

# Inhaltsverzeichnis

|          |                                                                            |     |
|----------|----------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>I</b> | <b>Wie sind Pflanzen aufgebaut?</b>                                        |     |
| 1        | <b>Struktur und Funktion der Zelle</b> .....                               | 3   |
|          | <i>Peter Nick</i>                                                          |     |
| 1.1      | <b>Zellbiologie – Konzepte und Methoden</b> .....                          | 4   |
| 1.1.1    | Einheit in Vielfalt – die Zelltheorie.....                                 | 4   |
| 1.1.2    | Zugang zur Mikrowelt – Lichtmikroskopie.....                               | 6   |
| 1.1.3    | Zugang zur Nanowelt – Elektronenmikroskopie.....                           | 8   |
| 1.1.4    | Zugang zur Molekühlwelt – biochemische Methoden.....                       | 10  |
| 1.1.5    | Zugang zur Dynamik – Fluoreszenzmikroskopie und GFP-Technologie.....       | 11  |
| 1.1.6    | Methoden formen und begrenzen unser Bild von der Zelle.....                | 13  |
| 1.2      | <b>Die Pflanzenzelle</b> .....                                             | 14  |
| 1.2.1    | Übersicht.....                                                             | 14  |
| 1.2.2    | Cytoplasma – Ort des Stoffwechsels.....                                    | 18  |
| 1.2.3    | Cytoskelett – Werkzeug für Bewegung und Strukturierung.....                | 19  |
| 1.2.4    | Zellkern – Werkzeug für Vererbung und Steuerung.....                       | 27  |
| 1.2.5    | Ribosomen – Werkzeuge der Proteinbiosynthese.....                          | 44  |
| 1.2.6    | Plasmamembran – Werkzeug der Integrität.....                               | 47  |
| 1.2.7    | Endomembransystem – Werkzeug der Kompartimentierung.....                   | 50  |
| 1.2.8    | Zellwand – Werkzeug der Morphogenese.....                                  | 62  |
| 1.2.9    | Plastiden – Werkzeuge der Photosynthese.....                               | 76  |
| 1.2.10   | Mitochondrien, Peroxisomen, Oleosomen – Werkzeuge der Energiewandlung..... | 83  |
| 1.3      | <b>Evolutionäre Entstehung der Pflanzenzelle</b> .....                     | 89  |
| 1.3.1    | Von präbiotischen Molekülen bis zur ersten Zelle.....                      | 89  |
| 1.3.2    | Symbiogenese ermöglicht die Entstehung der modernen Zelle.....             | 94  |
| 1.3.3    | Domestizierung von Cyanobakterien und die erste Pflanzenzelle.....         | 95  |
|          | Quellenverzeichnis.....                                                    | 98  |
| 2        | <b>Die Gewebe der Gefäßpflanzen</b> .....                                  | 99  |
|          | <i>Peter Nick</i>                                                          |     |
| 2.1      | <b>Gewebe: Begriffe und evolutionärer Ursprung</b> .....                   | 100 |
| 2.2      | <b>Bildungsgewebe (Meristeme)</b> .....                                    | 105 |
| 2.2.1    | Apikale (Scheitel-)Meristeme und Primärmeristeme.....                      | 108 |
| 2.2.2    | Laterale Meristeme (Cambien).....                                          | 112 |
| 2.3      | <b>Dauergewebe</b> .....                                                   | 113 |
| 2.3.1    | Parenchym.....                                                             | 113 |
| 2.3.2    | Abschlussgewebe.....                                                       | 115 |
| 2.3.3    | Festigungsgewebe.....                                                      | 125 |
| 2.3.4    | Leitgewebe.....                                                            | 127 |
| 2.3.5    | Drüsenzellen und -gewebe.....                                              | 131 |
|          | Quellenverzeichnis.....                                                    | 135 |
| 3        | <b>Funktionelle Morphologie und Anatomie der Gefäßpflanzen</b> .....       | 137 |
|          | <i>Peter Nick und Joachim W. Kadereit</i>                                  |     |
| 3.1      | <b>Morphologie und Anatomie</b> .....                                      | 140 |
| 3.1.1    | Homologie und Analogie.....                                                | 141 |
| 3.1.2    | Kormus und Thallus.....                                                    | 146 |
| 3.2      | <b>Sprossachse</b> .....                                                   | 147 |
| 3.2.1    | Längsgliederung.....                                                       | 148 |
| 3.2.2    | Blattstellungen.....                                                       | 150 |

|       |                                                    |     |
|-------|----------------------------------------------------|-----|
| 3.2.3 | Rhizome .....                                      | 154 |
| 3.2.4 | Lebensformen.....                                  | 155 |
| 3.2.5 | Verzweigung der Sprossachse .....                  | 157 |
| 3.2.6 | Besondere Funktionen und Anpassungsformen .....    | 162 |
| 3.2.7 | Anatomie der Sprossachse im primären Zustand ..... | 164 |
| 3.2.8 | Sprossachsen im sekundären Zustand.....            | 171 |
| 3.3   | <b>Blattorgane und deren Metamorphosen</b> .....   | 183 |
| 3.3.1 | Laubblatt .....                                    | 183 |
| 3.3.2 | Blattfolge .....                                   | 190 |
| 3.3.3 | Gestaltabwandlungen bei Blättern .....             | 192 |
| 3.4   | <b>Wurzeln</b> .....                               | 200 |
| 3.4.1 | Wurzelsysteme .....                                | 204 |
| 3.4.2 | Anatomie der Wurzel .....                          | 209 |
| 3.5   | <b>Reproduktionsorgane der Samenpflanzen</b> ..... | 212 |
| 3.5.1 | Blüten.....                                        | 212 |
| 3.5.2 | Blütenstände.....                                  | 227 |
| 3.5.3 | Bestäubung .....                                   | 228 |
| 3.5.4 | Befruchtung.....                                   | 234 |
| 3.5.5 | Samen .....                                        | 235 |
| 3.5.6 | Früchte.....                                       | 236 |
| 3.5.7 | Samen- und Fruchtausbreitung .....                 | 239 |
| 3.5.8 | Samenkeimung .....                                 | 241 |
|       | Quellenverzeichnis .....                           | 242 |

**II      Genetik**

|       |                                                                              |     |
|-------|------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4     | <b>Die genetischen Systeme der Pflanzenzelle</b> .....                       | 249 |
|       | <i>Uwe Sonnewald</i>                                                         |     |
| 4.1   | Bausteine der Nucleinsäuren.....                                             | 250 |
| 4.2   | Struktur der Desoxyribonucleinsäure (DNA) .....                              | 251 |
| 4.3   | Ribonucleinsäuren (RNAs) .....                                               | 253 |
| 4.4   | Replikation .....                                                            | 254 |
| 4.5   | Konventionen zur Benennung von Genen, Proteinen und Phänotypen.....          | 256 |
| 4.6   | Das Kerngenom.....                                                           | 256 |
| 4.7   | Das Plastidengenom.....                                                      | 259 |
| 4.8   | Das Mitochondriengenom .....                                                 | 261 |
| 4.9   | Die Acker-Schmalwand ( <i>Arabidopsis thaliana</i> ) als Modellpflanze ..... | 263 |
|       | Quellenverzeichnis .....                                                     | 266 |
| 5     | <b>Grundlagen der Genaktivität</b> .....                                     | 267 |
|       | <i>Uwe Sonnewald</i>                                                         |     |
| 5.1   | Genstruktur.....                                                             | 268 |
| 5.2   | Ablauf der Transkription .....                                               | 268 |
| 5.3   | Kontrolle der Transkription .....                                            | 275 |
|       | Quellenverzeichnis .....                                                     | 276 |
| 6     | <b>Grundlagen der Biosynthese und des Abbaus von Proteinen</b> .....         | 277 |
|       | <i>Uwe Sonnewald</i>                                                         |     |
| 6.1   | Der genetische Code.....                                                     | 278 |
| 6.2   | Translation.....                                                             | 282 |
| 6.3   | Aufbau von Proteinen.....                                                    | 284 |
| 6.3.1 | Primärstruktur.....                                                          | 284 |

|            |                                                                                  |     |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 6.3.2      | Räumliche Struktur von Proteinen.....                                            | 284 |
| 6.3.3      | Proteinkomplexe .....                                                            | 287 |
| 6.4        | <b>Proteinabbau</b> .....                                                        | 288 |
| 6.5        | <b>Sortierung der Proteine in der Zelle: Biogenese der Zellorganellen</b> .....  | 289 |
|            | Quellenverzeichnis .....                                                         | 293 |
| <b>7</b>   | <b>Grundlagen der Vererbung</b> .....                                            | 295 |
|            | <i>Joachim W. Kadereit</i>                                                       |     |
| 7.1        | <b>Mendel'sche Regeln</b> .....                                                  | 296 |
| 7.2        | <b>Extranucleäre Vererbung</b> .....                                             | 300 |
|            | Weiterführende Literatur .....                                                   | 300 |
| <b>8</b>   | <b>Mutationen</b> .....                                                          | 301 |
|            | <i>Joachim W. Kadereit</i>                                                       |     |
| 8.1        | <b>Genmutation</b> .....                                                         | 302 |
| 8.2        | <b>Chromosomenmutation</b> .....                                                 | 305 |
| 8.3        | <b>Genommutation</b> .....                                                       | 307 |
|            | Quellenverzeichnis .....                                                         | 310 |
| <b>9</b>   | <b>Epigenetische Regulation</b> .....                                            | 311 |
|            | <i>Uwe Sonnewald</i>                                                             |     |
| 9.1        | <b>Epigenetische Regulation der Chromatinstruktur</b> .....                      | 312 |
| 9.2        | <b>Epigenetische Regulation der mRNA-Stabilität und Translatierbarkeit</b> ..... | 314 |
| 9.3        | <b>RNA-Interferenz als Werkzeug der Molekularbiologie</b> .....                  | 316 |
|            | Quellenverzeichnis .....                                                         | 317 |
| <b>10</b>  | <b>Gentechnik</b> .....                                                          | 319 |
|            | <i>Uwe Sonnewald</i>                                                             |     |
| 10.1       | <b>Geschichte der Grünen Gentechnik</b> .....                                    | 320 |
| 10.2       | <b>Biologie der Wurzelhalstumoren</b> .....                                      | 320 |
| 10.3       | <b>Methoden des Gentransfers</b> .....                                           | 324 |
| 10.4       | <b>Merkmale und Anwendungsbeispiele</b> .....                                    | 327 |
| 10.5       | <b>Genomeditierung</b> .....                                                     | 334 |
|            | Quellenverzeichnis .....                                                         | 337 |
| <b>III</b> | <b>Entwicklung</b>                                                               |     |
| <b>11</b>  | <b>Von der Zelle zum Organismus – Prinzipien der pflanzlichen Entwicklung</b> .. | 341 |
|            | <i>Peter Nick</i>                                                                |     |
| 11.1       | <b>Grundsätzliche Unterschiede der pflanzlichen Entwicklung</b> .....            | 342 |
| 11.2       | <b>Zelluläre Grundlagen</b> .....                                                | 346 |
| 11.2.1     | Teilung.....                                                                     | 346 |
| 11.2.2     | Wachstum.....                                                                    | 349 |
| 11.2.3     | Polarität.....                                                                   | 354 |
| 11.2.4     | Differenzierung, Kommunikation, Programmierter Zelltod .....                     | 360 |
| 11.3       | <b>Von der Zelle zum Gewebe – Musterbildung</b> .....                            | 367 |
| 11.4       | <b>Vom Gewebe zum Organ – Organidentität im Sprossmeristem</b> .....             | 369 |
| 11.4.1     | Mechanismen der Zellkommunikation .....                                          | 372 |
| 11.4.2     | Rolle der Plasmodesmen bei der Zellkommunikation .....                           | 372 |
| 11.5       | <b>Integration von Organen zum Organismus</b> .....                              | 373 |
|            | Quellenverzeichnis .....                                                         | 375 |

|           |                                                                     |            |
|-----------|---------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>12</b> | <b>Kontrolle der Entwicklung durch Phytohormone</b>                 | <b>377</b> |
|           | <i>Peter Nick</i>                                                   |            |
| 12.1      | <b>Phytohormone – konzeptionelle Besonderheiten</b>                 | 379        |
| 12.1.1    | Sensitivität und Responsivität                                      | 379        |
| 12.1.2    | Signal und Kontext                                                  | 380        |
| 12.2      | <b>Cytokinine</b>                                                   | 382        |
| 12.2.1    | Vorkommen und zelluläre Funktion                                    | 382        |
| 12.2.2    | Stoffwechsel und Transport                                          | 383        |
| 12.2.3    | Wirkungen von Cytokinin                                             | 383        |
| 12.2.4    | Molekulare Mechanismen der Cytokininwirkung                         | 387        |
| 12.3      | <b>Auxine</b>                                                       | 387        |
| 12.3.1    | Vorkommen und zelluläre Funktion                                    | 388        |
| 12.3.2    | Stoffwechsel                                                        | 388        |
| 12.3.3    | Transport der Indol-3-essigsäure                                    | 390        |
| 12.3.4    | Wirkungen des Auxins                                                | 394        |
| 12.3.5    | Molekulare Mechanismen der Auxinwirkung                             | 398        |
| 12.4      | <b>Gibberelline</b>                                                 | 399        |
| 12.4.1    | Vorkommen und zelluläre Funktion                                    | 399        |
| 12.4.2    | Stoffwechsel und Transport                                          | 400        |
| 12.4.3    | Wirkungen von Gibberellinen                                         | 402        |
| 12.5      | <b>Jasmonate</b>                                                    | 406        |
| 12.5.1    | Vorkommen und zelluläre Funktion                                    | 406        |
| 12.5.2    | Stoffwechsel und Transport                                          | 407        |
| 12.5.3    | Wirkungen der Jasmonate                                             | 407        |
| 12.5.4    | Molekulare Mechanismen der Jasmonatwirkung                          | 410        |
| 12.6      | <b>Ethylen</b>                                                      | 410        |
| 12.6.1    | Vorkommen und zelluläre Funktion                                    | 411        |
| 12.6.2    | Stoffwechsel und Transport                                          | 412        |
| 12.6.3    | Physiologische Wirkungen des Ethylens                               | 412        |
| 12.6.4    | Molekulare Mechanismen der Ethylenwirkung                           | 415        |
| 12.7      | <b>Abscisinsäure</b>                                                | 416        |
| 12.7.1    | Vorkommen und zelluläre Funktion                                    | 417        |
| 12.7.2    | Stoffwechsel und Transport                                          | 417        |
| 12.7.3    | Wirkungen der Abscisinsäure                                         | 418        |
| 12.7.4    | Molekulare Mechanismen der Abscisinsäurewirkung                     | 420        |
| 12.8      | <b>Weitere Phytohormone</b>                                         | 420        |
| 12.8.1    | Brassinolide                                                        | 420        |
| 12.8.2    | Strigolactone                                                       | 421        |
|           | Quellenverzeichnis                                                  | 422        |
| <b>13</b> | <b>Kontrolle der Entwicklung durch Außenfaktoren</b>                | <b>423</b> |
|           | <i>Peter Nick</i>                                                   |            |
| 13.1      | <b>Wirkung der Temperatur</b>                                       | 424        |
| 13.1.1    | Thermoperiodismus und Thermomorphosen                               | 424        |
| 13.1.2    | Aufhebung von Ruhezuständen durch Einwirken bestimmter Temperaturen | 425        |
| 13.1.3    | Blühinduktion durch Einwirken bestimmter Temperatur                 | 426        |
| 13.2      | <b>Wirkung des Lichts</b>                                           | 428        |
| 13.2.1    | Photomorphogenese und Skotomorphogenese                             | 428        |
| 13.2.2    | Photoperiodisch induzierte Morphosen                                | 430        |
| 13.2.3    | Circadiane Rhythmik und physiologische Uhren                        | 433        |
| 13.2.4    | Photorezeptoren und Signalwege der lichtgesteuerten Entwicklung     | 437        |
| 13.3      | <b>Sonstige Außenfaktoren</b>                                       | 444        |
|           | Weiterführende Literatur                                            | 446        |

IV Physiologie

14 Stoffwechselphysiologie ..... 451  
    *Uwe Sonnewald*

14.1 Mineralstoffhaushalt ..... 454

14.1.1 Stoffliche Zusammensetzung des Pflanzenkörpers ..... 454

14.1.2 Nährelemente ..... 456

14.1.3 Aufnahme und Verteilung mineralischer Nährelemente ..... 462

14.2 Wasserhaushalt ..... 469

14.2.1 Transportmechanismen ..... 469

14.2.2 Zellulärer Wasserhaushalt ..... 471

14.2.3 Aufnahme des Wassers durch die Pflanze ..... 473

14.2.4 Abgabe von Wasser durch die Pflanze ..... 475

14.2.5 Leitung des Wassers ..... 479

14.2.6 Wasserbilanz ..... 481

14.3 Photosynthese: Lichtreaktion ..... 481

14.3.1 Licht und Lichtenergie ..... 482

14.3.2 Photosynthesepigmente ..... 483

14.3.3 Aufbau der lichtsammelnden Antennenkomplexe ..... 488

14.3.4 Übersicht über den photosynthetischen Elektronen- und Protonentransport ..... 489

14.3.5 Photosystem II ..... 494

14.3.6 Cytochrom-b6/f-Komplex ..... 495

14.3.7 Photosystem I ..... 496

14.3.8 Regulations- und Schutzmechanismen der Lichtreaktion ..... 498

14.3.9 Photophosphorylierung ..... 498

14.4 Photosynthese: Weg des Kohlenstoffs ..... 500

14.4.1 Carboxylierende Phase des Calvin-Zyklus ..... 500

14.4.2 Reduzierende Phase des Calvin-Zyklus ..... 501

14.4.3 Regenerierende Phase des Calvin-Zyklus ..... 502

14.4.4 Verarbeitung der Primärprodukte der Kohlenstoffassimilation ..... 502

14.4.5 Regulationsmechanismen bei der photosynthetischen Kohlenhydratproduktion und -verteilung ..... 508

14.4.6 Photorespiration ..... 509

14.4.7 Aufnahme von CO<sub>2</sub> in die Pflanze ..... 511

14.4.8 Vorgeschaltete CO<sub>2</sub>-Fixierung bei C<sub>4</sub>-Pflanzen ..... 513

14.4.9 Vorgeschaltete CO<sub>2</sub>-Fixierung bei Pflanzen mit Crassulaceen-Säuremetabolismus (CAM) ..... 518

14.4.10 Vorgeschaltete CO<sub>2</sub>-Konzentrierung durch Hydrogencarbonatpumpen ..... 520

14.4.11 Abhängigkeit der Kohlenstoffassimilation von Außenfaktoren ..... 520

14.5 Assimilation von Nitrat ..... 522

14.5.1 Photosynthetische Nitratassimilation ..... 523

14.5.2 Nitratassimilation in photosynthetisch nicht aktiven Geweben ..... 525

14.6 Assimilation von Sulfat ..... 525

14.7 Transport von Assimilaten in der Pflanze ..... 527

14.7.1 Zusammensetzung des Phloeminhalts ..... 527

14.7.2 Beladung des Phloems ..... 527

14.7.3 Transport der Assimilate im Phloem ..... 529

14.7.4 Phloementladung ..... 530

14.8 Energiegewinnung durch den Abbau von Kohlenhydraten ..... 530

14.8.1 Glykolyse ..... 531

14.8.2 Gärungen ..... 532

14.8.3 Zellatmung ..... 533

14.9 Bildung von Struktur- und Speicherlipiden ..... 542

14.9.1 Biosynthese der Fettsäuren ..... 542

14.9.2 Biosynthese von Membranlipiden ..... 545

|         |                                                                       |     |
|---------|-----------------------------------------------------------------------|-----|
| 14.9.3  | Biosynthese von Speicherlipiden.....                                  | 545 |
| 14.10   | <b>Mobilisierung von Speicherlipiden</b> .....                        | 546 |
| 14.11   | <b>Bildung der Aminosäuren</b> .....                                  | 547 |
| 14.11.1 | Familien der Aminosäuren.....                                         | 547 |
| 14.11.2 | Aromatische Aminosäuren.....                                          | 548 |
| 14.11.3 | Nichtproteinogene Aminosäuren und Aminosäureabkömmlinge.....          | 548 |
| 14.12   | <b>Bildung von Purinen und Pyrimidinen</b> .....                      | 549 |
| 14.13   | <b>Bildung von Tetrapyrrolen</b> .....                                | 551 |
| 14.14   | <b>Sekundärstoffwechsel</b> .....                                     | 553 |
| 14.14.1 | Phenole.....                                                          | 556 |
| 14.14.2 | Terpenoide.....                                                       | 559 |
| 14.14.3 | Alkaloide.....                                                        | 565 |
| 14.14.4 | Glucosinolate und cyanogene Glykoside.....                            | 566 |
| 14.14.5 | Chemische Coevolution.....                                            | 567 |
| 14.15   | <b>Pflanzentypische fundamentale Polymere</b> .....                   | 568 |
| 14.15.1 | Polysaccharide.....                                                   | 568 |
| 14.15.2 | Lignin.....                                                           | 573 |
| 14.15.3 | Cutin und Suberin.....                                                | 575 |
| 14.15.4 | Speicherproteine.....                                                 | 576 |
| 14.16   | <b>Stoffausscheidungen der Pflanzen</b> .....                         | 577 |
|         | Quellenverzeichnis.....                                               | 578 |
| 15      | <b>Bewegungsphysiologie</b> .....                                     | 581 |
|         | <i>Uwe Sonnewald</i>                                                  |     |
| 15.1    | <b>Grundbegriffe der Reizphysiologie</b> .....                        | 582 |
| 15.2    | <b>Freie Ortsbewegungen</b> .....                                     | 583 |
| 15.2.1  | Taxien.....                                                           | 585 |
| 15.2.2  | Intrazelluläre Bewegungen.....                                        | 589 |
| 15.3    | <b>Bewegungen lebender Organe</b> .....                               | 589 |
| 15.3.1  | Tropismen.....                                                        | 590 |
| 15.3.2  | Nastien.....                                                          | 601 |
| 15.3.3  | Autonome Bewegungen.....                                              | 611 |
| 15.3.4  | Durch den Turgor vermittelte Schleuder- und Explosionsbewegungen..... | 611 |
| 15.4    | <b>Sonstige Bewegungen</b> .....                                      | 612 |
|         | Quellenverzeichnis.....                                               | 614 |
| 16      | <b>Allelophysiologie</b> .....                                        | 615 |
|         | <i>Uwe Sonnewald</i>                                                  |     |
| 16.1    | <b>Besonderheiten der heterotrophen Ernährung</b> .....               | 616 |
| 16.1.1  | Saprophyten und Parasiten.....                                        | 616 |
| 16.1.2  | Carnivore Pflanzen.....                                               | 620 |
| 16.2    | <b>Symbiose</b> .....                                                 | 620 |
| 16.2.1  | Luftstickstofffixierende Symbiosen.....                               | 620 |
| 16.2.2  | Biochemie und Physiologie der N <sub>2</sub> -Fixierung.....          | 626 |
| 16.2.3  | Mykorrhiza.....                                                       | 628 |
| 16.2.4  | Flechten.....                                                         | 630 |
| 16.3    | <b>Pathogene</b> .....                                                | 631 |
| 16.3.1  | Grundbegriffe der Phytopathologie.....                                | 631 |
| 16.3.2  | Mikrobielle Pathogene.....                                            | 633 |
| 16.3.3  | Mechanismen der Pathogenese.....                                      | 635 |
| 16.3.4  | Pathogenabwehr.....                                                   | 638 |
| 16.4    | <b>Herbivorie</b> .....                                               | 638 |
| 16.4.1  | Herbivorabwehr.....                                                   | 639 |
| 16.4.2  | Tritrophe Interaktionen.....                                          | 642 |

|      |                           |     |
|------|---------------------------|-----|
| 16.5 | <b>Allelopathie</b> ..... | 643 |
|      | Quellenverzeichnis .....  | 645 |

## V Evolution und Systematik

|        |                                                                                                                                          |     |
|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 17     | <b>Evolution</b> .....                                                                                                                   | 649 |
|        | <i>Joachim W. Kadereit</i>                                                                                                               |     |
| 17.1   | <b>Variation</b> .....                                                                                                                   | 650 |
| 17.1.1 | Phänotypische Plastizität und epigenetische Vererbung .....                                                                              | 651 |
| 17.1.2 | Genetische Variation.....                                                                                                                | 653 |
| 17.1.3 | Rekombinationssystem .....                                                                                                               | 654 |
| 17.2   | <b>Muster und Ursachen natürlicher Variation</b> .....                                                                                   | 662 |
| 17.2.1 | Natürliche Selektion .....                                                                                                               | 662 |
| 17.2.2 | Genetische Drift .....                                                                                                                   | 666 |
| 17.3   | <b>Artbildung</b> .....                                                                                                                  | 666 |
| 17.3.1 | Artdefinitionen.....                                                                                                                     | 666 |
| 17.3.2 | Artbildung durch divergente Evolution.....                                                                                               | 668 |
| 17.3.3 | Hybridisierung und Hybridartbildung .....                                                                                                | 673 |
| 17.4   | <b>Makroevolution</b> .....                                                                                                              | 679 |
|        | Quellenverzeichnis .....                                                                                                                 | 681 |
| 18     | <b>Methoden der Systematik</b> .....                                                                                                     | 683 |
|        | <i>Joachim W. Kadereit</i>                                                                                                               |     |
| 18.1   | <b>Arterkennung</b> .....                                                                                                                | 687 |
| 18.2   | <b>Monografien, Floren und Bestimmungsschlüssel</b> .....                                                                                | 688 |
| 18.3   | <b>Verwandtschaftsforschung</b> .....                                                                                                    | 688 |
| 18.3.1 | Merkmale .....                                                                                                                           | 688 |
| 18.3.2 | Merkmalskonflikte.....                                                                                                                   | 689 |
| 18.3.3 | Numerische Systematik.....                                                                                                               | 691 |
| 18.3.4 | Phylogenetische Systematik – <i>maximum parsimony</i> .....                                                                              | 692 |
| 18.3.5 | <i>Maximum likelihood</i> und Bayes'sche Analyse.....                                                                                    | 693 |
| 18.3.6 | Statistische Unterstützung von Verwandtschaftshypothesen.....                                                                            | 694 |
| 18.4   | <b>Phylogenie und Klassifikation</b> .....                                                                                               | 694 |
| 18.5   | <b>Nomenklatur</b> .....                                                                                                                 | 696 |
|        | Quellenverzeichnis .....                                                                                                                 | 697 |
| 19     | <b>Stammesgeschichte und Systematik der Bakterien, Archaeen,<br/>„Pilze“ Pflanzen und anderer photoautotropher Eukaryoten</b> .....      | 699 |
|        | <i>Joachim W. Kadereit</i>                                                                                                               |     |
| 19.1   | Bakterien und Archaeen .....                                                                                                             | 704 |
| 19.1.1 | Zellbau, Vermehrung und genetischer Apparat .....                                                                                        | 704 |
| 19.1.2 | Lebensweise der Bakterien und Archaeen und ihre Bedeutung für Eukaryoten.....                                                            | 710 |
| 19.2   | Chitinpilze, Flechten, Cellulosepilze .....                                                                                              | 711 |
| 19.2.1 | Chitinpilze – Mycobionta (Echte Pilze) .....                                                                                             | 711 |
| 19.2.2 | Flechten – Lichenes.....                                                                                                                 | 718 |
| 19.2.3 | Cellulosepilze – Oomyceten.....                                                                                                          | 721 |
| 19.3   | „Algen“ und andere photoautotrophe Eukaryoten .....                                                                                      | 722 |
| 19.3.1 | Glaucobionta.....                                                                                                                        | 728 |
| 19.3.2 | Rhodobionta – Rotalgen, photoautotrophe Eukaryoten mit<br>Rhodophyten als sekundären Endosymbionten .....                                | 728 |
| 19.3.3 | Chlorobionta – Grünalgen, photoautotrophe Eukaryoten mit Chlorophyten<br>als sekundären Endosymbionten, streptophytische Grünalgen ..... | 749 |
| 19.4   | Chlorobionta: Streptophyta – Landpflanzen (Moose, Farnpflanzen, Samenpflanzen) .....                                                     | 766 |

|        |                                                                                           |     |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 19.4.1 | Organisationstyp Moose.....                                                               | 767 |
| 19.4.2 | Organisationstyp Farnpflanzen.....                                                        | 782 |
| 19.4.3 | Spermatophytina – Samenpflanzen.....                                                      | 808 |
| 19.4.4 | Abstammung und Verwandtschaft der Samenpflanzen und<br>Entstehung der Blütenpflanzen..... | 895 |
|        | Quellenverzeichnis.....                                                                   | 897 |
| 20     | <b>Vegetationsgeschichte</b> .....                                                        | 901 |
|        | <i>Joachim W. Kadereit</i>                                                                |     |
| 20.1   | <b>Methoden</b> .....                                                                     | 903 |
| 20.2   | <b>Präkambrium und Paläozoikum (ca. 4600–252 Mio. Jahre)</b> .....                        | 904 |
| 20.3   | <b>Mesozoikum (252–66 Mio. Jahre)</b> .....                                               | 906 |
| 20.4   | <b>Känozoikum (66 Mio. Jahre bis heute)</b> .....                                         | 907 |
| 20.4.1 | Paläozän bis Holozän.....                                                                 | 907 |
| 20.4.2 | Anthropozän.....                                                                          | 917 |
|        | Quellenverzeichnis.....                                                                   | 918 |

**VI      Ökologie**

|        |                                                    |     |
|--------|----------------------------------------------------|-----|
| 21     | <b>Grundlagen der Pflanzenökologie</b> .....       | 923 |
|        | <i>Christian Körner</i>                            |     |
| 21.1   | <b>Limitierung, Fitness und Optimum</b> .....      | 924 |
| 21.2   | <b>Stress und Anpassung</b> .....                  | 926 |
| 21.3   | <b>Zeit und Raum in der Pflanzenökologie</b> ..... | 927 |
| 21.3.1 | Der Faktor Zeit.....                               | 927 |
| 21.3.2 | Der Faktor Raum.....                               | 928 |
| 21.3.3 | Zeitliche Dynamik und nichtlineare Reaktionen..... | 929 |
| 21.4   | <b>Biologische Variation</b> .....                 | 930 |
| 21.5   | <b>Das Ökosystem und seine Struktur</b> .....      | 931 |
| 21.5.1 | Die Struktur der Biozönose.....                    | 931 |
| 21.5.2 | Biotop: Standort- und Umweltfaktoren.....          | 935 |
| 21.5.3 | Klimafaktoren.....                                 | 937 |
| 21.5.4 | Boden.....                                         | 940 |
| 21.6   | <b>Pflanzenökologische Forschungsansätze</b> ..... | 945 |
|        | Quellenverzeichnis.....                            | 946 |
| 22     | <b>Pflanzen im Lebensraum</b> .....                | 947 |
|        | <i>Christian Körner</i>                            |     |
| 22.1   | <b>Strahlung und Energiehaushalt</b> .....         | 949 |
| 22.1.1 | Strahlungsmaße und Strahlungsbilanz.....           | 949 |
| 22.1.2 | Energiebilanz und Mikroklima.....                  | 949 |
| 22.1.3 | Licht im Pflanzenbestand.....                      | 952 |
| 22.2   | <b>Licht als Signal</b> .....                      | 953 |
| 22.2.1 | Photoperiodismus und Saisonalität.....             | 953 |
| 22.2.2 | Rotlichtsignale in Pflanzenbeständen.....          | 954 |
| 22.3   | <b>Temperaturresistenz</b> .....                   | 955 |
| 22.3.1 | Frostresistenz.....                                | 955 |
| 22.3.2 | Hitzeresistenz.....                                | 957 |
| 22.3.3 | Feuerökologie.....                                 | 957 |
| 22.4   | <b>Mechanische Einflüsse</b> .....                 | 958 |
| 22.5   | <b>Wasserhaushalt</b> .....                        | 959 |
| 22.5.1 | Wasserpotenzial und Transpiration.....             | 960 |
| 22.5.2 | Reaktionen auf Wassermangel.....                   | 963 |

|        |                                                                  |      |
|--------|------------------------------------------------------------------|------|
| 22.5.3 | Stomataverhalten in freier Natur .....                           | 965  |
| 22.5.4 | Wasserhaushalt des Ökosystems .....                              | 967  |
| 22.6   | <b>Nährstoffhaushalt</b> .....                                   | 968  |
| 22.6.1 | Verfügbarkeit von Bodennährstoffen .....                         | 968  |
| 22.6.2 | Quellen und Senken für Stickstoff .....                          | 970  |
| 22.6.3 | Strategien der Stickstoffinvestition .....                       | 971  |
| 22.6.4 | Bodenheterogenität, Konkurrenz und Symbiosen im Wurzelraum ..... | 975  |
| 22.6.5 | Stickstoff und Phosphor in globaler Betrachtung .....            | 977  |
| 22.6.6 | Calcium, Schwermetalle, „Salz“ .....                             | 977  |
| 22.7   | <b>Wachstum und Kohlenstoffhaushalt</b> .....                    | 979  |
| 22.7.1 | Ökologie von Photosynthese und Respiration .....                 | 979  |
| 22.7.2 | Ökologie des Wachsens .....                                      | 982  |
| 22.7.3 | Funktionelle Wachstumsanalyse .....                              | 983  |
| 22.7.4 | Das stabile Isotop <sup>13</sup> C in der Ökologie .....         | 987  |
| 22.7.5 | Biomasse, Produktivität, globaler Kohlenstoffkreislauf .....     | 989  |
| 22.7.6 | Biologische Aspekte des „CO <sub>2</sub> -Problems“ .....        | 996  |
| 22.8   | <b>Biotische Wechselwirkungen</b> .....                          | 1000 |
| 22.9   | <b>Biomasse- und Landnutzung durch den Menschen</b> .....        | 1003 |
| 22.9.1 | Nutzung und Umgestaltung der Vegetation .....                    | 1005 |
| 22.9.2 | Waldnutzung und Waldrodung .....                                 | 1006 |
| 22.9.3 | Weide- und Wiesenwirtschaft .....                                | 1007 |
| 22.9.4 | Nutzpflanzenbau .....                                            | 1008 |
|        | Quellenverzeichnis .....                                         | 1009 |
| 23     | <b>Populations- und Vegetationsökologie</b> .....                | 1013 |
|        | <i>Christian Körner</i>                                          |      |
| 23.1   | <b>Populationsökologie</b> .....                                 | 1015 |
| 23.1.1 | Wachstum von Populationen .....                                  | 1015 |
| 23.1.2 | Konkurrenz und Coexistenz .....                                  | 1019 |
| 23.1.3 | Reproduktionsökologie .....                                      | 1022 |
| 23.2   | <b>Pflanzenareale</b> .....                                      | 1025 |
| 23.2.1 | Arealtypen .....                                                 | 1026 |
| 23.2.2 | Ausbreitung .....                                                | 1028 |
| 23.2.3 | Ursachen für Arealgrenzen und Arealbesetzung .....               | 1031 |
| 23.2.4 | Florengebiete und Florenreiche .....                             | 1033 |
| 23.3   | <b>Biodiversität und ökosystemare Stabilität</b> .....           | 1035 |
| 23.3.1 | Biodiversität .....                                              | 1036 |
| 23.3.2 | Biodiversität und Ökosystemfunktion .....                        | 1039 |
| 23.4   | <b>Vegetationsökologie</b> .....                                 | 1042 |
| 23.4.1 | Zusammensetzung von Pflanzengemeinschaften .....                 | 1042 |
| 23.4.2 | Entstehung und Veränderung von Pflanzengemeinschaften .....      | 1045 |
| 23.4.3 | Klassifikation von Vegetationstypen .....                        | 1048 |
| 23.4.4 | Korrelative Analyse von Vegetationsmustern .....                 | 1049 |
| 23.4.5 | Physiognomische Vegetationsgliederung .....                      | 1051 |
| 23.4.6 | Räumliche Standort- und Vegetationsgliederung .....              | 1051 |
|        | Quellenverzeichnis .....                                         | 1053 |
| 24     | <b>Vegetation der Erde</b> .....                                 | 1055 |
|        | <i>Christian Körner</i>                                          |      |
| 24.1   | <b>Vegetation der temperaten Zone</b> .....                      | 1056 |
| 24.1.1 | Vom Tiefland zur untersten Bergwaldstufe .....                   | 1056 |
| 24.1.2 | Oberer Bergwald und alpine Stufe .....                           | 1060 |
| 24.2   | <b>Die Biome der Erde</b> .....                                  | 1063 |
| 24.2.1 | Feucht-tropische Tieflandwälder .....                            | 1066 |

|         |                                                       |      |
|---------|-------------------------------------------------------|------|
| 24.2.2  | Feucht-tropische Bergwälder .....                     | 1068 |
| 24.2.3  | Tropische und subtropische Hochgebirgsvegetation..... | 1070 |
| 24.2.4  | Tropische halbimmergrüne Wälder.....                  | 1072 |
| 24.2.5  | Tropische Savannen .....                              | 1074 |
| 24.2.6  | Vegetation der heißen Wüsten .....                    | 1076 |
| 24.2.7  | Winterregengebiete des mediterranen Klimatyps.....    | 1078 |
| 24.2.8  | Lorbeerwaldzone.....                                  | 1080 |
| 24.2.9  | Laubabwerfende Wälder der temperaten Zone .....       | 1082 |
| 24.2.10 | Bergwälder der temperaten Zone .....                  | 1084 |
| 24.2.11 | Alpine Vegetation der temperaten Hochgebirge.....     | 1086 |
| 24.2.12 | Steppen und Prärien.....                              | 1088 |
| 24.2.13 | Wüsten der temperaten Zone.....                       | 1090 |
| 24.2.14 | Boreale Wälder .....                                  | 1092 |
| 24.2.15 | Subarktische und arktische Vegetation .....           | 1094 |
| 24.2.16 | Küstenvegetation.....                                 | 1096 |
|         | Quellenverzeichnis .....                              | 1098 |

**Serviceteil**

|                            |      |
|----------------------------|------|
| Stichwortverzeichnis ..... | 1101 |
|----------------------------|------|