

Inhaltsverzeichnis

1	Grundlagen	1
1.1	Mathe für Thermodynamiker und -innen	1
1.2	Deutsch für Thermodynamiker (m/w)	2
1.2.1	Hier geht nix verloren – die Sache mit der Energie	4
1.2.2	Erst mal Bilanz ziehen	6
1.2.3	Zustandsgrößen und Prozessgrößen	9
1.2.4	Masse und Stoffmenge	11
1.2.5	Spezifische, intensive und extensive Größen	13
1.2.6	Zwei alte Bekannte	17
1.2.6.1	Druck	17
1.2.6.2	Temperatur	20
1.2.7	Kurze Prozesse!	23
2	Thermische Zustandsgleichungen	24
2.1	Ideal einfach – Das ideale Gasgesetz	25
2.2	Noch einfacher – Das inkompressible Fluid	28
2.3	Malen nach Zahlen – Zustandsdiagramme	29
2.3.1	Das p,v-Diagramm	31
2.3.2	Das T,v-Diagramm	35
2.3.3	Das p,T-Diagramm und die Antoine-Gleichung	36
2.4	Das Nassdampfgebiet aus der Nähe betrachtet	39
2.5	Weniger einfach – Kubische Zustandsgleichungen	43
2.6	Die lineare Interpolation	46
3	Unsere erste Bilanz, die Massenbilanz	48
4	Hauptsache Hauptsätze – Der 1. Hauptsatz	50
4.1	Rein oder raus?	56
4.2	Wie vereinfache ich meinen Hauptsatz?	60
4.3	Über Wärme und Arbeit	63
4.4	Der 1. Hauptsatz für geschlossene Systeme	68
4.5	Der 1. Hauptsatz für offene Systeme	69
4.6	Beispiele für Energiebilanzen	73

4.6.1	Ein quasi-stationärer Fließprozess	73
4.6.2	Ein klassischer stationärer Fließprozess	74
4.6.3	Ein instationärer Fließprozess	76
4.6.4	Noch ein stationärer Prozess	78
4.7	Energie wirkt immer!	80
5	Wenn das Nudelwasser überkocht und ähnliche Dramen	83
5.1	Im Namen des Stoffgesetzes – Kalorische Zustandsgleichungen	83
5.1.1	Kalorische Zustandsgleichung idealer Gase	87
5.1.2	Zustandsänderungen beim idealen Gas	92
5.1.2.1	Isotherme Zustandsänderung	93
5.1.2.2	Isochore Zustandsänderung	96
5.1.2.3	Isobare Zustandsänderung	98
5.1.2.4	Isentrope Zustandsänderung	99
5.1.3	Kalorische Zustandsgleichung inkompressibler Fluide	104
5.2	Der Joule-Thomson Effekt	105
6	Hauptsätze und Nebensätze – Der 2. Hauptsatz	107
6.1	Entropie – Die Sache mit der Unordnung	108
6.2	Die Entropiebilanz	110
6.3	Die Berechnung von Entropieströmen	112
6.3.1	Die Fundamentalgleichung	113
6.3.2	Die Entropie der Materie	116
6.3.2.1	Entropiezustandsgleichung für das ideale Gas	117
6.3.2.2	Entropiezustandsgleichung für das inkompressible Fluid	118
6.3.3	Die Entropie der Wärme	119
6.3.4	Entropieerzeugung durch Dissipation	122
6.4	Der 2. Hauptsatz, ganz allgemein	122
6.5	Das T,s-Diagramm	123
6.6	Energie und Entropie im Nassdampfgebiet	127
6.7	Das h,s-Diagramm	130
6.8	Turbinen, Verdichter, isentrope Wirkungsgrade	132
7	Exergie und Anarchie	136
7.1	Exergie-Rechnereien	138

7.1.1	Exergie und Anergie eines geschlossenen Systems	138
7.1.2	Exergie und Anergie der Wärme	141
7.1.3	Exergie und Anergie eines Massenstroms	143
7.1.4	Ex und hopp – Exergieverluste	144
7.1.5	Der exergetische Wirkungsgrad	145
8	Wärmeübertragung	146
8.1	Wärmeleitung	146
8.2	Konvektion	147
8.3	Wärmestrahlung	149
9	Kreisprozesse	150
9.1	Linksherum und rechtsherum im Kreis	152
9.1.1	Wärmekraftmaschinen	153
9.1.1.1	Wirkungsgrade von Wärmekraftmaschinen	155
9.1.2	Kältemaschinen und Wärmepumpen	157
9.1.2.1	Leistungszahlen von Kältemaschinen/Wärmepumpen	158
9.2	Realisierungen rechts laufender Kreisprozesse	162
9.2.1	Der Streber – Carnot	163
9.2.2	Kreisprozesse die Gas geben	167
9.2.2.1	Ericsson-Prozess	167
9.2.2.2	Joule-Prozesse, offen oder geschlossen	171
9.2.2.3	Stirling-Prozess	176
9.2.3	On the road – Verbrennungsmotoren	183
9.2.3.1	Otto-Prozess	186
9.2.3.2	Diesel-Prozess	191
9.2.4	Kreisprozesse in XXL – Dampfkraftanlagen	195
9.2.4.1	Einfacher Dampfkraft- und Clausius-Rankine-Prozess	195
9.2.4.2	Dampfkraft-Prozess mit Zwischenüberhitzung	200
9.2.4.3	Dampfkraft-Prozess mit Speisewasservorwärmung	201
9.2.4.4	Der Gesamtwirkungsgrad von Dampfkraftanlagen	202
9.3	Realisierungen links laufender Kreisprozesse	204
9.3.1	Der Kompressorkühlschrank	204
9.3.2	Luftverflüssigung nach Linde	207

10	Gemischte Gefühle oder gefühlte Gemische	211
10.1	Die Beschreibung von Gemischen	211
10.1.1	Die Bäckermethode	211
10.1.2	Die Erbsenzählermethode	213
10.1.3	Backerbsen – wiegen oder zählen?	213
10.2	Ideale Gemische von Gasen und von Flüssigkeiten	215
10.2.1	Das ideale Gasgemisch	215
10.2.2	Die ideale Lösung	224
10.2.3	Das Phasengleichgewicht	225
10.2.4	Siedediagramme für binäre Gemische	230
10.2.4.1	Das p,xy-Diagramm	231
10.2.4.2	Das T,xy-Diagramm	235
11	Nicht nur in den Tropen ein Problem – Feuchte Luft	238
11.1	Die Zusammensetzung von feuchter Luft	241
11.2	Stoffwerte von feuchter Luft	246
11.3	Zustandsänderungen feuchter Luft	249
11.3.1	Isobares Abkühlen feuchter Luft	251
11.3.2	Adiabates Mischen feuchter Luft	254
12	Verbrennungen dritten Grades	256
12.1	Das Sauerstoffangebot	258
12.2	Der Sauerstoffbedarf	259
12.2.1	Kohle, Koks und Konsorten	260
12.2.2	Gas, Grappa und Genossen	263
12.3	Erst mal tief Luft holen	263
12.4	Bilanzen bei der technischen Verbrennung	264
13	...und sonst?	272
14	Aufgaben mit Lösungsweg	274
14.1	Aufgaben zum idealen Gasgesetz	276
14.2	Aufgaben zum ersten Hauptsatz	281
14.3	Aufgaben zum Nassdampfgebiet	294
14.4	Aufgaben zum zweiten Hauptsatz	301
14.5	Aufgaben zur Exergie	310

14.6	Aufgaben zu Kreisprozessen	313
14.7	Aufgaben zu Gemischen	320
14.8	Aufgaben zu feuchter Luft	326
14.9	Aufgaben zur Verbrennung	333
Literaturverzeichnis		341
Sachregister		344