

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Einführung</b>	<b>1</b>
1.1	Thermodynamik wozu? .....	1
1.2	Welche Aussagen macht die Thermodynamik? .....	1
1.3	Methoden der Thermodynamik.....	2
<b>2</b>	<b>System und Zustand</b>	<b>4</b>
2.1	System, Systemgrenze, Systemeigenschaften .....	4
2.1.1	Systeme.....	4
2.1.2	Systemeigenschaften .....	5
2.2	Zustand und Zustandsgrößen .....	8
2.2.1	Zustand und Prozess.....	8
2.2.2	Zustandsgrößen .....	9
2.3	Thermische Zustandsgleichung .....	18
2.3.1	Die individuelle Gaskonstante $R_i$ .....	19
2.3.2	Die allgemeine Gaskonstante $R$ .....	21
2.4	Zustandsdiagramme.....	23
<b>3</b>	<b>Prozesse und Prozessgrößen</b>	<b>25</b>
3.1	Prozesse .....	25
3.1.1	Zustandsänderungen durch Prozesse.....	26
3.2	Der Energieerhaltungssatz .....	30
3.3	Wärme, Wärmemenge, Wärmekapazität .....	31
3.3.1	Spezifische Wärmekapazität $c$ .....	32
3.3.2	Spezifische Wärmekapazitäten von festen und flüssigen (gasförmigen) Stoffen in der Anwendung.....	38
3.3.3	Mischungstemperatur.....	40
3.3.4	Schmelz- und Verdampfungsenthalpie .....	42
3.4	Arbeit .....	45
3.4.1	Umwandlung mechanischer oder elektrischer Arbeit in thermische Energie.....	47
<b>4</b>	<b>Der 1. und 2. Hauptsatz der Thermodynamik</b>	<b>54</b>
4.1	Die Innere Energie .....	54
4.2	Der 1. Hauptsatz für geschlossene Systeme .....	59
4.2.1	Ruhende Systeme.....	59
4.2.2	Bewegte Systeme .....	60
4.3	Der 1. Hauptsatz für offene Systeme.....	61
4.3.1	Stationäre Prozesse.....	61

4.4	Kalorische Zustandsgleichung.....	69
4.4.1	Innere Energie.....	69
4.4.2	Enthalpie .....	70
4.5	Der 2. Hauptsatz der Thermodynamik.....	74
4.5.1	Die Entropie .....	76
4.6	Der 3. Hauptsatz der Thermodynamik.....	86
<b>5</b>	<b>Zustandsänderungen idealer Gase</b>	<b>88</b>
5.1	Die isochore Zustandsänderung ( $V = \text{konst.}$ ) .....	89
5.2	Die isobare Zustandsänderung ( $p = \text{konst.}$ ).....	93
5.3	Die isotherme Zustandsänderung ( $T = \text{konst.}$ ).....	98
5.4	Die isentrope Zustandsänderung ( $s = \text{konst.}$ ).....	103
5.5	Die polytrope Zustandsänderung.....	109
<b>6</b>	<b>Gasmischungen, feuchte Luft und Dampf</b>	<b>121</b>
6.1	Gasmischungen idealer Gase .....	121
6.1.1	Der Raumanteil und das Partialvolumen .....	121
6.1.2	Der Massenanteil .....	123
6.1.3	Die Dichte einer Gasmischung .....	124
6.1.4	Die Molmasse einer Gasmischung .....	125
6.1.5	Umrechnung Massenanteil in Raumanteil.....	125
6.1.6	Der Partialdruck $p_i$ .....	125
6.1.7	Die spezifischen Wärmekapazitäten $c_p$ und $c_v$ .....	126
6.2	Dampf .....	130
6.2.1	Das Verhalten von reinen Stoffen am Beispiel Wasser.....	130
6.2.2	Zustandsgrößen von Nassdampf .....	135
6.2.3	Das $T,s$ - und $h,s$ -Diagramm für Wasser .....	137
6.3	Feuchte Luft (Gas-Dampf-Gemisch) .....	141
6.3.1	Absolute Feuchte .....	144
6.3.2	Relative Feuchte .....	145
6.3.3	Das spezifische Volumen feuchter Luft .....	146
6.3.4	Die spezifische Enthalpie feuchter Luft.....	147
6.3.5	Das $h,x$ -Diagramm für feuchte Luft .....	150
<b>7</b>	<b>Prozesse von Kraft- und Arbeitsmaschinen</b>	<b>155</b>
7.1	Grundsätzliches zu Kreisprozessen.....	155
7.2	Vergleichsprozesse von Kraftmaschinen .....	161
7.2.1	Der Carnot-Prozess .....	161
7.2.2	Der Gleichraum-Prozess .....	167
7.2.3	Der Gleichdruck-Prozess .....	172
7.2.4	Der Seiliger-Prozess .....	177
7.2.5	Der Joule-Prozess .....	180

7.2.6	Der Stirling-Prozess .....	186
7.3	Der Clausius-Rankine-Prozess .....	191
7.4	Kältemaschinen und Wärmepumpe .....	195
7.4.1	Gaskältemaschinen .....	198
7.4.2	Dampfkältemaschinen .....	200
7.5	Der Verdichter .....	202
7.5.1	Der verlustlose Verdichter .....	203
7.5.2	Der reale Verdichter .....	205
7.5.2	Isentroper Turbinen- und Verdichterwirkungsgrad.....	212
<b>8</b>	<b>Ausgewählte adiabate, rigide Strömungsprozesse</b>	<b>219</b>
8.1	Grundlagen .....	219
8.1.1	Beschleunigte Strömung mit Druckabfall (rechts der Isentropen und unter der Isenthalpen) .....	222
8.1.2	Verzögerte Strömung mit Druckabfall (rechts der Isobaren und über der Isenthalpen) .....	222
8.1.3	Verzögerte Strömung mit Druckanstieg (rechts der Isentropen und links der Isobaren) .....	222
8.2	Die adiabate Drosselung .....	226
8.3	Die adiabate Düsen- und Diffusorströmung .....	229
8.3.1	Düse .....	229
8.3.2	Diffusor .....	233
8.4	Querschnittsflächen bei isentroper Düsen- und Diffusorströmung .....	237
8.4.1	Düse (beschleunigte Strömung).....	238
8.4.2	Diffusor (verzögerte Strömung).....	238
<b>9</b>	<b>Wärmeübertragung</b>	<b>243</b>
9.1	Wärmeleitung.....	246
9.1.1	Wärmeleitung durch eine ebene Wand .....	247
9.1.2	Wärmeleitung durch mehrschichtige ebene Wände.....	252
9.1.3	Wärmeleitung durch zylindrische Wände.....	255
9.2	Wärmeübergang.....	259
9.2.1	Berechnung der Wärmeübergangszahl über die Nußelt-Zahl.....	262
9.2.2	Nußelt-Beziehungen beim Phasenwechsel .....	276
9.3	Wärmedurchgang .....	286
9.4	Temperaturstrahlung .....	292
9.4.1	Wärmeübertragung durch Strahlung .....	302
9.4.2	Das Strahlungsverhalten von Gasen.....	307
9.5	Wärmeübertrager .....	308
9.5.1	Berechnung von Rekuperatoren.....	311

<b>10</b>	<b>Tabellen</b>	<b>333</b>
<b>11</b>	<b>Formelzeichen, Indizes, Abkürzungen</b>	<b>343</b>
<b>12</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>346</b>
<b>13</b>	<b>Fachwörterlexikon</b>	<b>348</b>
	Deutsch – Englisch .....	348
	Englisch – Deutsch .....	356
	<b>Index</b>	<b>364</b>