

# Inhalt

|          |                                                             |           |
|----------|-------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>Einführung</b>                                           | <b>1</b>  |
| 1.1      | Wasserstoff als Hoffnungsträger                             | 2         |
| 1.2      | Funktionsprinzip der Brennstoffzelle                        | 5         |
| 1.3      | Aktuelle Herausforderungen der Brennstoffzellentechnologie. | 8         |
| 1.4      | Aufbau dieses Buches                                        | 12        |
| <b>2</b> | <b>Energiegeschichte der Menschheit</b>                     | <b>15</b> |
| 2.1      | Frühe solare Zivilisationen                                 | 15        |
| 2.2      | Fossiles Industriezeitalter                                 | 19        |
| 2.3      | Vision einer solaren Zivilisation                           | 32        |
| <b>3</b> | <b>Naturgesetze der Energie</b>                             | <b>37</b> |
| 3.1      | Exergie                                                     | 37        |
| 3.2      | Entropie                                                    | 43        |
| 3.3      | Syntropie und Information                                   | 52        |
| 3.4      | Bedeutung für die Energiewirtschaft                         | 67        |
| <b>4</b> | <b>Thermochemische Grundlagen</b>                           | <b>71</b> |
| 4.1      | Grundfunktion einer Brennstoffzelle                         | 71        |
| 4.2      | Das chemische Potenzial                                     | 73        |
| 4.3      | Ruhespannung einer Brennstoffzelle                          | 75        |
| 4.4      | Brennstoffzellen unter Strom                                | 78        |
| 4.5      | Stofftransportprozesse                                      | 91        |
| 4.6      | Impedanzspektroskopie                                       | 99        |
| 4.7      | Batterien                                                   | 101       |

|           |                                                     |            |
|-----------|-----------------------------------------------------|------------|
| <b>5</b>  | <b>Elektrolyse- und Brennstoffzellen</b>            | <b>109</b> |
| 5.1       | Übersicht der Brennstoffzellentypen                 | 109        |
| 5.2       | Alkalische Technologie                              | 120        |
| 5.3       | Polymer-Elektrolyt-Membran (PEM)                    | 143        |
| <b>6</b>  | <b>Mechatronik und Systemtechnik</b>                | <b>167</b> |
| 6.1       | Mechatronische Konstruktion                         | 168        |
| 6.2       | Anwendung der Systemtechnik                         | 226        |
| <b>7</b>  | <b>Wasserstofftechnologie</b>                       | <b>233</b> |
| 7.1       | Eigenschaften von Wasserstoff                       | 233        |
| 7.2       | Verdichtung von Wasserstoff                         | 235        |
| 7.3       | Wasserstoffinfrastruktur                            | 249        |
| 7.4       | Wasserstofftankstellen                              | 255        |
| 7.5       | Wasserstofffahrzeuge                                | 258        |
| 7.6       | Hausenergietechnik                                  | 261        |
| 7.7       | Industrielle Wasserstoffnutzung                     | 263        |
| <b>8</b>  | <b>Regeneratives Energiesystem</b>                  | <b>267</b> |
| 8.1       | Energieatlas Deutschland                            | 267        |
| 8.2       | Elektrische Systemebene                             | 269        |
| 8.3       | Chemische Energie                                   | 288        |
| 8.4       | Thermische Systemebene                              | 301        |
| <b>9</b>  | <b>Wirtschaft und Politik</b>                       | <b>313</b> |
| 9.1       | Grenzen des Wachstums                               | 313        |
| 9.2       | Stand der Energiewende in Deutschland               | 323        |
| 9.3       | Wasserstoffstrategien                               | 325        |
| 9.4       | Nachhaltig wirtschaften                             | 326        |
| <b>10</b> | <b>Ausblick</b>                                     | <b>331</b> |
| 10.1      | Die Rolle von Wasserstoff für die Energiewirtschaft | 332        |
| 10.2      | Die solare Zukunftsvision                           | 336        |
|           | <b>Index</b>                                        | <b>341</b> |