

Inhaltsverzeichnis

Übersicht HanserPlus	XII
Der Autor	XIV
1 Einführung	1
1.1 Lernziel	2
1.2 Digitale Werkzeuge	5
1.3 Kontext	8
1.4 Danke!	12
Teil I – Grundlagen	15
2 Das System und sein Zustand	17
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

3	Zustandsänderungen	51
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
4	Energie bleibt erhalten	79
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
5	Zweiter Hauptsatz der Thermodynamik	107
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
Teil II – Stoffe beschreiben		133
6	Stoffe beschreiben	135
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
7	Zustandsänderungen des idealen Gases	173
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
8	Gemische	205
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
9	Feuchte Luft	235
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
Teil III – Kreisprozesse		281
10	Was sind Kreisprozesse?	283
10.1	Vergleichsprozesse	285
10.2	Nennleistung	287

11	Vergleichsprozesse des idealen Gases	289
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
12	Kreisprozesse mit Phasenwechsel	331
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
Teil IV – Chemische Reaktionen		365
13	Einige Grundlagen zur Chemie	367
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
14	Technische Verbrennung	383
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
Teil V – Wärmeübertragung		421
15	Stationäre Wärmeleitung	423
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
16	Konvektion	435
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
17	Strahlung	463
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
18	Wärmeübertragung	489
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
19	Symbole und Konstanten	505
19.1	Konstanten	505
19.2	Lateinische Symbole	505
19.3	Griechische Symbole	508
19.4	Indizes	509
20	Einheiten	511
20.1	SI-Präfixe	511
20.2	Einheiten der Energie	512
20.3	Imperial Units verstehen?!	512
21	Stoffdaten	515
Index		531