

Inhalt

A	Anfänge	1
1	Die Evolution bis zu den einfachsten Pflanzen:	
	Photoautotrophe Bakterien - Blaualgen - 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	Hypothetische Ur-Photosynthese	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	Blaualgen (Cyanobacteria)	22
1.8	Die eukaryontischen Zellen	24
1.8.1	Organisation: <i>Euglena</i>	24
1.8.2	Schema der Eukaryonten-Zelle	26
1.8.3	Endosymbiontenhypothese der Evolution eukaryontischer Zellen	27
1.9	Die Organismenreiche	29
	Zum weiteren Studium	29
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 energetische Koppelung	35
2.6	Die Enzyme	37
2.6.1	Aktivierungsenergie und Biokatalyse	37
2.6.2	Stoffliche Eigenschaften von Enzymen	38

VIII *Inhalt*

2.6.3	Wirkungsweise der Enzyme	39
2.6.4	Kinetik der Biokatalyse	39
2.6.5	Regulierbare Enzyme	43
2.6.6	Benennung von Enzymen	43
	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	57
4.4	Die Carrier-Mechanismen	58
4.5	Der sekundär aktive Transport	60
	Zum weiteren Studium	61
5	Die Vakuole	63
5.1	Speicherfunktionen und hydrolytische Enzyme	63
5.2	Die Osmose und der Turgor	63
5.3	Die Wasserpotentialgradienten und der Volumenfluß	66
5.4	Die Messung der Wasserhaushaltsparameter	68
5.5	Die Turgor abhängigen Lebensvorgänge	69
	Zum weiteren Studium	72
6	Das Cytosol und die Glykolyse	73
6.1	Die Begriffe	73
6.2	Die Struktur des Cytosols	73
6.3	Die Stoffwechselprozesse im Cytosol	75
6.3.1	Kohlenhydrate als Energiereserven	75
6.3.2	Mobilisierung der Reservekohlenhydrate	78
6.3.3	Glykolyse	78
6.3.3.1	Umformung des Hexose-Moleküls und seine Spaltung	78
6.3.3.2	ATP-Bildung bei der Glykolyse	81
6.3.3.3	Energiebilanz der Glykolyse	82
6.3.3.4	Anaerobe Reoxidation von $\text{NADH} + \text{H}^+$: Gärungen	83
6.3.3.5	Regulation der Glykolyse	83
6.3.4	Oxidativer Pentosephosphat-Zyklus	86
6.3.5	Biosynthese der Fettsäuren	88
6.3.5.1	Kompartimentierung des Fettsäure-Stoffwechsels	88
6.3.5.2	Weg der Biosynthese	88
	Zum weiteren Studium	88
7	Die Mitochondrien und die Atmung	91
7.1	Die Struktur der Mitochondrien	91
7.2	Die Atmung	94
7.2.1	Oxidative Decarboxylierung des Pyruvats	94

7.2.2	Zitronensäure-Zyklus	95
7.2.3	Atmungskette	95
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	103
7.2.8	Kohlenhydrat-Abbau als Sammelbecken im Stoffwechsel	105
7.3	Der Abbau von Fettsäuren	107
7.3.1	Transport durch die Mitochondrienmembran	107
7.3.2	Zerlegung der Fettsäure-Kette	107
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 akzessorischen Pigmente	115
8.2.1.3	Anregung des Chlorophylls durch Lichtabsorption	120
8.2.1.4	Photosysteme	121
8.2.1.5	Elektronentransport bei der Lichtreaktion	122
8.2.1.6	Mechanismus der Photophosphorylierung	125
8.2.2	CO ₂ -Assimilation	128
8.2.2.1	Carboxylierung	129
8.2.2.2	Reduktion des fixierten Kohlenstoffs	131
8.2.2.3	Regeneration des CO ₂ -Rezeptors	131
8.2.2.4	Synthese photosynthetischer Endprodukte	131
8.2.3	Bilanz der Photosynthese	134
	Zum weiteren Studium	135
9	Die Cytosomen	137
9.1	Die Lyosomen	137
9.2	Die Glyoxysomen	137
9.2.1	Mobilisierung der Fette und Glyoxylsäure-Zyklus	138
9.2.2	Gluconeogenese	142
9.3	Die Peroxisomen	142
9.3.1	Photorespiration	142
9.3.2	Glykolatweg	142
	Zum weiteren Studium	145
10	Die Zellwand	147
10.1	Die chemische Zusammensetzung der Zellwände	147
10.1.1	Protopectin	148
10.1.2	Hemicellulosen	148
10.1.3	Cellulose	148

X *Inhalt*

10.1.4	Proteine	149
10.1.5	Chitin	149
10.2	Der Feinbau der Zellwand	151
10.3	Die Entwicklung der Zellwand	151
10.3.1	Mittellamelle	151
10.3.2	Dictyosomen und Zellwandbildung	153
10.3.3	Primärwand	154
10.3.4	Sekundärwand	155
10.3.5	Durchbrechungen in Zellwänden	157
	Zum weiteren Studium	158
11	Die metabolische Regulation	159
11.1	Allgemeine Gesichtspunkte der Regulation	159
11.2	Die Mechanismen der Regulation auf der zellulären Ebene	161
11.3	Die Basis der metabolischen Regulation	161
11.4	Das Instrumentarium der metabolischen Regulation	161
11.4.1	Cofaktoren	162
11.4.2	Analoge Enzymreaktionen	162
11.4.3	Transportmetabolite	162
11.5	Beispiele metabolischer Regulation	162
11.5.1	Glykolyse	162
11.5.2	Glykolyse – Atmung – Photosynthese	163
12	Das Kontrollzentrum der Zelle: der Zellkern mit den Chromosomen	167
12.1	Der Zellkern	167
12.2	Die Chromosomen	168
12.3	Die Kern- und Zellteilung: Mitose	169
	Zum weiteren Studium	173
13	Die genetische Regulation	175
13.1	Die MENDELSchen Regeln	175
13.2	Die extrachromosomale Vererbung	178
13.3	Die Modifikationen und die Mutationen	179
13.4	Die Regulation durch DNA	180
13.4.1	Genetischer Code	180
13.4.2	Autokatalytische Funktion der DNA: Replikation	182
13.4.3	Steuerung der Enzymsynthese	182
13.4.4	Regulation	186
	Zum weiteren Studium	189
14	Die Aminosäuren und Proteine	191
14.1	Die Aminosäuren und ihre Eigenschaften	191
14.2	Die Kondensation von Aminosäuren zu Peptiden	194
14.3	Die Eigenschaften der Proteine	195
14.4	Die Struktur-Hierarchie der Proteine	199
14.4.1	Primärstruktur	199
14.4.2	Sekundärstruktur	199
14.4.3	Tertiärstruktur	201

14.4.4	Quartärstruktur	203
14.5	Die Funktionen der Proteine	204
14.6	Der Stoffwechsel der Aminosäuren und Proteine	204
14.6.1	Synthese von Aminosäuren	204
14.6.2	Umsatz der Proteine	205
	Zum weiteren Studium	206
15	Die Naturstoffe: Pflanzen als vielseitige Synthetiker	207
15.1	Ein Überblick	207
15.2	Die Terpenoide	207
15.3	Die Phenole	207
15.4	Die Alkaloide und organischen Basen	213
15.5	Die Porphyrine	220
	Zum weiteren Studium	220
C	Phylogenie der Pflanzen und Besiedelung der Lebensräume	221
16	Die Algen (Phycophyta)	223
16.1	Die vegetativen Entwicklungstendenzen und Lebensweisen der Algen	223
16.1.1	Monadales-Organisationsstufe	223
16.1.2	Entwicklung von einzelligen Flagellaten zu mehrzelligen Kolonien mit Arbeitsteilung	224
16.1.3	Coccales-Organisationsstufe: Verlust der freien Beweglichkeit	226
16.1.4	Trichales-Organisationsstufe	230
16.1.5	Siphonales-Organisationsstufe	231
16.1.6	Entwicklung von einfachen Zellfäden zu komplexen Thalli	233
16.1.6.1	Heterotriche Thalli	233
16.1.6.2	Plektenchyme der Rotalgen	233
16.1.6.3	Scheitelzellen als Bildungszentren	233
16.1.6.4	Thallus der Charophyceae	236
16.1.6.5	Gewebethalli der Braunalgen	236
16.2	Die generativen Entwicklungstendenzen	241
16.2.1	Mitosen, Sexualität und Meiose	241
16.2.2	Isogamie, Anisogamie, Oogamie	244
16.2.3	Gametangien und Sporangien	248
16.2.4	Generationswechsel	249
16.2.4.1	Grundbegriffe und allgemeine Betrachtung	249
16.2.4.2	Chlorophyta	255
16.2.4.3	Phaeophyceae	255
16.2.4.4	Rhodophyta	257
16.3	Ein phylogenetischer Überblick	258
	Zum weiteren Studium	258
17	Der Übergang zum Landleben	259
17.1	Generelle Probleme und deren Lösung beim Übergang der Pflanzen vom Wasser- zum Landleben	259
17.1.1	Thallophyten und Kormophyten	259
17.1.2	Erfordernisse des Lebens an Land	259
17.2	Die Ur-Landpflanzen und von ihnen ausgehende Evolutionstendenzen	261
17.2.1	Evolution der Kormophyten	262

XII *Inhalt*

17.2.2	<i>Rhynia</i> – die Ur-Sproßpflanze	262
17.2.3	Telomtheorie	263
17.3	Die Moose	268
17.3.1	Systematische Gliederung der Moose	268
17.3.1.1	Lebermoose (Klasse Marchantiatae)	268
17.3.1.2	Laubmoose (Klasse Bryatae)	268
17.3.2	Fortpflanzung und Vermehrung der Moose	275
17.3.3	Wasserhaushalt und Ökologie der Moose	279
	Zum weiteren Studium	280
18	Die Schleimpilze und die Pilze	281
18.1	Ein allgemeiner Überblick	281
18.2	Ein systematischer Überblick	281
18.2.1	Organisationsform Schleimpilze (Myxomyceten)	281
18.2.2	Organisationsform Pilze	283
18.3	Die Bedeutung der Pilze	285
	Zum weiteren Studium	289
19	Der Generationswechsel bei Farnen, Gymnospermen und Angiospermen und die Evolution von Blüten, Samen und Früchten	291
19.1	Der Generationswechsel der isosporen Farne	291
19.2	Die Evolution der Blüten	293
19.3	Der Generationswechsel der heterosporen Farne	296
19.4	Die Gymnospermen: Evolution der Samen	296
19.4.1	Männliche Blüten und Pollenkörner	299
19.4.2	Weibliche Blüten und Samenanlagen	299
19.4.3	Bestäubung, Befruchtung und Samenbildung	302
19.4.4	Phylogenetische Tendenzen	302
19.5	Der versteckte Generationswechsel der Angiospermen	305
19.5.1	Staubblätter und Pollenkörner	305
19.5.2	Fruchtknoten und Samenanlagen	306
19.5.3	Bestäubung, Befruchtung, Samen- und Fruchtbildung	307
19.5.4	Phylogenetische Tendenzen	309
19.6	Die Pollenübertragung	311
19.6.1	Bestäubungsmechanismen	311
19.6.2	Phylogenetische Tendenzen	314
19.7	Die Früchte	315
19.8	Die Entwicklungstendenzen bei den Angiospermen	320
19.9	Zusammenfassung	320
	Zum weiteren Studium	327
20	Die Pflanzen in ihren Lebensräumen	329
20.1	Die kleinräumige Gliederung der Vegetation: die Pflanzengesellschaften	329
20.2	Die großräumige Gliederung der Vegetation: die Biome	332
20.3	Die Biome verschiedener geographischer Breiten	334
20.4	Die Biome verschiedener Höhenlagen	341
	Zum weiteren Studium	342

D	Arbeitsteilung der Organe der Kormophyten	343
21	Die Wurzel: Bau und Funktionsweise	345
21.1	Der äußere Bau der Wurzeln	345
21.2	Der innere Bau der Wurzeln	346
21.2.1	Primärer Bau	346
21.2.1.1	Wurzelhaube und Vegetationspunkt	346
21.2.1.2	Streckungszone und Wurzelhaarzone	348
21.2.1.3	Seitenwurzeln	349
21.2.2	Sekundäres Dickenwachstum	351
21.3	Die Aufnahme von Wasser und Nährsalzen durch die Wurzeln	354
21.3.1	Boden	354
21.3.2	Radialer Transport von Wasser und Nährstoffen durch die Wurzeln	354
21.4	Die Metamorphosen der Wurzel	356
	Zum weiteren Studium	361
22	Die Sproßachse: Bau und Funktionsweise	363
22.1	Die äußere Gliederung der Sproßachse	363
22.2	Die Verzweigung der Sproßachse	365
22.3	Der Vegetationskegel	365
22.4	Der Bau der primären Sproßachse	368
22.4.1	Gewebe der primären Sproßachse	368
22.4.2	Leitbündel	370
22.4.2.1	Xylem	370
22.4.2.2	Phloem	375
22.4.2.3	Anordnung der Leitbündel	376
22.5	Das sekundäre Dickenwachstum	378
22.5.1	Kambium	380
22.5.2	Holz	380
22.5.3	Bast	383
22.5.4	Sekundäres Abschlußgewebe	383
22.5.5	Sekundäres Dickenwachstum der Monokotyledonen	386
22.6	Die Metamorphosen der Sproßachse	386
22.7	Die physiologischen Leistungen der Sproßachse	392
22.7.1	Wassertransport im Xylem	392
22.7.1.1	Transpirationsstrom	392
22.7.1.2	Kräftebedarf	394
22.7.1.3	Kohäsion der Wassermoleküle im Xylem	395
22.7.1.4	Xylem-Transport unter Druck: Guttation	395
22.7.2	Ferntransport der Assimilate im Phloem	396
22.7.2.1	Transportierte Stoffe	396
22.7.2.2	Mechanismus des Assimilattransportes	396
22.7.2.3	Beladen des Phloems	397
	Zum weiteren Studium	397
23	Das Blatt: Bau und Funktionsweise	399
23.1	Die Entwicklung der Blätter	399
23.2	Die Blatt-Typen: ein Überblick	399

XIV *Inhalt*

23.3	Die Keimblätter und die Niederblätter	400
23.4	Die Laubblätter	400
23.4.1	Äußere Gestalt	400
23.4.2	Innerer Aufbau der Blattspreite	403
23.4.2.1	Epidermis	403
23.4.2.2	Mesophyll	407
23.5	Die Hochblätter	412
23.6	Die Stellung und Ausrichtung der Blätter	412
23.7	Die Metamorphosen des Blattes	413
23.8	Die Funktionsweise der Blätter	417
23.8.1	LIEBIGS „Gesetz des begrenzenden Faktors“	417
23.8.1.1	Lichtsättigungskurve der Photosynthese	417
23.8.1.2	Sonnen- und Schattenpflanzen	419
23.8.1.3	Einfluß der Temperatur auf die Photosynthese	422
23.8.1.4	Einfluß der CO ₂ -Konzentration auf die Photosynthese	424
23.8.2	Gasaustausch	424
23.8.2.1	Diffusionswiderstände	424
23.8.2.2	Einfluß äußerer und innerer Faktoren auf die Spaltöffnungsbewegungen	426
23.8.3	Wasserverluste und CO ₂ -Aufnahme – ein Dilemma der Landpflanzen	428
23.8.3.1	Morphologisch-anatomische Auswege aus dem Dilemma: Xerophyten	429
23.8.3.2	Physiologische Auswege aus dem Dilemma: Austrocknungstoleranz	429
23.8.3.3	Biochemische Auswege aus dem Dilemma: Crassulaceen-Säurestoffwechsel und C ₄ -Photosynthese	431
23.8.4	Hygrophyten und Hydrophyten	439
	Zum weiteren Studium	440
24	Die Pflanzenernährung	441
24.1	Die essentiellen Elemente	441
24.2	Die Rolle von Pflanzen im Stickstoff- und Schwefel-Kreislauf von Ökosystemen	441
24.3	Der Stoffwechsel des Stickstoffs	443
24.3.1	Nitrat-Aufnahme und Nitrat-Reduktion	443
24.3.2	Fixierung von Luftstickstoff	446
24.4	Der Stoffwechsel des Schwefels	448
24.5	Der Stoffwechsel des Phosphors	448
24.6	Anorganische Ionen als spezielle Standortfaktoren	449
24.6.1	Salinität	449
24.6.2	Calcium und Eisen	453
	Zum weiteren Studium	455
25	Ernährungsphysiologische Besonderheiten: Symbiose, Parasitismus, Carnivorie	457
25.1	Definitionen und allgemeine Gesichtspunkte	457
25.2	Die Symbiosen	458
25.2.1	N ₂ -fixierende Symbiosen	458
25.2.2	Symbiosen zwischen Pflanzen und Pilzen	459
25.2.2.1	Mykorrhiza	459
25.2.2.2	Flechten	463
25.3	Der Parasitismus bei Angiospermen	465
25.3.1	Halbschmarotzer (Hemiparasiten)	467

25.3.2	Vollschmarotzer (Holoparasiten)	468
25.4	Die Carnivorie	471
	Zum weiteren Studium	475
26	Wachstum, Entwicklung, Altern und Tod	477
26.1	Einzeller, annuelle und perennierende Pflanzen	477
26.2	Die Polarität	479
26.3	Differenzierung und Korrelationen	480
26.4	Zell- und Gewebekulturen und die Omnipotenz somatischer Zellen	483
26.5	Die „Signalübermittlung“ zwischen Zellen, Geweben und Organen	485
26.5.1	Elektrische Signale	485
26.5.1.1	Aktionspotentiale	485
26.5.1.2	Erregungsleitung	485
26.5.1.3	Reaktionen	488
26.5.1.4	Organe der Reizaufnahme	488
26.5.2	Phytohormone	490
26.5.2.1	Chemische Charakterisierung der Phytohormone	491
26.5.2.2	Wirkungen der Phytohormone	492
26.5.2.3	Wirkungsweise der Phytohormone	496
26.5.2.4	Nachweis von Phytohormonen: biologische Tests	497
26.6	Die Wirkungen von Außenfaktoren	497
26.6.1	Temperaturwirkungen	498
26.6.1.1	Temperaturabhängigkeit der Lebensvorgänge	498
26.6.1.2	Signalwirkung der Temperatur: Stratifikation und Vernalisation	499
26.6.2	Lichtwirkungen	501
26.6.2.1	Photomorphosen und das Phytochromsystem	501
26.6.2.2	Photoperiodismus	504
26.7	Von der Samenkeimung bis zur Samenbildung, zum Altern und zum Tod	508
26.7.1	Samenkeimung	508
26.7.2	Fruchtwachstum und Samenbildung	509
26.7.3	Abscission	509
26.7.4	Altern und Tod der ganzen Pflanze	510
	Zum weiteren Studium	511
27	Die Ausnutzung der Lebensräume: die Bewegungen	513
27.1	Phänomene	513
27.1.1	Äußerer Bewegungsverlauf	513
27.1.2	Reaktionsarten	513
27.1.3	Reizarten	515
27.1.4	Bewegungsmechanismen	515
27.2	Die Orientierung im Raum	516
27.2.1	Gravitropismus	516
27.2.1.1	Nachweis des Gravitropismus	516
27.2.1.2	Reizaufnahme und Bewegungsmechanismus	518
27.2.2	Phototropismus	522
	Zum weiteren Studium	524

28	Die endogenen Rhythmen und die biologische Uhr	525
28.1	Phänomene	525
28.2	Circadiane Rhythmen	525
28.3	Der Mechanismus der biologischen Uhr	526
	Zum weiteren Studium	529
E	Pflanzen und die Krisen der Gegenwart	531
29	Umwelt – Ernährung – Energieversorgung	533
29.1	Die Motive für die Arbeit mit Pflanzen	533
29.2	Die Umwelt: Ökosysteme und ihre Stoffkreisläufe	534
29.3	Die Nutzung der Primärproduktion der Pflanzen	537
29.3.1	Ernährung	537
29.3.1.1	Agrarökosysteme und die Ausnutzung der Sonnenenergie	537
29.3.1.2	Pflanzenzüchtung	538
29.3.1.3	Gentechnologie	544
29.3.1.4	Nutzung der Wüsten	548
29.3.2	Energieversorgung	550
	Zum weiteren Studium	551
	Register	553