

# Inhaltsverzeichnis

|                                                                  |             |
|------------------------------------------------------------------|-------------|
| <b>Die Autoren</b> . . . . .                                     | <b>XXIX</b> |
| <b>I Moderne Theorien und Methoden der Geologie</b>              |             |
| <b>1 System Erde</b> . . . . .                                   | <b>3</b>    |
| Die wissenschaftliche Arbeitsmethode . . . . .                   | 4           |
| Geologie als Wissenschaft . . . . .                              | 6           |
| Die Form der Erde und der Erdoberfläche . . . . .                | 9           |
| Der Schalenbau der Erde . . . . .                                | 10          |
| Die Dichte der Erde . . . . .                                    | 10          |
| Erdmantel und Erdkern . . . . .                                  | 11          |
| Erdkruste . . . . .                                              | 11          |
| Innerer Kern . . . . .                                           | 12          |
| Chemische Zusammensetzung der Erdschalen . . . . .               | 12          |
| Die Erde als System interagierender Komponenten . . . . .        | 13          |
| System Klima . . . . .                                           | 16          |
| System Plattentektonik . . . . .                                 | 17          |
| System Geodynamo . . . . .                                       | 18          |
| Wechselwirkungen zwischen den Geosystemen ermöglichen das Leben  | 19          |
| Erdgeschichte im Überblick . . . . .                             | 19          |
| Entstehung der Erde und der globalen Geosysteme . . . . .        | 19          |
| Entwicklung des Lebens . . . . .                                 | 20          |
| Ergänzende Medien . . . . .                                      | 22          |
| <b>2 Plattentektonik: Die alles erklärende Theorie</b> . . . . . | <b>23</b>   |
| Die Entdeckung der Plattentektonik . . . . .                     | 24          |
| Kontinentaldrift . . . . .                                       | 24          |
| Seafloor-Spreading . . . . .                                     | 25          |
| Die große Synthese: 1963–1969 . . . . .                          | 27          |
| Die Lithosphärenplatten und ihre Grenzen . . . . .               | 28          |
| Divergente Plattengrenzen . . . . .                              | 28          |
| Konvergente Plattengrenzen . . . . .                             | 29          |
|                                                                  | XI          |

|                                                                          |           |
|--------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Transformstörungen . . . . .                                             | 34        |
| Kombinationen von Plattengrenzen . . . . .                               | 35        |
| Geschwindigkeit und Geschichte der Plattenbewegungen . . . . .           | 35        |
| Das magnetische Streifenmuster des Meeresbodens . . . . .                | 35        |
| Tiefseebohrungen . . . . .                                               | 38        |
| Bestimmung der Plattenbewegungen durch geodätische Verfahren . . .       | 39        |
| Die große Rekonstruktion . . . . .                                       | 40        |
| Isochronen des Meeresbodens . . . . .                                    | 40        |
| Rekonstruktion der Plattenbewegungen . . . . .                           | 40        |
| Das Auseinanderbrechen von Pangaea . . . . .                             | 41        |
| Die Entstehung von Pangaea . . . . .                                     | 42        |
| Konsequenzen der Rekonstruktion . . . . .                                | 42        |
| Mantelkonvektion: Der Antriebsmechanismus der Plattentektonik . . . . .  | 43        |
| Wo entstehen diese Antriebskräfte? . . . . .                             | 43        |
| Wie tief tauchen die Platten in den Erdmantel ab? . . . . .              | 46        |
| Form der aufsteigenden Konvektionsströmungen . . . . .                   | 47        |
| Die Theorie der Plattentektonik und die wissenschaftliche Arbeitsmethode | 47        |
| Ergänzende Medien . . . . .                                              | 49        |
| <br><b>Teil II Grundlegende Prozesse</b>                                 |           |
| <b>3 Die Baustoffe der Erde: Minerale und Gesteine . . . . .</b>         | <b>53</b> |
| Was sind Minerale? . . . . .                                             | 54        |
| Der atomare Bau der Materie . . . . .                                    | 55        |
| Der Bau der Atome . . . . .                                              | 55        |
| Ordnungszahl und Atommasse . . . . .                                     | 55        |
| Chemische Reaktionen . . . . .                                           | 56        |
| Chemische Bindung . . . . .                                              | 57        |
| Der atomare Aufbau der Minerale . . . . .                                | 58        |
| Kristalle und Kristallbildung . . . . .                                  | 58        |
| Die Kristallisation der Minerale . . . . .                               | 59        |
| Wann kristallisieren Minerale? . . . . .                                 | 60        |
| Die gesteinsbildenden Minerale . . . . .                                 | 61        |
| Silicate . . . . .                                                       | 62        |
| Carbonate . . . . .                                                      | 64        |
| Oxide . . . . .                                                          | 64        |
| Sulfide . . . . .                                                        | 65        |
| Sulfate . . . . .                                                        | 65        |

|                                                                           |           |
|---------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Physikalische Eigenschaften der Minerale . . . . .                        | 66        |
| Härte . . . . .                                                           | 66        |
| Spaltbarkeit . . . . .                                                    | 67        |
| Bruch . . . . .                                                           | 69        |
| Glanz . . . . .                                                           | 69        |
| Farbe . . . . .                                                           | 69        |
| Dichte . . . . .                                                          | 70        |
| Kristallform . . . . .                                                    | 70        |
| Was sind Gesteine? . . . . .                                              | 71        |
| Eigenschaften der Gesteine . . . . .                                      | 71        |
| Magmatische Gesteine . . . . .                                            | 73        |
| Sedimentgesteine . . . . .                                                | 74        |
| Metamorphe Gesteine . . . . .                                             | 76        |
| Der Kreislauf der Gesteine: Wechselwirkungen der Systeme                  |           |
| Plattentektonik und Klima . . . . .                                       | 77        |
| Minerale bilden wertvolle Ressourcen . . . . .                            | 79        |
| Hydrothermale Lagerstätten . . . . .                                      | 79        |
| Magmatische Lagerstätten . . . . .                                        | 82        |
| Sedimentäre Lagerstätten . . . . .                                        | 82        |
| Ergänzende Medien . . . . .                                               | 85        |
| <b>4 Magmatische Gesteine: Gesteine aus Schmelzen . . . . .</b>           | <b>87</b> |
| Wodurch unterscheiden sich magmatische Gesteine? . . . . .                | 88        |
| Gefüge . . . . .                                                          | 88        |
| Chemische und mineralogische Zusammensetzung . . . . .                    | 91        |
| Wie entstehen Magmen? . . . . .                                           | 95        |
| Wie schmelzen Gesteine? . . . . .                                         | 95        |
| Die Bildung von Magmakammern . . . . .                                    | 97        |
| Wo entstehen Magmen? . . . . .                                            | 97        |
| Magmatische Differenziation . . . . .                                     | 98        |
| Fraktionierte Kristallisation – Labor- und Geländebeobachtungen . . . . . | 98        |
| Granit und Basalt: Magmatische Differenziation . . . . .                  | 99        |
| Formen magmatischer Intrusionen . . . . .                                 | 100       |
| Plutone . . . . .                                                         | 102       |
| Lager und Gänge . . . . .                                                 | 103       |
| Hydrothermale Gänge . . . . .                                             | 104       |

|                                                                                                                           |            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| Magmatismus und Plattentektonik . . . . .                                                                                 | 105        |
| Spreading-Zentren als Magmaproduzenten . . . . .                                                                          | 105        |
| Subduktionszonen als Magmaproduzenten . . . . .                                                                           | 109        |
| Manteldiapire als Magmaproduzenten . . . . .                                                                              | 111        |
| Ergänzende Medien . . . . .                                                                                               | 112        |
| <b>5 Sedimente und Sedimentgesteine . . . . .</b>                                                                         | <b>113</b> |
| Sedimentgesteine und der Kreislauf der Gesteine . . . . .                                                                 | 114        |
| Verwitterung und Erosion liefern die Ausgangsstoffe der Sedimente . .                                                     | 116        |
| Sedimenttransport und Ablagerung . . . . .                                                                                | 117        |
| Ozeane, die großen Mischbecken . . . . .                                                                                  | 120        |
| Sedimentbecken: Die Akkumulationsräume der Sedimente . . . . .                                                            | 121        |
| Riftstrukturen und thermisch bedingte Subsidenzbecken . . . . .                                                           | 121        |
| Vorlandbecken . . . . .                                                                                                   | 121        |
| Sedimentationsräume . . . . .                                                                                             | 122        |
| Terrestrische Ablagerungsräume . . . . .                                                                                  | 124        |
| Küsten- und Flachwasserbereich . . . . .                                                                                  | 124        |
| Ablagerungsräume des offenen Ozeans . . . . .                                                                             | 124        |
| Siliciklastische kontra chemische und chemisch-biogene<br>Sedimentationsräume . . . . .                                   | 125        |
| Fazies – das Nebeneinander unterschiedlicher Sedimentbildungsräume                                                        | 126        |
| Sedimentstrukturen . . . . .                                                                                              | 127        |
| Schrägschichtung . . . . .                                                                                                | 127        |
| Gradierte Schichtung . . . . .                                                                                            | 127        |
| Rippelmarken . . . . .                                                                                                    | 127        |
| Bioturbationsstrukturen . . . . .                                                                                         | 129        |
| Sedimentationszyklen . . . . .                                                                                            | 129        |
| Versenkung und Diagenese: Vom Sediment zum Sedimentgestein . . . . .                                                      | 130        |
| Versenkung . . . . .                                                                                                      | 130        |
| Diagenese . . . . .                                                                                                       | 130        |
| Klassifikation der siliciklastischen Sedimente und Sedimentgesteine . . . .                                               | 132        |
| Grobkörnige siliciklastische Sedimente und Sedimentgesteine:<br>Kiesfraktion, Konglomerate und Brekzien . . . . .         | 132        |
| Mittelkörnige siliciklastische Sedimente und Sedimentgesteine:<br>Sand und Sandsteine . . . . .                           | 133        |
| Feinkörnige siliciklastische Sedimente und Sedimentgesteine:<br>Silt, Siltstein, Ton, Tonstein und Schiefer-ton . . . . . | 134        |
| Klassifikation der chemischen und chemisch-biogenen Sedimente<br>und Sedimentgesteine . . . . .                           | 136        |
| Carbonatsedimente und Carbonatgesteine . . . . .                                                                          | 136        |

|                                                                                   |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------|
| Chemische Sedimente: Steinsalz, Gips und andere chemische Sedimente . . . . .     | 140        |
| Weitere chemisch-biogene und chemische Sedimente . . . . .                        | 142        |
| Ergänzende Medien . . . . .                                                       | 143        |
| <b>6 Metamorphe Gesteine . . . . .</b>                                            | <b>145</b> |
| Ursachen der Metamorphose . . . . .                                               | 146        |
| Die Rolle der Temperatur . . . . .                                                | 147        |
| Die Rolle des Drucks . . . . .                                                    | 147        |
| Die Rolle der fluiden Phasen . . . . .                                            | 149        |
| Arten der Metamorphose . . . . .                                                  | 150        |
| Regionalmetamorphose . . . . .                                                    | 150        |
| Kontaktmetamorphose . . . . .                                                     | 151        |
| Hydrothermalmetamorphose . . . . .                                                | 152        |
| Weitere Arten der Metamorphose . . . . .                                          | 152        |
| Metamorphe Gefüge . . . . .                                                       | 153        |
| Foliation . . . . .                                                               | 153        |
| Klassifikation und Nomenklatur der metamorphen Gesteine . . . . .                 | 153        |
| Metamorphite mit Foliation . . . . .                                              | 154        |
| Metamorphite mit granoblastischem (isotropem) Gefüge . . . . .                    | 156        |
| Porphyroblasten . . . . .                                                         | 157        |
| Regionalmetamorphose und Metamorphosegrad . . . . .                               | 158        |
| Mineral-Isograden . . . . .                                                       | 158        |
| Metamorphosegrad und Zusammensetzung des Ausgangsgesteins . . . . .               | 159        |
| Metamorphe Fazies . . . . .                                                       | 160        |
| Plattentektonik und Metamorphose . . . . .                                        | 161        |
| Druck-Temperatur-Pfade (p-T-Pfade) . . . . .                                      | 161        |
| Konvergenz ozeanischer und kontinentaler Platten . . . . .                        | 162        |
| Metamorphose an Subduktionzonen . . . . .                                         | 163        |
| Konvergenz kontinentaler Platten . . . . .                                        | 164        |
| Exhumierung: Bindeglied zwischen den Systemen Plattentektonik und Klima . . . . . | 165        |
| Ergänzende Medien . . . . .                                                       | 166        |
| <b>7 Störungen, Falten und andere Zeugen der Gesteinsdeformation . . . . .</b>    | <b>167</b> |
| Kräfte der Plattentektonik . . . . .                                              | 168        |
| Kartierung geologischer Strukturen . . . . .                                      | 168        |
| Messung von Streichen und Fallen . . . . .                                        | 169        |
| Geologische Karten . . . . .                                                      | 170        |
| Geologische Schnitte . . . . .                                                    | 170        |

|                                                                              |            |
|------------------------------------------------------------------------------|------------|
| Wie werden Gesteine deformiert? . . . . .                                    | 171        |
| Sprödes und duktiles Verhalten der Gesteine im Labor . . . . .               | 172        |
| Sprödes und duktiles Verhalten der Gesteine in der Erdkruste . . . . .       | 172        |
| Wichtige Deformationsstrukturen . . . . .                                    | 173        |
| Störungen . . . . .                                                          | 173        |
| Falten . . . . .                                                             | 175        |
| Dome und Becken . . . . .                                                    | 178        |
| Klüfte . . . . .                                                             | 180        |
| Deformationsgefüge . . . . .                                                 | 180        |
| Deformation von Kontinenten . . . . .                                        | 181        |
| Extensions- oder Dehnungstektonik . . . . .                                  | 181        |
| Kompressions- oder Einengungstektonik . . . . .                              | 183        |
| Scherungstektonik . . . . .                                                  | 183        |
| Die Rekonstruktion des geologischen Werdegangs . . . . .                     | 184        |
| Ergänzende Medien . . . . .                                                  | 187        |
| <br><b>Teil III Der Faktor Zeit</b>                                          |            |
| <b>8 Zeitmessung im System Erde . . . . .</b>                                | <b>191</b> |
| Rekonstruktion der Erdgeschichte aus der stratigraphischen Abfolge . . . . . | 192        |
| Grundlagen der Stratigraphie . . . . .                                       | 192        |
| Fossilien als Zeitmarken . . . . .                                           | 195        |
| Diskordanzen: Lücken in der Schichtenfolge . . . . .                         | 196        |
| Verbandsverhältnisse . . . . .                                               | 197        |
| Geologische Zeitskala: Relative Altersbestimmungen . . . . .                 | 198        |
| Die Einheiten der geologischen Zeitskala . . . . .                           | 198        |
| Massenaussterben in der Erdgeschichte . . . . .                              | 199        |
| Das Alter wichtiger Erdölmuttergesteine . . . . .                            | 201        |
| Absolute Altersbestimmung mit radioaktiven Uhren . . . . .                   | 201        |
| Die Entdeckung der Radioaktivität . . . . .                                  | 202        |
| Radioaktive Atome: Uhren im Gestein . . . . .                                | 203        |
| Radiometrische Datierungsmethoden . . . . .                                  | 206        |
| Geologische Zeitskala: Absolute Altersdaten . . . . .                        | 208        |
| Äonen: Die längsten Zeiträume der Erdgeschichte . . . . .                    | 209        |
| Überblick über die Erdgeschichte . . . . .                                   | 210        |
| Weitere Methoden der Altersbestimmung . . . . .                              | 211        |
| Sequenzstratigraphie . . . . .                                               | 211        |
| Chemostratigraphie . . . . .                                                 | 212        |

|           |                                                                                  |            |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------|------------|
|           | Magnetostratigraphie . . . . .                                                   | 212        |
|           | Zeitmessung im System Klima . . . . .                                            | 212        |
|           | Ergänzende Medien . . . . .                                                      | 213        |
| <b>9</b>  | <b>Die Entwicklung der terrestrischen Planeten . . . . .</b>                     | <b>215</b> |
|           | Die Entstehung des Sonnensystems . . . . .                                       | 216        |
|           | Die Nebular-Hypothese . . . . .                                                  | 216        |
|           | Die Entstehung der Sonne . . . . .                                               | 217        |
|           | Die Entstehung der Planeten . . . . .                                            | 217        |
|           | Kleinere Körper des Sonnensystems . . . . .                                      | 219        |
|           | Erde im Umbruch: Die Entstehung eines aus Schalen aufgebauten Planeten . . . . . | 219        |
|           | Die Erde heizt sich auf und schmilzt. . . . .                                    | 220        |
|           | Differenziation von Kern, Mantel und Kruste . . . . .                            | 221        |
|           | Entstehung der Ozeane und der Atmosphäre . . . . .                               | 222        |
|           | Die Vielfalt der Planeten . . . . .                                              | 222        |
|           | Alter und Relief der Planetenoberflächen . . . . .                               | 224        |
|           | Der Mann im Mond: Eine Zeitskala für Planeten . . . . .                          | 225        |
|           | Merkur: Der alte Planet . . . . .                                                | 226        |
|           | Venus: Der vulkanische Planet . . . . .                                          | 227        |
|           | Mars: Der Rote Planet . . . . .                                                  | 228        |
|           | Die Gesteine des Mars . . . . .                                                  | 231        |
|           | Entwicklungsgeschichte des Mars . . . . .                                        | 234        |
|           | Erde: Der belebte Planet . . . . .                                               | 236        |
|           | Die Erforschung des Sonnensystems und des Weltraums . . . . .                    | 237        |
|           | Weltraum-Missionen . . . . .                                                     | 238        |
|           | Die Cassini-Huygens-Mission zum Saturn . . . . .                                 | 238        |
|           | Weitere Sonnensysteme . . . . .                                                  | 239        |
|           | Ergänzende Medien . . . . .                                                      | 241        |
| <b>10</b> | <b>Die Entwicklung der Kontinente . . . . .</b>                                  | <b>243</b> |
|           | Der tektonische Bau Nordamerikas . . . . .                                       | 244        |
|           | Der stabile Kern des Kontinents . . . . .                                        | 244        |
|           | Die Appalachen . . . . .                                                         | 245        |
|           | Atlantische Küstenebene und Kontinentalschelf . . . . .                          | 247        |
|           | Die Nordamerikanischen Kordilleren . . . . .                                     | 248        |
|           | Tektonische Provinzen der Erde . . . . .                                         | 250        |
|           | Tektonische Provinzen . . . . .                                                  | 251        |
|           | Deformationsalter . . . . .                                                      | 252        |
|           | Ein globales Puzzle . . . . .                                                    | 252        |

|                                                                                                    |            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| Das Wachstum der Kontinente . . . . .                                                              | 253        |
| Magmatismus . . . . .                                                                              | 253        |
| Akkretion . . . . .                                                                                | 253        |
| Modifizierung der Kontinente . . . . .                                                             | 255        |
| Orogenese: Modifizierung durch Plattenkollision . . . . .                                          | 255        |
| Der Wilson-Zyklus . . . . .                                                                        | 262        |
| Epirogenese: Modifizierung durch Vertikalbewegungen . . . . .                                      | 263        |
| Die Entstehung der Kratone . . . . .                                                               | 264        |
| Die tieferen Stockwerke der Kontinente . . . . .                                                   | 267        |
| Die Kiele der Kratone . . . . .                                                                    | 267        |
| Die Zusammensetzung der Kiele . . . . .                                                            | 267        |
| Das Alter der Kiele . . . . .                                                                      | 267        |
| Ergänzende Medien . . . . .                                                                        | 270        |
| <b>11 Geobiologie . . . . .</b>                                                                    | <b>271</b> |
| Die Biosphäre als System . . . . .                                                                 | 272        |
| Ökosysteme . . . . .                                                                               | 272        |
| Ausgangsmaterial: Der Stoff, aus dem das Leben gemacht ist . . . . .                               | 273        |
| Prozesse und Produkte: Wachstum und Leben . . . . .                                                | 275        |
| Biogeochemische Kreisläufe . . . . .                                                               | 276        |
| Mikroorganismen: Die Chemiker der Natur . . . . .                                                  | 278        |
| Häufigkeit und Diversität der Mikroorganismen . . . . .                                            | 278        |
| Interaktionen zwischen Mikroorganismen und Mineralen . . . . .                                     | 281        |
| Geobiologische Ereignisse in der Erdgeschichte . . . . .                                           | 285        |
| Die Entstehung des Lebens und die ältesten Fossilien . . . . .                                     | 285        |
| Die präbiotische Suppe: Das Originalexperiment zur Entstehung<br>des Lebens . . . . .              | 286        |
| Die ältesten Fossilien . . . . .                                                                   | 287        |
| Entstehung des atmosphärischen Sauerstoffs . . . . .                                               | 289        |
| Evolutionäre Radiationen und Massenaussterben. . . . .                                             | 290        |
| Radiation des Lebens: Die „Kambrische Explosion“ . . . . .                                         | 290        |
| Der Schwanz des Teufels: Der Niedergang der Dinosaurier. . . . .                                   | 293        |
| Die Katastrophe der globalen Erwärmung: Massenaussterben<br>an der Grenze Paläozän/Eozän . . . . . | 294        |
| Astrobiologie: Die Suche nach außerirdischem Leben . . . . .                                       | 296        |
| Bewohnbare Bereiche in der Umgebung von Sternen . . . . .                                          | 297        |
| Bewohnbare Umwelt auf dem Mars. . . . .                                                            | 297        |
| Ergänzende Medien . . . . .                                                                        | 300        |

|           |                                                     |            |
|-----------|-----------------------------------------------------|------------|
| <b>IV</b> | <b>Endogene Geosysteme</b>                          |            |
| <b>12</b> | <b>Vulkanismus</b>                                  | <b>303</b> |
|           | Vulkane als Geosysteme                              | 304        |
|           | Laven und andere vulkanogene Ablagerungen           | 305        |
|           | Lavatypen                                           | 305        |
|           | Gefüge der Vulkanite                                | 308        |
|           | Pyroklastische Ablagerungen                         | 309        |
|           | Vulkantypen und Morphologie                         | 312        |
|           | Zentraleruptionen                                   | 312        |
|           | Spalteneruptionen                                   | 315        |
|           | Wechselwirkungen mit anderen Geosystemen            | 318        |
|           | Vulkanismus und Hydrosphäre                         | 318        |
|           | Vulkanismus und Atmosphäre                          | 321        |
|           | Die weltweite Verteilung der Vulkane                | 321        |
|           | Vulkanismus an Spreading-Zentren                    | 322        |
|           | Vulkanismus an Subduktionszonen                     | 322        |
|           | Intraplattenvulkanismus: Die Manteldiapir-Hypothese | 324        |
|           | Vulkanismus und menschliches Dasein                 | 327        |
|           | Vulkanische Risiken                                 | 327        |
|           | Verringerung der Risiken gefährlicher Vulkane       | 329        |
|           | Rohstoffe aus Vulkanen                              | 332        |
|           | Ergänzende Medien                                   | 334        |
| <b>13</b> | <b>Erdbeben</b>                                     | <b>335</b> |
|           | Was sind Erdbeben?                                  | 336        |
|           | Die Theorie der elastischen Rückformung             | 337        |
|           | Krustenbewegungen bei Erdbeben                      | 339        |
|           | Vor- und Nachbeben                                  | 341        |
|           | Erforschung von Erdbeben                            | 342        |
|           | Seismographen                                       | 342        |
|           | Seismische Wellen                                   | 342        |
|           | Lokalisierung des Epizentrums                       | 346        |
|           | Bestimmung der Erdbebenstärke                       | 346        |
|           | Rekonstruktion der Herdvorgänge                     | 349        |
|           | GPS-Messungen und „stille“ Erdbeben                 | 351        |
|           | Die globale Verteilung der Erdbeben                 | 351        |
|           | Das Gesamtbild: Erdbeben und Plattentektonik        | 352        |
|           | Regionale Störungssysteme                           | 354        |

|                                                                 |            |
|-----------------------------------------------------------------|------------|
| Erdbeben: Gefahren und Risiken . . . . .                        | 354        |
| Ursachen von Erdbebenschäden . . . . .                          | 356        |
| Verminderung von Erdbebengefahren . . . . .                     | 359        |
| Können Erdbeben vorhergesagt werden? . . . . .                  | 367        |
| Langfristige Vorhersagen . . . . .                              | 367        |
| Kurzfristige Vorhersagen . . . . .                              | 368        |
| Mittelfristige Vorhersagen . . . . .                            | 368        |
| Ergänzende Medien . . . . .                                     | 370        |
| <b>14 Die Erforschung des Erdinneren . . . . .</b>              | <b>371</b> |
| Die Erforschung des Erdinneren mit seismischen Wellen . . . . . | 372        |
| Wellenarten . . . . .                                           | 372        |
| Die Ausbreitung seismischer Wellen in der Erde . . . . .        | 373        |
| Angewandte Seismik . . . . .                                    | 376        |
| Zusammensetzung und Aufbau des Erdinneren . . . . .             | 379        |
| Erdkruste . . . . .                                             | 379        |
| Erdmantel . . . . .                                             | 380        |
| Grenze Kern/Mantel . . . . .                                    | 381        |
| Erdkern . . . . .                                               | 382        |
| Temperatur im Erdinneren . . . . .                              | 382        |
| Wärmetransport aus dem Erdinneren . . . . .                     | 384        |
| Temperaturverteilung im Erdinneren . . . . .                    | 385        |
| Ein räumliches Bild des Erdinneren . . . . .                    | 386        |
| Seismische Tomographie . . . . .                                | 387        |
| Das Schwerfeld der Erde . . . . .                               | 387        |
| Das Magnetfeld der Erde und der Geodynamo . . . . .             | 390        |
| Dipol-Feld . . . . .                                            | 390        |
| Die Komplexität des Magnetfelds . . . . .                       | 391        |
| Paläomagnetismus . . . . .                                      | 394        |
| Magnetfeld und Biosphäre . . . . .                              | 395        |
| Ergänzende Medien . . . . .                                     | 398        |
| <b>V Exogene Geosysteme</b>                                     |            |
| <b>15 System Klima . . . . .</b>                                | <b>401</b> |
| Komponenten des Systems Klima . . . . .                         | 402        |
| Atmosphäre . . . . .                                            | 403        |
| Hydrosphäre . . . . .                                           | 404        |
| Kryosphäre . . . . .                                            | 404        |

|                                                                                                   |            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| Lithosphäre . . . . .                                                                             | 405        |
| Biosphäre . . . . .                                                                               | 406        |
| Treibhauseffekt . . . . .                                                                         | 407        |
| Ein Planet ohne Treibhausgase . . . . .                                                           | 407        |
| Die Treibhausatmosphäre der Erde . . . . .                                                        | 408        |
| Ausgleich des Klimasystems durch Rückkopplungen . . . . .                                         | 408        |
| Klimamodelle und ihre Grenzen . . . . .                                                           | 410        |
| Klimaschwankungen . . . . .                                                                       | 411        |
| Kurzfristige regionale Klimaschwankungen . . . . .                                                | 411        |
| Langfristige Klimaschwankungen: Die Eiszeiten des Pleistozäns . . . . .                           | 411        |
| Langfristige Klimaschwankungen: Die Eiszeiten des Paläozoikums<br>und Proterozoikums . . . . .    | 417        |
| Klimaschwankungen während der jüngsten Kaltzeit . . . . .                                         | 417        |
| Der Kohlenstoffkreislauf . . . . .                                                                | 418        |
| Geochemische Stoffkreisläufe und ihre Funktion . . . . .                                          | 418        |
| Beispiel: Der Calciumkreislauf . . . . .                                                          | 421        |
| Der Kohlenstoffkreislauf . . . . .                                                                | 421        |
| Anthropogen verursachte Störungen des Kohlenstoffkreislaufs . . . . .                             | 423        |
| Die Erwärmung im 20. Jahrhundert: Menschliche Fingerabdrücke<br>im globalen Klimawandel . . . . . | 424        |
| Ergänzende Medien . . . . .                                                                       | 428        |
| <b>16 Verwitterung, Erosion und Massenbewegungen . . . . .</b>                                    | <b>429</b> |
| Verwitterung, Erosion, Massenbewegungen und der Kreislauf<br>der Gesteine . . . . .               | 430        |
| Geologische Faktoren der Verwitterung . . . . .                                                   | 430        |
| Eigenschaften des Ausgangsgesteins . . . . .                                                      | 431        |
| Klima: Niederschlag und Temperatur . . . . .                                                      | 431        |
| Auswirkung der Bodenbedeckung . . . . .                                                           | 431        |
| Der Faktor Zeit . . . . .                                                                         | 432        |
| Chemische Verwitterung . . . . .                                                                  | 432        |
| Die Rolle des Wassers: Feldspäte und andere Silicate . . . . .                                    | 432        |
| Kohlendioxid, Verwitterung und Klimasystem . . . . .                                              | 433        |
| Andere Silicate verwittern zu anderen Tonmineralen . . . . .                                      | 436        |
| Die Rolle des Sauerstoffs bei der Verwitterung . . . . .                                          | 436        |
| Hydratation: Die Anlagerung von Wassermolekülen . . . . .                                         | 437        |
| Lösungsverwitterung: Die rasche Verwitterung von Carbonat-<br>und Salzgesteinen . . . . .         | 437        |
| Weitere Formen der chemischen Verwitterung . . . . .                                              | 438        |
| Chemische Stabilität . . . . .                                                                    | 438        |

|                                                                                  |            |
|----------------------------------------------------------------------------------|------------|
| Physikalische Verwitterung . . . . .                                             | 439        |
| Welche Faktoren bestimmen die mechanische Zerstörung<br>der Gesteine? . . . . .  | 439        |
| Wechselwirkungen zwischen physikalischer Verwitterung und Erosion . . . . .      | 441        |
| Böden: Rückstände der Verwitterung . . . . .                                     | 442        |
| Böden als Geosysteme . . . . .                                                   | 443        |
| Paläoböden: Rückschlüsse auf das Klima der Vergangenheit . . . . .               | 449        |
| Massenbewegungen . . . . .                                                       | 449        |
| Eigenschaft des Hangmaterials . . . . .                                          | 451        |
| Wassergehalt . . . . .                                                           | 453        |
| Hangneigung . . . . .                                                            | 453        |
| Auslösende Faktoren von Massenbewegungen . . . . .                               | 454        |
| Klassifikation von Massenbewegungen . . . . .                                    | 455        |
| Massenbewegungen in Festgesteinen . . . . .                                      | 457        |
| Massenbewegungen in unkonsolidiertem Gesteinsmaterial . . . . .                  | 458        |
| Massenbewegungen im marinen Bereich . . . . .                                    | 463        |
| Entstehung von Massenbewegungen . . . . .                                        | 463        |
| Natürliche Ursachen von Rutschungen . . . . .                                    | 463        |
| Rutschungen durch menschliche Eingriffe in die Landschaft . . . . .              | 465        |
| Ergänzende Medien . . . . .                                                      | 467        |
| <b>17 Der Kreislauf des Wassers und das Grundwasser . . . . .</b>                | <b>469</b> |
| Der Kreislauf des Wassers . . . . .                                              | 470        |
| Materialflüsse und Speicher . . . . .                                            | 470        |
| Wie viel Wasser gibt es? . . . . .                                               | 470        |
| Der Kreislauf des Wassers . . . . .                                              | 470        |
| Wie viel Wasser können wir verbrauchen? . . . . .                                | 472        |
| Hydrologie und Klima . . . . .                                                   | 473        |
| Luftfeuchtigkeit, Niederschlag und Landschaft . . . . .                          | 473        |
| Trockenzeiten . . . . .                                                          | 474        |
| Die Hydrologie des Abflusses . . . . .                                           | 475        |
| Hydrologie des Grundwassers . . . . .                                            | 478        |
| Porosität und Permeabilität . . . . .                                            | 479        |
| Grundwasserspiegel und Grundwasseroberfläche . . . . .                           | 481        |
| Grundwasserleiter . . . . .                                                      | 482        |
| Gleichgewicht zwischen Grundwasserneubildung<br>und Grundwasserabfluss . . . . . | 485        |
| Die Geschwindigkeit der Grundwasserbewegung . . . . .                            | 487        |
| Grundwasservorräte und ihre Bewirtschaftung . . . . .                            | 488        |

|                                                                            |            |
|----------------------------------------------------------------------------|------------|
| Erosion durch Grundwasser . . . . .                                        | 491        |
| Wasserqualität . . . . .                                                   | 493        |
| Verunreinigung der Wasservorräte . . . . .                                 | 493        |
| Beseitigung der Verunreinigungen . . . . .                                 | 494        |
| Ist das Wasser trinkbar? . . . . .                                         | 495        |
| Wasser in der tiefen Erdkruste . . . . .                                   | 496        |
| Thermalwasser . . . . .                                                    | 497        |
| Mikroorganismen in tiefen Grundwasserleitern . . . . .                     | 498        |
| Ergänzende Medien . . . . .                                                | 500        |
| <b>18 Flüsse: Der Transport zum Ozean . . . . .</b>                        | <b>501</b> |
| Flusstäler, Fließbrinnen und Talauen . . . . .                             | 502        |
| Flusstäler . . . . .                                                       | 502        |
| Grundrissformen der Flussläufe . . . . .                                   | 503        |
| Talauen . . . . .                                                          | 505        |
| Einzugsgebiete . . . . .                                                   | 505        |
| Entwässerungsnetze . . . . .                                               | 509        |
| Entwässerungsnetze und Erdgeschichte . . . . .                             | 509        |
| Die erosive Tätigkeit der Flüsse . . . . .                                 | 511        |
| Abrasion . . . . .                                                         | 512        |
| Chemische und physikalische Verwitterung . . . . .                         | 512        |
| Unterschneiden durch Wasserfälle . . . . .                                 | 513        |
| Sedimenttransport durch fließendes Wasser . . . . .                        | 513        |
| Erosion und Sedimenttransport . . . . .                                    | 515        |
| Schichtungsformen im Flussbett: Rippeln und Dünen . . . . .                | 517        |
| Deltas: Die Mündungen der Flüsse . . . . .                                 | 518        |
| Deltasedimentation . . . . .                                               | 519        |
| Das Wachstum eines Deltas . . . . .                                        | 519        |
| Anthropogene Einflüsse . . . . .                                           | 520        |
| Einflüsse von Wellen, Gezeiten und plattentektonischen Prozessen . . . . . | 520        |
| Flüsse als Geosysteme . . . . .                                            | 522        |
| Abfluss . . . . .                                                          | 522        |
| Hochwasser . . . . .                                                       | 523        |
| Längsprofil eines Flusses . . . . .                                        | 523        |
| Seen . . . . .                                                             | 529        |
| Ergänzende Medien . . . . .                                                | 530        |

|           |                                                            |            |
|-----------|------------------------------------------------------------|------------|
| <b>19</b> | <b>Wind und Wüsten</b>                                     | <b>533</b> |
|           | Die Windsysteme der Erde                                   | 534        |
|           | Wind als Transportmittel                                   | 535        |
|           | Windstärke                                                 | 535        |
|           | Korngröße                                                  | 535        |
|           | Oberflächenbedingungen                                     | 536        |
|           | Äolisch transportiertes Material                           | 536        |
|           | Die geologische Wirkung des Windes                         | 539        |
|           | Korrasion                                                  | 539        |
|           | Deflation                                                  | 539        |
|           | Wind als Sedimentbildner                                   | 540        |
|           | Entstehung von Sanddünen                                   | 540        |
|           | Entstehung und Wanderung von Sanddünen                     | 541        |
|           | Dünenformen                                                | 544        |
|           | Staubablagerungen und Löss                                 | 544        |
|           | Wüstengebiete                                              | 546        |
|           | Geographische Verbreitung der Wüsten                       | 546        |
|           | Verwitterung in Wüstengebieten                             | 549        |
|           | Sedimentation und Sedimente der Wüste                      | 550        |
|           | Landschaftsformen der Wüsten                               | 551        |
|           | Ergänzende Medien                                          | 554        |
| <b>20</b> | <b>Das Meer</b>                                            | <b>555</b> |
|           | Unterschiede im geologischen Bau der Ozeane und Kontinente | 556        |
|           | Prozesse der Küstenbildung                                 | 557        |
|           | Wellenbewegung: Der Schlüssel zur Dynamik der Küstenlinie  | 558        |
|           | Die Brandungszone                                          | 559        |
|           | Wellenrefraktion                                           | 560        |
|           | Gezeiten                                                   | 561        |
|           | Hurrikane und Sturmfluten                                  | 563        |
|           | Küstenformen                                               | 569        |
|           | Flachküsten                                                | 570        |
|           | Erosion und Sedimentation im Küstenbereich                 | 573        |
|           | Einflüsse von Meeresspiegelschwankungen                    | 575        |
|           | Kontinentalränder                                          | 576        |
|           | Kontinentalschelf                                          | 577        |
|           | Kontinentalhang und Kontinentalfuß                         | 577        |
|           | Submarine Canyons                                          | 578        |

|                                                                                       |            |
|---------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| Topographie des Tiefseebodens . . . . .                                               | 579        |
| Erkundung des Ozeanbodens von Schiffen aus . . . . .                                  | 579        |
| Kartierung des Meeresbodens mit Satelliten . . . . .                                  | 580        |
| Profile durch zwei Ozeane . . . . .                                                   | 583        |
| Der Boden der Tiefsee . . . . .                                                       | 584        |
| Sedimentation im offenen Ozean . . . . .                                              | 585        |
| Sedimentation auf den Schelfgebieten . . . . .                                        | 585        |
| Sedimentation auf dem Kontinentalhang . . . . .                                       | 587        |
| Sedimentation in der Tiefsee . . . . .                                                | 589        |
| <b>21 Gletscher: Die Tätigkeit des Eises . . . . .</b>                                | <b>593</b> |
| Das Material Eis . . . . .                                                            | 594        |
| Talgletscher . . . . .                                                                | 595        |
| Inlandeismassen . . . . .                                                             | 596        |
| Entstehung von Gletschern . . . . .                                                   | 598        |
| Erste Voraussetzung: Niedrige Temperaturen und ausreichende<br>Schneemengen . . . . . | 598        |
| Akkumulation: Schnee wird zu Eis . . . . .                                            | 598        |
| Ablation: Wo das Eis abschmilzt . . . . .                                             | 599        |
| Gletscherhaushalt: Akkumulation minus Ablation . . . . .                              | 599        |
| Bewegung der Gletscher . . . . .                                                      | 600        |
| Mechanismen der Gletscherbewegung . . . . .                                           | 600        |
| Eisbewegung bei Talgletschern . . . . .                                               | 602        |
| Eisbewegung in der Antarktis . . . . .                                                | 603        |
| Glazigene Landschaftsformen . . . . .                                                 | 605        |
| Glazialerosion und Erosionsformen . . . . .                                           | 605        |
| Glazigene Ablagerungen und Landformen . . . . .                                       | 608        |
| Permafrost . . . . .                                                                  | 612        |
| Vereisungszyklen und Klimaschwankungen . . . . .                                      | 614        |
| Die Weichsel- (Würm-) Kaltzeit . . . . .                                              | 616        |
| Eiszeiten und Meeresspiegelschwankungen . . . . .                                     | 616        |
| Die pleistozänen Eiszeiten . . . . .                                                  | 617        |
| Ältere Vereisungsphasen . . . . .                                                     | 617        |
| Ergänzende Medien . . . . .                                                           | 620        |
| <b>22 Landschaftsentwicklung . . . . .</b>                                            | <b>621</b> |
| Oberflächenformen, Höhenlage und Relief . . . . .                                     | 623        |
| Landschaftsformen, geschaffen durch Erosion und Sedimentation . . . . .               | 624        |
| Berge und Hügel . . . . .                                                             | 624        |
| Hochplateaus . . . . .                                                                | 626        |

|                                                                                   |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------|
| Flusstäler . . . . .                                                              | 628        |
| Tektonisch bedingte Höhenzüge und Täler . . . . .                                 | 628        |
| Tektonisch bedingte Steilränder . . . . .                                         | 630        |
| Interagierende Geosysteme beeinflussen die Oberflächenformen . . . . .            | 630        |
| Rückkopplung zwischen Klima und Relief . . . . .                                  | 633        |
| Rückkopplung zwischen Hebung und Erosion . . . . .                                | 634        |
| Modelle der Landschaftsentwicklung . . . . .                                      | 635        |
| Die Davis'sche Zyklentheorie der Denudation . . . . .                             | 636        |
| Das Penck'sche Modell: Gleichzeitigkeit von Hebung und Abtragung . . . . .        | 638        |
| Das Hacks'sche Modell: Erosion und Hebung als dynamisches Gleichgewicht . . . . . | 640        |
| <b>VI Geowissenschaften und Gesellschaft</b>                                      |            |
| <b>23 Mensch und Umwelt . . . . .</b>                                             | <b>643</b> |
| Die Zivilisation als globales Geosystem . . . . .                                 | 644        |
| Natürliche Ressourcen . . . . .                                                   | 645        |
| Energie-Ressourcen . . . . .                                                      | 646        |
| Die Entstehung der Kohlenstoff-Wirtschaft . . . . .                               | 646        |
| Energieverbrauch weltweit . . . . .                                               | 647        |
| Energieressourcen für die Zukunft . . . . .                                       | 649        |
| Kohlenstoff-Fluss und Energieerzeugung . . . . .                                  | 649        |
| Fossile Brennstoff-Ressourcen . . . . .                                           | 649        |
| Die Entstehung von Erdöl und Erdgas . . . . .                                     | 649        |
| Die weltweite Verteilung der Ressourcen . . . . .                                 | 652        |
| Erdölförderung und Verbrauch . . . . .                                            | 653        |
| Ende des Erdöls . . . . .                                                         | 653        |
| Erdöl und Umwelt . . . . .                                                        | 654        |
| Erdgas . . . . .                                                                  | 655        |
| Kohle . . . . .                                                                   | 657        |
| Unkonventionelle Kohlenwasserstoff-Ressourcen . . . . .                           | 660        |
| Alternative Energie-Ressourcen . . . . .                                          | 660        |
| Kernenergie . . . . .                                                             | 660        |
| Biokraftstoffe . . . . .                                                          | 662        |
| Sonnenenergie . . . . .                                                           | 663        |
| Hydroelektrische Energie . . . . .                                                | 664        |
| Windkraft . . . . .                                                               | 664        |
| Geothermische Energie . . . . .                                                   | 665        |

|                                                                                                    |            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| Globale Umweltveränderungen . . . . .                                                              | 665        |
| Treibhausgase und globale Erwärmung . . . . .                                                      | 666        |
| Prognosen bezüglich einer künftigen globalen Erwärmung . . . . .                                   | 667        |
| Konsequenzen des Klimawandels . . . . .                                                            | 669        |
| Versauerung der Ozeane . . . . .                                                                   | 672        |
| Rückgang der Biodiversität . . . . .                                                               | 673        |
| Management und Organisation des Systems Erde . . . . .                                             | 674        |
| Energiepolitik . . . . .                                                                           | 674        |
| Nutzung alternativer Energie-Ressourcen . . . . .                                                  | 675        |
| Modifizierung des Kohlenstoffkreislaufs . . . . .                                                  | 675        |
| Stabilisierung der Kohlenstoff-Emissionen . . . . .                                                | 676        |
| Nachhaltige Entwicklung . . . . .                                                                  | 677        |
| Ergänzende Medien . . . . .                                                                        | 678        |
| <b>24 Übungsaufgaben aus der geologischen Praxis . . . . .</b>                                     | <b>679</b> |
| 1 Die Dimensionen unseres Planeten . . . . .                                                       | 681        |
| 2 Was geschah in Niederkalifornien? – Die Rekonstruktion<br>von Plattenbewegungen . . . . .        | 682        |
| 3 Lohnt sich der Abbau dieser Lagerstätte? . . . . .                                               | 684        |
| 4 Die Entstehung wirtschaftlich bedeutender Erzlagerstätten . . . . .                              | 685        |
| 5 Die Suche nach Erdöl und Erdgas . . . . .                                                        | 686        |
| 6 Kristalle, Dokumente der Erdgeschichte . . . . .                                                 | 688        |
| 7 Die Suche nach potenziellen Kohlenwasserstofflagerstätten<br>auf geologischen Karten . . . . .   | 689        |
| 8 Isotope und das Alter der Gesteine und Minerale . . . . .                                        | 691        |
| 9 Die Landung einer Raumfähre auf dem Mars: Sieben Minuten Angst . . . . .                         | 692        |
| 10 Wie rasch hebt sich der Himalaja, und wie rasch wird er abgetragen? . . . . .                   | 694        |
| 11 Der Nachweis früherer Lebensformen in Gesteinen . . . . .                                       | 695        |
| 12 Sind die sibirischen Trappbasalte die eindeutige Ursache<br>für ein Massenaussterben? . . . . . | 696        |
| 13 Können Erdbeben beeinflusst werden? . . . . .                                                   | 698        |
| 14 Das Prinzip der Isostasie: Warum sind die Ozeane tief und die Gebirge<br>hoch? . . . . .        | 699        |
| 15 Wo ist der fehlende Kohlenstoff? . . . . .                                                      | 701        |
| 16 Die Standfestigkeit von Hängen . . . . .                                                        | 702        |
| 17 Wie ergiebig ist ein Brunnen? . . . . .                                                         | 703        |
| 18 Können wir heute Kanu fahren? . . . . .                                                         | 704        |
| 19 Lässt sich das Ausmaß der Desertifikation vorhersagen? . . . . .                                | 706        |

|                                                         |            |
|---------------------------------------------------------|------------|
| 20 Die Wiederherstellung unserer Strände . . . . .      | 707        |
| 21 Warum steigt der Meeresspiegel? . . . . .            | 709        |
| 22 Wie rasch erodieren Flüsse den Untergrund? . . . . . | 710        |
| 23 Lösungen der Aufgaben . . . . .                      | 711        |
| <b>Glossar . . . . .</b>                                | <b>715</b> |
| <b>Stichwortverzeichnis . . . . .</b>                   | <b>751</b> |