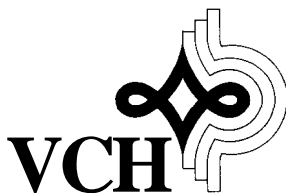


U. Lüttge, M. Kluge, G. Bauer

Botanik

Ein grundlegendes Lehrbuch



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

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 Lebens Vorgänge.	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 Lysosomen.	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

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

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

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	Zeil- 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