

---

# Taschenbuch der Umweltechnik

---

herausgegeben von  
Prof. Dr. Karl Schwister

Mit 162 Bildern und 59 Tabellen



FACHBUCHVERLAG LEIPZIG  
im Carl Hanser Verlag

---

# Inhaltsverzeichnis

---

## GRUNDLAGEN

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>Ursachen der Umweltprobleme</b> .....                        | <b>17</b> |
| 1.1      | Eingrenzung der Umweltproblematik .....                         | 18        |
| 1.2      | Entwicklung der Erkenntnis über die<br>Umweltproblematik .....  | 20        |
| 1.3      | Umwelt„verbrauch“ als quantitative<br>Lebensgrundlagen .....    | 23        |
| 1.4      | Umwelt„verschmutzung“ als qualitative<br>Lebensgrundlagen ..... | 23        |
| <b>2</b> | <b>Naturwissenschaftliche Grundbegriffe</b> .....               | <b>25</b> |
| 2.1      | Chemisches Rechnen – Stöchiometrie .....                        | 25        |
| 2.1.1    | Stöchiometrische Größen und Formeln .....                       | 25        |
| 2.1.2    | Umrechnung von Stoff- und Gehaltsgrößen .....                   | 28        |
| 2.1.3    | Allgemeine Reaktionsbegriffe .....                              | 30        |
| 2.2      | Einführung in die Thermodynamik .....                           | 32        |
| 2.2.1    | Systeme und Zustandsgrößen .....                                | 32        |
| 2.2.2    | Erster Hauptsatz .....  | 33        |
| 2.2.3    | Standard-Enthalpien .....                                       | 35        |
| 2.2.4    | Zweiter Hauptsatz .....   | 37        |
| 2.3      | Chemie und Physik des Wassers .....                             | 39        |
| 2.3.1    | Physikalische Eigenschaften .....                               | 40        |
| 2.3.2    | Chemische Eigenschaften .....                                   | 43        |
| 2.3.3    | Autoprotolyse und pH-Wert .....                                 | 45        |
| 2.3.4    | Härte und Leitfähigkeit .....                                   | 47        |
| 2.3.5    | Löslichkeit .....   | 49        |
| 2.4      | Mikrobiologie .....   | 53        |
| 2.4.1    | Einteilung der Mikroorganismen .....                            | 54        |
| 2.4.2    | Bakterien .....   | 57        |
| 2.4.3    | Pilze .....   | 60        |
| 2.4.4    | Protozoen .....   | 60        |
| 2.4.5    | Algen .....   | 62        |
| 2.4.6    | Mehrzellige tierische und pflanzliche Formen .....              | 64        |

## 8 Inhaltsverzeichnis

---

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| 2.5      | Kinetik chemischer und biochemischer Reaktionen .....          | 65        |
| 2.5.1    | Reaktionen 0. Ordnung .....                                    | 66        |
| 2.5.2    | Reaktionen 1. Ordnung .....                                    | 66        |
| 2.5.3    | Reaktionen 2. Ordnung .....                                    | 68        |
| 2.5.4    | Temperaturabhängigkeit der<br>Reaktionsgeschwindigkeit .....   | 68        |
| 2.5.5    | Wachstum und Vermehrung von<br>Mikroorganismen .....           | 69        |
| 2.5.6    | Wachstumsphasen .....  | 71        |
| <b>3</b> | <b>Einführung in das Umweltrecht .....</b>                     | <b>74</b> |
| 3.1      | Allgemeines Umweltrecht .....                                  | 74        |
| 3.1.1    | Rechtsquellen des Umweltrechts .....                           | 74        |
| 3.1.2    | Ziele und Grundprinzipien des Umweltrechts .....               | 74        |
| 3.1.3    | Medialer und integrativer Umweltschutz .....                   | 76        |
| 3.1.4    | Allgemeine Umweltgesetze .....                                 | 76        |
| 3.2      | Immissionsschutzrecht .....                                    | 78        |
| 3.2.1    | Ziele und Grundbegriffe des BImSchG .....                      | 78        |
| 3.2.2    | Recht der genehmigungsbedürftigen Anlagen .....                | 79        |
| 3.2.3    | Recht der nicht genehmigungsbedürftigen<br>Anlagen .....       | 82        |
| 3.2.4    | Sonstige Instrumente des BImSchG .....                         | 82        |
| 3.3      | Gewässerschutzrecht .....                                      | 83        |
| 3.3.1    | Ziele, Grundsätze und allgemeine Pflichten<br>des WHG .....    | 83        |
| 3.3.2    | Gestattung der Gewässerbenutzung .....                         | 85        |
| 3.3.3    | Abwasserrecht .....  | 87        |
| 3.3.4    | Sonstige Instrumente des WHG .....                             | 88        |
| 3.4      | Bodenschutz- und Altlastenrecht .....                          | 88        |
| 3.4.1    | Zweck und Grundsätze des BBodSchG .....                        | 89        |
| 3.4.2    | Gefahrenabwehr- und Sanierungspflichten .....                  | 90        |
| 3.4.3    | Vorsorgepflicht .....  | 93        |
| 3.4.4    | Sonstige Instrumente des Bodenschutzes .....                   | 94        |
| 3.5      | Kreislaufwirtschafts- und Abfallrecht .....                    | 95        |
| 3.5.1    | Ziele und Grundbegriffe des KrW-/AbfG .....                    | 95        |
| 3.5.2    | Grundsätze und Grundpflichten der<br>Kreislaufwirtschaft ..... | 97        |
| 3.5.3    | Grundsätze und Grundpflichten der<br>Abfallbeseitigung .....   | 99        |
| 3.5.4    | Das Recht der Abfallbeseitigungsanlagen .....                  | 100       |

---

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| <b>4</b> | <b>Umweltmanagement</b> .....  | <b>101</b> |
| 4.1      | Umweltbeziehungen von Unternehmen.....                                       | 101        |
| 4.2      | Erfassen stofflicher und energetischer<br>Umweltbeeinflussungen.....         | 103        |
| 4.2.1    | Grundlagen der Stoff- und<br>Energie-Bilanzierung.....                       | 103        |
| 4.2.2    | Komponenten der Ökobilanzierung.....   | 107        |
| 4.2.3    | Prozess-Ökobilanzen und Module.....  | 108        |
| 4.2.4    | Prozessverknüpfungen.....  | 109        |
| 4.2.5    | Standort-, Unternehmens- und Organisations-<br>Ökobilanzen.....              | 111        |
| 4.2.6    | Produkt-Ökobilanzen.....   | 112        |
| 4.2.7    | Bewertungsverfahren.....   | 113        |
| 4.3      | Handhabung betrieblicher Umweltbelange.....                                  | 115        |
| 4.3.1    | Management.....  | 115        |
| 4.3.2    | Betriebliche Umweltpolitik und Ist-Analyse.....                              | 117        |
| 4.3.3    | Umweltziele und Umweltprogramme.....   | 118        |
| 4.3.4    | Organisation.....  | 118        |
| 4.3.5    | Dokumentation.....   | 119        |
| 4.3.6    | Audit (Umweltbetriebsprüfung).....   | 120        |
| 4.3.7    | Zertifizierung/Validierung in<br>Umweltmanagement-Systemen.....              | 120        |
| <b>5</b> | <b>Risikoabschätzung und Grenzwerte</b> .....                                | <b>123</b> |
| 5.1      | Definition des Risikos.....  | 123        |
| 5.1.1    | Wahrscheinlichkeit eines Ereignisses.....                                    | 123        |
| 5.1.2    | Schadenswert als Folge eines Ereignisses.....                                | 124        |
| 5.1.3    | Begriffspaare.....   | 124        |
| 5.1.4    | Mathematische Funktion zur Risikobewertung... ..                             | 125        |
| 5.1.5    | Spezielle Risikoarten.....   | 125        |
| 5.2      | Bestimmung der Risiken.....  | 126        |
| 5.2.1    | Zweck der Risikobewertungen.....   | 126        |
| 5.2.2    | Praxis der Risikobewertung.....  | 127        |
| 5.2.3    | Subjektive Aspekte und äußere Faktoren<br>bei der Bewertung von Risiken..... | 128        |
| 5.3      | Merkmale einer Entscheidung unter Risiko.....                                | 128        |
| 5.3.1    | Folgenbewertung.....   | 128        |
| 5.3.2    | Entscheidungssituation.....  | 128        |
| 5.3.3    | Erstellung eines Zielsystems.....  | 129        |
| 5.3.4    | Prognose–Ereignisverlauf.....  | 130        |
| 5.3.5    | Beurteilung von Strategien.....  | 131        |

---

|       |                           |     |
|-------|---------------------------|-----|
| 5.3.6 | Sensitivitätsanalyse..... | 133 |
| 5.4   | Grenzwerte.....           | 133 |

## UMWELTSCHADSTOFFE

|          |   |            |
|----------|---|------------|
| <b>6</b> | <b>Wasserverschmutzung .....</b>                    | <b>140</b> |
| 6.1      | Wasservorkommen und Wasserverbrauch.....            | 140        |
| 6.2      | Wasserkreislauf.....                                | 142        |
| 6.3      | Limnologische Grundlagen.....                       | 144        |
|          | 6.3.1 Grundwasser.....                              | 144        |
|          | 6.3.2 Fließgewässer.....                            | 146        |
|          | 6.3.3 Stehende Gewässer.....                        | 148        |
| 6.4      | Gewässereutrophierung.....                          | 150        |
| 6.5      | Gewässerversauerung.....                            | 152        |
| 6.6      | Gewässergüte.....                                   | 152        |
|          | 6.6.1 Kennwerte zur Einstufung der Gewässergüte.... | 152        |
|          | 6.6.2 Gewässergütestufen.....                       | 154        |
| <b>7</b> | <b>Bodenbelastungen .....</b>                       | <b>157</b> |
| 7.1      | Bodenbestandteile und Bodenstruktur.....            | 157        |
| 7.2      | Bodenfruchtbarkeit.....                             | 164        |
| 7.3      | Art und Menge von Stoffeinträgen.....               | 166        |
| 7.4      | Verhalten und Wirkung der Bodenbelastung.....       | 171        |
| <b>8</b> | <b>Luftverschmutzung .....</b>                      | <b>177</b> |
| 8.1      | Einteilung und Zusammensetzung der Atmosphäre.....  | 177        |
| 8.2      | Grundbegriffe.....                                  | 178        |
|          | 8.2.1 Luftdruck.....                                | 178        |
|          | 8.2.2 Luftfeuchtigkeit.....                         | 179        |
|          | 8.2.3 Luftkeime.....                                | 180        |
|          | 8.2.4 Emission, Transmission und Immission.....     | 180        |
| 8.3      | Beschreibung der Luftschadstoffe.....               | 181        |
|          | 8.3.1 Kohlenstoffdioxid.....                        | 181        |
|          | 8.3.2 Kohlenstoffmonoxid.....                       | 182        |
|          | 8.3.3 Methan.....                                   | 182        |
|          | 8.3.4 Schwefeldioxid.....                           | 183        |
|          | 8.3.5 Stickstoffoxide.....                          | 184        |
|          | 8.3.6 Formaldehyd.....                              | 185        |
|          | 8.3.7 Kohlenwasserstoffe.....                       | 185        |

|           |   |            |
|-----------|---|------------|
| 8.3.8     | Halogenierte Kohlenwasserstoffe .....   | 186        |
| 8.3.9     | Asbest .....  | 186        |
| 8.4       | Treibhauseffekt .....   | 186        |
| 8.4.1     | Natürlicher Treibhauseffekt .....   | 187        |
| 8.4.2     | Anthropogener Treibhauseffekt .....   | 188        |
| 8.5       | Ozonloch und FCKW .....   | 190        |
| <b>9</b>  | <b>Abfall</b> .....   | <b>192</b> |
| 9.1       | Abfallwirtschaftliche Grundlagen .....  | 192        |
| 9.2       | Abfallaufkommen und Abfallströme .....  | 194        |
| 9.3       | Sammlung und Aufbereitung des Abfalls.....  | 195        |
| <b>10</b> | <b>Lärm</b> .....   | <b>201</b> |
| 10.1      | Physikalische Größen.....   | 201        |
| 10.2      | Lärm .....  | 204        |
| 10.3      | Pegelmaße .....   | 205        |
| <b>11</b> | <b>Elektromagnetische Strahlung</b> .....   | <b>207</b> |
| 11.1      | Physikalische Grundlagen .....  | 207        |
| 11.2      | Die Strahlung elektrotechnischer Einrichtungen .....  | 208        |
| 11.3      | Die UV-Strahlung.....   | 209        |
| 11.4      | Die ionisierende Strahlung.....   | 210        |
| 11.4.1    | Die natürliche Strahlung .....  | 212        |
| 11.4.2    | Die Strahlenbelastung durch medizinische<br>Anwendungen .....   | 213        |
| 11.4.3    | Strahlenbelastung durch die Nutzung von<br>Kernenergie und andere technische<br>Anwendungen ionisierender Strahlen..... | 214        |

## UMWELTECHNOLOGIEN

|           |  |            |
|-----------|--|------------|
| <b>12</b> | <b>Trinkwasseraufbereitung</b> .....           | <b>218</b> |
| 12.1      | Anforderungen an die Trinkwasserqualität ..... | 218        |
| 12.2      | Aufbereitung von Trinkwasser .....             | 220        |
| 12.2.1    | Gasaustausch .....                             | 221        |
| 12.2.2    | Enteisenung und Entmanganung .....             | 223        |
| 12.2.3    | Filtration.....                                | 225        |
| 12.2.4    | Nitratreduktion .....                          | 226        |
| 12.3      | Desinfektion von Trinkwasser.....              | 229        |

12 Inhaltsverzeichnis

---

|           |  |            |
|-----------|--|------------|
| 12.3.1    | Biologische Verfahren .....                      | 229        |
| 12.3.2    | Chemische Verfahren .....                        | 229        |
| 12.3.3    | Physikalische Verfahren .....                    | 231        |
| 12.4      | Korrosion in Trinkwassersystemen .....           | 232        |
| <b>13</b> | <b>Kommunale Abwasserreinigung .....</b>         | <b>235</b> |
| 13.1      | Einführung .....                                 | 235        |
| 13.2      | Abwasserinhaltsstoffe .....                      | 236        |
| 13.2.1    | Messgrößen zur Abwasserbeurteilung .....         | 237        |
| 13.2.2    | Typische Abwasserparameter .....                 | 239        |
| 13.3      | Aufbau und Funktion einer Kläranlage .....       | 240        |
| 13.3.1    | Mechanischer Anlagenteil .....                   | 240        |
| 13.3.2    | Biologischer Anlagenteil .....                   | 243        |
| 13.3.3    | Klärschlammbehandlung .....                      | 245        |
| 13.3.4    | Nachklärung .....                                | 245        |
| 13.4      | Phosphat- und Stickstoffeliminierung .....       | 246        |
| 13.4.1    | Chemische Fällung .....                          | 247        |
| 13.4.2    | Biologische P-Eliminierung .....                 | 248        |
| 13.4.3    | Eliminierung von Stickstoffverbindungen .....    | 249        |
| 13.4.4    | Biologische Nitrifikation .....                  | 250        |
| 13.4.5    | Biologische Denitrifikation .....                | 251        |
| 13.4.6    | Verfahrenskonzepte .....                         | 252        |
| 13.5      | Alternative Verfahren .....                      | 253        |
| <b>14</b> | <b>Industrielle Abwasserreinigung .....</b>      | <b>256</b> |
| 14.1      | Aerobe Verfahren .....                           | 256        |
| 14.1.1    | Blasensäulenreaktor .....                        | 256        |
| 14.1.2    | Schlaufenreaktor .....                           | 258        |
| 14.1.3    | Festbettreaktoren .....                          | 260        |
| 14.2      | Anaerobe Verfahren .....                         | 260        |
| 14.2.1    | Mikrobiologische Besonderheiten .....            | 261        |
| 14.2.2    | Verfahrenstechnische Aspekte .....               | 263        |
| <b>15</b> | <b>Schlammbehandlung .....</b>                   | <b>266</b> |
| 15.1      | Überblick und Kenngrößen von Klärschlämmen ..... | 266        |
| 15.2      | Schlammmenge und Schlammbeschaffenheit .....     | 269        |
| 15.3      | Verfahren zur Schlammstabilisierung .....        | 271        |
| 15.3.1    | Anaerobe Stabilisierung .....                    | 272        |
| 15.3.2    | Aerobe Schlammstabilisierung .....               | 274        |
| 15.4      | Schlamm entwässerung .....                       | 276        |
| 15.5      | Schlammverwertung und -entsorgung .....          | 277        |

|           |  |            |
|-----------|--|------------|
| <b>16</b> | <b>Altlastenprobleme und Bodenschutz</b> .....                           | <b>278</b> |
| 16.1      | Einführung .....   | 278        |
| 16.2      | Sanierungsziele .....  | 279        |
| 16.3      | Gefährdungsabschätzung.....  | 280        |
| 16.4      | Erkundung und Bewertung .....  | 282        |
| 16.5      | Sanierungsstrategien .....   | 285        |
| <b>17</b> | <b>Sanierung von Altlasten</b> .....                                     | <b>287</b> |
| 17.1      | Überblick über Verfahren.....  | 287        |
| 17.2      | Bodenluftabsaugung .....   | 289        |
| 17.3      | Wasch- und Extraktionsverfahren .....                                    | 291        |
| 17.4      | Thermische Verfahren .....   | 294        |
| 17.5      | Biologische Verfahren.....   | 298        |
| <b>18</b> | <b>Staubabscheidung</b> .....  | <b>300</b> |
| 18.1      | Einführung .....   | 300        |
| 18.2      | Massenkraftabscheider.....   | 302        |
| 18.3      | Filternde Abscheider.....  | 305        |
| 18.4      | Elektroabscheider .....  | 309        |
| 18.5      | Mechanische Nassabscheider .....   | 311        |
| <b>19</b> | <b>Primärmaßnahmen bei der Verbrennung</b> .....                         | <b>314</b> |
| 19.1      | Schadstoffbildung .....  | 314        |
| 19.2      | Brennkammer und schadstoffarme Brenner .....                             | 317        |
| 19.3      | Trockenadditivverfahren .....  | 318        |
| 19.4      | Wirbelschichtfeuerung .....  | 319        |
| <b>20</b> | <b>Thermische Abgasreinigung durch<br/>Oxidation und Reduktion</b> ..... | <b>324</b> |
| 20.1      | Oxidative Schadstoffumsetzung in<br>Verbrennungsanlagen .....            | 324        |
| 20.2      | Flammen-, thermische und katalytische Verbrennung...                     | 329        |
| 20.3      | Grundlagen der reduktiven Abgasreinigung .....                           | 336        |
| 20.4      | Das SCR-Verfahren zur NO <sub>x</sub> -Reduktion.....                    | 337        |
| <b>21</b> | <b>Abgasreinigung durch Kondensation,<br/>Ab- und Adsorption</b> .....   | <b>339</b> |
| 21.1      | Theoretische Grundlagen .....  | 339        |
| 21.2      | Absorber- und Adsorberbauarten .....                                     | 343        |
| 21.3      | Verfahren zur Rauchgasentschwefelung .....                               | 347        |



---

|           |   |     |
|-----------|---|-----|
| <b>22</b> | <b>Biologische Abgasreinigung</b> .....                               | 352 |
| 22.1      | Grundlagen .....  | 352 |
| 22.2      | Einteilung der Verfahren .....  | 354 |
| 22.3      | Biofilter .....   | 354 |
|           | 22.3.1 Funktionsprinzip .....   | 355 |
|           | 22.3.2 Allgemeine Parameter .....                                     | 356 |
|           | 22.3.3 Bauformen .....  | 357 |
|           | 22.3.4 Einsatzgebiete .....   | 358 |
| 22.4      | Biowäscher .....  | 359 |
|           | 22.4.1 Funktionsprinzip .....   | 359 |
|           | 22.4.2 Wichtige Parameter .....                                       | 361 |
|           | 22.4.3 Bauformen .....  | 361 |
|           | 22.4.4 Einsatzgebiete .....   | 364 |
| 22.5      | Membranbioreaktor .....   | 364 |
|           | 22.5.1 Funktionsprinzip .....   | 364 |
|           | 22.5.2 Bauform .....  | 365 |
|           | 22.5.3 Einsatzgebiete .....   | 367 |
| <br>      |   |     |
| <b>23</b> | <b>Emissionsminderung bei Kraftfahrzeugen</b> .....                   | 368 |
| 23.1      | Einleitung .....  | 368 |
| 23.2      | Entstehung der Schadstoffe .....                                      | 368 |
|           | 23.2.1 Ottomotor .....  | 370 |
|           | 23.2.2 Dieselmotor .....  | 371 |
| 23.3      | Gesetzliche Vorschriften .....  | 371 |
| 23.4      | Maßnahmen zur Minderung des Schadstoffausstoßes .....                 | 372 |
|           | 23.4.1 Ottomotor .....  | 373 |
|           | 23.4.2 Dieselmotor .....  | 374 |
| 23.5      | Abgasnachbehandlung .....   | 375 |
|           | 23.5.1 Ottomotor .....  | 375 |
|           | 23.5.2 Dieselmotor .....  | 379 |
| 23.6      | Kraftstoffe .....   | 382 |
| 23.7      | Alternative Antriebe .....  | 382 |
| 23.8      | Geräuschemissionen .....  | 383 |
| <br>      |   |     |
| <b>24</b> | <b>Konzepte zur Abfallreduzierung</b> .....                           | 384 |
| 24.1      | Primäre Maßnahmen .....   | 384 |
|           | 24.1.1 Haushalt .....   | 384 |
|           | 24.1.2 Industrie .....  | 386 |
| 24.2      | Sekundäre Maßnahmen .....   | 390 |
|           | 24.2.1 Gewinnung von Wertstoffen (werkstoffliche<br>Verwertung) ..... | 390 |

---

|           |  |            |
|-----------|--|------------|
| 24.2.2    | Gewinnung von Rohstoffen .....   | 398        |
| 24.2.3    | Energetische Verwertung .....  | 398        |
| <b>25</b> | <b>Müllverbrennung</b> .....   | <b>400</b> |
| 25.1      | Anlagentechnik und Verfahrensvarianten .....                                       | 400        |
| 25.2      | Rauchgasreinigung .....  | 405        |
| 25.2.1    | Entstaubung .....  | 406        |
| 25.2.2    | Abtrennung der sauren Schadgase .....  | 408        |
| 25.2.3    | Entstickung .....  | 409        |
| 25.2.4    | Entfernung von Dioxinen und Furanen .....  | 410        |
| 25.3      | Rückstands-beseitigung/Rückstandsbehandlung .....                                  | 411        |
| <b>26</b> | <b>Deponieren von Abfällen</b> .....   | <b>413</b> |
| 26.1      | Grundlagen der Deponietechnik/Deponien für<br>Siedlungsabfall .....                | 413        |
| 26.2      | Verschiedene Möglichkeiten der Klassifizierung von<br>oberirdischen Deponien ..... | 418        |
| 26.3      | Deponiegas und Sickerwasser .....  | 419        |
| 26.4      | Deponien für Sonderabfall .....  | 422        |
| <b>27</b> | <b>Lärmschutz und Lärmvermeidung</b> .....   | <b>424</b> |
| 27.1      | Luftschallentstehung und primärer Schallschutz .....                               | 424        |
| 27.2      | Schallausbreitung im Freien .....  | 427        |
| 27.3      | Schallausbreitung in Räumen .....  | 428        |
| 27.4      | Sekundärer Schallschutz .....  | 430        |
| 27.4.1    | Schallschirme .....  | 430        |
| 27.4.2    | Schalldämpfer .....  | 431        |
| 27.4.3    | Kapsel .....   | 434        |
| 27.5      | Messung der Geräuschemission .....   | 435        |
| 27.6      | Prognose der Lärmbelastung und Immissionsschutz .....                              | 436        |
| <b>28</b> | <b>Energieeinsparung</b> .....   | <b>438</b> |
| 28.1      | Überblick .....  | 438        |
| 28.2      | Wirtschaftlichkeit und Finanzierung .....  | 444        |
| 28.3      | Wärmepumpen .....  | 449        |
| 28.4      | Kraft-Wärme-Kopplung .....   | 453        |
| <b>29</b> | <b>Regenerative Energien</b> .....   | <b>456</b> |
| 29.1      | Überblick .....  | 456        |
| 29.2      | Angebot an Solarenergie .....  | 460        |

---

|      |  |            |
|------|--|------------|
| 29.3 | Solarthermie .....   | 463        |
|      | 29.3.1 Energieumwandlung im Solarkollektor .....                       | 464        |
|      | 29.3.2 Solaranlagen zur Brauchwassererwärmung<br>und Raumheizung ..... | 466        |
|      | 29.3.3 Dimensionierung, Energieertrag und<br>Wirtschaftlichkeit .....  | 468        |
| 29.4 | Photovoltaik .....   | 470        |
|      | 29.4.1 Energieumwandlung in der Solarzelle und<br>Anlagentechnik ..... | 471        |
|      | 29.4.2 Dimensionierung, Energieertrag und<br>Wirtschaftlichkeit .....  | 473        |
| 29.5 | Wasserkraft .....  | 475        |
|      | 29.5.1 Energieumwandlung mit Turbinen und<br>Wasserrädern .....        | 476        |
|      | 29.5.2 Dimensionierung, Energieertrag und<br>Wirtschaftlichkeit .....  | 477        |
| 29.6 | Windkraft .....  | 477        |
|      | 29.6.1 Energieumwandlung an Rotorblättern .....                        | 479        |
|      | 29.6.2 Dimensionierung, Energieertrag und<br>Wirtschaftlichkeit .....  | 480        |
| 29.7 | Biomasse .....   | 480        |
| 29.8 | Geothermie .....   | 483        |
| 29.9 | Beiträge zu einer künftigen Energieversorgung .....                    | 484        |
|      | <b>LITERATUR .....</b>   | <b>489</b> |
|      | <b>SACHWORTVERZEICHNIS .....</b>                                       | <b>504</b> |