

Bernhard Weigand · Jürgen Köhler ·
Jens von Wolfersdorf

Thermodynamik *kompakt*

07014774

Inhaltsverzeichnis

Nomenklatur.....	XIII
1 Einleitung.....	1
2 Grundlagen.....	3
2.1 Das thermodynamische System.....	3
2.2 Zustandsgrößen und Zustandsänderungen.....	5
2.3. Temperatur, Gleichgewicht und der nullte Hauptsatz der Thermodynamik.....	7
2.3.1 Erstes Gleichgewichtspostulat.....	7
2.3.2 Zweites Gleichgewichtspostulat.....	8
2.3.3 Temperaturmessung.....	8
2.4 Energiearten.....	9
2.5 Arbeit und Wärme.....	9
2.6 Größen und Einheiten.....	10
Verständnisfragen.....	12
3 Die Hauptsätze der Thermodynamik.....	13
3.1 Die allgemeine Form von Bilanzen.....	13
3.2 Der nullte Hauptsatz der Thermodynamik.....	15
3.2.1 Die Temperatur.....	15
3.2.2 Die allgemeine Aussage des nullten Hauptsatzes.....	16
3.3 Der erste Hauptsatz der Thermodynamik.....	17
3.3.1 Die Energie.....	17
3.3.2 Die allgemeine Aussage des ersten Hauptsatzes.....	17
3.3.3 Die Bilanz der Gesamtenergie für ein offenes System.....	20
3.3.4 Die Bilanz der Energie für ein geschlossenes System.....	23
3.3.5 Die technische Arbeit.....	24
3.4 Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik.....	27
3.4.1 Die Entropie.....	27
3.4.2 Die allgemeine Aussage des zweiten Hauptsatzes.....	28
3.4.3 Die Bilanz der Entropie für ein offenes System.....	32
3.5 Der dritte Hauptsatz der Thermodynamik.....	33
3.6 Das chemische Potenzial.....	35
3.7 Folgerungen aus den Hauptsätzen und Bilanzen.....	36

3.7.1 Die Gibbssche Fundamentalgleichung	36
3.7.2 Thermodynamische Potenziale und Relationen	39
3.7.3 Maxwellsche Beziehungen	44
Verständnisfragen	45
4 Stoffe und deren thermodynamische Beschreibung (Materialgesetze)	47
4.1 Reale Stoffe (Mehrphasensysteme)	47
4.2 Zustandsgleichungen	52
4.3 Das ideale Gas	55
4.4 Das reale Gas	57
4.5 Der reale Stoff im Nassdampfgebiet	61
Verständnisfragen	63
5 Anwendungen der Hauptsätze	65
5.1 Das ideale Gas	68
5.1.1 Einfache Zustandsänderungen	68
5.1.2 Gemische idealer Gase	74
5.1.3 Die adiabate Drosselung	78
5.2 Reale Gase	79
5.2.1 Einfache Zustandsänderungen realer Gase	79
5.2.2 Die adiabate Drosselung	83
5.3 Der reale Stoff im Nassdampfgebiet	85
5.3.1 Einfache Zustandsänderungen im Nassdampfgebiet	85
Verständnisfragen	88
6 Maximale Arbeit und Exergie	89
6.1 Exergie eines offenen Systems	90
6.2 Exergie eines geschlossenen System	93
6.3 Exergie der Wärme	95
6.3.1 Der Wärmekraftprozess	96
6.3.2 Der Wärmepumpenprozess	96
6.3.3 Der Kältemaschinenprozess	96
6.4 Arbeitsverlust durch Irreversibilitäten	97
Verständnisfragen	98
7 Technische Anwendungen	99
7.1 Verdichter	100
7.1.1 Kolbenverdichter	100
7.1.2 Turboverdichter	103
7.2 Kreisprozesse	104
7.2.1 Wärmekraftprozesse	108
7.2.2 Kälteprozesse	121
7.3 Eindimensionale Strömungsvorgänge	131
7.3.1 Stationäre Fadenströmung	132
7.3.2 Adiabate Strömungsvorgänge	137
7.3.3 Zustandsänderungen über einen Verdichtungsstoß	142

7.4 Gas-Dampf Gemische: Feuchte Luft	147
7.4.1 Die relevanten Konzentrationsmaße.....	148
7.4.2 Die Dichte der feuchten Luft.....	149
7.4.3 Die Enthalpie der feuchten Luft	150
7.4.4 Das h,x -Diagramm nach Mollier	151
7.4.5 Die wichtigsten Zustandsänderungen feuchter Luft.....	152
7.5 Chemische Reaktionen	158
7.5.1 Chemisches Gleichgewicht-Massenwirkungsgesetz	160
7.5.2 Das Prinzip des kleinsten Zwanges	164
7.5.3 Das Gesetz der konstanten Wärmesummen	166
Verständnisfragen.....	167
Anhang A: Einfache mathematische Hilfsmittel.....	169
A.1 Funktionen zweier Veränderlicher.....	169
A.1.1 Das totale Differenzial und Beziehungen zwischen den partiellen Ableitungen	170
A.1.2 Bestimmung von Differenzialquotienten.....	172
A.2 Zustandsgrößen und Prozessgrößen.....	174
A.3 Geschlossene Kurvenintegrale.....	176
Anhang B: Thermodynamische Zustandsfunktionen in Abhängigkeit von Temperatur, Druck und Molmengen.....	179
Anhang C: Ermittlung der Hugoniot-Gleichung für ein van der Waals-Gas	183
Anhang D: Stoffwerte und Tabellen	187
D.1 Stoffwerte einiger Gase.....	187
D.2 Stoffwerte einiger ausgewählter Stoffe.....	189
D.3 Dampftafel.....	190
D.3.1 Temperaturtafel	190
D.3.2 Drucktafel	192
D.4 Feuchte Luft.....	194
D.5 Umrechnungstabellen	194
D.6 Energiearten und Energieformen	195
Anhang E: Diagramme	197
E.1 Mollier h,x -Diagramm für feuchte Luft.....	197
E.2 T,s - und $\log p,h$ -Diagramm für Kohlendioxid.....	198
E.3 T,s - und $\log p,h$ -Diagramm für Propan.....	199
E.3 T,s - und $\log p,h$ -Diagramm für R134a	200
Literatur.....	201
Index	203