

# Auf einen Blick

|  |            |
|--|------------|
| <b>Über den Autor</b> .....  | <b>7</b>   |
| <b>Einführung</b> .....  | <b>19</b>  |
| <b>Teil I: Kräfte und Substanzen</b> .....   | <b>25</b>  |
| <b>Kapitel 1:</b> Gase unter Druck: Die Gasgesetze .....   | 27         |
| <b>Kapitel 2:</b> Zerreißprobe für Feststoffe – Verformung .....   | 37         |
| <b>Kapitel 3:</b> Die Sache kommt in Fluss – Viskosität. ....  | 43         |
| <b>Kapitel 4:</b> Übungen .....  | 63         |
| <b>Teil II: Reinstoffe und Mischungen</b> .....  | <b>71</b>  |
| <b>Kapitel 5:</b> Zustandsdiagramme (Phasendiagramme) .....  | 73         |
| <b>Kapitel 6:</b> Lösungen und Mischungen .....  | 85         |
| <b>Kapitel 7:</b> Oberflächlich betrachtet: Grenzflächenphänomene .....  | 109        |
| <b>Kapitel 8:</b> Übungen .....  | 129        |
| <b>Teil III: Reaktionskinetik</b> .....  | <b>135</b> |
| <b>Kapitel 9:</b> Lassen Sie es krachen: Die chemische Reaktion .....  | 137        |
| <b>Kapitel 10:</b> Wer mit wem – die Reaktionsordnung .....  | 143        |
| <b>Kapitel 11:</b> Übungen .....   | 161        |
| <b>Teil IV: Thermodynamik</b> .....  | <b>167</b> |
| <b>Kapitel 12:</b> Zustands- und Prozessgrößen – die Bausteine der Thermodynamik .....                                     | 169        |
| <b>Kapitel 13:</b> Robert von Mayer und der erste Hauptsatz der Thermodynamik – Ein Arzt<br>und die Energieerhaltung ..... | 179        |
| <b>Kapitel 14:</b> Alles in Unordnung – Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik .....                                       | 185        |
| <b>Kapitel 15:</b> Zustände und Zustandsänderungen .....   | 207        |
| <b>Kapitel 16:</b> Links oder rechts – die Kreisprozesse .....   | 219        |
| <b>Kapitel 17:</b> Gas-Dampf-Gemische – Alles feuchte Luft? .....  | 237        |
| <b>Kapitel 18:</b> Jetzt wird es brenzlich – Verbrennung .....   | 249        |
| <b>Kapitel 19:</b> Übungen .....   | 261        |
| <b>Teil V: Wechselwirkungen</b> .....  | <b>265</b> |
| <b>Kapitel 20:</b> Spektroskopie .....   | 267        |
| <b>Kapitel 21:</b> Molecular Modeling .....  | 283        |
| <b>Teil VI: Der Top-Ten-Teil</b> .....   | <b>295</b> |
| <b>Kapitel 22:</b> Zehn (Groß-)Väter der Physikalischen Chemie .....   | 297        |
| <b>Kapitel 23:</b> Zehn Tipps für Studierende .....  | 305        |

## 10 Auf einen Blick

|  |            |
|--|------------|
| <b>Teil VII: Anhänge</b> .....                                     | <b>315</b> |
| <b>Kapitel A:</b> Lösungen der Übungsaufgaben aus Kapitel 4 .....  | 317        |
| <b>Kapitel B:</b> Lösungen der Übungsaufgaben aus Kapitel 8 .....  | 321        |
| <b>Kapitel C:</b> Lösungen der Übungsaufgaben aus Kapitel 11 ..... | 329        |
| <b>Kapitel D:</b> Lösungen der Übungsaufgaben aus Kapitel 19 ..... | 335        |
| <b>Stichwortverzeichnis</b> .....                                  | <b>339</b> |

# Inhaltsverzeichnis

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Über den Autor</b> .....                           | <b>7</b>  |
| Über den Überarbeiter der 2. Auflage .....            | 7         |
| <b>Einführung</b> .....                               | <b>19</b> |
| Über dieses Buch .....                                | 20        |
| Konventionen in diesem Buch .....                     | 20        |
| Törichte Annahmen über den Leser .....                | 21        |
| Wie dieses Buch aufgebaut ist .....                   | 21        |
| Teil I: Kräfte und Substanzen .....                   | 22        |
| Teil II: Reinstoffe und Mischungen .....              | 22        |
| Teil III: Reaktionskinetik .....                      | 22        |
| Teil IV: Thermodynamik .....                          | 23        |
| Teil V: Wechselwirkungen .....                        | 23        |
| Teil VI: Der Top-Ten-Teil .....                       | 23        |
| Teil VII Anhänge .....                                | 24        |
| Symbole, die in diesem Buch verwendet werden .....    | 24        |
| Wie es weitergeht .....                               | 24        |
| <b>TEIL I</b>   |           |
| <b>KRÄFTE UND SUBSTANZEN</b> .....                    | <b>25</b> |
| <b>Kapitel 1</b>                                      |           |
| <b>Gase unter Druck: Die Gasgesetze</b> .....         | <b>27</b> |
| Physik plus Chemie gleich Physikalische Chemie? ..... | 27        |
| Das ideale Gas .....                                  | 28        |
| Druck .....   | 28        |
| Temperatur .....                                      | 29        |
| Das Boyle-Mariotte'sche Gesetz .....                  | 29        |
| Das Gay-Lussac'sche Gesetz .....                      | 31        |
| Die allgemeine Gasgleichung .....                     | 33        |
| Das reale Gas .....                                   | 33        |
| <b>Kapitel 2</b>                                      |           |
| <b>Zerreißprobe für Feststoffe – Verformung</b> ..... | <b>37</b> |
| Dehnung und Stauchung .....                           | 37        |
| Das Hooke'sche Gesetz .....                           | 39        |
| Elastisch, plastisch, bis es zerreißt .....           | 41        |

## 12 Inhaltsverzeichnis

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Kapitel 3</b>   |           |
| <b>Die Sache kommt in Fluss – Viskosität</b>   | <b>43</b> |
| Zähe Sache, die idealviskosen Flüssigkeiten  | 43        |
| Moleküle im laminaren Gleichschritt  | 44        |
| Das Newton'sche Gesetz   | 45        |
| Nicht alles ist ideal: strukturviskos bis thixotrop                                      | 48        |
| Pseudoplastisch und dilatant durch dick und dünn   | 48        |
| Plastische Strukturverluste mit Thixotropie  | 52        |
| Messmethoden und praktische Anwendungen  | 54        |
| Das Stokes'sche Gesetz   | 55        |
| Das Kugelfallviskosimeter nach Höppler   | 57        |
| Das Hagen-Poiseuille'sche Gesetz   | 58        |
| Das Kapillarviskosimeter nach Ostwald  | 59        |
| Das Rotationsviskosimeter  | 61        |
| <b>Kapitel 4</b>   |           |
| <b>Übungen</b>   | <b>63</b> |
| Berechnung des Sprühdruks einer Sprayflasche   | 63        |
| Bestimmung der Molmasse eines löslichen Polymers   | 64        |
| Vorsicht! Logarithmus! Bestimmung des Fließverhaltens einer strukturviskosen Flüssigkeit | 67        |
| <b>TEIL II</b>   |           |
| <b>REINSTOFFE UND MISCHUNGEN</b>   | <b>71</b> |
| <b>Kapitel 5</b>   |           |
| <b>Zustandsdiagramme (Phasendiagramme)</b>   | <b>73</b> |
| Die Zustände fest, flüssig und gasförmig   | 73        |
| Zustandsdiagramme  | 74        |
| Verwirrende Zustände – Tripelpunkt und überkritisches Gas                                | 75        |
| Anomalie des Wassers   | 77        |
| Gibbs'sche Phasenregel   | 78        |
| Modifikation und Allotropie  | 79        |
| Eiskalt weggedampft und lyophil nach der Gefriertrocknung                                | 81        |
| Ohne Energie läuft nichts!   | 83        |
| <b>Kapitel 6</b>   |           |
| <b>Lösungen und Mischungen</b>   | <b>85</b> |
| Das ist die ideale Lösung  | 86        |
| Dampfdruck einer reinen Flüssigkeit  | 86        |
| Dampfdruckdiagramm einer idealen Mischung  | 88        |
| Einfaches Rechnen mit Moln   | 89        |
| Kolligative Eigenschaften  | 90        |
| Dampfdruck   | 91        |
| Siedepunkt   | 91        |

## Inhaltsverzeichnis 13

|  |     |
|--|-----|
| Gefrierpunkt .....   | 92  |
| Osmotischer Druck .....  | 95  |
| Nichts wie weg! Diffusion, Auflösung und Verteilung .....        | 99  |
| Die Fick'schen Diffusionsgesetze .....                           | 100 |
| Die Noyes-Whitney-Gleichung .....                                | 101 |
| Der Nernst'sche Verteilungskoeffizient .....                     | 102 |
| Zwei Stoffe schmelzen dahin bis zum eutektischen Tiefpunkt ..... | 103 |
| Darf es etwas mehr sein? – Dreikomponentendiagramme .....        | 107 |

### Kapitel 7

#### **Oberflächlich betrachtet: Grenzflächenphänomene..... 109**

|   |     |
|---|-----|
| Moleküle im Spannungsfeld an der Grenze .....               | 109 |
| Die »schwimmende« Büroklammer .....                         | 109 |
| Die Oberflächenspannung als Kraft pro Länge .....           | 110 |
| Die Oberflächenspannung als Energie pro Fläche .....        | 110 |
| Ringmethode, Tropfmethode und Blasendruckmethode .....      | 112 |
| Ringmethode .....   | 112 |
| Tropfmethode .....  | 113 |
| Blasendruckmethode .....                                    | 114 |
| Tenside: Und die Spannung ist weg .....                     | 115 |
| Hydrophilie und Lipophilie .....                            | 115 |
| Gesplante Persönlichkeit: das Tensidmolekül .....           | 115 |
| Gemeinsam sind wir stark: die Mizelle .....                 | 117 |
| Tenside als Emulgatoren .....                               | 118 |
| Tenside als Reinigungsmittel .....                          | 119 |
| Saugen ohne Unterdruck: die Kapillarität .....              | 119 |
| Flach bis kugelrund: der Benetzungswinkel .....             | 119 |
| Es wird eng: Depression und Aszension in Kapillaren .....   | 121 |
| Es geht aufwärts: die Steighöhenmethode .....               | 122 |
| Adsorptionsisotherme: die freundliche Art zu klammern ..... | 123 |
| Hin und weg bis zum Adsorptionsgleichgewicht .....          | 123 |
| Die Adsorptionsisotherme nach Freundlich .....              | 124 |
| Bei Langmuir wird der Platz knapp .....                     | 126 |
| Es geht doch was nach BET .....                             | 127 |

### Kapitel 8

#### **Übungen..... 129**

|  |     |
|--|-----|
| Isotonisierung einer Arzneistofflösung .....                                 | 129 |
| Noch mal Vorsicht! Logarithmische Auswertung eines Adsorptionsversuchs ..... | 130 |
| Experimentelle Erstellung eines Dreiecksdiagramms .....                      | 132 |
| Nicht so einfach, wie es scheint! Ausschütteln mit Ether .....               | 134 |

## 14 Inhaltsverzeichnis

### TEIL III REAKTIONSKINETIK..... 135

#### **Kapitel 9 Lassen Sie es krachen: Die chemische Reaktion ..... 137**

|   |     |
|---|-----|
| Wer mit wem und wohin: Edukte und Produkte .....            | 137 |
| Die zwei Akteure prallen aufeinander.....                   | 138 |
| Trefferquote.....   | 138 |
| Zurück mit Zins: Aktivierungsenergie und Energiebilanz..... | 139 |
| In der Kürze liegt die Würze .....                          | 141 |

#### **Kapitel 10 Wer mit wem – die Reaktionsordnung ..... 143**

|  |     |
|--|-----|
| Einer für Alle .....                                       | 143 |
| Reaktionen erster und pseudoerster Ordnung.....            | 144 |
| Von der Reaktionsgleichung zur Halbwertszeit.....          | 146 |
| Strahlend: Der radioaktive Zerfall .....                   | 147 |
| Zersetzende Flüssigkeit: Die Hydrolyse.....                | 149 |
| Der Logarithmus hilft beim Geradbiegen.....                | 150 |
| Reaktionen nullter Ordnung.....                            | 151 |
| Ab durch das Nadelöhr .....                                | 152 |
| Reaktionen zweiter Ordnung .....                           | 154 |
| Etwas durcheinander: Die Michaelis-Menten-Kinetik.....     | 156 |
| Es geht auch noch schneller: Die Arrhenius-Gleichung ..... | 158 |

#### **Kapitel 11 Übungen..... 161**

|  |     |
|--|-----|
| Hydrolyse eines Esters in wässriger Lösung ..... | 162 |
| Stresstest und Arrhenius-Plot.....               | 164 |

### TEIL IV THERMODYNAMIK..... 167

#### **Kapitel 12 Zustands- und Prozessgrößen – die Bausteine der Thermodynamik ..... 169**

|  |     |
|--|-----|
| Der Ort des Geschehens – das thermodynamische System.....      | 169 |
| Zustand oder Prozess?.....                                     | 172 |
| Zustands- und Prozessgrößen .....                              | 172 |
| Zustandsgleichungen.....                                       | 174 |
| Thermodynamische Prozesse .....                                | 175 |
| Ein klein wenig Mathematik .....                               | 175 |
| Es kommt auf Änderungen an: Differenzen und Differentiale..... | 176 |
| Sie beschreiben Änderungen: Ableitungen .....                  | 176 |

|   |            |
|---|------------|
| <b>Kapitel 13</b>   |            |
| <b>Robert von Mayer und der erste Hauptsatz der Thermodynamik – Ein Arzt und die Energieerhaltung</b> ..... | <b>179</b> |
| Der erste Hauptsatz der Thermodynamik .....   | 180        |
| Energetische Zustandsgrößen: Die innere Energie U und die Enthalpie H .....                                 | 181        |
| Der Energieinhalt eines Systems .....   | 181        |
| Der Wärmeinhalt eines Systems .....   | 182        |
| Wärmekapazität .....  | 182        |
| <b>Kapitel 14</b>   |            |
| <b>Alles in Unordnung – Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik</b> .....                                    | <b>185</b> |
| Der zweite Hauptsatz und seine Bedeutung .....  | 185        |
| Jedes System besitzt Entropie. ....   | 186        |
| Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik .....  | 188        |
| Grafische Darstellung von Bilanzen. ....  | 190        |
| Etwas Mathematik ist erforderlich: Entropieänderungen .....   | 191        |
| Entropieänderung bei Zustandsänderungen ohne Phasenänderung. ....   | 191        |
| Entropieänderung bei Zustandsänderungen mit Phasenumwandlung ....   | 195        |
| Entropie am Beispiel eines Druckbehälters .....   | 196        |
| Prozesse verständlicher machen: Das T-s-Diagramm .....  | 198        |
| Energieumwandlungen .....   | 200        |
| Über die Qualität von Energieformen .....   | 201        |
| Der Idealfall: Der Carnot-Prozess. ....   | 202        |
| <b>Kapitel 15</b>   |            |
| <b>Zustände und Zustandsänderungen</b> .....  | <b>207</b> |
| Grundlagen .....  | 207        |
| Zustandsänderungen idealer Gase .....   | 208        |
| Isochore Zustandsänderung .....   | 209        |
| Isobare Zustandsänderung .....  | 209        |
| Isotherme Zustandsänderung .....  | 210        |
| Adiabate Zustandsänderung .....   | 211        |
| Isentrope Zustandsänderung .....  | 212        |
| Polytrope Zustandsänderung .....  | 213        |
| Zustandsgrößen und Zustandsänderungen grafisch darstellen .....   | 214        |
| Das T-s-Diagramm von Wasser als Beispiel .....  | 214        |
| <b>Kapitel 16</b>   |            |
| <b>Links oder rechts – die Kreisprozesse</b> .....  | <b>219</b> |
| Wärme teilweise in Arbeit umwandeln: Rechtskreisprozesse .....  | 220        |
| Grundprinzip .....  | 220        |
| Der Clausius-Rankine-Prozess .....  | 222        |
| Der Joule-Prozess .....   | 225        |
| Der Otto-Prozess .....  | 229        |

## 16 Inhaltsverzeichnis

|   |            |
|---|------------|
| Der Diesel-Prozess .....  | 231        |
| Der Linkskreisprozess oder: Wie funktioniert der Kühlschrank? ..... | 232        |
| Allgemeine Bemerkungen zu Linkskreisprozessen.....                  | 232        |
| Der Wärmepumpenprozess .....  | 235        |
| <b>Kapitel 17</b>   |            |
| <b>Gas-Dampf-Gemische – Alles feuchte Luft? .....</b>               | <b>237</b> |
| Absolute und relative Feuchte .....                                 | 237        |
| Relativ oder absolut: Maße für die Luftfeuchtigkeit .....           | 237        |
| Umrechnungen .....  | 239        |
| Wichtige Hilfsmittel: Mollier-Diagramme .....                       | 240        |
| Aufbau eines Mollier-T,y-Diagramms .....                            | 241        |
| Arbeiten mit dem Diagramm: Zustandsänderungen feuchter Luft.....    | 243        |
| Erwärmung .....   | 243        |
| Abkühlung .....   | 243        |
| Mischung .....  | 244        |
| Beispiel: Mischung zweier Luftströme .....                          | 244        |
| Befeuchtung und Trocknung .....                                     | 246        |
| <b>Kapitel 18</b>   |            |
| <b>Jetzt wird es brenzlig – Verbrennung .....</b>                   | <b>249</b> |
| Ablauf der Verbrennung .....  | 249        |
| Ihre Reihe ist ziemlich lang: Brennstoffe .....                     | 249        |
| Voraussetzungen für eine Verbrennung.....                           | 251        |
| Arten der Verbrennung .....   | 252        |
| Stöchiometrische Verbrennungsrechnung .....                         | 252        |
| Berechnung des Luftbedarfs für Brennstoffe .....                    | 253        |
| Berechnung der Rauchgasmenge .....                                  | 255        |
| Verbrennungsrechnung mit Brennstoffkenngrößen .....                 | 257        |
| Verbrennungstemperatur und Taupunkt des Rauchgases .....            | 258        |
| <b>Kapitel 19</b>   |            |
| <b>Übungen .....</b>  | <b>261</b> |
| Zustände können sich ändern .....                                   | 261        |
| Sie können nicht funktionieren: Perpetua mobilia .....              | 262        |
| Besser geht es nicht: Der Carnot-Prozess .....                      | 263        |
| Sie funktionieren sehr wohl: Otto- und Dieselmotor .....            | 263        |
| Alles nur feuchte Luft.....   | 263        |
| <b>TEIL V</b>   |            |
| <b>WECHSELWIRKUNGEN .....</b>                                       | <b>265</b> |
| <b>Kapitel 20</b>   |            |
| <b>Spektroskopie .....</b>  | <b>267</b> |
| Das elektromagnetische Spektrum .....                               | 267        |
| Kleine Energie, große Wirkung – Radiowellen .....                   | 270        |

|   |     |
|---|-----|
| Feinstrukturen durch Verschiebung und Kopplung erkennen . . . . . | 272 |
| Hier wird es heiß – Mikrowellen . . . . .                         | 274 |
| Bindungen im Tanzfieber – Infrarotspektroskopie . . . . .         | 275 |
| Schauen wir mal – UV/Vis-Spektroskopie . . . . .                  | 277 |
| Jetzt wird es kristallklar – Röntgenstrukturanalyse . . . . .     | 280 |
| Röntgendiagnose . . . . .   | 280 |
| Röntgenstrukturanalyse . . . . .                                  | 281 |

**Kapitel 21**  
**Molecular Modeling . . . . . 283**

|  |     |
|--|-----|
| Vom Aussehen eines Moleküls . . . . .                            | 283 |
| Molekülmechanik: Kraftfeldmethoden . . . . .                     | 286 |
| Die Energiegleichungen eines Kraftfelds . . . . .                | 286 |
| Zusammenfassen und Zeit sparen . . . . .                         | 288 |
| Vom Berg ins Tal mit geschlossenen Augen . . . . .               | 289 |
| Mit Dynamik die Moleküle bewegen . . . . .                       | 290 |
| Quantenchemie mit der unlösbaren Schrödinger-Gleichung . . . . . | 291 |
| Semi-empirisch mit MNDO und Co. . . . .                          | 292 |
| Von Anfang an: Ab-initio-Berechnungen . . . . .                  | 293 |

**TEIL VI**  
**DER TOP-TEN-TEIL . . . . . 295**

**Kapitel 22**  
**Zehn (Groß-)Väter der Physikalischen Chemie . . . . . 297**

|  |     |
|--|-----|
| Wilhelm Ostwald . . . . .                | 297 |
| Svante Arrhenius . . . . .               | 298 |
| Jacobus Henricus van 't Hoff . . . . .   | 299 |
| Walther Nernst . . . . .                 | 299 |
| Josiah Willard Gibbs . . . . .           | 300 |
| Johannes Diderik van der Waals . . . . . | 300 |
| Jean Louis Marie Poiseuille . . . . .    | 301 |
| Irving Langmuir . . . . .                | 301 |
| Julius Robert von Mayer . . . . .        | 302 |
| Nicolas Léonard Sadi Carnot . . . . .    | 302 |

**Kapitel 23**  
**Zehn Tipps für Studierende . . . . . 305**

|  |     |
|--|-----|
| Nur scheinbar kompliziert – keine Angst vor mathematischen Formeln . . . . . | 305 |
| Diagramme verstehen – nicht auswendig lernen . . . . .                       | 306 |
| Was du heute kannst besorgen . . . . .                                       | 307 |
| Vorlesungen sind besser als Bücher . . . . .                                 | 308 |
| Übungen und Seminare sind noch besser als Vorlesungen . . . . .              | 308 |
| Praktika: Sauber arbeiten, denken und dokumentieren . . . . .                | 309 |
| Wie Fehler entstehen und wie Sie diese vermeiden . . . . .                   | 310 |
| Kommilitonen sind Mitstreiter, keine Konkurrenten . . . . .                  | 311 |

## 18 Inhaltsverzeichnis

|  |            |
|--|------------|
| Alte Klausuren sind die halbe Miete . . . . .                      | 311        |
| Das Internet ist nicht nur zum Chatten zu gebrauchen . . . . .     | 312        |
| <b>TEIL VII</b>  |            |
| <b>ANHÄNGE . . . . .</b>   | <b>315</b> |
| <b>Kapitel A</b>   |            |
| <b>Lösungen der Übungsaufgaben aus Kapitel 4 . . . . .</b>         | <b>317</b> |
| So berechnen Sie den Druck in der Sprayflasche . . . . .           | 317        |
| Das ist die Molmasse des Polymers . . . . .                        | 318        |
| Logarithmische Auswertung eines Rheogramms . . . . .               | 319        |
| <b>Kapitel B</b>   |            |
| <b>Lösungen der Übungsaufgaben aus Kapitel 8 . . . . .</b>         | <b>321</b> |
| Berechnung eines Isotonisierungszusatzes . . . . .                 | 322        |
| Auswertung einer Adsorptionsisotherme nach Freundlich . . . . .    | 323        |
| Die Binodallinie im Dreiecksdiagramm . . . . .                     | 324        |
| Den Extraktgehalt nach dem Ausschütteln berechnen . . . . .        | 325        |
| <b>Kapitel C</b>   |            |
| <b>Lösungen der Übungsaufgaben aus Kapitel 11 . . . . .</b>        | <b>329</b> |
| Die Hydrolysekinetik grafisch darstellen und auswerten . . . . .   | 330        |
| Mit Arrhenius im Schnellgang die Haltbarkeit vorhersagen . . . . . | 331        |
| <b>Kapitel D</b>   |            |
| <b>Lösungen der Übungsaufgaben aus Kapitel 19 . . . . .</b>        | <b>335</b> |
| Zustandsänderungen in einer Luftpumpe . . . . .                    | 335        |
| Und sie laufen und laufen und laufen ... überhaupt nicht . . . . . | 336        |
| Ideal, aber nicht perfekt:   |            |
| Der Carnot-Prozess . . . . .                                       | 336        |
| Sie laufen zuverlässig: Otto- und Dieselmotor . . . . .            | 337        |
| Mit feuchter Luft kann man auch rechnen . . . . .                  | 338        |
| <b>Stichwortverzeichnis . . . . .</b>                              | <b>339</b> |