

Inhaltsverzeichnis

Teil A: Anfänge



1 Die Evolution bis zu den einfachsten Pflanzen: Progenoten – Prokaryonten – Eukaryonten 3

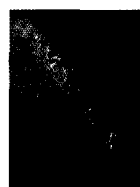
- 1.1 Einleitung 3
- 1.2 Die ersten Schritte der Evolution von Lebewesen 3
- 1.3 Die Ernährungsweise 9
- 1.4 Die Prokaryonten 10
 - 1.4.1 Archaeobakterien 11
 - 1.4.2 Eubakterien 11
- 1.4.3 Besondere Eubakterien: Die Cyanobakterien als prokaryotische Algen 13
- 1.5 Die eukaryotischen Zellen 15
 - 1.5.1 Organisation: Euglena 15
 - 1.5.2 Schema der Eukaryontenzelle 17
- 1.6 Evolution der Eukaryontenzellen 17
 - 1.6.1 Urkaryonten 18
 - 1.6.2 Endosymbiontentheorie der Evolution Mitochondrien und Chloroplasten enthaltender eukaryotischer Zellen 19
 - 1.6.2.1 Cytologische und zellbiologische Beobachtungen 21
 - 1.6.2.2 Rezente Endosymbiosen 21
 - 1.6.2.3 Glaucophyta 22
 - 1.6.3 Symbiogenese 22
 - 1.6.4 Hydrogen-Hypothese 23
- 1.7 Die Domänen und Reiche der Organismen 23
 - Zusammenfassung und Übungsaufgaben 25
 - Weiterführende Literatur 26



2 Bioenergetik 29

- 2.1 Fließgleichgewichte und Bioenergetik 29
- 2.2 Wärme und Arbeit sind verschiedene Formen von Energie 30
- 2.3 Die Entropie bestimmt die Richtung von Prozessen 32
- 2.4 Die Freie Energie ist ein Maß für nutzbare Energie 33
- 2.5 Die Energiekoppelung bei biochemischen Umsetzungen 34
- 2.6 Die Energiekoppelung bei biophysikalischen Umsetzungen mit Licht 36
 - 2.6.1 Halobakterien 36

- 2.6.2 Durch Licht energetisierte Redoxreaktionen 37
- 2.6.3 Photosynthese betreibende Eubakterien 40
- 2.6.4 Photosynthese höher entwickelter Formen 42
- 2.6.5 Evolution der Elektronenübertragungsketten der Photosynthese und der Atmung 42
- 2.7 Die Enzyme 44
 - 2.7.1 Aktivierungsenergie und Biokatalyse 44
 - 2.7.2 Stoffliche Eigenschaften von Enzymen 45
 - 2.7.3 Wirkungsweise der Enzyme 47
 - 2.7.4 Kinetik der Biokatalyse 47
 - 2.7.4.1 Abhängigkeit der Enzymaktivität von der Substratkonzentration 48
 - 2.7.4.2 Abhängigkeit der Enzymaktivität von Ionen, Cofaktoren, Temperatur und pH-Wert 50
 - 2.7.5 Regulierung der Enzymaktivität 50
 - 2.7.5.1 Regulation auf der posttranslationalen Ebene 50
 - 2.7.5.2 Regulierung der Enzymmenge 53
 - 2.7.6 Isoenzyme 54
 - 2.7.7 Benennung von Enzymen 55
- Zusammenfassung und Übungsaufgaben 56
- Weiterführende Literatur 56



3 Ebenen der Integration: Arbeitsteilung und Regulation 59

- 3.1 Struktur und Funktion auf verschiedenen Skalierungsebenen 59
- 3.2 Arbeitsteilung und Regulation 61
- 3.3 Fraktionierung der Systeme 64
- 3.4 Reduktionismus, Freiheitsgrade und emergente Eigenschaften 64
 - Zusammenfassung und Übungsaufgaben 65

Teil B: Bau und Funktion der Pflanzenzelle



4 Prinzipien des Membrantransports 69

- 4.1 Membranen als kontrolliert zu überwindende Barrieren 69
- 4.2 Membranaufbau 70
- 4.3 Mechanismen des Ionentransports 73
 - 4.3.1 Uniporter 74
 - 4.3.2 Cotransporter 76
- 4.4 Die elektrische Membranspannung 77

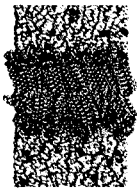
X Inhaltsverzeichnis

- 4.4.1 Aktiver Transport 78
- 4.4.2 Passiver Transport 79
- 4.5 Kanäle 83
- Zusammenfassung und Übungsaufgaben 89
- Weiterführende Literatur 90



5 Membrandynamik 93

- 5.1 Pflanzen ändern ihre Oberfläche mittels Exo- bzw. Endocytose 94
- 5.2 Exo- und Endocytose verändern den funktionellen Charakter der Membran 95
- 5.3 Viele dynamische Prozesse beginnen am Endoplasmatischen Reticulum 98
- 5.4 Die Untersuchung von Exo- und Endocytose 100
- 5.5 Exo- und Endocytose in Pflanzen sind reguliert 102
- 5.6 Mechanismus der Membranfusion 103
- 5.7 Mechanismus der Endocytose 105
- Zusammenfassung und Übungsaufgaben 107
- Weiterführende Literatur 107



6 Plasmalemma und Tonoplast 109

- 6.1 Inventar von Membranproteinen in der Plasmamembran 109
- 6.2 Inventar von Membranproteinen im Tonoplasten 113
- Zusammenfassung und Übungsaufgaben 117
- Weiterführende Literatur 117



7 Vakuole 119

- 7.1 Vakuolen und Lysosomen: Speicherfunktionen und hydrolytische Enzyme 119
 - 7.1.1 Cytologie und Funktionen 119
 - 7.1.2 Verschiedene Vakuolen für verschiedene Aufgaben 120
- 7.2 Osmose und Turgor 122
- 7.3 Wasserpotenzialgradienten und Volumenfluss 125
- 7.4 Messung der Wasserhaushaltsparameter 126
- 7.5 Turgorabhängige Lebensvorgänge 128
- Zusammenfassung und Übungsaufgaben 130
- Weiterführende Literatur 130



8 Cytoplasma: Struktur und Stoffwechselprozesse 133

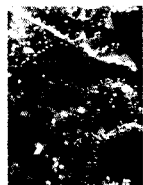
- 8.1 Cytosol 134
- 8.2 Cytoskelett 136
 - 8.2.1 Allgemeine Funktionen des Cytoskeletts 138
 - 8.2.2 Elemente des Cytoskeletts 139
 - 8.2.2.1 Mikrotubuli 139
 - 8.2.2.2 Mikrofilamente 141
 - 8.2.2.3 Motorproteine 143
- 8.3 Stoffwechselprozesse im Cytosol 146
 - 8.3.1 Kohlenhydrate als Energiereserven 147
 - 8.3.2 Mobilisierung der Reservekohlenhydrate 149
 - 8.3.3 Glykolyse 150
 - 8.3.3.1 Umformung und Spaltung des Hexosemoleküls 152
 - 8.3.3.2 ATP-Bildung bei der Glykolyse 154
 - 8.3.3.3 Energiebilanz der Glykolyse 155
 - 8.3.3.4 Anaerobe Reoxidation von $\text{NADH} + \text{H}^+$: Gärungen 156
 - 8.3.3.5 Regulation der Glykolyse 157
- 8.4 Die zentrale Stellung des Cytosols im Stoffwechsel der Zelle 159
 - 8.4.1 Zusammenspiel zwischen Cytosol und anderen Organellen und Kompartimenten im Zellstoffwechsel 159
 - 8.4.2 Biosynthese der Triglyceride 159
- Zusammenfassung und Übungsaufgaben 161
- Weiterführende Literatur 162



9 Mitochondrien und Atmung 165

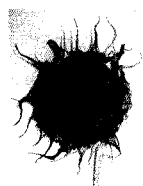
- 9.1 Struktur der Mitochondrien 165
- 9.2 Atmung 167
 - 9.2.1 Biochemische Umsetzungen 168
 - 9.2.1.1 Oxidative Decarboxylierung des Pyruvats 168
 - 9.2.1.2 Zitronensäurezyklus 169
 - 9.2.2 Mitochondriale Elektronentransport- und Redoxkette 172
 - 9.2.2.1 Atmungskette 172
 - 9.2.2.2 Thermodynamik der Atmungskette und ATP-Bildung durch die oxidative Phosphorylierung 176
- 9.3 Oxidative Phosphorylierung: ATP-Bildung durch den mitochondrialen F_0/F_1 -ATPase-Komplex 177
- 9.4 Energiebilanz des vollständigen oxidativen Abbaus der Glucose in der Atmung 178
- 9.5 Thermogenese 179
- 9.6 Transport von Metaboliten durch die Mitochondrienmembran 180

- 9.7 Kohlenhydratabbau als Sammelbecken im Stoffwechsel 183
 Zusammenfassung und Übungsaufgaben 186
 Weiterführende Literatur 187



10 Plastiden und ihre Funktionen: Photosynthese, Hexoseoxidation, Fettsäurebiosynthese 189

- 10.1 Plastiden 191
 10.1.1 Größe und Gestalt 191
 10.1.2 Struktureller Feinbau 191
 10.1.2.1 Membranhülle der Plastiden 191
 10.1.2.2 Plastoplasma oder Stroma der Plastiden 191
 10.1.2.3 Thylakoidsystem der Plastiden 191
 10.2 Primärprozesse der Photosynthese:
 Photochemische Reaktionen 194
 10.2.1 Elektromagnetische Strahlung: Lichtquanten, Wellenlänge und Energie 194
 10.2.2 Pigmente der Photosynthese 195
 10.2.3 Anregung des Chlorophylls durch Lichtabsorption 199
 10.2.4 Lichtsammelantennen und Photosysteme 201
 10.2.5 Reaktionszentrum 203
 10.2.6 Elektronentransport bei der Lichtreaktion 205
 10.2.7 Schutzmechanismen: Ein Überschuss an Anregungsenergie wird gefährlich 209
 10.2.8 Chlorophyllfluoreszenz 213
 10.3 Mechanismus der Photophosphorylierung 214
 10.4 Sekundärprozesse der Photosynthese:
 CO₂-Assimilation 218
 10.4.1 Carboxylierung 219
 10.4.2 Reduktion des fixierten Kohlenstoffs 222
 10.4.3 Regeneration des CO₂-Akzeptors 223
 10.4.4 Synthese photosynthetischer Endprodukte 223
 10.4.5 Bilanz der Photosynthese 226
 10.5 Glucoseoxidation: Oxidativer
 Pentosephosphatzyklus 227
 10.6 Vergleich der Regenerationsphasen des reduktiven und oxidativen Pentosephosphatzyklus 228
 10.7 Biosynthese der Fettsäuren 231
 Zusammenfassung und Übungsaufgaben 234
 Weiterführende Literatur 236



11 Microbodies: Glyoxysomen und Peroxisomen 239

- 11.1 Glyoxysomen 239
 11.1.1 Chemischer Aufbau der Fette 241
 11.1.2 Mobilisierung des Kohlenstoffs aus den Speicherlipiden 241

- 11.1.2.1 Oleosomen und hydrolytische Spaltung der Triacylglyceride 241
 11.1.2.2 β -Oxidation der Fettsäuren 247
 11.1.2.3 Glyoxylsäurezyklus 248
 11.1.2.4 Gluconeogenese 248
 11.1.2.5 Nutzung der Speicherlipide bei Pflanzen und Tieren: Ein Vergleich 250
 11.2 Peroxisomen und Photorespiration 250
 11.2.1 Reaktionsweg der Photorespiration 251
 11.2.1.1 Glycolat-Zyklus 251
 11.2.1.2 Glutamat-Synthase-Zyklus 251
 11.2.1.3 Mechanismen des Membrantransports 254
 11.2.1.4 Glycin-Decarboxylase/Serin-Hydroxymethyltransferase-Komplex 255
 11.2.2 Eine erste Bilanz der Photorespiration: Stöchiometrien 257
 11.2.3 Eine zweite Bilanz: Was nützt die Photorespiration? 258
 Zusammenfassung und Übungsaufgaben 259
 Weiterführende Literatur 260



12 Metabolismus von Sauerstoff 263

- 12.1 Sauerstoff als Zellgift: Reminiszenz der Evolution der Erdatmosphäre 263
 12.2 Sauerstoff im pflanzlichen Stoffwechsel und die Bildung reaktiver Sauerstoff-Spezies (RSS) 265
 12.3 Antioxidative Reaktionen (AOR) 270
 12.4 Funktionen der reaktiven Sauerstoff-Spezies 272
 12.4.1 Zerstörende Wirkungen 272
 12.4.2 Biotischer Stress: Pathogenabwehr 273
 12.4.3 Polymerisierungen: Lignin 274
 12.4.4 Signalwirkungen 274
 12.5 Bildung von reaktiven Sauerstoff-Spezies bei abiotischem Stress 275
 Zusammenfassung und Übungsaufgaben 276
 Weiterführende Literatur 276



13 Zellwand 279

- 13.1 Chemische Zusammensetzung der Zellwände 280
 13.1.1 Pectinstoffe: Protopectine und Pectine 281
 13.1.2 Hemicellulosen 282
 13.1.3 Cellulose 283
 13.1.4 Kallose 283
 13.1.5 Ein Sonderfall unter den Zellwandsubstanzen: Chitin 285
 13.1.6 Zellwandproteine 285

13.2	Biosynthese der chemischen Zellwandkomponenten und ihre Kompartimentierung	286
13.2.1	Dictyosomen und ihre Rolle bei der Zellwandbildung	287
13.2.2	Biosynthese der Cellulose	290
13.2.2.1	Cellulose-Synthase	290
13.2.2.2	Verlauf der Biosynthese	291
13.2.2.3	Biosynthese der Kallose	292
13.3	Entwicklung der Zellwand	292
13.3.1	Hilfsstrukturen zur Anlage einer neuen Zellwand: Phycoplast und Phragmoplast	292
13.3.2	Bildung der Zellplatte und der Mittellamelle	294
13.4	Bau der Zellwand	295
13.4.1	Hierarchie der Cellulosestrukturen	295
13.4.2	Textur der Cellulosefibrillen	297
13.4.3	Primärwand	298
13.4.4	Sekundärwand und Tertiärwand	300
13.5	Durchbrechungen in Zellwänden	301
	Zusammenfassung und Übungsaufgaben	305
	Weiterführende Literatur	306



14 Proteine und Aminosäuren 309

14.1	Aminosäuren und ihre Eigenschaften	309
14.2	Kondensation von Aminosäuren zu Peptiden	313
14.3	Proteine und ihre Eigenschaften	314
14.4	Proteome	317
14.5	Strukturhierarchie der Proteine	320
14.5.1	Primärstruktur	320
14.5.2	Sekundärstruktur	321
14.5.3	Tertiärstruktur	324
14.5.4	Quartärstruktur	327
14.6	Posttranslationale Proteinmodifikationen	327
14.7	Funktionen der Proteine	328
14.8	Stoffwechsel der Aminosäuren und Proteine	329
14.8.1	Synthese von Aminosäuren	329
14.8.2	Umsatz der Proteine	333
	Zusammenfassung und Übungsaufgaben	334
	Weiterführende Literatur	336



15 Naturstoffe: Pflanzen als vielseitige Synthetiker 339

15.1	Ein Überblick	339
15.2	Terpenoide	340
15.2.1	Biosynthese und Vielfalt der Terpenoide	340
15.2.2	Funktionen	342
15.2.2.1	Hemiterpene	343
15.2.2.2	Monoterpene	344

15.2.2.3	Sesquiterpene	344
15.2.2.4	Diterpene	344
15.2.2.5	Triterpene	344
15.2.2.6	Tetraterpene	345
15.2.2.7	Polyterpene	345
15.3	Phenole	346
15.3.1	Biosynthesewege	346
15.3.2	Einfache Phenole	349
15.3.3	Phenylpropanderivate	351
	Cutine	351
15.3.4	Flavonoide	352
15.3.5	Funktionen	354
15.4	Alkaloide und organische Basen	356
15.4.1	Biosynthese	356
15.4.2	Mannigfaltigkeit und Funktionen	358
15.5	Porphyrine	362
	Zusammenfassung und Übungsaufgaben	364
	Weiterführende Literatur	365



16 Mineralstoffernährung 367

16.1	Der Boden	367
16.1.1	Entstehung von Böden und Bodentypen	367
16.1.2	Wasserkapazität und Bodenstruktur	371
16.1.3	Bodenchemie und Verfügbarkeit von Mineralstoffen	371
16.1.4	Bodenökologie	372
16.2	Hydroponik und die Identifizierung der essenziellen Elemente	373
16.3	Stoffwechsel des Stickstoffs	375
16.3.1	Nitrat-Aufnahme und Nitrat-Reduktion	375
16.3.2	Fixierung von Luftstickstoff	377
16.4	Stoffwechsel des Schwefels	380
16.5	Stoffwechsel des Phosphors	381
16.6	Standortbedingter Nährstoffmangel: Carnivorie	381
16.6.1	Kennzeichen carnivorer Pflanzen und Nährstoffgewinn	381
16.6.2	Blattmetamorphosen als Fangorgane	382
16.6.3	Drüsenfunktionen zu Verdauung und Resorption	388
16.7	Anorganische Ionen als spezielle Standortfaktoren	389
16.7.1	Mineralstoffe und Pflanzen: Ein sich stürmisch entwickelndes Forschungsgebiet	389
16.7.2	Boden-pH	390
16.7.3	Alkalimetalle	390
16.7.4	Erdalkalimetalle	391
16.7.5	Eisen	391
16.7.6	Aluminium	394
16.7.7	Janusköpfige Metalle: Essenziell und toxisch	396
16.7.8	Hyperakkumulatoren von Metallen und ihre Nutzung zur Phytosanierung	398
16.7.9	Genetik	398
16.7.10	Anionen des Bor, Arsen und Selen	399

- 16.7.10.1 Bor 399
- 16.7.10.2 Arsen 399
- 16.7.10.3 Selen 399
- Zusammenfassung und Übungsaufgaben 400
- Weiterführende Literatur 402



17 Salinität 405

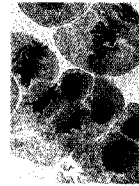
- 17.1 Globale Dimensionen der Bodenversalzung 405
- 17.1.1 Natürliche Salzstandorte 405
- 17.1.2 Bodenversalzung als Problem der Welternährung 407
- 17.2 Schädigung, Toleranz und Resistenz 409
- 17.3 Ökophysiologische Reaktionen von der ganzen Pflanze bis zu den Molekülen 410
- 17.3.1 Die Ebene der ganzen Pflanze 410
- 17.3.2 Die Zellebene 416
- 17.3.3 Die Membranebene 418
- 17.3.4 Die molekulare Ebene 418
- 17.4 Genetik und Züchtung 419
- Zusammenfassung und Übungsaufgaben 421
- Weiterführende Literatur 421



18 Kompartimentierung, Vernetzung und Regulation des Stoffwechsels 423

- 18.1 Stoffwechselnetzwerke 423
- 18.1.1 Glykolyse 423
- 18.1.2 Vernetzung durch Rückkoppelung 424
- 18.2 Die Mechanismen der zellbiologischen Regulation des Stoffwechsels 427
- 18.3 Die Basis der metabolischen Regulation 427
- 18.4 Das Instrumentarium der metabolischen Regulation 428
- 18.4.1 Cofaktoren 428
- 18.4.2 Analoge Enzymreaktionen in getrennten Kompartimenten 429
- 18.4.3 Transportmetabolite 430
- 18.4.4 Enzymschalter und die Regulation der Stoffflüsse 430
- 18.5 Vernetzung von Kompartimenten: Glykolyse – Atmung – Photosynthese 430
- 18.6 Leerlaufzyklen (*futile cycles*): Nutzen und Vermeidung 432
- 18.6.1 Nützliche Leerlaufzyklen 432
- 18.6.2 Ein schädlicher Leerlaufzyklus: Kombination des reduktiven und oxidativen Pentosphosphat-Zyklus 432

- 18.7 Metabolische Signale mit weitreichenden Wirkungen für Stoffwechsel, Wachstum und Entwicklung in der ganzen Pflanze 435
- 18.7.1 Kohlendioxid 435
- 18.7.2 Zucker 438
- 18.7.3 Stickstoff, Schwefel und Phosphor 439
- Zusammenfassung und Übungsaufgaben 441
- Weiterführende Literatur 442



19 Das Kontrollzentrum der Zelle: Der Zellkern mit den Chromosomen 443

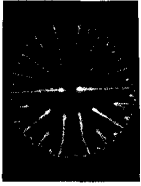
- 19.1 Der Zellkern 443
- 19.2 Das Chromatin und die Chromosomen 445
- 19.3 Die Kern- und Zellteilung: Mitose 447
- 19.4 Polyploidie 452
- Zusammenfassung und Übungsaufgaben 453
- Weiterführende Literatur 453



20 Gene, Genome und Evolutionstheorien 455

- 20.1 Die MENDEL'schen Regeln der Vererbung 455
- 20.2 Extrachromosomale Vererbung 458
- 20.3 Modifikationen und Mutationen 459
- 20.4 Regulation durch DNA 460
- 20.4.1 Genetischer Code 460
- 20.4.2 Autokatalytische Funktion der DNA: Replikation 461
- 20.4.3 Heterokatalytische Funktion der DNA: Transkription durch RNA-Polymerase 464
- 20.4.4 Translation und Proteinsynthese 466
- 20.4.5 Genome 468
- 20.4.6 Regulation 469
- 20.5 Evolutionstheorien 472
- 20.5.1 CHARLES DARWIN: Der Ursprung der Arten – Von der künstlichen Selektion zur natürlichen Selektion 472
- 20.5.2 Die große Synthese in den 1940er Jahren 474
- 20.5.2.1 Populationsgenetik 474
- 20.5.2.2 Artbildung 474
- 20.5.3 Neuer Zustrom von Ideen in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts 477
- 20.5.3.1 Punktualismus 477
- 20.5.3.2 Molekularbiologie und Molekulargenetik 478
- 20.5.4 Fazit 479
- Zusammenfassung und Übungsaufgaben 479
- Weiterführende Literatur 480

Teil C: Pflanzenorganismen



21 Die Algen 483

- 21.1 Entwicklungstendenzen 484
 - 21.1.1 Vegetative Entwicklungstendenzen und Lebensweisen der Algen 484
 - 21.1.1.1 Monadales Organisationsstadium 485
 - 21.1.1.2 Entwicklung von einzelligen Flagellaten zu mehrzelligen Kolonien mit Arbeitsteilung 485
 - 21.1.1.3 Coccale Organisationsstufe: Verlust der freien Beweglichkeit 487
 - 21.1.1.4 Trichale Organisationsstufe 489
 - 21.1.1.5 Siphonale Organisationsstufe 489
 - 21.1.1.6 Entwicklung von einfachen Zellfäden zu komplexen Thalli 490
 - 21.1.2 Die generativen Entwicklungstendenzen 495
 - 21.1.2.1 Mitosen, Sexualität und Meiose 495
 - 21.1.2.2 Isogamie, Anisogamie, Oogamie 497
 - 21.1.2.3 Gametangien und Sporangien 499
 - 21.1.2.4 Generationswechsel 499
- 21.1.3 Übersicht 504
- 21.2 Mannigfaltigkeit – Systematik – Phylogenie 505
 - 21.2.1 Abstammungsnetze 505
 - 21.2.2 Subregnum Glaucobionta 507
 - 21.2.3 Subregnum Rhodobionta, Abteilung Rhodophyta, Klasse Rhodophyceae 507
 - 21.2.4 Anhänge zum Subregnum Rhodobionta 508
 - 21.2.4.1 Abteilung Cryptophyta 508
 - 21.2.4.2 Abteilung Dinophyta 509
 - 21.2.4.3 Abteilung Haptophyta 509
 - 21.2.5 Subregnum Heterokontobionta: Abteilung Heterokontophyta 510
 - 21.2.5.1 Klasse Xanthophyceae 510
 - 21.2.5.2 Klasse Chrysophyceae 511
 - 21.2.5.3 Klasse Bacillariophyceae (Diatomeae, Kieselalgen) 511
 - 21.2.5.4 Klasse Phaeophyceae (Braunalgen) 512
 - 21.2.6 Subregnum Chlorobionta 513
 - 21.2.6.1 Abteilung Chlorophyta 513
 - 21.2.6.2 Anhang zur Abteilung Chlorophyta: Abteilung Euglenophyta 518
 - 21.2.6.3 Abteilung Streptophyta, Unterabteilung Streptophytina 518
- 21.3 Ausblick auf die „höheren Pflanzen“ 521
 - Zusammenfassung und Übungsaufgaben 522
 - Weiterführende Literatur 523



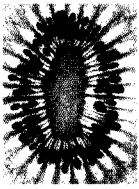
22 Der Übergang zum Landleben 525

- 22.1 Generelle Probleme und deren Lösung beim Übergang der Pflanzen vom Wasser- zum Landleben 525
 - 22.1.1 Lagerpflanzen (Thallophyten) und Sprosspflanzen (Kormophyten) 525
 - 22.1.2 Erfordernisse des Lebens an Land 525
- 22.2 Ur-Landpflanzen und von ihnen ausgehende Evolutionstendenzen 528
- 22.3 Moose 530
 - 22.3.1 Allgemeine Merkmale 530
 - 22.3.2 Systematik und Phylogenie der Moose 530
 - 22.3.2.1 Thallose und foliose Lebermoose (Marchantiophytina) 533
 - 22.3.2.2 Laubmoose (Bryophytina) 534
 - 22.3.2.3 Hornmoose (Antocerotophytina) 537
 - 22.3.3 Fortpflanzung und Vermehrung der Moose 540
 - 22.3.4 Wasserhaushalt und Lebensweise der Moose 544
- 22.4 Evolution der Sprosspflanzen im Hinblick auf den Übergang zum Landleben 545
 - 22.4.1 Rhynia – eine ursprüngliche Sprosspflanze 545
 - 22.4.2 Telomtheorie 546
 - 22.4.3 Stelärtheorie 548
 - 22.4.4 Evolution der höheren Landpflanzen im Anschluss an die Landnahme 549
 - Zusammenfassung und Übungsaufgaben 550
 - Weiterführende Literatur 550



23 Schleimpilze und Pilze 553

- 23.1 Ernährungsweise 553
- 23.2 Strukturelle Merkmale von Pilzen 553
- 23.3 Vorkommen der Pilze 556
- 23.4 Bedeutung der Pilze 556
- 23.5 Ein systematischer Überblick 557
 - 23.5.1 Organisationsform Schleimpilze 557
 - 23.5.2 Organisationsform Pilze 562
 - 23.5.2.1 Abteilung Oomycota 563
 - 23.5.2.2 Subregnum Mycobionta 563
 - Zusammenfassung und Übungsaufgaben 582
 - Weiterführende Literatur 583



24 Der Generationswechsel bei Farnen, Gymnospermen und Angiospermen und die Evolution von Blüten, Samen und Früchten 585

- 24.1 Pteridophytina: Evolution der Blüten 586
 - 24.1.1 Vegetative Entwicklungstendenzen 586
 - 24.1.1.1 Gametophyten 586
 - 24.1.1.2 Sporophyten 587
 - 24.1.2 Generative Entwicklungstendenzen 591
 - 24.1.2.1 Sporophylle, Sporangien und die Evolution von Blüten 591
 - 24.1.2.2 Megasporen, Megaprothallien und die Evolution von Samen 597
- 24.2 Gymnospermen: Evolution der Samen 602
 - 24.2.1 Pflanzengestalten der Gymnospermen 602
 - 24.2.2 Blüten der Gymnospermen 607
 - 24.2.3 Generationswechsel der Gymnospermen 609
 - 24.2.4 Phylogenetische Tendenzen: Die Bedeutung der Evolution der Samen 614
- 24.3 Angiospermen: Evolution der Früchte 615
 - 24.3.1 Das Auftreten der Angiospermen im Neophytikum: Die Angiospermenzeit 615
 - 24.3.2 Der versteckte Generationswechsel der Angiospermen 616
 - 24.3.2.1 Staubblätter und Pollenkörner 617
 - 24.3.2.2 Fruchtknoten und Samenanlagen 618
 - 24.3.2.3 Bestäubung, Befruchtung, Samen- und Fruchtbildung 620
 - 24.3.3 Mannigfaltigkeit der Bestäubungsmechanismen 622
 - 24.3.4 Mannigfaltigkeit der Früchte 628
 - 24.3.5 Entwicklungstendenzen im Blütenbau der Angiospermen 631
 - 24.3.6 Gliederung der Angiospermen: Klasse Magnoliopsida 631
- 24.4 Zusammenfassender Überblick über die Klassen der Pteridophytina und Spermatophytina 631
 - Zusammenfassung und Übungsaufgaben 636
 - Weiterführende Literatur 638

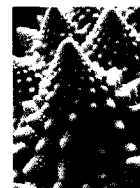
Teil D: Pflanzenorgane und Funktionen



25 Die Wurzel 641

- 25.1 Der äußere Bau der Wurzeln 641
- 25.2 Der innere Bau der Wurzeln 643
 - 25.2.1 Wurzelhaube 644
 - 25.2.2 Der Vegetationspunkt der Wurzel 644
 - 25.2.3 Die Streckungs- und Differenzierungszone 650
 - 25.2.4 Die Wurzelhaarzone 651

- 25.3 Seitenwurzeln 653
- 25.4 Das sekundäre Dickenwachstum der Wurzel 654
- 25.5 Die Aufnahme von Wasser und Nährsalzen durch die Wurzeln 656
 - 25.5.1 Boden 656
 - 25.5.2 Radialer Transport von Wasser und Nährstoffen durch die Wurzeln 657
- 25.6 Die Metamorphosen der Wurzel 658
- 25.7 Signalübertragung in der Rhizosphäre: Allelopathie 662
 - Zusammenfassung und Übungsaufgaben 665
 - Weiterführende Literatur 666



26 Die Sprossachse 669

- 26.1 Die äußere Gliederung der Sprossachse 669
- 26.2 Die Verzweigung der Sprossachse 671
- 26.3 Der Vegetationskegel 673
 - 26.3.1 Regulation der Stammzellenpopulation 677
 - 26.3.2 Determination, Differenzierung und Streckung der vom SAM abgegebenen Zellen 679
- 26.4 Der Bau der primären Sprossachse 681
 - 26.4.1 Gewebe der primären Sprossachse 681
 - 26.4.2 Leitbündel 683
 - 26.4.2.1 Xylem 683
 - 26.4.2.2 Phloem 686
 - 26.4.2.3 Anordnung der Leitbündel 689
- 26.5 Das sekundäre Dickenwachstum 690
 - 26.5.1 Das Kambium 690
 - 26.5.2 Holz 694
 - 26.5.3 Sekundäre Rinde (Bast) 698
 - 26.5.4 Sekundäres und tertiäres Abschlussgewebe 699
 - 26.5.5 Sekundäres Dickenwachstum der Monokotyledonen 703
- 26.6 Die Metamorphosen der Sprossachse 704
- 26.7 Die physiologischen Leistungen der Sprossachse 707
 - 26.7.1 Wassertransport im Xylem 707
 - 26.7.1.1 Transpiration 707
 - 26.7.1.2 Transpirationsstrom 708
 - 26.7.1.3 Kräftebedarf 709
 - 26.7.1.4 Kohäsion und Adhäsion der Wassermoleküle im Xylem 710
 - 26.7.1.5 Wasser- und Nährsalzversorgung durch die Leitbahnen des Xylems 710
 - 26.7.1.6 Xylemtransport unter Druck: Guttation 711
 - 26.7.2 Ferntransport der Assimilate im Phloem 711
 - 26.7.2.1 Transportierte Stoffe 712
 - 26.7.2.2 Mechanismus des Assimilattransports 713
 - 26.7.2.3 Beladen und Entladen des Phloems 714
- Zusammenfassung und Übungsaufgaben 716
- Weiterführende Literatur 718



27 Das Blatt 721

- 27.1 Entwicklung der Blätter 721
- 27.2 Blatttypen: Ein Überblick 722
- 27.3 Keimblätter und Niederblätter 723
- 27.4 Laubblätter 723
 - 27.4.1 Äußere Gestalt 723
 - 27.4.2 Innerer Aufbau der Blattspreite 727
 - 27.4.2.1 Epidermis 731
 - 27.4.2.2 Mesophyll 737
 - 27.5 Hochblätter 739
 - 27.6 Phyllotaxis: Stellung und Ausrichtung der Blätter 740
 - 27.7 Metamorphosen des Blattes 743
 - 27.8 Funktionsweise der Blätter 744
 - 27.8.1 LIEBIGS „Gesetz des begrenzenden Faktors“ 744
 - 27.8.1.1 Lichtsättigungskurve der Photosynthese 745
 - 27.8.1.2 Sonnen- und Schattenpflanzen 746
 - 27.8.1.3 Einfluss der Temperatur auf die Photosynthese 750
 - 27.8.1.4 Einfluss der CO₂-Konzentration auf die Photosynthese 751
 - 27.8.2 Gasaustausch 751
 - 27.8.2.1 Diffusionswiderstände 751
 - 27.8.2.2 Einfluss äußerer und innerer Faktoren auf die Spaltöffnungsbewegungen 753
 - 27.8.3 Wasserverlust und CO₂-Aufnahme – ein Dilemma der Landpflanzen 755
 - 27.8.3.1 Morphologisch-anatomische Auswege aus dem Dilemma: Xerophyten 755
 - 27.8.3.2 Physiologische Auswege aus dem Dilemma: Austrocknungstoleranz 756
- 27.8.4 Anpassung an Wasserüberschuss: Hygrophyten, Hydrophyten, Rheophyten 760
 - Zusammenfassung und Übungsaufgaben 763
 - Weiterführende Literatur 764



28 Kohlendioxid-Konzentrierungsmechanismen 767

- 28.1 Erdgeschichtlicher Rückblick auf die Kohlendioxid-Konzentration in der Atmosphäre 767
- 28.2 Cyanobakterien 768
- 28.3 Algen 770
- 28.4 Einfluss der CO₂-Konzentration in der Luft auf die Photosynthese der Landpflanzen 771
- 28.5 Chloroplasten von C₃-Pflanzen 772
- 28.6 C₄-Photosynthese und Crassulaceen-Säurestoffwechsel (CAM): Das Grundprinzip der CO₂-Konzentrierungsmechanismen 773
- 28.7 C₄-Photosynthese 774

- 28.7.1 Strukturelle Grundlagen 774
- 28.7.2 Drei Routen des anorganischen Kohlenstoffs bei der Konzentrierung in C₄-Pflanzen 776
 - 28.7.2.1 Der NADP-Malat-Enzym-Typ 777
 - 28.7.2.2 Der NAD-Malat-Enzym-Typ 777
 - 28.7.2.3 Der PEP-Carboxykinase-Typ 777
 - 28.7.2.4 Noch zwei wichtige Details: Verhinderung der CO₂-Rückdiffusion und die Redoxenergie der agranal Chloroplasten 777
- 28.7.3 C₃-C₄-intermediäre Pflanzen und der CO₂-Konzentrierungsmechanismus der C₂-Photosynthese 781
- 28.7.4 C₄-Photosynthese in einzelnen Zellen 783
- 28.7.5 Ökophysiologische Vorteile der C₄-Photosynthese 785
- 28.8 Crassulaceen-Säurestoffwechsel (CAM) 787
 - 28.8.1 CAM-Phasen und CAM-Modi 787
 - 28.8.2 Die biochemischen Reaktionswege des CAM-Zyklus 790
 - 28.8.2.1 Der Kohlenhydrat-Zyklus 790
 - 28.8.2.2 Der Zyklus der organischen Säure bei Malatbildung 791
 - 28.8.2.3 Der Zyklus der organischen Säure bei Citrat-Bildung 792
 - 28.8.2.4 Regulation des Säurestoffwechsels am Tage 793
 - 28.8.3 Ökophysiologische Vorteile des CAM 793
- 28.9 Evolution von C₄-Photosynthese und CAM 797
 - Zusammenfassung und Übungsaufgaben 798
 - Weiterführende Literatur 800



29 Partnerbeziehungen: Symbiose, Parasitismus, Krankheit 803

- 29.1 Definitionen und allgemeine Gesichtspunkte 803
- 29.2 Symbiosen 804
 - 29.2.1 N₂-fixierende Symbiosen 804
 - 29.2.1.1 N₂-fixierende Symbiosen zwischen Eubakterien und höheren Pflanzen 804
 - 29.2.1.2 Rhizobiaceae/Fabales-Symbiosen 807
 - 29.2.1.3 Actinorrhiza 813
 - 29.2.1.4 N₂-fixierende Symbiosen der Cyanobakterien 816
 - 29.2.2 Interaktion zwischen Pilzen und Wurzeln: Die Mykorrhiza 819
 - 29.2.2.1 Formen der Mykorrhiza 822
 - 29.2.2.2 Rückblick 830
 - 29.2.3 Ektosymbiose zwischen Pilzen und Algen: Die Flechten (Lichenes) 830
 - 29.2.3.1 Struktur und Fortpflanzung der Flechten 832
 - 29.2.3.2 Stoffwechselphysiologische Aspekte der Flechtensymbiose 834
 - 29.2.3.3 Biologie und Ökophysiologie der Flechten 836
 - 29.2.4 Phycosymbiosen: Zusammenleben von Algen und wirbellosen Tieren 840
 - 29.2.4.1 Dinoflagellaten als Endosymbionten 841

- 29.2.4.2 Grünalgen als Endosymbionten 843
- 29.2.4.3 Diebische Schnecken: Die Kleptochloroplasten 844
- 29.3 Parasitismus 845
- 29.3.1 Halbschmarotzer (Hemiparasiten) 845
- 29.3.2 Vollschmarotzer (Holoparasiten) 849
- 29.4 Pflanzenkrankheiten 852
- 29.4.1 Phytopathogenese 852
- 29.4.2 Krankheitserreger bei Pflanzen: Phytopathogene 853
- 29.4.2.1 Phytopathogene Pilze 855
- 29.4.2.2 Phytopathogene Bakterien 855
- 29.4.2.3 Phytopathogene Viren und Viroide 855
- 29.4.3 Die Infektion 857
- 29.4.4 Die Abwehr 858
- 29.4.4.1 Präformierte Abwehrmechanismen 858
- 29.4.4.2 Induzierbare Abwehrmechanismen 858
- 29.4.5 Chemische Waffen des Angreifers:
 - Lytische Enzyme, Phytotoxine, Phytohormone 862
 - Zusammenfassung und Übungsaufgaben 864
 - Weiterführende Literatur 865

Teil E: Pflanzen in ihren Lebensräumen



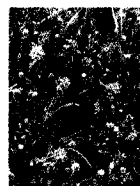
30 Allgemeine Pflanzenökologie 869

- 30.1 Inhalt und Geschichte des Ökologie-Begriffs 869
- 30.2 Autökologie: Der Einzelorganismus in seiner Umwelt 871
- 30.2.1 Standort und Standortfaktoren 871
- 30.2.2 Grundfragen der Autökologie 872
- 30.3 Synökologie: Die Pflanze als Bestandteil eines biologischen Systems 873
- 30.3.1 Der Biotop 874
- 30.3.2 Die Biozönose 874
- 30.3.2.1 Biotische Faktoren 874
- 30.3.2.2 Strukturierung von Biozönosen 875
- 30.3.2.3 Konkurrenz und ökologische Nische 877
- 30.3.3 Die Ökosysteme und ihre Stoffkreisläufe 880
- 30.3.3.1 Stoff- und Energieflüsse in Ökosystemen 880
- 30.3.3.2 Nahrungsnetze und Nahrungskreisläufe 885
- 30.4 Populationsökologie 887
- 30.4.1 Strukturmerkmale einer Population: Abundanz, Dispersion, Altersstruktur 888
- 30.4.2 Wachstum von Populationen 890
- 30.4.3 Genetische Aspekte der Populationsökologie 892
- Zusammenfassung und Übungsaufgaben 898
- Weiterführende Literatur 899



31 Vegetation der Erde: Horizontale und vertikale Gliederung 901

- 31.1 Die Bedeutung des Klimas und daraus abgeleitete Grundbegriffe 901
- 31.2 Einzeldarstellungen der Zonobiome und Vegetationszonen 908
- 31.2.1 Das äquatoriale Zonobiom (I): Immergrüne tropische Feuchtwälder 908
- 31.2.2 Das tropische Zonobiom (II): Tropische Wälder und Savannen 911
- 31.2.3 Tropische Pedobiome, besonders Mangroven 916
- 31.2.4 Das subtropisch-aride Zonobiom (III): Wüstenvegetation 919
- 31.2.5 Das Zonobiom des mediterranen Klimatyps (IV): Hartlaubvegetation 924
- 31.2.6 Warm und kalt temperierte Zonobiome (V und VIII): Temperate Regenwälder 925
- 31.2.7 Typisch temperiertes nemorales Zonobiom (VI): Sommergrüne Laubwälder 926
- 31.2.8 Arid temperiertes kontinentales Zonobiom (VII): Steppen und Wüsten 927
- 31.2.9 Das kalt temperierte, boreale Zonobiom (VIII): Immergrüne Nadelwälder 928
- 31.2.10 Arktisch/antarktisches Zonobiom (IX): Tundra 929
- 31.2.11 Arktische und antarktische Kältewüsten 929
- 31.2.12 Temperate Pedobiome 931
- 31.2.13 Die azonale Vegetation der Orobioime: Gebirge 931
- 31.2.13.1 Die Alpen 931
- 31.2.13.2 Tropische Hochgebirge 933
- Zusammenfassung und Übungsaufgaben 936
- Weiterführende Literatur 937



32 Pflanzensoziologie 939

- 32.1 Definition des Begriffs und Forschungsziele 939
- 32.2 Die pflanzensoziologische Methode 939
- 32.2.1 Die Vegetationsaufnahme 939
- 32.2.2 Herausarbeiten der floristischen Ähnlichkeit von Pflanzengemeinschaften 941
- 32.2.3 Systematisierung von Pflanzengesellschaften 943
- 32.2.4 Korrelation zwischen Pflanzengesellschaften und den ökologischen Standortbestimmungen 946
- 32.2.5 „Vergesellschaftung der Gesellschaften“: Sigmasoziologie 948
- 32.2.6 Stadtökologie 948
- 32.3 Dynamik von Pflanzengesellschaften: Sukzession 949
- Zusammenfassung und Übungsaufgaben 951
- Weiterführende Literatur 951



33 Umweltfaktoren 953

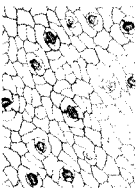
- 33.1 Umweltfaktoren als Substrate und Energiequellen, als Stressoren und als Signale 953
- 33.2 Das biologische Stresskonzept 954
- 33.3 Interaktionen der physikalischen Umweltfaktoren 955
- 33.4 Spezielle Anpassungen 958
 - 33.4.1 Wasser 958
 - 33.4.1.1 Überflutung 958
 - 33.4.1.2 Austrocknung 959
 - 33.4.2 Temperatur 960
 - 33.4.2.1 Temperaturabhängigkeit der Lebensvorgänge 960
 - 33.4.2.2 Kälte- und Frosthärtung 961
- Zusammenfassung und Übungsaufgaben 963

Teil F: Signal-Reaktions-Koppelungen



34 Wachstum, Entwicklung, Altern und Tod 967

- 34.1 Einzeller, annuelle und perennierende Pflanzen 967
- 34.2 Symmetriebrechung und Polaritätsinduktion 969
- 34.3 Differenzierung, Korrelationen und Musterbildung 973
- 34.4 Zell- und Gewebekulturen und die Totipotenzen somatischer Zellen 975
- 34.5 Von der Samenkeimung bis zur Samenbildung, zum Altern und zum Tod 976
 - 34.5.1 Samenkeimung 976
 - 34.5.2 Fruchtwachstum und Samenbildung 978
 - 34.5.3 Programmierter Zelltod (Apoptose) 979
 - 34.5.4 Seneszenz und Abscission 980
 - 34.5.5 Altern und Tod der ganzen Pflanze 981
- Zusammenfassung und Übungsaufgaben 983
- Weiterführende Literatur 984



35 Signale: Eingang und Verarbeitung 987

- 35.1 Physikalische Außenfaktoren 987
 - 35.1.1 Die Organe der Reizaufnahme 987
 - 35.1.2 Die physikalischen Außenfaktoren Temperatur und Licht 989

- 35.1.2.1 Signalwirkung der Temperatur: Stratifikation und Vernalisation 989
- 35.1.2.2 Lichtwirkungen 990
- 35.2 Ein molekulargenetisches Regulationsnetz: Verarbeitung von Temperatur- und Lichtsignalen zur Blühinduktion 1001
- 35.3 Primäre und sekundäre molekulare Botschafter und Signalnetze 1003
 - 35.3.1 Primäre molekulare Botschafter: Die Phytohormone 1003
 - 35.3.1.1 Die Botschafternatur der Phytohormone: Signaltransport 1003
 - 35.3.1.2 Die chemische Charakterisierung der Phytohormone 1005
 - 35.3.1.3 Die Rezeptoren der Phytohormone 1007
 - 35.3.1.4 Die Wirkungen der Phytohormone 1010
 - 35.3.1.5 Der Nachweis von Phytohormonen: Biologische Tests 1012
 - 35.3.1.6 Die Wirkungsweise der Phytohormone: Molekulares Signalnetz 1013
 - 35.3.2 Sekundäre molekulare Botschafter 1018
- 35.4 Die Ausbreitung molekularer Signale und Musterbildung 1020
 - Zusammenfassung und Übungsaufgaben 1023
 - Weiterführende Literatur 1025



36 Physikalische Signale 1027

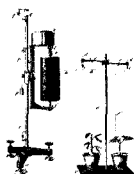
- 36.1 Aktionspotenziale 1027
- 36.2 Erregungsleitung 1029
- 36.3 Reaktionen 1033
- 36.4 Formative Wirkungen 1034
 - Zusammenfassung und Übungsaufgaben 1036
 - Weiterführende Literatur 1036



37 Die Ausnutzung des Lebensraums: Die Bewegungen 1039

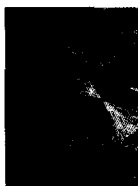
- 37.1 Einteilungsprinzipien 1039
- 37.2 Reizarten 1039
- 37.3 Äußerer Bewegungsverlauf und Reaktionsarten 1040
- 37.4 Bewegungsmechanismen 1042
- 37.5 Freie Ortsbewegungen 1046
 - 37.5.1 Chemotaxis 1046
 - 37.5.2 Phototaxis 1051
- 37.6 Tropistische Bewegungen an den Standort gebundener Pflanzen 1055
 - 37.6.1 Gravitropismus 1055
 - 37.6.1.1 Nachweis des Gravitropismus 1056

- 37.6.1.2 Reizaufnahme und Bewegungsmechanismus 1057
- 37.6.2 Phototropismus 1061
- 37.6.2.1 Photorezeptoren lichtgesteuerter Bewegungsreaktionen 1061
- 37.6.2.2 Linsenwirkungen beim positiven Phototropismus von Pilzen 1062
- 37.6.2.3 Positiver Phototropismus von Farn-Chloronemen: Polarotropismus 1062
- 37.6.2.4 Der Phototropismus höherer Pflanzen 1063
Zusammenfassung und Übungsaufgaben 1065
Weiterführende Literatur 1066



38 Chronobiologie 1069

- 38.1 Historische Reminiszenzen 1069
- 38.2 Grundbegriffe 1071
- 38.3 Phänomene 1073
- 38.4 Ultradiane Rhythmen 1074
- 38.5 Circadiane Rhythmen 1075
- 38.6 Harmonische Schwingungen, stochastische Resonanz und deterministisches Chaos 1077
- 38.6.1 Stochastische Resonanz 1078
- 38.6.2 Deterministisches Chaos 1080
- 38.7 Die Regulationsnetzwerke circadianer Rhythmik 1081
- 38.7.1 Eingangs-, Oszillator- und Ausgangsnetzwerke 1081
- 38.7.2 Genetische Fixierung der Periodenlänge 1083
- 38.7.3 Die biologische Uhr als molekulares Rückkoppelungssystem mit Genregulation 1083
- 38.8 Eine einzige zentrale Uhr oder viele selbstständige Oszillatoren? 1086
- 38.8.1 Systeme von Oszillatoren 1086
- 38.8.2 Unterschiedliche Typen von Oszillatoren 1087
- 38.8.3 Viele Kopien ein und desselben Oszillators 1089
- 38.9 Funktionelle Bedeutung und Evolution der biologischen Uhren 1091
- 38.9.1 Evolution der biologischen Uhren 1091
- 38.9.2 Funktionen biologischer Uhren 1092
Zusammenfassung und Übungsaufgaben 1093
Weiterführende Literatur 1094

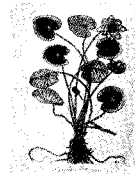


39 Nichtlineare Dynamik und Systembiologie 1097

- 39.1 Vorbemerkung und Begriffe 1097
- 39.2 Nichtlineare Dynamik und Netzwerke 1098
- 39.3 Die „Omics“ der Systembiologie und die Notwendigkeit theoretischer Ansätze 1099

- 39.4 Kippende Zustände: Musterbildung durch Synchronisation/Desynchronisation von Oszillatoren 1102
- 39.5 Deterministisches Chaos: Attraktoren und Regulation 1105
- 39.6 Selbstähnlichkeit fraktaler Strukturen 1107
Zusammenfassung und Übungsaufgaben 1109
Weiterführende Literatur 1109

Teil G: Pflanzen und aktuelle Herausforderungen



40 Motive für die Arbeit mit Pflanzen 1113

- 40.1 Ursprünge und Ausblicke 1113
- 40.1.1 Historische Wurzeln 1113
- 40.1.2 Fragen und Antworten 1115
- 40.2 Die Nutzung der Primärproduktion der Pflanzen 1116
- 40.3 Der Verlust von Anbauflächen und die Nutzung extremer Standorte 1118
- 40.4 Ein Beispiel: Sturzflutlandwirtschaft in der Wüste 1119
- 40.5 Energieversorgung 1123
- 40.6 Globale Veränderungen 1125
- 40.6.1 Diagnosen 1125
- 40.6.2 Biodiversität 1126
- 40.6.3 Klimaänderungen 1130
Zusammenfassung und Übungsaufgaben 1134
Weiterführende Literatur 1135



41 Der Weg von der konventionellen zur molekularen Biotechnologie: Neue Verfahren der Gewinnung pflanzlicher Produkte 1137

- 41.1 Sammler 1137
- 41.2 Pflanzenbauer 1138
- 41.3 Biotechnologie unabhängig von der molekularbiologischen Revolution 1139
- 41.3.1 Konventionelle Pflanzenzüchtung: Künstliche Selektion 1139
- 41.3.2 Neue Verfahren der konventionellen Biotechnologie 1142
- 41.3.2.1 Von der Hydrokultur zur Gewebekultur 1142
- 41.3.2.2 Haploidenzüchtung 1142
- 41.3.2.3 Somatische Hybridisierung 1143
- 41.4 Molekulare Biotechnologie 1144
- 41.4.1 Isolierung und Klonierung von Genen 1144
- 41.4.2 Transformation: Neue Eigenschaften in Empfängerpflanzen 1146

- 41.4.2.1 Zielorte: Kerngenom und Plastidengenom 1146
- 41.4.2.2 Wege der Transformation 1146
- 41.4.2.3 Agrobacterium tumefaciens und sein Plasmid als Vektor für den Gentransfer 1146
- 41.4.3 Unterdrückung vorhandener Eigenschaften:
Die Antisense- und
die RNA-Interferenz-Technik 1149
- 41.4.4 Selektion, Regeneration und Austesten transgener Pflanzen 1149
- 41.5 Neue Produkte der molekularbiologischen Revolution 1152
- 41.6 Nutzen und Risiken, Segen und Fluch:
Die Ambivalenz unseres Tuns 1153
Zusammenfassung und Übungsaufgaben 1155
Weiterführende Literatur 1156



**42 Pflanzen als Ideengeber für Problemlösungen
in der Technik: Bionik 1159**

- 42.1 Was ist Bionik? 1159
 - 42.1.1 Historische Aspekte 1159
 - 42.1.2 Merkmale der Bionik 1159
 - 42.1.3 Vorgehensweisen der Bionik 1162
- 42.2 Abstraktions-Bionik („bottom-up approach“) 1164
 - 42.2.1 Der Klettverschluss 1165
 - 42.2.2 Der Selbstreinigungseffekt („Lotuseffekt“) 1165
 - 42.2.3 Der „technische Pflanzenhalm“ 1168
 - 42.2.4 Kieselalgen als Ideengeber 1169
- 42.3 Analogie-Bionik („top-down approach“) 1171
 - 42.3.1 Strukturen mit Binnendruck: Der Pneu 1172
 - 42.3.2 Schwachstellen in technischen Konstruktionen vermeiden: Bäume als Vorbild 1172
 - 42.3.3 Von den Pflanzen das Fliegen lernen 1174
 - 42.3.4 Licht: Nutzung einer unerschöpflichen Energiequelle 1175
 - 42.3.5 Analogie-Bionik auf molekularer Ebene 1177
 - 42.3.6 Die Evolution als Vorbild für Optimierungsverfahren 1178
- 42.4 Grenzen der Bionik 1179
Zusammenfassung und Übungsaufgaben 1180
Weiterführende Literatur 1181