

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	25
2.1	Ideal einfach - Das ideale Gasgesetz	26
2.2	Noch einfacher - Das inkompressible Fluid	29
2.3	Malen nach Zahlen - Zustandsdiagramme	30
2.3.1	Das p,v-Diagramm	32
2.3.2	Das T,v-Diagramm	36
2.3.3	Das p,T-Diagramm und die Antoine-Gleichung	37
2.4	Das Nassdampfgebiet aus der Nähe betrachtet	40
2.5	Weniger einfach – Kubische Zustandsgleichungen	44
2.6	Die lineare Interpolation	47
3	Unsere erste Bilanz, die Massenbilanz	49
4	Hauptsache Hauptsätze - Der 1. Hauptsatz	51
4.1	Rein oder raus?	57
4.2	Wie vereinfache ich meinen Hauptsatz?	61
4.3	Über Wärme und Arbeit	64
4.4	Der 1. Hauptsatz für geschlossene Systeme	69
4.5	Der 1. Hauptsatz für offene Systeme	70
4.6	Beispiele für Energiebilanzen	74

4.6.1	Ein quasi-stationärer Fließprozess	74
4.6.2	Ein klassischer stationärer Fließprozess	75
4.6.3	Ein instationärer Fließprozess	77
4.6.4	Noch ein stationärer Prozess	79
4.7	Energie wirkt immer!	81
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	137
7.1	Exergie-Rechnereien	139

7.1.1	Exergie und Anergie eines geschlossenen Systems	139
7.1.2	Exergie und Anergie der Wärme	142
7.1.3	Exergie und Anergie eines Massenstroms	144
7.1.4	Ex und hopp - Exergieverluste	145
7.1.5	Der exergetische Wirkungsgrad	146
8	Wärmeübertragung	147
8.1	Wärmeleitung	147
8.2	Konvektion	148
8.3	Wärmestrahlung	150
9	Kreisprozesse	153
9.1	Linksherum und rechtsherum im Kreis	154
9.1.1	Wärmekraftmaschinen	155
9.1.1.1	Wirkungsgrade von Wärmekraftmaschinen	157
9.1.2	Kältemaschinen und Wärmepumpen	159
9.1.2.1	Leistungszahlen von Kältemaschinen/Wärmepumpen	160
9.2	Realisierungen rechts laufender Kreisprozesse	164
9.2.1	Der Streber - Carnot	165
9.2.2	Kreisprozesse die Gas geben	169
9.2.2.1	Ericsson-Prozess	169
9.2.2.2	Joule-Prozesse, offen oder geschlossen	173
9.2.2.3	Stirling-Prozess	178
9.2.3	On the road - Verbrennungsmotoren	185
9.2.3.1	Otto-Prozess	188
9.2.3.2	Diesel-Prozess	193
9.2.4	Kreisprozesse in XXL - Dampfkraftanlagen	197
9.2.4.1	Einfacher Dampfkraft- und Clausius-Rankine-Prozess	197
9.2.4.2	Dampfkraft-Prozess mit Zwischenüberhitzung	202
9.2.4.3	Dampfkraft-Prozess mit Speisewasservorwärmung	203
9.2.4.4	Der Gesamtwirkungsgrad von Dampfkraftanlagen	204
9.3	Realisierungen links laufender Kreisprozesse	206
9.3.1	Der Kompressorkühlschrank	206
9.3.2	Luftverflüssigung nach Linde	209

10	Gemischte Gefühle oder gefühlte Gemische	213
10.1	Die Beschreibung von Gemischen	213
10.1.1	Die Bäckermethode	213
10.1.2	Die Erbsenzählermethode	215
10.1.3	Backerbsen - wiegen oder zählen?	215
10.2	Ideale Gemische von Gasen und von Flüssigkeiten	217
10.2.1	Das ideale Gasgemisch	217
10.2.2	Die ideale Lösung	226
10.2.3	Das Phasengleichgewicht	227
10.2.4	Siedediagramme für binäre Gemische	232
10.2.4.1	Das p,xy-Diagramm	233
10.2.4.2	Das T,xy-Diagramm	237
11	Nicht nur in den Tropen ein Problem - Feuchte Luft	241
11.1	Die Zusammensetzung von feuchter Luft	244
11.2	Stoffwerte von feuchter Luft	249
11.3	Zustandsänderungen feuchter Luft	251
11.3.1	Isobares Abkühlen feuchter Luft	253
11.3.2	Adiabates Mischen feuchter Luft	256
12	Verbrennungen dritten Grades	259
12.1	Das Sauerstoffangebot	260
12.2	Der Sauerstoffbedarf	261
12.2.1	Kohle, Koks und Konsorten	262
12.2.2	Gas, Grappa und Genossen	265
12.3	Erst mal tief Luft holen	265
12.4	Bilanzen bei der technischen Verbrennung	266
13	Aufgaben mit Lösungsweg	275
13.1	Aufgaben zum idealen Gasgesetz	278
13.2	Aufgaben zum ersten Hauptsatz	283
13.3	Aufgaben zum Nassdampfgebiet	296
13.4	Aufgaben zum zweiten Hauptsatz	303
13.5	Aufgaben zur Exergie	312
13.6	Aufgaben zu Kreisprozessen	315

13.7	Aufgaben zu Gemischen	322
13.8	Aufgaben zu feuchter Luft	328
13.9	Aufgaben zur Verbrennung	336
	Literaturverzeichnis	345
	Sachregister	349