm von Wasserdampf
B2	T,s -Diagramm von Wasser und Wasserdampf
B3	$\lg p,h$ -Diagramm von Ammoniak
B4	h_{1+x}, x_W -Diagramm von feuchter Luft