

Bernhard Weigand · Jürgen Köhler ·  
Jens von Wolfersdorf

# Thermodynamik *kompakt*

07014774

# Inhaltsverzeichnis

Nomenklatur.....	XIII
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2 Grundlagen .....</b>	<b>3</b>
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
<b>3 Die Hauptsätze der Thermodynamik.....</b>	<b>13</b>
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
<b>4 Stoffe und deren thermodynamische Beschreibung (Materialgesetze) .....</b>	<b>47</b>
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
<b>5 Anwendungen der Hauptsätze .....</b>	<b>65</b>
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
<b>6 Maximale Arbeit und Exergie .....</b>	<b>89</b>
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
<b>7 Technische Anwendungen .....</b>	<b>99</b>
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
<b>Anhang A: Einfache mathematische Hilfsmittel.....</b>	<b>169</b>
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
<b>Anhang B: Thermodynamische Zustandsfunktionen in Abhängigkeit von Temperatur, Druck und Molmengen.....</b>	<b>179</b>
<b>Anhang C: Ermittlung der Hugoniot-Gleichung für ein van der Waals-Gas .....</b>	<b>183</b>
<b>Anhang D: Stoffwerte und Tabellen .....</b>	<b>187</b>
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
<b>Anhang E: Diagramme .....</b>	<b>197</b>
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
<b>Literatur .....</b>	<b>201</b>
<b>Index .....</b>	<b>203</b>