

U. Lüttge, M. Kluge, G. Bauer

Botanik

Zweite Auflage

WILEY-VCH

Weinheim • New York • Chichester • Brisbane • Singapore • Toronto

Inhalt

A	Anfänge	1
1	Die Evolution bis zu den einfachsten Pflanzen:	
	Photoautotrophe Bakterien - Cyanobakterien - Flagellaten	3
1.1	Einleitung	3
1.2	Die ersten Schritte der Evolution von Lebewesen	3
1.3	Die Evolution der Photosynthese	11
1.4	Der Vergleich der lichtabhängigen Energiegewinnung bei einfachen und hochentwickelten rezenten Organismen	12
1.4.1	Halobakterien	12
1.4.2	Photosynthese betreibende Bakterien	13
1.4.3	Photosynthese höher entwickelter Formen	17
1.4.4	Evolution der photosynthetischen Elektronentransportwege	17
1.5	Die Evolution der Ribulose-bisphosphat-Carboxylase	19
1.6	Die Evolution der Atmung	19
1.7	Die Prokaryonten	20
1.7.1	Bakterien (Archaeobacteria, Eubacteria)	21
1.7.2	Blaugrüne Bakterien (Cyanobacteria)	22
1.8	Die eukaryotischen Zellen	24
1.8.1	Organisation: <i>Euglena</i>	24
1.8.2	Schema der Eukaryonten-Zelle	26
1.8.3	Endosymbiontenhypothese der Evolution eukaryotischer Zellen	27
1.9	Die Organismenreiche	28
	Zum weiteren Studium	30
2	Die Bioenergetik	31
2.1	Fließgleichgewichte und Bioenergetik	31
2.2	Wärme und Arbeit sind verschiedene Formen von Energie	33
2.3	Die Entropie bestimmt die Richtung von Prozessen	34
2.4	Die „Freie Energie“ ist ein Maß für nutzbare Energie	35
2.5	Die Energiekoppelung	35
2.6	Die Enzyme	38
2.6.1	Aktivierungsenergie und Biokatalyse	38
2.6.2	Stoffliche Eigenschaften von Enzymen	39
2.6.3	Wirkungsweise der Enzyme	39
2.6.4	Kinetik der Biokatalyse	41
2.6.5	Regulierbare Enzyme	43
2.6.6	Benennung von Enzymen	46
	Zum weiteren Studium	46

B	Bau und Funktion der Pflanzenzelle	47
3	Die Pflanzenzelle als System von Organellen	49
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	58
4.4	Die Carrier-Mechanismen	60
4.5	Die Kanäle	60
4.6	Der sekundär aktive Transport	62
	Zum weiteren Studium	63
5	Die Vakuole	65
5.1	Speicherfunktionen und hydrolytische Enzyme	65
5.2	Die Osmose und der Turgor	65
5.3	Die Wasserpotentialgradienten und der Volumenfluß	68
5.4	Die Messung der Wasserhaushaltsparameter	70
5.5	Die turgorabhängigen Lebensvorgänge	71
	Zum weiteren Studium	73
6	Das Cytosol und die Glykolyse	75
6.1	Die Begriffe	75
6.2	Die Struktur des Cytosols	75
6.3	Die Stoffwechselprozesse im Cytosol	77
6.3.1	Kohlenhydrate als Energiereserven	77
6.3.2	Mobilisierung der Reservekohlenhydrate	80
6.3.3	Glykolyse	80
6.3.3.1	Umformung des Hexose-Moleküls und seine Spaltung	80
6.3.3.2	ATP-Bildung bei der Glykolyse	83
6.3.3.3	Energiebilanz der Glykolyse	84
6.3.3.4	Anaerobe Reoxidation von NADH+H ⁺ : Gärungen	85
6.3.3.5	Regulation der Glykolyse	85
6.3.4	Oxidativer Pentosephosphat-Zyklus	88
6.3.5	Lipidstoffwechsel	90
	Zum weiteren Studium	90
7	Die Mitochondrien und die Atmung	91
7.1	Die Struktur der Mitochondrien	91
7.2	Die Atmung	93
7.2.1	Oxidative Decarboxylierung des Pyruvats	93
7.2.2	Zitronensäure-Zyklus	94
7.2.3	Atmungskette	96
7.2.4	ATP-Bildung in der Atmung	97
7.2.5	Koppelung zwischen Elektronentransport und ATP-Bildung	101
7.2.6	Energiebilanz des Abbaus der Glucose in der Atmung	102
7.2.7	Transport von Metaboliten durch die Mitochondrienmembran	102
7.2.8	Kohlenhydrat-Abbau als Sammelbecken im Stoffwechsel	103

7.3	Der Abbau von Fettsäuren	.105
7.3.1	Transport durch die Mitochondrienmembran	.105
7.3.2	Zerlegung der Fettsäure-Kette	.108
7.3.3	ATP-Ausbeute der Fettsäure-Oxidation	.108
	Zum weiteren Studium	.108
8	Die Plastiden und die Photosynthese	.109
8.1	Die Chloroplasten	.109
8.1.1	Größe und Gestalt	.109
8.1.2	Struktureller Feinbau	.111
8.1.3	Molekularer Aufbau der Thylakoidmembran	.113
8.2	Die Photosynthese	.115
8.2.1	Photochemische Reaktionen der Photosynthese	.115
8.2.1.1	Elektromagnetische Strahlung: Lichtquanten, Wellenlänge und Energie	.115
8.2.1.2	Absorptionsspektren des Chlorophylls und Rolle der akessorischen Pigmente	.115
8.2.1.3	Anregung des Chlorophylls durch Lichtabsorption	.120
8.2.1.4	Photosysteme	.122
8.2.1.5	Elektronentransport bei der Lichtreaktion	.123
8.2.1.6	Mechanismus der Photophosphorylierung	.126
8.2.2	CO ₂ -Assimilation	.129
8.2.2.1	Carboxylierung	.130
8.2.2.2	Reduktion des fixierten Kohlenstoffs	.132
8.2.2.3	Regeneration des CO ₂ -Akzeptors	.132
8.2.2.4	Synthese photosynthetischer Endprodukte	.132
8.2.3	Bilanz der Photosynthese	.135
8.2.4	Biosynthese der Fettsäuren	.136
	Zum weiteren Studium	.138
9	Die Cytosomen	.139
9.1	Die Lysosomen	.139
9.2	Die Glyoxysomen	.139
9.2.1	Mobilisierung der Fette und Glyoxylsäure-Zyklus	.140
9.2.2	Gluconeogenese	.144
9.3	Die Peroxisomen	.145
9.3.1	Photorespiration	.145
9.3.2	Glykolatweg	.145
	Zum weiteren Studium	.147
10	Die Zellwand	.149
10.1	Die chemische Zusammensetzung der Zellwände	.149
10.1.1	Protopectin	.150
10.1.2	Hemicellulosen	.150
10.1.3	Cellulose	.150
10.1.4	Proteine	.151
10.1.5	Chitin	.151
10.2	Der Feinbau der Zellwand	.153
10.3	Die Entwicklung der Zellwand	.153
10.3.1	Mittellamelle	.153
10.3.2	Dictyosomen und Zellwandbildung	.155
10.3.3	Primärwand	.156

10.3.4	Sekundärwand	.157
10.3.5	Durchbrechungen in Zellwänden.	.159
	Zum weiteren Studium.	.160
11	Die metabolische Regulation	.161
11.1	Allgemeine Gesichtspunkte der Regulation.	.161
11.2	Die Mechanismen der Regulation auf der zellulären Ebene.	.163
11.3	Die Basis der metabolischen Regulation	.163
11.4	Das Instrumentarium der metabolischen Regulation.	.164
11.4.1	Cofaktoren.	.164
11.4.2	Analoge Enzymreaktionen.	.164
11.4.3	Transportmetabolite.	.164
11.5	Beispiele metabolischer Regulation.	.165
11.5.1	Glykolyse	.165
11.5.2	Glykolyse - Atmung - Photosynthese.	.166
12	Das Kontrollzentrum der Zelle: der Zellkern mit den Chromosomen.	.169
12.1	Der Zellkern.	.169
12.2	Das Chromatin und die Chromosomen.	.170
12.3	Die Kern- und Zellteilung: Mitose.	.171
	Zum weiteren Studium	.175
13	Die genetische Regulation	.177
13.1	Die MENDELSchen Regeln.	.177
13.2	Die extrachromosomale Vererbung.	.180
13.3	Die Modifikationen und die Mutationen.	.181
13.4	Die Regulation durch DNA.	.182
13.4.1	Genetischer Code.	.182
13.4.2	Autokatalytische Funktion der DNA: Replikation.	.184
13.4.3	Steuerung der Enzymsynthese.	.184
13.4.4	Regulation.	.190
	Zum weiteren Studium.	.192
14	Die Aminosäuren und Proteine.	.193
14.1	Die Aminosäuren und ihre Eigenschaften.	.193
14.2	Die Kondensation von Aminosäuren zu Peptiden.	.196
14.3	Die Eigenschaften der Proteine.	.197
14.4	Die Struktur-Hierarchie der Proteine.	.201
14.4.1	Primärstruktur.	.201
14.4.2	Sekundärstruktur.	.201
14.4.3	Tertiärstruktur.	.203
14.4.4	Quartärstruktur.	.205
14.5	Die Funktionen der Proteine.	.206
14.6	Der Stoffwechsel der Aminosäuren und Proteine.	.206
14.6.1	Synthese von Aminosäuren.	.206
14.6.2	Umsatz der Proteine.	.207
	Zum weiteren Studium.	.208

15	Die Naturstoffe: Pflanzen als vielseitige Synthetiker.	209
15.1	Einüberblick	209
15.2	Die Terpeneide.	209
15.3	Die Phenole.	212
15.4	Die Alkaloide und organischen Basen.	212
15.5	Die Porphyrine.	222
	Zum weiteren Studium	223
C	Phylogenie der Pflanzen und Besiedelung der Lebensräume	225
16	Die Algen	227
16.1	Die vegetativen Entwicklungstendenzen und Lebensweisen der Algen.	227
16.1.1	Monadale Organisationsstufe.	227
16.1.2	Entwicklung von einzelligen Flagellaten zu mehrzelligen Kolonien mit Arbeitsteilung	228
16.1.3	Coccale Organisationsstufe: Verlust der freien Beweglichkeit.	230
16.1.4	Trichale Organisationsstufe.	234
16.1.5	Siphonale Organisationsstufe.	235
16.1.6	Entwicklung von einfachen Zellfäden zu komplexen Thalli.	237
16.1.6.1	Heterotriche Thalli.	237
16.1.6.2	Plektenchyme der Rotalgen.	237
16.1.6.3	Scheitelzellen als Bildungszentren.	237
16.1.6.4	Thallus der Charophyceae.	240
16.1.6.5	Gewebethalli der Braunalgen.	240
16.2	Die generativen Entwicklungstendenzen.	245
16.2.1	Mitosen, Sexualität und Meiose.	245
16.2.2	Isogamie, Anisogamie, Oogamie.	248
16.2.3	Gametangien und Sporangien.	252
16.2.4	Generationswechsel.	253
16.2.4.1	Grundbegriffe und allgemeine Betrachtung.	253
16.2.4.2	Chlorophyta	256
16.2.4.3	Phaeophyceae.	256
16.2.4.4	Rhodophyta	258
16.3	Ein phylogenetischer Überblick.	259
	Zum weiteren Studium.	259
17	Der Übergang zum Landleben	261
17.1	Generelle Probleme und deren Lösung beim Übergang der Pflanzen vom Wasser- zum Landleben.	261
17.1.1	Thallophyten und Kormophyten.	261
17.1.2	Erfordernisse des Lebens an Land.	261
17.2	Die Ur-Landpflanzen und von ihnen ausgehende Evolutionstendenzen.	264
17.2.1	Evolution der Kormophyten.	264
17.2.2	<i>Rhynia</i> - eine ursprüngliche Sproßpflanze.	265
17.2.3	Telomtheorie.	265
17.3	Die Moose.	270
17.3.1	Systematische Gliederung der Moose.	270
17.3.1.1	Lebermoose (Klasse Marchantiopsida).	270
17.3.1.2	Laubmoose (Klasse Bryopsida).	271

17.3.2	Fortpflanzung und Vermehrung der Moose.	277
17.3.3	Wasserhaushalt und Lebensweise der Moose.	281
	Zum weiteren Studium.	282
18	Die Schleimpilze und die Pilze.	283
18.1	Ein allgemeiner Überblick.	283
18.2	Ein systematischer Überblick.	283
18.2.1	Organisationsform Schleimpilze (Myxomyceten).	283
18.2.2	Organisationsform Pilze.	285
18.3	Die Bedeutung der Pilze.	290
	Zum weiteren Studium.	292
19	Der Generationswechsel bei Farnen, Gymnospermen und Angiospermen und die Evolution von Blüten, Samen und Früchten.	293
19.1	Der Generationswechsel der isosporen Farne.	293
19.2	Die Evolution der Blüten.	295
19.3	Der Generationswechsel der heterosporen Farne.	298
19.4	Die Gymnospermen: Evolution der Samen.	298
19.4.1	Männliche Blüten und Pollenkörner.	301
19.4.2	Weibliche Blüten und Samenanlagen.	301
19.4.3	Bestäubung, Befruchtung und Samenbildung.	304
19.4.4	Phylogenetische Tendenzen.	304
19.5	Der versteckte Generationswechsel der Angiospermen.	307
19.5.1	Staubblätter und Pollenkörner.	307
19.5.2	Fruchtknoten und Samenanlagen.	308
19.5.3	Bestäubung, Befruchtung, Samen- und Fruchtbildung.	309
19.5.4	Phylogenetische Tendenzen.	311
19.6	Die Pollenübertragung.	313
19.6.1	Bestäubungsmechanismen.	313
19.6.2	Phylogenetische Tendenzen.	316
19.7	Die Früchte.	317
19.8	Die Entwicklungstendenzen bei den Angiospermen.	322
19.9	Zusammenfassung.	322
	Zum weiteren Studium.	329
20	Die Pflanzen in ihren Lebensräumen.	331
20.1	Die kleinräumige Gliederung der Vegetation: die Pflanzengesellschaften.	331
20.2	Die großräumige Gliederung der Vegetation: die Biome.	334
20.3	Die Biome verschiedener geographischer Breiten.	336
20.4	Die Zonierung der Vegetation durch die Höhenlage.	343
	Zum weiteren Studium.	344
D	Arbeitsteilung der Organe der Kormophyten.	345
21	Die Wurzel: Bau und Funktionsweise.	347
21.1	Der äußere Bau der Wurzeln.	347
21.2	Der innere Bau der Wurzeln.	348

21.2.1	Primärer Bau	348
21.2.1.1	Wurzelhaube und Vegetationspunkt	348
21.2.1.2	Streckungszone und Wurzelhaarzone	350
21.2.1.3	Seitenwurzeln	353
21.2.2	Sekundäres Dickenwachstum	354
21.3	Die Aufnahme von Wasser und Nährsalzen durch die Wurzeln	356
21.3.1	Boden	356
21.3.2	Radialer Transport von Wasser und Nährstoffen durch die Wurzeln	356
21.4	Die Metamorphosen der Wurzel	358
	Zum weiteren Studium	363
22	Die Sproßachse: Bau und Funktionsweise	365
22.1	Die äußere Gliederung der Sproßachse	365
22.2	Die Verzweigung der Sproßachse	367
22.3	Der Vegetationskegel	367
22.4	Der Bau der primären Sproßachse	370
22.4.1	Gewebe der primären Sproßachse	370
22.4.2	Leitbündel	372
22.4.2.1	Xylem	373
22.4.2.2	Phloem	378
22.4.2.3	Anordnung der Leitbündel	378
22.5	Das sekundäre Dickenwachstum	380
22.5.1	Kambium	382
22.5.2	Holz	384
22.5.3	Sekundäre Rinde (Bast)	385
22.5.4	Sekundäres Abschlußgewebe	388
22.5.5	Sekundäres Dickenwachstum der Monokotyledonen	388
22.6	Die Metamorphosen der Sproßachse	388
22.7	Die physiologischen Leistungen der Sproßachse	394
22.7.1	Wassertransport im Xylem	394
22.7.1.1	Transpiration	394
22.7.1.2	Transpirationsstrom	395
22.7.1.3	Kräftebedarf	396
22.7.1.4	Kohäsion der Wassermoleküle im Xylem	398
22.7.1.5	Wasser- und Nährsalzversorgung durch die Leitbahnen des Xylems	398
22.7.1.6	Xylem-Transport unter Druck: Guttation	398
22.7.2	Ferntransport der Assimilate im Phloem	399
22.7.2.1	Transportierte Stoffe	399
22.7.2.2	Mechanismus des Assimilattransportes	400
22.7.2.3	Beladen des Phloems	401
	Zum weiteren Studium	401
23	Das Blatt: Bau und Funktionsweise	403
23.1	Die Entwicklung der Blätter	403
23.2	Die Blatt-Typen: ein Überblick	403
23.3	Die Keimblätter und die Niederblätter	404
23.4	Die Laubblätter	404
23.4.1	Äußere Gestalt	404

23.4.2	Innerer Aufbau der Blattspreite	407
23.4.2.1	Epidermis	407
23.4.2.2	Mesophyll	411
23.5	Die Hochblätter	417
23.6	Die Stellung und Ausrichtung der Blätter	417
23.7	Die Metamorphosen des Blattes	418
23.8	Die Funktionsweise der Blätter	422
23.8.1	LIEBIGS „Gesetz des begrenzenden Faktors“	422
23.8.1.1	Lichtsättigungskurve der Photosynthese	422
23.8.1.2	Sonnen- und Schattenpflanzen	424
23.8.1.3	Einfluß der Temperatur auf die Photosynthese	428
23.8.1.4	Einfluß der CO ₂ -Konzentration auf die Photosynthese	429
23.8.2	Gasaustausch	430
23.8.2.1	Diffusionswiderstände	430
23.8.2.2	Einfluß äußerer und innerer Faktoren auf die Spaltöffnungsbewegungen	432
23.8.3	Wasserverlust und CO ₂ -Aufnahme - ein Dilemma der Landpflanzen	433
23.8.3.1	Morphologisch-anatomische Auswege aus dem Dilemma: Xerophyten	434
23.8.3.2	Physiologische Auswege aus dem Dilemma: Austrocknungstoleranz	436
23.8.3.3	Biochemische Auswege aus dem Dilemma: Crassulaceen-Säurestoffwechsel und C ₄ -Photosynthese	436
23.8.4	Hygrophyten und Hydrophyten	445
	Zum weiteren Studium	446
24	Die Pflanzenernährung	447
24.1	Die essentiellen Elemente	447
24.2	Die Rolle von Pflanzen im Stickstoff- und Schwefel-Kreislauf von Ökosystemen	447
24.3	Der Stoffwechsel des Stickstoffs	450
24.3.1	Nitrat-Aufnahme und Nitrat-Reduktion	450
24.3.2	Fixierung von Luftstickstoff	452
24.4	Der Stoffwechsel des Schwefels	454
24.5	Der Stoffwechsel des Phosphors	454
24.6	Anorganische Ionen als spezielle Standortfaktoren	454
24.6.1	Salinität	455
24.6.2	Calcium und Eisen	459
	Zum weiteren Studium	461
25	Ernährungsphysiologische Besonderheiten: Symbiose, Parasitismus, Carnivorie	463
25.1	Definitionen und allgemeine Gesichtspunkte	463
25.2	Die Symbiosen	464
25.2.1	N ₂ -fixierende Symbiosen	464
25.2.2	Symbiosen zwischen Pflanzen und Pilzen	465
25.2.2.1	Mykorrhiza	465
25.2.2.2	Flechten	469
25.3	Der Parasitismus bei Angiospermen	471
25.3.1	Halbschmarotzer (Hemiparasiten)	473
25.3.2	Vollschmarotzer (Holoparasiten)	474
25.4	Die Carnivorie	477
	Zum weiteren Studium	480

26	Wachstum, Entwicklung, Altern und Tod.	483
26.1	Einzeller, annuelle und perennierende Pflanzen.	483
26.2	Die Polarität.	485
26.3	Differenzierung und Korrelationen.	487
26.4	Zeil- und Gewebekulturen und die Totipotenz somatischer Zellen.	490
26.5	Die „Signalübermittlung“ zwischen Zellen, Geweben und Organen.	492
26.5.1	Elektrische Signale.	492
26.5.1.1	Aktionspotentiale.	492
26.5.1.2	Erregungsleitung.	492
26.5.1.3	Reaktionen.	495
26.5.1.4	Organe der Reizaufnahme.	495
26.5.2	Phytohormone.	499
26.5.2.1	Chemische Charakterisierung der Phytohormone.	500
26.5.2.2	Wirkungen der Phytohormone.	500
26.5.2.3	Wirkungsweise der Phytohormone.	504
26.5.2.4	Nachweis von Phytohormonen: biologische Tests.	507
26.6	Die Wirkungen von Außenfaktoren.	508
26.6.1	Das biologische Streßkonzept.	508
26.6.2	Temperaturwirkungen.	510
26.6.2.1	Temperaturabhängigkeit der Lebensvorgänge.	510
26.6.2.2	Signalwirkung der Temperatur: Stratifikation und Vernalisation.	512
26.6.3	Lichtwirkungen.	513
26.6.3.1	Photomorphosen und das Phytochromsystem.	513
26.6.3.2	Photoperiodismus.	517
26.7	Von der Samenkeimung bis zur Samenbildung, zum Altern und zum Tod.	520
26.7.1	Samenkeimung.	520
26.7.2	Fruchtwachstum und Samenbildung.	521
26.7.3	Abscission.	521
26.7.4	Altern und Tod der ganzen Pflanze.	522
	Zum weiteren Studium.	523
27	Die Ausnutzung des Lebensraumes: die Bewegungen.	525
27.1	Phänomene.	525
27.1.1	Äußerer Bewegungsverlauf.	525
27.1.2	Reaktionsarten.	525
27.1.3	Reizarten.	527
27.1.4	Bewegungsmechanismen.	527
27.2	Die Orientierung im Raum.	528
27.2.1	Gravitropismus.	528
27.2.1.1	Nachweis des Gravitropismus.	528
27.2.1.2	Reizaufnahme und Bewegungsmechanismus.	530
27.2.2	Phototropismus.	535
	Zum weiteren Studium.	536
28	Die endogenen Rhythmen und die biologische Uhr.	537
28.1	Phänomene.	537
28.2	Circadiane Rhythmen.	537
28.3	Der Mechanismus der biologischen Uhr.	538
	Zum weiteren Studium.	542

E	Pflanzen und die Krisen der Gegenwart	543
29	Umwelt — Ernährung — Energieversorgung	545
29.1	Die Motive für die Arbeit mit Pflanzen	545
29.2	Die Umwelt: Die Ökosysteme und ihre Stoffkreisläufe	546
29.3	Die Nutzung der Primärproduktion der Pflanzen	549
29.3.1	Ernährung	549
29.3.1.1	Agrarökosysteme und die Ausnutzung der Sonnenenergie	549
29.3.1.2	Pflanzenzüchtung	550
29.3.1.3	Molekularbiologische Techniken	555
29.3.1.4	Nutzung der Wüsten	559
29.3.2	Energieversorgung	561
29.4	Globale Veränderungen	562
29.4.1	Diagnosen	562
29.4.2	Verlust der Artenvielfalt	563
29.4.3	Klimaänderungen	563
	Zum weiteren Studium	564
Register		565