

Inhaltsverzeichnis

Teil I Die Pflanzen kleiden die Erde in Grün	1
1 Pflanzen sind besondere Lebewesen	3
1.1 Die erste Energiekrise des Lebens und die Lösung durch die Fotovoltaik grüner Zellen	3
1.2 Ständiger Durchfluss von Energie und Material durch die lebenden Systeme	4
1.3 Pflanzen sind Selbstversorger und versorgen alles andere Leben mit	6
Literatur	9
2 Startpunkt für die Eroberung des Planeten Erde durch das Leben: Fotosynthese der einfachsten grünen Zellen	11
2.1 Der Anfang: Prokaryotische grüne Zellen und Chloroplasten	12
2.2 Der Trick der Biofotovoltaik: Elektronen für die Biomasseproduktion im Licht	13
2.3 Die Erfolgsgeschichte des Lebens auf der Erde: Chlorophyll und Fotosynthese	15
3 Die Eroberung des Festlandes	21
3.1 Fotosynthetisch aktives Leben bedeckt jede freie Stelle des Festlandes	21
3.2 Grünalgen – die Ahnen der Landpflanzen	24
3.3 Frei bewegliche Schwimmer und fest verwurzelte Rasen: Erstaunliche Entwicklungstendenzen	27

3.4	Fit für das Leben auf dem Trockenem?	31
3.5	Bilder der ersten durch Pflanzen geformten Landschaften	32
3.6	Die Vegetation schreibt Erdgeschichte	34
3.7	Die Entstehung von Blüten, Samen und Früchten	37
3.8	Das Pflanzenkleid der Erde bestimmt auch unsere Luft	40
3.9	Herausforderungen für das Leben der Pflanzen an Land	41
	Literatur	42
Teil II Herausforderungen bei der Anpassung an das Landleben		43
4	Stark wie eine Eiche – Standfestigkeit auf dem Land	45
4.1	Charakteristische Gestalten der Sprosspflanzen auf dem Land	46
4.2	Baustoffe: Holz als biologischer Stahlbeton	47
4.3	Bauteile	50
4.4	Bauelemente	52
4.5	Baustrukturen	52
	Literatur	56
5	Gefahr des Verdurstens an Land	57
5.1	Feuchte Oberflächen an der Luft	58
5.2	Wasserundurchlässige Außenhaut: Cuticula	59
5.3	Verdursten oder Verhungern?	61
5.4	Durchlüftung der Blätter: Der Gasaustausch	61
5.5	Dynamisches Öffnen und Schließen von Gasventilen: die Stomata oder Spaltöffnungen	63
5.6	Hoch komplex regulierte Ventilfunktionen der Spaltöffnungen	65
	Literatur	66
6	Auf dem Trockenem sitzen: Welche Anpassungen der Baupläne sind nötig?	67
6.1	Wegducken oder Imponieren: Anpassungen der Gestalt	67
6.2	Stress vermeiden: saisonale aridopassive Vermeidungsstrategien	68
6.3	Aridopassive und aridoaktive Strategien der Wurzeln	69
6.4	Über der Erde: Gestalt der Blätter	70
6.5	Gefäße zum Abfüllen von Wasser: Phytohelmen	72
6.6	Aufsaugen: Wasserspeichergewebe und Sukkulenz	74

6.7	Ganz trocken oder ganz nass: Verhalten an den äußersten Rändern der Möglichkeiten	77
	Literatur	82
7	Auf dem Trockenen sitzen: Welche biochemischen Anpassungen helfen?	83
7.1	Ausnutzung der außerirdischen Energiequelle Sonne zur Assimilation anorganischen Kohlenstoffs für das irdische Leben	84
7.2	Das Grundmodul: Biophysikalische Licht- und biochemische Assimilationsreaktionen finden zur gleichen Zeit und am selben Ort statt	85
7.3	Eine Ergänzung des Grundmoduls zum Wassersparen: Biophysikalische Licht- und biochemische Assimilationsreaktionen finden zur gleichen Zeit, aber an verschiedenen Orten statt	86
7.4	Eine andere Form der Ergänzung des Grundmoduls zum Wassersparen: Biophysikalische Licht- und biochemische Assimilationsreaktionen finden am gleichen Ort, aber zu verschiedenen Zeiten statt	88
7.5	Ökologische Erfolgsgeschichten	89
7.6	Crassulaceen-Säurestoffwechsel-Pflanzen als Jongleure der Fotosynthese	93
	Literatur	95
8	Die Sonnenstrahlung auf dem Land	97
8.1	Sonnenkult und Sonnenbrand: das Streben zum Licht	97
8.2	Licht und Schatten	99
8.3	Zu viel Energie im Licht: Sauerstoffradikale und Fotodestruktion	103
8.4	Eine weitere ökologische Dienstleistung der Pflanzen: der Erhalt der Gaszusammensetzung der Erdatmosphäre	104
	Literatur	105
9	Pflanzenernährung	107
9.1	Pflanzen ernähren die Welt – wie ernähren sich die Pflanzen?	108
9.2	Besondere Leistungen der Pflanzen für das Leben in Zusammenarbeit mit Mikroorganismen: Assimilation von oxidiertem Stickstoff und Schwefel	109

9.3	Auch Pflanzen fressen Fleisch	113
9.4	Kalk, Säure und Eisen	115
9.5	Kochsalz als Standortfaktor	117
9.6	Botanischer Bergbau: toxische und janusköpfige Metalle	120
10	Sesshaftigkeit und die Eroberung des Raumes	121
10.1	Festgewachsene Pflanzen: Verurteilung zur Passivität im Raum?	122
10.2	Sexualität, ohne je dem Partner begegnet zu sein	122
10.3	Transportmittel: Schwimmeinrichtungen, Flugeinrichtungen, Schleudern, Raketen und blinde Passagiere	124
10.4	Der Raum als Ressource	126
	Literatur	128
Teil III	Modularität oder Emergenz?	129
11	Kontrast zweier Auffassungen: Pflanzen aus dem Baukasten versus Pflanzen als denkende Wesen	131
11.1	„Vegetieren“: ein Nebenprodukt aus dem Baukasten der Module	132
11.2	Nerven, Synapsen und Gehirne bei Pflanzen?	132
11.3	Signale und ihre Information: der Brückenschlag	134
	Literatur	135
12	Skalierungen und die Hierarchie der Module	137
12.1	Zusammenbauen und Zerlegen	137
12.2	Reduzieren und Spezialisieren: Lehrt es uns mehr und mehr über immer weniger und weniger?	138
12.3	Sehr klein und sehr groß: riesige Spannweite der Größenordnungen	139
12.4	Hierarchien von Modulen und Netzwerken	141
12.5	Verknüpfung der Module: Addition oder Integration?	143
	Literatur	144
13	Emergenz oder Fulguration: Blitzartig entsteht Neues	145
13.1	Poesie impressionistischer Gemälde und Wetterleuchten der Innovation integrierter Systeme	146
13.2	Emergenz neuer physikalischer Gesetze bei der Integration von Systemen	146

13.3	Emergenz neuer molekularer Wunderwerke aus Proteinen als Bausteinen	149
13.4	Modularität und Emergenz: Gegensätze oder Entwicklungslinien?	151
13.5	Das Genom: Konzertflügel unter den Händen des Interpreten	151
13.6	Hierarchie der emergenten Systeme	154
	Literatur	154
14	Die Stufenleiter der Integration	155
14.1	Organismen sind nie alleine: Holobionten	156
14.2	Endosymbiosen: grüne Holobionten	157
14.3	Alle Zellen sind Holobionten: die Endosymbiontentheorie der Evolution eukaryotischer Zellen	161
14.4	Auch Ökosysteme sind Holobionten: von Ektosymbiosen zu höheren Verbundsystemen	164
14.5	Supra-Holobiont: Gaia oder die ganze Biosphäre	168
	Literatur	168
Teil IV	Mechanismen der Integration	171
15	Transport für die Integration	173
15.1	Notwendige Durchbrechung notwendiger Grenzen: Transport	174
15.2	Fußgänger – Straßenbahnen – Hochgeschwindigkeitszüge: Transport für die Integration auf verschiedenen Skalen	174
15.3	Karte der Transportwege in der Pflanzenwurzel	175
15.4	Die Möglichkeiten der Fußgänger: Wege des Kurzstreckentransportes durch Membranen	177
15.5	Fernstrecken für Wasser und Nährsalze und für Fotosyntheseprodukte	179
15.6	Ferntransport von Wasser: einfach wie Wäschetrocknen	180
15.7	Tau, Schweiß oder eine aktive Leistung der Wurzeln? Die Guttation oder der Wassertransport unter Druck	183
15.8	Fluss von der Quelle der Produktion zur Senke des Verbrauches	183
15.9	Fernleitung von Signalen und Information	185
	Literatur	186

16 Reize und Signale: Information für die Integration	187
16.1 Das Bombardement durch Reize und Signale	188
16.2 Die Medien und Wege der Flüsse von Signalen	189
16.3 Elektrisierung: elektrische Signale	190
16.4 Wasser, Wasser: hydraulische Signale	193
16.5 Chemische Signale aus dem Baukasten der Pflanzen	194
16.6 Signalisieren auf ökologischer Ebene	196
16.7 Warnung auf dem Luftweg: „Bin schon da!“	197
16.8 Farbige Lichtsignale: Pflanzen machen unsere Welt bunt! Ist ihre eigene Welt auch bunt?	198
Literatur	201
17 Bewegungen und die Eroberung des Raumes	203
17.1 Fest verwurzelt in der Erden und doch voller Dynamik: Bewegung, das ist das Leben!	204
17.2 Klappen und Schnappen	205
17.3 Bewegungen im Raum durch Wachstum	208
17.4 Gravitation als treibende Kraft	210
17.5 Gravitation: elektrische und hormonelle Effekte	211
17.6 Gravitropische Sinnesänderungen während der Entwicklung	214
Literatur	215
18 Pflanzen haben eine Uhr	217
18.1 Uhren zeigen Rhythmik	218
18.2 Ein schwingendes Pendel lehrt uns die Begriffe der Wissenschaft von den Rhythmen	218
18.3 Viele Lebensvorgänge verlaufen rhythmisch	219
18.4 Morgens fit, abends müd: die innere Uhr der Tagesrhythmik	221
18.5 Pflanzen messen mit ihrer Uhr die Tageslänge und bestimmen die Jahreszeit	223
18.6 Die frei laufende innere Uhr ist nur beinahe genau	224
18.7 Das molekulare Räderwerk der biologischen Uhr der Pflanzen	225
18.8 Verstellen der Uhr	227
Literatur	228
19 Pflanzen haben ein Gedächtnis	229
19.1 Gedächtnis: eine universelle Eigenschaft des Lebens	230
19.2 Hysterisis: Ein Zurückbleiben heißt Erinnern	230

19.3	Lernen und wieder vergessen durch Anschalten und Abschalten von Genen	231
19.4	Speicher- und Abruffunktionen des Gedächtnisses der höheren Pflanzen: Experimente mit dem Zweizahn, Bidens	233
19.5	Erinnerung an Nadelstiche hemmt das Wachstum	234
19.6	Enthauptung führt zu Asymmetrie	235
19.7	Erinnerungen an Stress werden an die Nachkommenschaft weitergegeben	236
19.8	Die biologische Uhr und das Gedächtnis: Hat die biologische Uhr Gedächtnisfunktionen?	237
19.9	Das Netzwerk des Pflanzengedächtnisses	238
	Literatur	239
Teil V Pflanzen gestalten unsere Umwelt auf der Erdoberfläche		241
20	Auf- und Absteigen auf der Stufenleiter der Betrachtungsebenen	243
20.1	Das Pflanzenkleid der Erde ist kein homogenes grünes Gewand	243
20.2	Klima- und Vegetationszonen	244
20.3	Große Räume des Lebens auf der Erde: Zonobiome	245
20.4	Eingefügt in die Zonobiome: Vielfalt charakteristischer, azonaler Biome auf besonderem Untergrund und in den Gebirgen	250
20.5	Bedrohtes Erbe der Natur	253
	Literatur	254
21	Bunte Vielfalt des von den Pflanzen lebendig gestalteten Raumes	255
21.1	Vier Eigenschaften einzelner Pflanzen und ihrer Lebensgemeinschaften vernetzen sich	256
21.2	Plastizität ist Flexibilität: Pflanzen brauchen sie besonders, weil sie nicht wegrennen können	256
21.3	Diversität ist Vielfalt	261
21.4	Komplexität ist vernetzte Vielfalt	264
21.5	Wie sichern Plastizität, Diversität und Komplexität Stabilität? Robustheit dynamischer Gleichgewichte	264
21.6	Nachhaltigkeit beruht auf Stabilität	265
	Literatur	266

Teil VI Probleme der Gaia und der Menschheit	269
22 Reparatur zerstörter Landschaft	271
22.1 Pflanzen verwandeln Industrielandschaften	271
22.2 Belebung der Landschaft in geologischer Zeit	274
22.3 Belebung der Landschaft in ökologischer Zeit	275
22.4 Unerwartete Potenzen von Pionieren: Pflanzen und die Kraft zur Regeneration	277
22.5 Gerichtete Veränderung von Standorten durch die Vegetation: Sukzessionen	279
22.6 Können wir aus der Leistung der Pflanzen für uns Optimismus schöpfen?	281
Literatur	281
23 Impulse von Pflanzen zum Schaffen der Ingenieure: Bionik	283
23.1 Von Pflanzen das Rollen und Fliegen lernen	284
23.2 Ideen aus der Beobachtung der Natur: Meilensteine der Bionik	285
23.3 Plagiat oder Inspiration? Interdisziplinäre Kreationen von Biologen und Ingenieuren	288
23.4 Spricht die Biologie zur Technik: Ich hab was, wär das nicht was?	290
23.5 Spricht die Technik zur Biologie: Ich brauch was, hast du nicht was?	294
23.6 Bionik molekular	296
23.7 Geistige Nutzung der Natur bleibt immer nachhaltig	298
Literatur	298
24 Biotechnologie und synthetische Biologie	299
24.1 Was ist das: Biotechnologie und synthetische Biologie? „Verlutieren und gehörig kohobieren!“	300
24.2 Inhaltsstoffe von Pflanzen: Sammeln – Analysieren – Isolieren – Strukturaufklärung – Synthetisieren	301
24.3 Am Lebenden konstruieren: Pflanzenzüchtung	303
24.4 Kultur in der Phirole	305
24.5 Genetische Sklaverei: Genmanipulation durch Bakterien und ganz ohne den Menschen	307
24.6 Suchen, Isolieren und Vermehren von Genen	308
24.7 Neue Eigenschaften in Empfängerpflanzen: Transformation	310

24.8	Die molekularbiologische Revolution und ihre neuen Produkte	311
24.9	Segen und Fluch – Nutzen und Risiken: die Ambivalenz unseres Tuns	312
	Literatur	313
25	Unser täglich Brot – die Ernährung der Menschen	315
25.1	Urtümliche Landwirtschaft und das Problem der Welternährung	315
25.2	Was kann der Mensch „herausholen“? Geschichte der Agroökosysteme	316
25.3	Der Planet Erde mit seinem grünen Kleid und seiner Sonne: Absorbierte Strahlung und was kommt dabei heraus?	318
25.4	Ein bisschen rechnen: Was lehrt uns der Zwang der Zahlen?	319
25.5	Über neun Milliarden Menschen: Die Zahl der Individuen einer einzigen Art wächst und wächst	320
25.6	Schwindende Ressourcen: Bringen wir unser Erbe durch?	322
25.7	Wunschvorstellungen von Gesellschaft und Politik	326
25.8	Was können wir uns leisten und was nicht?	326
25.9	Was können wir tun? Biotechnologie	331
25.10	Ausnutzung der Sonnenstrahlung: Können wir der Fotosynthese „Beine machen“?	332
25.11	Kann es eine konzertierte Aktion zwischen der wissenschaftlichen Forschung zum Leben der landwirtschaftlichen Kulturpflanzen, einer weiseren Gesellschaft und einer handlungsfähigeren Politik geben oder werden wir untergehen?	334
	Literatur	335
26	Gaia: dynamisches Gleichgewicht der Biosphäre und Imperativ des Lebens auf der Erde	337
26.1	Kommen und Gehen der Partner im Supra-Holobiont Gaia	338
26.2	Auch Menschen kamen und gingen	339
26.3	Fünf Aussterbewellen der Erdgeschichte	340
26.4	Die Antworten der Gaia	341
26.5	Die sechste Aussterbewelle in der Gegenwart	342
26.6	Der Mensch auf der Erde: ein kategorischer Imperativ?	344
	Literatur	345

Teil VII	Verständnis des Lebens	347
27	Eine Herausforderung	349
27.1	Schock und Herausforderung	350
27.2	Was versteht die Botanik vom Leben?	350
27.3	Transzendenz braucht Naturwissenschaft	351
	Literatur	352
28	Schönheit	353
28.1	Scientia amabilis	354
28.2	Der Goldene Schnitt	354
28.3	Der Goldene Winkel	355
28.4	Die Evolution des Goldenen Winkels und die Schönheit	356
	Literatur	360
	Literatur	361
	Stichwortverzeichnis	363