

Botanik

Ulrich Lüttge, Manfred Kluge und Gabriela Bauer

5. vollständig überarbeitete Auflage



WILEY-
VCH

WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA

Inhaltsverzeichnis

- A. Anfänge 1
 - 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 11
 - 1.4.1 Archaebakterien 11
 - 1.4.2 Eubakterien 12
 - 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
 - 1.5.3 Endosymbiontentheorie der Evolution eukaryotischer Zellen 18
 - 1.6 Die Domänen und Reiche der Organismen 20
 - Zusammenfassung 21
 - Weiterführende Literatur 21

- 2 Die Bioenergetik 23
- 2.1 Fließgleichgewichte und Bioenergetik 23
- 2.2 Wärme und Arbeit sind verschiedene Formen von Energie 24
- 2.3 Die Entropie bestimmt die Richtung von Prozessen 26
- 2.4 Die „Freie Energie“ ist ein Maß für nutzbare Energie 27
- 2.5 Die Energiekoppelung bei biochemischen Umsetzungen 28
- 2.6 Die Energiekoppelung bei biophysikalischen
 Umsetzungen mit Licht 30
- 2.6.1 Halobakterien 31
- 2.6.2 Durch Licht energetisierte Redoxreaktionen 32
- 2.6.3 Photosynthese betreibende Eubakterien 35
- 2.6.4 Photosynthese höher entwickelter Formen 37
- 2.6.5 Evolution der Elektronenübertragungsketten der Photosynthese
 und der Atmung 37

2.7	Die Enzyme	38
2.7.1	Aktivierungsenergie und Biokatalyse	38
2.7.2	Stoffliche Eigenschaften von Enzymen	39
2.7.3	Wirkungsweise der Enzyme	41
2.7.4	Kinetik der Biokatalyse	41
2.7.5	Regulierbare Enzyme	43
2.7.6	Benennung von Enzymen	45
	Zusammenfassung	45
	Weiterführende Literatur	46
3	Ebenen der Integration: Arbeitsteilung und Regulation	47
	Zusammenfassung	50
B.	Bau und Funktion der Pflanzenzelle	51
4	Das Plasmalemma und der Tonoplast	53
4.1	Der Membranaufbau	53
4.2	Die passive Permeation	54
4.3	Der primär aktive Transport von Protonen	57
4.4	Die Carrier-Mechanismen	59
4.5	Die Kanäle	61
4.6	Der sekundär aktive Transport	61
	Zusammenfassung	64
	Weiterführende Literatur	64
5	Die Vakuole	65
5.1	Die Vakuolen und Lysosomen: Speicherfunktionen und hydrolytische Enzyme	65
5.2	Die Osmose und der Turgor	65
5.3	Die Wasserpotenzialgradienten und der Volumenfluss	69
5.4	Die Messung der Wasserhaushaltsparameter	71
5.5	Die turgorabhängigen Lebensvorgänge	72
	Zusammenfassung	74
	Weiterführende Literatur	75
6	Das Cytosol und die Glykolyse	77
6.1	Die Begriffe	77
6.2	Die Struktur des Cytosols	77
6.3	Die Stoffwechselprozesse im Cytosol	80
6.3.1	Kohlenhydrate als Energiereserven	80
6.3.2	Mobilisierung der Reservekohlenhydrate	81
6.3.3	Glykolyse	83
6.3.4	Oxidativer Pentosephosphatzyklus	90
6.3.5	Lipidstoffwechsel	91
	Zusammenfassung	93
	Weiterführende Literatur	93

- 7 Die Mitochondrien und die Atmung 95
 - 7.1 Die Struktur der Mitochondrien 95
 - 7.2 Die Atmung 97
 - 7.2.1 Oxidative Decarboxylierung des Pyruvats 98
 - 7.2.2 Zitronensäurezyklus 98
 - 7.2.3 Atmungskette 100
 - 7.2.4 ATP-Bildung in der Atmung 102
 - 7.2.5 Koppelung zwischen Elektronentransport und ATP-Bildung 106
 - 7.2.6 Energiebilanz des Abbaus der Glucose in der Atmung 107
 - 7.2.7 Transport von Metaboliten durch die Mitochondrienmembran 109
 - 7.2.8 Kohlenhydratabbau als Sammelbecken im Stoffwechsel 109
 - 7.3 Die Rolle der Mitochondrien beim Abbau der Fettsäuren 112
 - Zusammenfassung 112
 - Weiterführende Literatur 112

- 8 Die Plastiden und die Photosynthese 113
 - 8.1 Die Chloroplasten 113
 - 8.1.1 Größe und Gestalt 113
 - 8.1.2 Struktureller Feinbau 115
 - 8.1.3 Molekularer Aufbau der Thylakoidmembranen 118
 - 8.2 Die Photosynthese 118
 - 8.2.1 Primärprozess: Photochemische Reaktionen der Photosynthese 119
 - 8.2.2 Sekundärprozess: CO₂-Assimilation 136
 - 8.2.3 Bilanz der Photosynthese 144
 - 8.2.4 Biosynthese der Fettsäuren 244
 - Zusammenfassung 146
 - Weiterführende Literatur 147

- 9 Die Microbodies: Glyoxysomen und Peroxisomen 149
 - 9.1 Die Glyoxysomen 149
 - 9.1.1 Mobilisierung der Fette und Glyoxylsäurezyklus 151
 - 9.1.2 Gluconeogenese 154
 - 9.1.3 ATP-Ausbeute der Fettsäureoxidation 155
 - 9.2 Die Peroxisomen 156
 - 9.2.1 Photorespiration 156
 - 9.2.2 Glykolatweg 157
 - Zusammenfassung 159
 - Weiterführende Literatur 159

- 10 Die Zellwand 161
 - 10.1 Die chemische Zusammensetzung der Zellwände 161
 - 10.1.1 Protopectin 162
 - 10.1.2 Hemicellulosen 162
 - 10.1.3 Cellulose 163
 - 10.1.4 Proteine 163
 - 10.1.5 Chitin 265

- 10.2 Der Feinbau der Zellwand 265
- 10.3 Die Entwicklung der Zellwand 168
 - 10.3.1 Mittellamelle 168
 - 10.3.2 Dictyosomen und Zellwandbildung 269
 - 10.3.3 Primärwand 172
 - 10.3.4 Sekundärwand 172
 - 10.3.5 Durchbrechungen in Zellwänden 173
 - Zusammenfassung 175
 - Weiterführende Literatur 176

- 11 Die Aminosäuren und Proteine 177
 - 11.1 Die Aminosäuren und ihre Eigenschaften 277
 - 11.2 Die Kondensation von Aminosäuren zu Peptiden 280
 - 11.3 Die Eigenschaften der Proteine 282
 - 11.4 Die Strukturhierarchie der Proteine 287
 - 11.4.1 Primärstruktur 187
 - 11.4.2 Sekundärstruktur 288
 - 11.4.3 Tertiärstruktur 289
 - 11.4.4 Quartärstruktur 290
 - 11.5 Die Funktionen der Proteine 191
 - 11.6 Der Stoffwechsel der Aminosäuren und Proteine 191
 - 11.6.1 Synthese von Aminosäuren 292
 - 11.6.2 Umsatz der Proteine 292
 - Zusammenfassung 294
 - Weiterführende Literatur 294

- 12 Die Naturstoffe: Pflanzen als vielseitige Synthetiker 295
 - 12.1 Ein Überblick 195
 - 12.2 Die Terpenoide 195
 - 12.3 Die Phenole 297
 - 12.4 Die Alkaloide und organischen Basen 203
 - 12.5 Die Porphyrine 207
 - Zusammenfassung 207
 - Weiterführende Literatur 207

- 13 Die Pflanzenernährung 209
 - 13.1 Die essenziellen Elemente 209
 - 13.2 Die Rolle von Pflanzen im Stickstoff- und Schwefelkreislauf von Ökosystemen 209
 - 13.3 Der Stoffwechsel des Stickstoffs 222
 - 13.3.1 Nitrataufnahme und Nitratreduktion 212
 - 13.3.2 Fixierung von Luftstickstoff 225
 - 13.4 Der Stoffwechsel des Schwefels 227
 - 13.5 Der Stoffwechsel des Phosphors 217

13.6	Anorganische Ionen als spezielle Standortfaktoren	219
13.6.1	Calcium und Eisen	219
13.6.2	Belastung durch Metalle	222
13.6.3	Salinität	223
	Zusammenfassung	226
	Weiterführende Literatur	227
14	Kompartimentierung, Vernetzung und Regulation des Stoffwechsels	229
14.1	Die Arbeitsteilung und Regulation auf der zellulären Ebene	229
14.2	Die Mechanismen der Regulation auf der zellulären Ebene	229
14.3	Die Basis der metabolischen Regulation	230
14.4	Das Instrumentarium der metabolischen Regulation	230
14.4.1	Kofaktoren	230
14.4.2	Analoge Enzymreaktionen	232
14.4.3	Transportmetabolite	232
14.5	Beispiele metabolischer Regulation	232
14.5.1	Glykolyse	232
14.5.2	Glykolyse - Atmung - Photosynthese	232
14.6	Die Vernetzung des gesamten Stoffwechsels	235
	Zusammenfassung	236
	Weiterführende Literatur	236
15	Das Kontrollzentrum der Zelle: Der Zellkern mit den Chromosomen	237
15.1	Der Zellkern	237
15.2	Das Chromatin und die Chromosomen	239
15.3	Die Kern- und Zellteilung: Mitose	241
	Zusammenfassung	245
	Weiterführende Literatur	245
16	Die genetische Regulation	247
16.1	Die MENDELSchen Regeln	247
16.2	Die extrachromosomale Vererbung	250
16.3	Die Modifikationen und die Mutationen	251
16.4	Die Regulation durch DNA	252
16.4.1	Genetischer Code	252
16.4.2	Autokatalytische Funktion der DNA: Replikation	254
16.4.3	Heterokatalytische Funktion der DNA: Transkription durch RNA-Polymerase	258
16.4.4	Translation und Proteinsynthese	260
16.4.5	Regulation	262
	Zusammenfassung	265
	Weiterführende Literatur	266

C.	Pflanzenorganismen im Lebensraum	267
17	Die Algen	269
17.1	Die vegetativen Entwicklungstendenzen und Lebensweisen der Algen	272
17.1.1	Monadale Organisationsstufe	273
17.1.2	Entwicklung von einzelligen Flagellaten zu mehrzelligen Kolonien mit Arbeitsteilung	273
17.1.3	Coccale Organisationsstufe: Verlust der freien Beweglichkeit	274
17.1.4	Trichale Organisationsstufe	278
17.1.5	Siphonale Organisationsstufe	279
17.1.6	Entwicklung von einfachen Zellfäden zu komplexen Thalli	281
17.2	Die generativen Entwicklungstendenzen	287
17.2.1	Mitosen, Sexualität und Meiose	287
17.2.2	Isogamie, Anisogamie, Oogamie	290
17.2.3	Gametangien und Sporangien	293
17.2.4	Generationswechsel	293
17.3	Ein phylogenetischer Überblick	299
	Zusammenfassung	303
	Weiterführende Literatur	303
18	Der Übergang zum Landleben	305
18.1	Generelle Probleme und deren Lösung beim Übergang der Pflanzen vom Wasser- zum Landleben	305
18.1.1	Sprosspflanzen (Kormophyten) und Lagerpflanzen (Thallophyten)	305
18.1.2	Erfordernisse des Lebens an Land	306
18.2	Die Ur-Landpflanzen und von ihnen ausgehende Evolutionstendenzen	308
18.2.1	Evolution der Sprosspflanzen	309
18.2.2	<i>Rhynia</i> - eine ursprüngliche Sprosspflanze	309
18.2.3	Telomtheorie	322
18.3	Die Moose (Bryophytina)	323
18.3.1	Systematische Gliederung der Moose	323
18.3.2	Fortpflanzung und Vermehrung der Moose	318
18.3.3	Wasserhaushalt und Lebensweise der Moose	322
	Zusammenfassung	324
	Weiterführende Literatur	324
19	Die Schleimpilze und die Pilze	325
19.1	Ein allgemeiner Überblick	325
19.2	Ein systematischer Überblick	325
19.2.1	Organisationsform Schleimpilze	325
19.2.2	Organisationsform Pilze	327
19.3	Die Bedeutung der Pilze	330
	Zusammenfassung	334
	Weiterführende Literatur	334

20	Der Generationswechsel bei Farnen, Gymnospermen und Angiospermen und die Evolution von Blüten, Samen und Früchten	335
20.1	Der Generationswechsel der isosporen Farne	335
20.2	Die Evolution der Blüten	337
20.3	Der Generationswechsel der heterosporen Farne	341
20.4	Die Gymnospermen: Evolution der Samen	343
20.4.1	Männliche Blüten und Pollenkörner	343
20.4.2	Weibliche Blüten und Samenanlagen	346
20.4.3	Bestäubung, Befruchtung und Samenbildung	346
20.4.4	Phylogenetische Tendenzen	347
20.5	Der versteckte Generationswechsel der Angiospermen	349
20.5.1	Staubblätter und Pollenkörner	349
20.5.2	Fruchtknoten und Samenanlagen	350
20.5.3	Bestäubung, Befruchtung, Samen- und Fruchtbildung	352
20.5.4	Phylogenetische Tendenzen	354
20.6	Die Pollenübertragung	354
20.6.1	Bestäubungsmechanismen	354
20.6.2	Phylogenetische Tendenzen	359
20.7	Die Früchte	360
20.8	Die Entwicklungstendenzen bei den Angiospermen	364
20.9	Zusammenfassender Überblick über die Klassen der Pteridophytina und Spermatophytina	368
	Zusammenfassung	369
	Weiterführende Literatur	369
21	Die Pflanzen in ihren Lebensräumen	373
21.1	Die kleinräumige Gliederung der Vegetation: Die Pflanzengesellschaften	373
21.2	Die großräumige Gliederung der Vegetation: Die Biome	376
21.3	Die Biome verschiedener geographischer Breiten	378
21.4	Die Zonierung der Vegetation durch die Höhenlage	385
	Zusammenfassung	387
	Weiterführende Literatur	387

D.	Pflanzenorgane und Funktionen	389
22	Die Wurzel	392
22.1	Der äußere Bau der Wurzeln	391
22.2	Der innere Bau der Wurzeln	392
22.2.1	Primärer Bau	392
22.2.2	Sekundäres Dickenwachstum	398
22.3	Die Aufnahme von Wasser und Nährsalzen durch die Wurzeln	400
22.3.1	Boden	400
22.3.2	Radialer Transport von Wasser und Nährstoffen durch die Wurzeln	402
22.4	Die Metamorphosen der Wurzel	402
	Zusammenfassung	406
	Weiterführende Literatur	408
23	Die Sprossachse	409
23.1	Die äußere Gliederung der Sprossachse	409
23.2	Die Verzweigung der Sprossachse	421
23.3	Der Vegetationskegel	413
23.4	Der Bau der primären Sprossachse	416
23.4.1	Gewebe der primären Sprossachse	416
23.4.2	Leitbündel	417
23.5	Das sekundäre Dickenwachstum	424
23.5.1	Kambium	425
23.5.2	Holz	427
23.5.3	Sekundäre Rinde (Bast)	430
23.5.4	Sekundäres Abschlussgewebe	430
23.5.5	Sekundäres Dickenwachstum der Monokotyledonen	432
23.6	Die Metamorphosen der Sprossachse	434
23.7	Die physiologischen Leistungen der Sprossachse	436
23.7.1	Wassertransport im Xylem	436
23.7.2	Ferntransport der Assimilate im Phloem	441
	Zusammenfassung	443
	Weiterführende Literatur	444
24	Das Blatt	445
24.1	Die Entwicklung der Blätter	445
24.2	Die Blattpyten: Ein Überblick	445
24.3	Die Keimblätter und die Niederblätter	447
24.4	Die Laubblätter	447
24.4.1	Äußere Gestalt	447
24.4.2	Innerer Aufbau der Blattspreite	449
24.5	Die Hochblätter	457
24.6	Die Stellung und Ausrichtung der Blätter	460
24.7	Die Metamorphosen des Blattes	460

- 24.8 Die Funktionsweise der Blätter 464
- 24.8.1 LIEBIGS „Gesetz des begrenzenden Faktors“ 464
- 24.8.2 Gasaustausch 474
- 24.8.3 Wasserverlust und CO₂-Aufnahme - ein Dilemma der Landpflanzen 478
- 24.8.4 Hygrophyten und Hydrophyten 490
 - Zusammenfassung 492
 - Weiterführende Literatur 493

- 25 Ernährungsphysiologische Besonderheiten: Symbiose, Parasitismus, Carnivorie 495
 - 25.1 Definitionen und allgemeine Gesichtspunkte 495
 - 25.2 Die Symbiosen 496
 - 25.2.1 N₂-fixierende Symbiosen 496
 - 25.2.2 Symbiosen zwischen Pflanzen und Pilzen 501
 - 25.3 Der Parasitismus bei Angiospermen 508
 - 25.3.1 Halbschmarotzer (Hemiparasiten) 509
 - 25.3.2 Vollscharotzer (Holoparasiten) 510
 - 25.4 Die Carnivorie 522
 - Zusammenfassung 525
 - Weiterführende Literatur 526

- E. Entwicklung 527
 - 26 Wachstum, Entwicklung, Altern und Tod 529
 - 26.1 Einzeller, annuelle und perennierende Pflanzen 519
 - 26.2 Symmetriebrechung und Polaritätsinduktion 522
 - 26.3 Differenzierung, Korrelationen und Musterbildung 526
 - 26.4 Zell- und Gewebekulturen und die Totipotenz somatischer Zellen 528
 - 26.5 Von der Samenkeimung bis zur Samenbildung, zum Altern und zum Tod 529
 - 26.5.1 Samenkeimung 529
 - 26.5.2 Fruchtwachstum und Samenbildung 530
 - 26.5.3 Abscission 531
 - 26.5.4 Altern und Tod der ganzen Pflanze 532
 - Zusammenfassung 532
 - Weiterführende Literatur 533

 - 27 Die Umweltfaktoren: Signale und Stressoren 535
 - 27.1 Die Organe der Reizaufnahme 535
 - 27.2 Das biologische Stresskonzept 537
 - 27.3 Temperaturwirkungen 538
 - 27.3.1 Temperaturabhängigkeit der Lebensvorgänge 538
 - 27.3.2 Signalwirkung der Temperatur: Stratifikation und Vernalisation 540

- 27 **A** **Lichtwirkungen** 542
 - 27.4.1 Photomorphosen: Phytochrom, Cryptochrom und Phototropin 542
 - 27.4.2 Photoperiodismus 548
 - 27.5 Das molekulargenetische Regulationsnetz bei der Verarbeitung von Temperatur- und Lichtsignalen zur Blühinduktion 550
 - Zusammenfassung 552
 - Weiterführende Literatur 552

- 28 Primäre und sekundäre molekulare Botschafter und Signalnetze** 553
 - 28.1 Die Phytohormone: Primäre molekulare Botschafter 553
 - 28.2 Die chemische Charakterisierung der Phytohormone 558
 - 28.3 Die Wirkungen der Phytohormone 558
 - 28.4 Der Nachweis von Phytohormonen: Biologische Tests 560
 - 28.5 Die Wirkungsweise der Phytohormone 562
 - 28.5.1 Molekulares Signalnetz 562
 - 28.5.2 Sekundäre molekulare Botschafter 568
 - 28.6 Die Ausbreitung molekularer Signale und Musterbildung 568
 - Zusammenfassung 570
 - Weiterführende Literatur 571

- 29 Elektrische Erregung und elektrische Signale** 573
 - 29.1 Aktionspotenziale 573
 - 29.2 Erregungsleitung 573
 - 29.3 Reaktionen 578
 - 29.4 Formative Wirkungen 578
 - Zusammenfassung 580
 - Weiterführende Literatur 580

- 30 Die Ausnutzung des Lebensraums: Die Bewegungen** 581
 - 30.1 Phänomene 581
 - 30.1.1 Äußerer Bewegungsverlauf 581
 - 30.1.2 Reaktionsarten 581
 - 30.1.3 Reizarten 583
 - 30.1.4 Bewegungsmechanismen 583
 - 30.2 Die Orientierung im Raum 584
 - 30.2.1 Gravitropismus 584
 - 30.2.2 Phototropismus 591
 - Zusammenfassung 593
 - Weiterführende Literatur 593

31	Chronobiologie	595
31.1	Historische Reminiszenzen	595
31.2	Grundbegriffe und Konventionen	595
31.3	Die Phänomene	598
31.4	Die circadianen Rhythmen	598
31.5	Die Regulationsnetzwerke circadianer Rhythmik	601
31.5.1	Eingangs-, Oszillator- und Ausgangsnetzwerke	601
31.5.2	Molekulare Grundlagen	601
31.5.3	Eine einzige zentrale Uhr oder viele selbstständige Oszillatoren?	604
31.6	Die funktionelle Bedeutung circadianer Rhythmik	604
	Zusammenfassung	605
	Weiterführende Literatur	605
F.	Pflanzen und aktuelle Herausforderungen	607
32	Umwelt - Ernährung - Energieversorgung	609
32.1	Die Motive für die Arbeit mit Pflanzen	609
32.2	Die Umwelt: Die Ökosysteme und ihre Stoffkreisläufe	610
32.3	Die Nutzung der Primärproduktion der Pflanzen	614
32.3.1	Ernährung	614
32.3.2	Energieversorgung	627
32.4	Globale Veränderungen	629
32.4.1	Diagnosen	629
32.4.2	Verlust der Artenvielfalt	630
32.4.3	Klimaänderungen	631
	Zusammenfassung	632
	Weiterführende Literatur	632
	Sachverzeichnis	633