## **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	Archaebakterien 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 Mitochondrier
	und Chloroplasten enthaltender eukaryotischer
	Zellen 19
1.6.2.1	Cytologische und zellbiologische Beobachtungen 22
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



#### 2 Bioenergetik 29

Weiterführende Literatur 26

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 Substrat-
	konzentration 48
2.7.4.2	Anhängigkeit der Enzymaktivität von Ionen,
	Cofaktoren, Temperatur und pH-Wert 50
2.7.5	Regulierung der Enzymaktivität 50
2.7.5.1	Regulation auf der posttranslationalenen 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



## 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

Weiterführende Literatur 56

#### Teil B: Bau und Funktion der Pflanzenzelle



#### 4 Prinzipen des Membrantransports 69

4.1	Membranen als kontrolliert zu überwindend
	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

Botanik. Ulrich Lüttge, Manfred Kluge und Gerhard Thiel Copyright © 2010 WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim ISBN: 978-3-527-32030-1

#### Χ Inhaltsverzeichnis

4.4.1	Aktiver Transport 78
4.4.2	Passiver Transport 79
4.5	Kanäle 83
	Zugammonfaggung und Übunggaufga

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



6.1

#### 6 Plasmalemma und Tonoplast 109

Inventar von Membranproteinen

in der Plasmamembran 109 Inventar von Membranproteinen im Tonoplasten 113 6.2 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 NADH + H <sup>+</sup> :
	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 Zellstoff-
	wechsel 159
8.4.2	Biosynthese der Triglyceride 159
	Zusammenfassung und Übungsaufgaben 161
	Weiterführende Literatur 162



9.1

#### 9 Mitochondrien und Atmung 165

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 <sub>O</sub> /F <sub>1</sub> -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 Mitochondrien-
	membran 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 Licht-
	absorption 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:
	CO <sub>2</sub> -Assimilation 218
10.4.1	Carboxylierung 219
10.4.2	Reduktion des fixierten Kohlenstoffs 222
10.4.3	Regeneration des CO <sub>2</sub> -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 de
	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-Hydroxymethyltrans
	ferase-Komplex 255
11.2.2	Eine erste Bilanz der Photorespiration:
	Stöchiometrien 257
11.2.3	Eine zweite Bilanz: Was nützt die Photo-
	respiration? 258
	Zusammenfassung und Übungsaufgaben 259
	Weiterführende Literatur 260



#### **12 Metabolismus von Sauerstoff** *263*

12.1	Sauerstoff als Zellgiff: 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

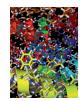


#### **13 Zellwand** *279*

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

#### XII Inhaltsverzeichnis

13.2	Biosynthese der chemischen Zellwandkomponenten
	und ihre Kompartimentierung 286
13.2.1	Dictyosomen und ihre Rolle bei der Zellwandbil-
	dung 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 31.
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

	10 Willeraistonemaniung 307
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 Mineralstof-
	fen 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 Nährstoff-
	gewinn 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./.10.1	BOT 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 Stoff-
	flüsse 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

Weiterführende Literatur 442

Zusammenfassung und Übungsaufgaben 441



## 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

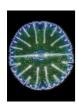


#### **20** Gene, Genome und Evolutionstheorien 455

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	Monadale Organisationsstufe 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
21.2.5.1	± •
	± •
	* * *
21.2.5.4	e ,
	0 1,
21.2.6.3	·
21.3	·
	Weiterführende Literatur 523
21.2.5 21.2.5.1 21.2.5.2 21.2.5.3 21.2.5.4 21.2.6 21.2.6.1 21.2.6.2 21.2.6.3	Subregnum Heterokontobionta: Abteilung Heterokontophyta 510 Klasse Xanthophyceae 510 Klasse Chrysophyceae 511 Klasse Bacillariophyceae (Diatomeae, Kieselalgen) 511 Klasse Phaeophyceae (Braunalgen) 512 Subregnum Chlorobionta 513 Abteilung Chlorophyta 513 Anhang zur Abteilung Chlorophyta: Abteilung Euglenophyta 518 Abteilung Streptophyta, Unterabteilung Streptophytina 518 Ausblick auf die "höheren Pflanzen" 521 Zusammenfassung und Übungsaufgaben 522



### **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 (Marchantio-
	phytina) 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



### 23 Schleimpilze und Pilze 553

Weiterführende Literatur 550

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 65-
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	
2017 1210	Xylemtransport unter Druck: Guttation 711
26.7.2	Xylemtransport unter Druck: Guttation 711 Ferntransport der Assimilate im Phloem 711
	Ferntransport der Assimilate im Phloem 711 Transportierte Stoffe 712
26.7.2	Ferntransport der Assimilate im Phloem 711 Transportierte Stoffe 712 Mechanismus des Assimilattransports 713
26.7.2 26.7.2.1	Ferntransport der Assimilate im Phloem 711 Transportierte Stoffe 712
26.7.2 26.7.2.1 26.7.2.2	Ferntransport der Assimilate im Phloem 711 Transportierte Stoffe 712 Mechanismus des Assimilattransports 713
26.7.2 26.7.2.1 26.7.2.2	Ferntransport der Assimilate im Phloem 711 Transportierte Stoffe 712 Mechanismus des Assimilattransports 713 Beladen und Entladen des Phloems 714
26.7.2 26.7.2.1 26.7.2.2	Ferntransport der Assimilate im Phloem 711 Transportierte Stoffe 712 Mechanismus des Assimilattransports 713 Beladen und Entladen des Phloems 714 Zusammenfassung und Übungsaufgaben 716



XVI

### **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 74
27.7	Metamorphosen des Blattes 743
27.8	Funktionsweise der Blätter 744
27.8.1	Lieвigs "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 CO <sub>2</sub> -Konzentration auf die Photosyn-
	these 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 CO <sub>2</sub> -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



28.7

#### 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 CO <sub>2</sub> -Konzentration in der Luft auf die
	Photosynthese der Landpflanzen 771
28.5	Chloroplasten von C <sub>3</sub> -Pflanzen 772
28.6	C <sub>4</sub> -Photosynthese und Crassulaceen-Säurestoffwechsel
	(CAM): Das Grundprinzip der CO <sub>2</sub> -Konzentrierungs-
	mechanismen 773

C<sub>4</sub>-Photosynthese 774

28.7.1	Strukturelle Grundlagen 7/4
28.7.2	Drei Routen des anorganischen Kohlenstoffs bei der
	Konzentrierung in C <sub>4</sub> -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 CO <sub>2</sub> -
	Rückdiffusion und die Redoxenergie der agranalen
	Chloroplasten 777
28.7.3	C <sub>3</sub> -C <sub>4</sub> -intermediäre Pflanzen und der CO <sub>2</sub> -
	Konzentrierungsmechanismus der C2-Photo-
	synthese 781
28.7.4	C <sub>4</sub> -Photosynthese in einzelnen Zellen 783
28.7.5	Ökophysiologische Vorteile der C <sub>4</sub> -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 C <sub>4</sub> -Photosynthese und CAM 797
	Zusammenfassung und Übungsaufgaben 798
	Weiterführende Literatur 800



740

#### 29 Partnerbeziehungen: Symbiose, Parasitismus, Krankheit 803

29.1	Definitionen und allgemeine Gesichtspunkte 803		
29.2	Symbiosen 804		
29.2.1	N <sub>2</sub> -fixierende Symbiosen 804		
29.2.1.1	N <sub>2</sub> -fixierende Symbiosen zwischen Eubakterien		
	und höheren Pflanzen 804		
29.2.1.2	Rhizobiaceae/Fabales-Symbiosen 807		
29.2.1.3	Actinorhiza 813		
29.2.1.4	N <sub>2</sub> -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	Phytophathogene 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 Aligemente Phanzenokologie 809			
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	0.4.1 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): Wüsten-		
	vegetation 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 Orobiome: 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

Umweltfaktoren als Substrate und Energiequellen,		
als Stressoren und als Signale 953		
Das biologische Stresskonzept 954		
Interaktionen der physikalischen		
Umweltfaktoren 955		
Spezielle Anpassungen 958		
Wasser 958		
Überflutung 958		
Austrocknung 959		
Temperatur 960		
Temperaturabhängigkeit der Lebensvorgänge 960		
Kälte- und Frosthärtung 961		
Zusammenfassung und Übungsaufgaben 963		

## Teil F: Signal-Reaktions-Koppelungen



#### 34 Wachstum, Entwicklung, Altern und Tod 96

	34 wachstum, Entwicklung, Altern und 100 90		
34.1	Einzeller, annuelle und perennierende Pflanzen		
34.2	Symmetriebrechung und Polaritätsinduktion 969		
34.3	Differenzierung, Korrelationen und		
	Musterbildung 973		
34.4 Zell- und Gewebekulturen und die Totipotenz			
	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	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	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

37.6.2	Reizaufnahme und Bewegungsmechanismus 1057 Phototropismus 1061	39.4	Kippende Zustände: Musterbildung durch Synchronisation/Desynchronisation von
37.6.2.1	Photorezeptoren lichtgesteuerter Bewegungs-	20.5	Oszillatoren 1102
	reaktionen 1061	39.5	Deterministisches Chaos: Attraktoren und
37.6.2.2	Linsenwirkungen beim positiven Phototropismus		Regulation 1105
	von Pilzen 1062	39.6	Selbstähnlichkeit fraktaler Strukturen 1107
37.6.2.3	Positiver Phototropismus von Farn-Chloronemen:		Zusammenfassung und Übungsaufgaben 1109
	Polarotropismus 1062		Weiterführende Literatur 1109
37.6.2.4	Der Phototropismus höherer Pflanzen 1063		
	Zusammenfassung und Übungsaufgaben 1065		



### **38 Chronobiologie** 1069

Weiterführende Literatur 1066

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 Rück-
	koppelungssystem 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

## Teil G: Pflanzen und aktuelle Herausforderungen



40.1

#### **40 Motive für die Arbeit mit Pflanzen** 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

Ursprünge und Ausblicke 1113



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

Sammler 1137
Pflanzenbauer 1138
Biotechnologie unabhängig von
der molekularbiologischen Revolution 1139
Konventionelle Pflanzenzüchtung: Künstliche
Selektion 1139
Neue Verfahren der konventionellen
Biotechnologie 1142
Von der Hydrokultur zur Gewebekultur 1142
Haploidenzüchtung 1142
Somatische Hybridisierung 1143
Molekulare Biotechnologie 1144
Isolierung und Klonierung von Genen 1144
Transformation: Neue Eigenschaften in Empfänger-

pflanzen 1146

### XX Inhaltsverzeichnis

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 Energie-
	quelle 1175
42.3.5	Analogie-Bionik auf molekularer Ebene 1177
42.3.6	Die Evolution als Vorbild für Optimierungs-
	verfahren 1178
42.4	Grenzen der Bionik 1179
	Zusammenfassung und Übungsaufgaben 1180
	Weiterführende Literatur 1181