

# Inhaltsverzeichnis

<b>Übersicht HanserPlus</b> .....	<b>XII</b>
<b>Der Autor</b> .....	<b>XIV</b>
<b>1 Einführung</b> .....	<b>1</b>
1.1 Lernziel .....	2
1.2 Digitale Werkzeuge .....	5
1.3 Kontext .....	8
1.4 Danke! .....	12
<b>Teil I – Grundlagen</b> .....	<b>15</b>
<b>2 Das System und sein Zustand</b> .....	<b>17</b>
2.1 System und Systemgrenze .....	17
2.1.1 Einfache Systeme klassifizieren .....	18
2.1.2 Systemgrenzen klassifizieren .....	19
2.2 Zustand eines Systems .....	22
2.2.1 Mechanische Zustandsgrößen .....	23
2.2.2 Die Temperatur .....	26
2.2.3 Energetische Zustandsgrößen .....	29
2.2.4 Extensive, intensive, molare Zustandsgrößen .....	30
2.2.5 Zustandsgleichung eines homogenen Stoffes .....	33
2.3 Das ideale Gas .....	36
2.3.1 Was ist ein ideales Gas? .....	36
2.3.2 Warum wir die Zustandsgleichung des idealen Gases verwenden .....	39
2.3.3 Normzustand .....	40
2.3.4 Realgasfaktor und andere Zustandsgleichungen .....	40
2.4 Die ideale Flüssigkeit .....	43

<b>3</b>	<b>Zustandsänderungen</b>	<b>51</b>
3.1	Zustandsänderungen	51
3.2	Prozessgröße oder Zustandsgröße	55
3.3	Arbeit verrichten	56
3.3.1	Volumenarbeit verrichten	57
3.3.2	Druckarbeit verrichten	59
3.3.3	Verschiebearbeit	60
3.3.4	Druck- und Volumenarbeit hängen zusammen	61
3.3.5	Arbeit verrichten verändert die Energie des Systems	62
3.4	Wärme übertragen	63
3.4.1	Spezifische Wärmekapazität	64
3.4.2	Chemische Energie und Heizwert	65
3.4.3	Temperatur einer Mischung	66
3.5	Wegabhängigkeit	71
3.6	Energie verteilen – Dissipation	72
<b>4</b>	<b>Energie bleibt erhalten</b>	<b>79</b>
4.1	Bilanz der Energie in geschlossenen Systemen	81
4.2	Der erste Hauptsatz für offene Systeme	82
4.3	Technische Arbeit verrichten	82
4.4	Der erste Hauptsatz für stationäre Fließprozesse	83
4.5	Strömungen in Leitungen und Kanälen	90
4.5.1	Massenerhalt und Kontinuitätsgleichung	91
4.5.2	Energieerhaltung	93
4.5.3	Strömungsformen	96
4.6	Druckverlust ist Dissipation	98
<b>5</b>	<b>Zweiter Hauptsatz der Thermodynamik</b>	<b>107</b>
5.1	Worum geht es?!	108
5.2	Entropie	109
5.3	Entropie berechnen	110
5.4	Entropie als Stoffgröße	113
5.5	Umwandlung von Wärme in Arbeit	118
5.6	Entropie, Energie und vernichtete Arbeit	119
5.7	Was ist Temperatur?	124
5.8	Ausblick	125
5.8.1	Differentiale	126

5.8.2	Thermodynamische Potenziale .....	126
5.8.3	Innere Energie, Enthalpie und spezifische Wärme .....	129
5.9	Elektrizität .....	130
<b>Teil II – Stoffe beschreiben .....</b>		<b>133</b>
<b>6</b>	<b>Stoffe beschreiben .....</b>	<b>135</b>
6.1	Zentrale Begriffe .....	135
6.2	Phasen und Phasenübergänge .....	136
6.2.1	Phasen .....	136
6.2.2	Phasenübergänge .....	139
6.3	Diagramme beschreiben Stoffe .....	143
6.3.1	Das T-s-Diagramm .....	144
6.3.2	Das h-s Diagramm .....	146
6.3.3	Das log p-h Diagramm .....	147
6.3.4	Nassdampf .....	148
6.4	Siede- und Sättigungstabellen .....	150
6.5	Grafische Werkzeuge .....	154
6.5.1	Zustandsänderungen beschreiben .....	156
6.5.2	Ideale Fluide .....	157
6.5.3	Das T-s-Diagramm .....	158
6.5.4	Das h-s Diagramm .....	159
6.5.5	Das log p-h Diagramm .....	162
6.6	Temperaturabhängigkeit der spezifischen Wärmekapazität .....	169
6.7	Schallgeschwindigkeit .....	171
<b>7</b>	<b>Zustandsänderungen des idealen Gases .....</b>	<b>173</b>
7.1	Ideales Gas .....	175
7.2	Die isochore Zustandsänderung .....	176
7.3	Die isobare Zustandsänderung .....	177
7.4	Die isotherme Zustandsänderung .....	178
7.5	Die isentrope Zustandsänderung .....	179
7.6	Zustandsänderungen illustrieren .....	180
7.7	Polytrope Zustandsänderung des idealen Gases .....	182
7.7.1	Die polytrope spezifische Wärmekapazität .....	183
7.7.2	Die polytrope übertragene Wärme und verrichtete Arbeit .....	184
7.7.3	Polytrope Zustandsänderungen .....	185

7.8	Isentrope Wirkungsgrade .....	190
7.8.1	Verdichter .....	190
7.8.2	Turbine .....	193
7.8.3	Adiabate polytrope Zustandsänderung und innere Arbeit .....	195
7.9	Freie Expansion und isenthalpe Expansion .....	196
7.10	Übersichtstabellen zu den Zustandsänderungen .....	202
<b>8</b>	<b>Gemische .....</b>	<b>205</b>
8.1	Gemische beschreiben .....	208
8.2	Zustandsgrößen .....	212
8.3	Zustandsgröße Entropie .....	215
8.4	Gemische als ideales Gas .....	223
8.5	Formelsammlung für Gemische .....	226
<b>9</b>	<b>Feuchte Luft .....</b>	<b>235</b>
9.1	Was ist feuchte Luft? .....	236
9.2	Trockene Luft .....	237
9.3	Feuchte Luft beschreiben .....	238
9.4	Sättigungsdruck berechnen .....	241
9.5	Zustandsgrößen ungesättigter feuchter Luft .....	243
9.6	Enthalpie .....	246
9.7	Das h-x Diagramm .....	248
9.7.1	Das schiefwinklige h-x Diagramm .....	250
9.7.2	Zustandsänderungen im h-x Diagramm .....	251
9.7.3	Nasskühlturm .....	258
9.8	Feuchte Luft und Wetter .....	263
9.8.1	Wind und Feuchtigkeit .....	265
9.8.2	Barometrische Höhenformeln .....	269
9.8.3	Barometrische Höhenformel für Wasser .....	271
9.8.4	Interpretation der Höhenformel für Wasser .....	273
	<b>Teil III – Kreisprozesse .....</b>	<b>281</b>
<b>10</b>	<b>Was sind Kreisprozesse? .....</b>	<b>283</b>
10.1	Vergleichsprozesse .....	285
10.2	Nennleistung .....	287

<b>11</b>	<b>Vergleichsprozesse des idealen Gases</b>	<b>289</b>
11.1	Joule-Vergleichsprozess	289
11.1.1	Von der Gasturbine zum Vergleichsprozess	289
11.1.2	Komponenten und Grenzen	293
11.1.3	Prozesse und Wirkungsgrad	294
11.1.4	Maximale Leistung im Joule-Prozess	297
11.1.5	Ausblick – Reale Gasturbinen	301
11.2	Kolbenmotoren	308
11.3	Otto-Motor und Gleichraumprozess	310
11.4	Diesel- oder Gleichdruckprozess	322
11.5	Vergleich von Otto- und Diesel-Prozess	325
11.6	Weitere Vergleichsprozesse	327
11.6.1	Linkslaufende Kreisprozesse des idealen Gases	327
11.6.2	Vergleichsprozesse mit isothermer Wärmeübertragung	328
<b>12</b>	<b>Kreisprozesse mit Phasenwechsel</b>	<b>331</b>
12.1	Rechtslaufender Clausius-Rankine-Prozess	331
12.1.1	Von der Dampfturbine zum Vergleichsprozess	332
12.1.2	Eigenschaften und Grenzen	335
12.1.3	Prozesse und Wirkungsgrad	336
12.1.4	Komplexere reale Kreisprozesse	340
12.2	Linkslaufender Clausius-Rankine-Kreisprozess	348
12.3	Gaskältemaschine	362
<b>Teil IV – Chemische Reaktionen</b>		<b>365</b>
<b>13</b>	<b>Einige Grundlagen zur Chemie</b>	<b>367</b>
13.1	Vom Atom zum Molekül	368
13.2	Wichtige Moleküle	370
13.3	Chemische Reaktionen	375
13.4	Energie	378
13.5	Chemisches Gleichgewicht	379
<b>14</b>	<b>Technische Verbrennung</b>	<b>383</b>
14.1	Wärme bereitstellen	383
14.2	Luftmasse bestimmen	384
14.2.1	Fett oder mager?	384

14.2.2	Allgemeine Reaktionsgleichung	386
14.2.3	Sauerstoffbedarf	388
14.2.4	Luftbedarf und Luftzahl	388
14.2.5	Weitere Stoffe	399
14.3	Komplexe Brennstoffe	400
14.4	Adiabate Verbrennungstemperatur	408
14.5	Thermische Apparate	409
14.5.1	Thermischer Apparat ohne Luftvorwärmung	410
14.5.2	Feuerungstechnischer Wirkungsgrad	412
14.6	Brennstoffzellen	417
<b>Teil V – Wärmeübertragung</b>		<b>421</b>
<b>15</b>	<b>Stationäre Wärmeleitung</b>	<b>423</b>
15.1	Der eindimensionale Fall	423
15.1.1	Die Wärmeleitfähigkeit	424
15.1.2	Wärmeleitwiderstand	427
15.1.3	Mehrere Schichten unterschiedlicher Wärmeleitfähigkeit	428
15.2	Andere Geometrien	429
15.3	Wärmequellen und Wärmeleitung	431
<b>16</b>	<b>Konvektion</b>	<b>435</b>
16.1	Grenzschicht und Wärmeübergangszahl	435
16.2	Die benötigten Größen	437
16.2.1	Physikalische Eigenschaften des Fluides	438
16.2.2	Dimensionsbehaftete Größen	442
16.2.3	Dimensionslose Größen	444
16.2.4	Welche Form von Konvektion liegt vor?	446
16.3	Erzwungene Konvektion	447
16.4	Freie Konvektion	449
<b>17</b>	<b>Strahlung</b>	<b>463</b>
17.1	Elektromagnetische Strahlung	464
17.2	Thermische Strahlung	467
17.2.1	Spektrale Emission – Planck'sches Gesetz	467
17.2.2	Gesamte Emission – Stefan-Boltzmann-Gesetz	469
17.2.3	Maximum und spektrale Verteilung – Wien'sches Verschiebungsgesetz	470

17.3	Strahlung und Materie .....	472
17.3.1	Opake Medien .....	474
17.3.2	Semitransparente Medien .....	475
17.4	Strahlung und Entropie .....	478
17.5	Netto-Wärmestrom .....	485
17.5.1	Einfache Spezialfälle .....	485
17.5.2	Verallgemeinerung zu Sichtfaktoren .....	487
<b>18</b>	<b>Wärmeübertragung .....</b>	<b>489</b>
18.1	Wärmedurchgang .....	489
18.2	Wärmetauscher .....	491
18.2.1	Regenerator .....	491
18.2.2	Rekuperator .....	492
18.3	Ausblick auf instationäre Phänomene .....	496
18.4	Kombination .....	499
<b>19</b>	<b>Symbole und Konstanten .....</b>	<b>505</b>
19.1	Konstanten .....	505
19.2	Lateinische Symbole .....	505
19.3	Griechische Symbole .....	508
19.4	Indizes .....	509
<b>20</b>	<b>Einheiten .....</b>	<b>511</b>
20.1	SI-Präfixe .....	511
20.2	Einheiten der Energie .....	512
20.3	Imperial Units verstehen?! .....	512
<b>21</b>	<b>Stoffdaten .....</b>	<b>515</b>
<b>Index</b>	<b>.....</b>	<b>531</b>