

# Inhalt

|   |   |           |
|---|---|-----------|
| ■ | <b>Einleitung</b>   | <b>21</b> |
| ■ | <b>Teil I: Grundlagen</b>   |           |
| ■ | <b>1 Eine kurze Einführung in die Thermodynamik</b>                           | <b>27</b> |
|   | Definition der Thermodynamik  | 27        |
|   | Eine kurze Geschichte der Thermodynamik                                       | 28        |
|   | Makroskopische Thermodynamik und statistische Thermodynamik                   | 30        |
|   | Die Rolle der Thermodynamik in der Physik und den anderen Naturwissenschaften | 31        |
| ■ | <b>2 Ein klein wenig Mathematik</b>   | <b>33</b> |
|   | Absolute Größen, Differenzen und Differentiale                                | 33        |
|   | Ableitungen und partielle Ableitungen   | 34        |
|   | Vom Differential zur Differenz: Integralrechnung                              | 39        |
| ■ | <b>Teil II: Die wichtigsten Begriffe der Thermodynamik</b>                    |           |
| ■ | <b>3 Alles über Wärmephänomene</b>  | <b>43</b> |
|   | Wärme führt zur Ausdehnung von Körpern  | 43        |
|   | Wärme kann gespeichert werden   | 46        |
|   | Wärme kann transportiert werden   | 51        |
| ■ | <b>4 Den Zustand eines System beschreiben: Zustandsgrößen</b>                 | <b>59</b> |
|   | Sie bestimmen den Zustand eines Systems: Die Zustandsgrößen                   | 59        |
|   | Der Druck wird durch die Bewegung von Teilchen verursacht                     | 60        |
|   | Auch die Temperatur wird durch Bewegung verursacht                            | 65        |
|   | Man kann sie mikroskopisch oder makroskopisch angeben: Die Stoffmenge         | 70        |
|   | Jedes System enthält Energie: Die innere Energie                              | 72        |
|   | Eine schwer zu fassende Größe: Die Entropie                                   | 73        |

|  |  |            |
|--|--|------------|
| <b>5</b>   | <b>Ab jetzt wird es dynamisch: Zustandsänderungen</b>                    | <b>77</b>  |
|  | Der Behälter besitzt einen beweglichen Deckel:<br>Isobare Änderungen     | 78         |
|  | Der Behälter besitzt einen festen Deckel: Isochore Änderungen            | 80         |
|  | In einem Wärmebad: Isotherme Änderungen                                  | 81         |
|  | Das System ist isoliert: Adiabatische Änderungen                         | 82         |
|  | Von großer technischer Bedeutung: Isentrope und polytrope<br>Änderungen  | 86         |
| <b>6</b>   | <b>Abstrakt, aber hilfreich: Thermodynamische Potentiale</b>             | <b>91</b>  |
|  | Definition des Begriffs des thermodynamischen Potentials                 | 91         |
|  | Die wichtigsten thermodynamischen Potentiale                             | 94         |
|  | Ende der theoretischen Betrachtung: Anwendungen<br>und Beispiele         | 100        |
| <b>Teil III: Das wichtigste über Gase</b>        |  |            |
| <b>7</b>   | <b>Die Beschreibung von Gasen: Zustandsgleichungen</b>                   | <b>107</b> |
|  | Es ist zwar eine Näherung, aber eine gute:<br>Das ideale Gasgesetz       | 108        |
|  | In der Realität gibt es Abweichungen:<br>Die van-der-Waals-Gleichung     | 115        |
|  | Jenseits des Kritischen Punkts ist alles anders                          | 118        |
| <b>8</b>   | <b>Freiheitsgrade und Bewegungen: Energetische<br/>Betrachtungen</b>     | <b>123</b> |
|  | Es gibt viele Möglichkeiten, sich zu bewegen: Freiheitsgrade             | 123        |
|  | Auch bei der inneren Energie spielen die Freiheitsgrade<br>eine Rolle    | 128        |
|  | Nicht alle Teilchen sind gleich schnell:<br>Geschwindigkeitsverteilungen | 130        |
| <b>Teil IV: Die Hauptsätze der Thermodynamik</b> |  |            |
| <b>9</b>   | <b>Es geht ums Gleichgewicht: Der nullte Hauptsatz</b>                   | <b>135</b> |
|  | Thema des nullten Hauptsatzes: Das thermische<br>Gleichgewicht           | 135        |

- Formulierungen des nullten Hauptsatzes 136
- Bedeutung und Anwendungen 137
- Es geht darüber hinaus: Das thermodynamische Gleichgewicht 138

## 10 Er beschäftigt sich mit der Energie: Der erste Hauptsatz 141

- Thema und Formulierungen 141
- Vergleich der Formulierungen 142
- Bedeutung und Anwendungen 144

## 11 Die Entropie kommt ins Spiel: Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik 151

- Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik 151
- Vergleich der Formulierungen 152
- Die Entropie zum Zweiten 154
- Die Entropie und die Ordnung 157
- Ein kurzer Ausflug in die Welt der Perpetua mobilia 158

## 12 Der absolute Nullpunkt ist unerreichbar: Der dritte Hauptsatz 161

- Zwei Themen: Der Nullpunkt und die Entropie 161
- Kurz und knapp: Die Formulierungen 161
- Vergleich der Formulierungen 162
- Der Nullpunkt und die Entropie 163

## Teil V: Thermodynamik in der Praxis

### 13 Besser geht es nicht: Ideale thermodynamische Prozesse 167

- Alles über Prozesse 168
- Der theoretisch beste Prozess: Der Carnotprozess 171
- Die ideale Gasturbine: Der Joule-Kreisprozess 176
- Das ideale Dampfkraftwerk: Der Clausius-Rankine-Prozess 179
- Nicht die Arbeit, sondern die Temperatur ist das Ziel: Wärmepumpe und Kältemaschine 181

|           |  |            |
|-----------|--|------------|
| <b>14</b> | <b>Reale Prozesse I: Wärmekraftmaschinen</b>                                 | <b>189</b> |
|           | Wärmekraftmaschinen: Eine Übersicht 189                                      |            |
|           | Er bewegt uns seit mehr als 100 Jahren: Der Ottomotor 190                    |            |
|           | Eine solide Alternative: Der Dieselmotor 195                                 |            |
|           | Pendeln zwischen heiß und kalt: Der Stirlingmotor 199                        |            |
|           | Ein kurzer Blick auf die Dampfmaschine 203                                   |            |
|           | Vergleich der Wärmekraftmaschinen 205  |            |
| <b>15</b> | <b>Eher feucht: Die Thermodynamik von Dämpfen und Gasgemischen</b>           | <b>209</b> |
|           | Dampf ist gasförmiges Wasser 209   |            |
|           | Es frischt auf: Die Luftfeuchtigkeit 213                                     |            |
|           | Whiskey on the Rocks: Zweistoffgemische 217                                  |            |
|           | <b>Teil VI: Statistische Thermodynamik</b>                                   |            |
| <b>16</b> | <b>Grundlagen der statistischen Thermodynamik</b>                            | <b>225</b> |
|           | Zur Problemstellung 226  |            |
|           | Kopf oder Zahl: Zufallsexperimente 227                                       |            |
|           | Je mehr Möglichkeiten es gibt, desto geringer ist die Wahrscheinlichkeit 228 |            |
|           | Erwartungswert und Standardabweichung 231                                    |            |
|           | Die Krönung der Statistik: Wahrscheinlichkeitsverteilungen 233               |            |
| <b>17</b> | <b>Eine statistische Betrachtung der Thermodynamik</b>                       | <b>239</b> |
|           | Mikrozustände und Makrozustände 239  |            |
|           | Unvorstellbar viele Möglichkeiten: Der Phasenraum 242                        |            |
|           | <b>Glossar</b>   | <b>251</b> |
|           | <b>Lösungen</b>  | <b>261</b> |
|           | <b>Index</b>   | <b>281</b> |