



Joachim W. Kadereit
Christian Körner
Benedikt Kost
Uwe Sonnewald



Strasburger Lehrbuch der Pflanzen- wissenschaften

37. Auflage

 Springer Spektrum

Inhaltsverzeichnis







Teil I Struktur

Danksagung	2
1 Bau und Feinbau der Zelle	3
<i>Benedikt Kost</i>	
1.1 Zellbiologie	4
1.1.1 Lichtmikroskopie	4
1.1.2 Elektronenmikroskopie	8
1.2 Die Pflanzenzelle	9
1.2.1 Übersicht	9
1.2.2 Cytoplasma	12
1.2.3 Zellkern	20
1.2.4 Ribosomen	34
1.2.5 Biomembranen	36
1.2.6 Zelluläre Membranen und Kompartimente	39
1.2.7 Zellwände	47
1.2.8 Mitochondrien	59
1.2.9 Plastiden	61
1.3 Endosymbiontentheorie und Hydrogenhypothese	67
1.3.1 Endocytobiose	67
1.3.2 Entstehung der Plastiden und Mitochondrien durch Symbiogenese	68
 Weiterführende Literatur	69
2 Die Gewebe der Gefäßpflanzen	71
<i>Benedikt Kost</i>	
2.1 Bildungsgewebe (Meristeme)	72
2.1.1 Apikale (Scheitel-)Meristeme und Primärmeristeme	73
2.1.2 Laterale Meristeme (Cambien)	78
2.2 Dauergewebe	78
2.2.1 Parenchym	79
2.2.2 Abschlussgewebe	79
2.2.3 Festigungsgewebe	87
2.2.4 Leitgewebe	89
2.2.5 Drüsenzellen und -gewebe	93
 Weiterführende Literatur	96
3 Funktionelle Morphologie und Anatomie der Gefäßpflanzen	97
<i>Benedikt Kost, Joachim W. Kadereit</i>	
3.1 Morphologie und Anatomie	98
3.1.1 Homologie und Analogie	99
3.1.2 Kormus und Thallus	101
3.2 Sprossachse	102
3.2.1 Längsgliederung	104
3.2.2 Blattstellungen	106
3.2.3 Rhizome	107
3.2.4 Lebensformen	108
3.2.5 Verzweigung der Sprossachse	110
3.2.6 Besondere Funktionen und Anpassungsformen	114
3.2.7 Anatomie der Sprossachse im primären Zustand	118
3.2.8 Sprossachsen im sekundären Zustand	122


3.3	Blattorgane: Formen und Metamorphosen	132
3.3.1	Laubblatt	133
3.3.2	Blattfolge	138
3.3.3	Gestaltabwandlungen bei Blättern	139
3.4	Wurzeln	143
3.4.1	Wurzelsysteme	143
3.4.2	Anatomie der Wurzel	149
3.5	Reproduktionsorgane der Samenpflanzen	152
3.5.1	Blüten	152
3.5.2	Blütenstände	164
3.5.3	Bestäubung	165
3.5.4	Befruchtung	169
3.5.5	Samen	170
3.5.6	Früchte	171
3.5.7	Samen- und Fruchtausbreitung	173
3.5.8	Samenkeimung	175
	 Weiterführende Literatur	176

Teil II Genetik

	Danksagung	179
4	Proteine	181
	<i>Benedikt Kost</i>	
4.1	Aminosäuren, die Bausteine der Proteine	182
4.2	Aufbau von Proteinen	182
4.2.1	Primärstruktur	182
4.2.2	Räumliche Struktur von Proteinen	184
4.2.3	Proteinkomplexe	186
	 Weiterführende Literatur	187
5	Nucleinsäuren	189
	<i>Benedikt Kost</i>	
5.1	Bausteine der Nucleinsäuren	190
5.2	Struktur der Desoxyribonucleinsäure (DNA)	191
5.3	Ribonucleinsäuren (RNAs)	193
	 Weiterführende Literatur	193
6	Replikation	195
	<i>Benedikt Kost</i>	
	 Weiterführende Literatur	197
7	Die genetischen Systeme der Pflanzenzelle	199
	<i>Uwe Sonnwald</i>	
7.1	Die Acker-Schmalwand (<i>Arabidopsis thaliana</i>) als Modellpflanze	200
7.2	Konventionen zur Benennung von Genen, Proteinen und Phänotypen	202
7.3	Das Kerngenom	203
7.4	Das Plastidengenom	205
7.5	Das Mitochondriengenom	207
	 Weiterführende Literatur	208

8	Grundlagen der Genaktivität	209
	<i>Uwe Sonnewald</i>	
8.1	Genstruktur	210
8.2	Ablauf der Transkription	210
8.3	Kontrolle der Transkription	216
	 Weiterführende Literatur	216
9	Grundlagen der Biosynthese und des Abbaus von Proteinen	217
	<i>Uwe Sonnewald</i>	
9.1	Der genetische Code	218
9.2	Translation	219
9.3	Proteinabbau	222
9.4	Sortierung der Proteine in der Zelle: Biogenese der Zellorganellen	223
	 Weiterführende Literatur	226
10	Grundlagen der Vererbung	227
	<i>Joachim W. Kadereit</i>	
10.1	Mendelsche Regeln	228
10.2	Extranucleäre Vererbung	231
	 Weiterführende Literatur	232
11	Mutationen	233
	<i>Joachim W. Kadereit</i>	
11.1	Genmutation	234
11.2	Chromosomenmutation	236
11.3	Genommutation	238
	 Weiterführende Literatur	240
12	Epigenetische Regulation	241
	<i>Uwe Sonnewald</i>	
12.1	Epigenetische Regulation der Chromatinstruktur	242
12.2	Epigenetische Regulation der mRNA-Stabilität und Translatierbarkeit	243
12.3	RNA-Interferenz als Werkzeug der Molekularbiologie	245
	 Weiterführende Literatur	245
13	Gentechnik	247
	<i>Uwe Sonnewald</i>	
13.1	Geschichte der Grünen Gentechnik	248
13.2	Biologie der Wurzelhalstumore	248
13.3	Methoden des Gentransfers	251
13.4	Merkmale und Anwendungsbeispiele	254
	 Weiterführende Literatur	258

Teil III Entwicklung

	Danksagung	260
14	Zelluläre Grundlagen der Entwicklung: entwicklungsbiologische Prinzipien	261
	<i>Benedikt Kost</i>	
14.1	Wachstum	263
14.2	Zellzyklus und Zellzykluskontrolle	265
14.3	Zelldifferenzierung	267
	 Weiterführende Literatur	271




15	Interaktionen von Zellen im Entwicklungsgeschehen	273
	<i>Benedikt Kost</i>	
15.1	Kontrolle der Embryogenese	274
15.2	Musterbildung in Gewebeschichten	276
15.3	Kontrolle der Meristem- und Organidentität im Sprossmeristem	277
15.4	Mechanismen der Zellkommunikation	278
15.4.1	Austausch von Makromolekülen zwischen Zellen	279
	 Weiterführende Literatur	280
16	Systemische Kontrolle der Entwicklung	281
	<i>Benedikt Kost</i>	
	 Weiterführende Literatur	283
17	Kontrolle der Entwicklung durch Phytohormone	285
	<i>Benedikt Kost</i>	
17.1	Auxine	286
17.1.1	Vorkommen	287
17.1.2	Stoffwechsel	287
17.1.3	Transport der Indol-3-essigsäure	289
17.1.4	Wirkungen des Auxins	290
17.1.5	Molekulare Mechanismen der Auxinwirkung	294
17.2	Cytokinine	294
17.2.1	Vorkommen	294
17.2.2	Stoffwechsel und Transport	294
17.2.3	Wirkungen von Cytokininen	296
17.2.4	Molekulare Mechanismen der Cytokininwirkung	298
17.3	Gibberelline	299
17.3.1	Vorkommen	299
17.3.2	Stoffwechsel und Transport	300
17.3.3	Wirkungen von Gibberellinen	301
17.4	Abscisinsäure	303
17.4.1	Vorkommen, Stoffwechsel und Transport der Abscisinsäure	304
17.4.2	Wirkungen der Abscisinsäure	304
17.4.3	Molekulare Mechanismen der ABA-Wirkung	306
17.5	Ethylen	307
17.5.1	Vorkommen, Stoffwechsel und Transport	307
17.5.2	Physiologische Wirkungen des Ethylens	307
17.5.3	Molekulare Mechanismen der Ethylenwirkung	310
17.6	Weitere Signalstoffe mit phytohormonähnlicher Wirkung	310
17.6.1	Brassinolide	311
17.6.2	Oxylipine	311
	 Weiterführende Literatur	312
18	Kontrolle der Entwicklung durch Außenfaktoren	313
	<i>Benedikt Kost</i>	
18.1	Wirkung der Temperatur	314
18.1.1	Thermoperiodismus und Thermomorphosen	314
18.1.2	Aufhebung von Ruhezuständen durch Einwirken bestimmter Temperaturen	314
18.1.3	Blühinduktion durch Einwirken bestimmter Temperatur	315
18.2	Wirkung des Lichts	316
18.2.1	Photomorphogenese und Skotomorphogenese	317
18.2.2	Photoperiodisch induzierte Morphosen	318
18.2.3	Circadiane Rhythmik und physiologische Uhren	320
18.2.4	Photorezeptoren und Signalwege der lichtgesteuerten Entwicklung	324
18.3	Sonstige Außenfaktoren	330
	 Weiterführende Literatur	331

Teil IV Physiologie




Danksagung	335
19 Stoffwechselfysiologie	337
<i>Uwe Sonnewald</i>	
19.1 Mineralstoffhaushalt	339
19.1.1 Stoffliche Zusammensetzung des Pflanzenkörpers	339
19.1.2 Nährelemente	340
19.1.3 Aufnahme und Verteilung mineralischer Nährelemente	346
19.2 Wasserhaushalt	351
19.2.1 Transportmechanismen	352
19.2.2 Zellulärer Wasserhaushalt	353
19.2.3 Aufnahme des Wassers durch die Pflanze	355
19.2.4 Abgabe von Wasser durch die Pflanze	356
19.2.5 Leitung des Wassers	360
19.2.6 Wasserbilanz	362
19.3 Photosynthese: Lichtreaktion	362
19.3.1 Licht und Lichtenergie	362
19.3.2 Photosynthesepigmente	363
19.3.3 Aufbau der lichtsammelnden Antennenkomplexe	368
19.3.4 Übersicht über den photosynthetischen Elektronen- und Protonentransport	369
19.3.5 Photosystem II	373
19.3.6 Cytochrom-b ₆ /f-Komplex	374
19.3.7 Photosystem I	375
19.3.8 Regulations- und Schutzmechanismen der Lichtreaktion	376
19.3.9 Photophosphorylierung	376
19.4 Photosynthese: Weg des Kohlenstoffs	378
19.4.1 Carboxylierende Phase des Calvin-Zyklus	378
19.4.2 Reduzierende Phase des Calvin-Zyklus	380
19.4.3 Regenerierende Phase des Calvin-Zyklus	380
19.4.4 Verarbeitung der Primärprodukte der Kohlenstoffassimilation	380
19.4.5 Regulationsmechanismen bei der photosynthetischen Kohlenhydratproduktion und -verteilung	385
19.4.6 Photorespiration	386
19.4.7 Aufnahme von CO ₂ in die Pflanze	388
19.4.8 Vorgeschaltete CO ₂ -Fixierung bei C ₄ -Pflanzen	390
19.4.9 Vorgeschaltete CO ₂ -Fixierung bei Pflanzen mit Crassulaceen-Säuremetabolismus (CAM)	393
19.4.10 Vorgeschaltete CO ₂ -Konzentrierung durch Hydrogencarbonatpumpen	395
19.4.11 Abhängigkeit der Kohlenstoffassimilation von Außenfaktoren	395
19.5 Assimilation von Nitrat	397
19.5.1 Photosynthetische Nitratassimilation	398
19.5.2 Nitratassimilation in photosynthetisch nicht aktiven Geweben	400
19.6 Assimilation von Sulfat	400
19.7 Transport von Assimilaten in der Pflanze	401
19.7.1 Zusammensetzung des Phloeminhalts	401
19.7.2 Beladung des Phloems	402
19.7.3 Transport der Assimilate im Phloem	403
19.7.4 Phloementladung	404
19.8 Energiegewinnung durch den Abbau von Kohlenhydraten	404
19.8.1 Glykolyse	405
19.8.2 Gärungen	405
19.8.3 Zellatmung	407
19.9 Bildung von Struktur- und Speicherlipiden	414
19.9.1 Biosynthese der Fettsäuren	415
19.9.2 Biosynthese von Membranlipiden	415
19.9.3 Biosynthese von Speicherlipiden	417
19.10 Mobilisierung von Speicherlipiden	418

19.11	Bildung der Aminosäuren	419
19.11.1	Familien der Aminosäuren	419
19.11.2	Aromatische Aminosäuren	421
19.11.3	Nichtproteinogene Aminosäuren und Aminosäureabkömmlinge	421
19.12	Bildung von Purinen und Pyrimidinen	421
19.13	Bildung von Tetrapyrrolen	423
19.14	Sekundärstoffwechsel	424
19.14.1	Phenole	426
19.14.2	Terpenoide	430
19.14.3	Alkaloide	435
19.14.4	Glucosinolate und cyanogene Glykoside	436
19.14.5	Chemische Coevolution	437
19.15	Pflanzentypische fundamentale Polymere	439
19.15.1	Polysaccharide	439
19.15.2	Lignin	440
19.15.3	Cutin und Suberin	442
19.15.4	Speicherproteine	444
19.16	Stoffausscheidungen der Pflanzen	445
	 Weiterführende Literatur	446
20	Bewegungsphysiologie	447
	<i>Uwe Sonnewald</i>	
20.1	Grundbegriffe der Reizphysiologie	448
20.2	Freie Ortsbewegungen	449
20.2.1	Taxien	450
20.2.2	Intrazelluläre Bewegungen	453
20.3	Bewegungen lebender Organe	454
20.3.1	Tropismen	454
20.3.2	Nastien	463
20.3.3	Autonome Bewegungen	471
20.3.4	Durch den Turgor vermittelte Schleuder- und Explosionsbewegungen	471
20.4	Sonstige Bewegungen	472
	 Weiterführende Literatur	473
21	Allelophysiologie	475
	<i>Uwe Sonnewald</i>	
21.1	Besonderheiten der heterotrophen Ernährung	476
21.1.1	Saprophyten und Parasiten	476
21.1.2	Carnivore Pflanzen	478
21.2	Symbiose	478
21.2.1	Luftstickstofffixierende Symbiosen	480
21.2.2	Biochemie und Physiologie der N ₂ -Fixierung	485
21.2.3	Mykorrhiza	486
21.2.4	Flechten	488
21.3	Pathogene	488
21.3.1	Grundbegriffe der Phytopathologie	489
21.3.2	Mikrobielle Pathogene	490
21.3.3	Mechanismen der Pathogenese	492
21.3.4	Pathogenabwehr	493
21.4	Herbivorie	494
21.4.1	Herbivorabwehr	495
21.4.2	Tritrophe Interaktionen	497
21.5	Allelopathie	498
	 Weiterführende Literatur	500

Teil V Evolution und Systematik

Danksagung	504
22 Evolution	505
<i>Joachim W. Kadereit</i>	
22.1 Variation	506
22.1.1 Phänotypische Plastizität	507
22.1.2 Genetische Variation	508
22.1.3 Rekombinationssystem	508
22.2 Muster und Ursachen natürlicher Variation	516
22.2.1 Natürliche Selektion	516
22.2.2 Genetische Drift	519
22.3 Artbildung	519
22.3.1 Artdefinitionen	519
22.3.2 Artbildung durch divergente Evolution	521
22.3.3 Hybridisierung und Hybridartbildung	525
22.4 Makroevolution	530
 Weiterführende Literatur	532
23 Methoden der Systematik	533
<i>Joachim W. Kadereit</i>	
23.1 Arterkennung	534
23.2 Monografien, Floren und Bestimmungsschlüssel	534
23.3 Verwandtschaftsforschung	534
23.3.1 Merkmale	535
23.3.2 Merkmalskonflikte	535
23.3.3 Numerische Systematik	536
23.3.4 Phylogenetische Systematik – <i>maximum parsimony</i>	537
23.3.5 <i>Maximum likelihood</i>	538
23.3.6 Bayessche Analyse	538
23.3.7 Statistische Unterstützung von Verwandtschaftshypothesen	538
23.4 Phylogenie und Klassifikation	538
23.5 Nomenklatur	539
 Weiterführende Literatur	541
24 Stammesgeschichte und Systematik der Bakterien, Archaeen, „Pilze“, Pflanzen und anderer photoautotropher Eukaryoten	543
<i>Joachim W. Kadereit</i>	
24.1 Bakterien und Archaeen	547
24.1.1 Zellbau, Vermehrung und genetischer Apparat	547
24.1.2 Lebensweise der Bakterien und Archaeen und ihre Bedeutung für Eukaryoten	552
24.2 Chitinpilze, Flechten, Cellulosepilze	553
24.2.1 Chitinpilze – Mycobionta (Echte Pilze)	553
24.2.2 Flechten – Lichenes	560
24.2.3 Cellulosepilze – Oomyceten	563
24.3 „Algen“ und andere photoautotrophe Eukaryoten	564
24.3.1 Glaucobionta	569
24.3.2 Rhodobionta	569
24.3.3 Chlorobionta – Grünalgen, photoautotrophe Eukaryoten mit Chlorophyten als sekundären Endosymbionten, streptophytische Grünalgen	588
24.4 Chlorobionta: Streptophyta – Landpflanzen (Moose, Farnpflanzen, Samenpflanzen)	603
24.4.1 Organisationstyp Moose	605
24.4.2 Organisationstyp Farnpflanzen	619
24.4.3 Spermatophytina – Samenpflanzen	642
24.4.4 Abstammung und Verwandtschaft der Samenpflanzen	718
 Weiterführende Literatur	721

25	Vegetationsgeschichte	723
	<i>Joachim W. Kadereit</i>	
25.1	Methoden	724
25.2	Präkambrium und Paläozoikum (ca. 4600–252 Mio. Jahre)	724
25.3	Mesozoikum (252–66 Mio. Jahre)	727
25.4	Känozoikum (66 Mio. Jahre bis heute)	728
	 Weiterführende Literatur	737
Teil VI Ökologie		
	Danksagung	740
26	Grundlagen der Pflanzenökologie	741
	<i>Christian Körner</i>	
26.1	Limitierung, Fitness und Optimum	742
26.2	Stress und Anpassung	743
26.3	Der Faktor Zeit und nichtlineare Reaktionen	744
26.3.1	Phänologie und biologische Zeitmaße	744
26.3.2	Nichtlinearität und Häufigkeit	745
26.4	Biologische Variation	745
26.5	Das Ökosystem und seine Struktur	746
26.5.1	Die Struktur der Biozönose	746
26.5.2	Biotop: Standort und Umweltfaktoren	749
26.6	Pflanzenökologische Forschungsansätze	756
	 Weiterführende Literatur	757
27	Pflanzen im Lebensraum	759
	<i>Christian Körner</i>	
27.1	Strahlung und Energiehaushalt	761
27.1.1	Strahlungsmaße und Strahlungsbilanz	761
27.1.2	Energiebilanz und Mikroklima	761
27.1.3	Licht im Pflanzenbestand	762
27.2	Licht als Signal	764
27.2.1	Photoperiodismus und Saisonalität	764
27.2.2	Rotlichtsignale in Pflanzenbeständen	765
27.3	Temperaturresistenz	765
27.3.1	Frostresistenz	765
27.3.2	Hitzeresistenz	766
27.3.3	Feuerökologie	767
27.4	Mechanische Einflüsse	770
27.5	Wasserhaushalt	770
27.5.1	Wasserpotenzial und Transpiration	770
27.5.2	Reaktionen auf Wassermangel	772
27.5.3	Stomataverhalten in freier Natur	773
27.5.4	Wasserhaushalt des Ökosystems	774
27.6	Nährstoffhaushalt	776
27.6.1	Verfügbarkeit von Bodennährstoffen	776
27.6.2	Quellen und Senken für Stickstoff	777
27.6.3	Strategien der Stickstoffinvestition	778
27.6.4	Bodenheterogenität, Konkurrenz und Symbiosen im Wurzelraum	781
27.6.5	Stickstoff und Phosphor in globaler Betrachtung	783
27.6.6	Calcium, Schwermetalle, „Salz“	784
27.7	Wachstum und Kohlenstoffhaushalt	784
27.7.1	Ökologie von Photosynthese und Respiration	784
27.7.2	Ökologie des Wachstums	787
27.7.3	Funktionelle Wachstumsanalyse	790

27.7.4	Das stabile Isotop ¹³ C in der Ökologie	791
27.7.5	Biomasse, Produktivität, globaler C-Kreislauf	794
27.7.6	Biologische Aspekte des „CO ₂ -Problems“	799
27.8	Biotische Wechselwirkungen	801
27.9	Biomasse- und Landnutzung durch den Menschen	805
27.9.1	Nutzung und Umgestaltung der Vegetation	805
27.9.2	Waldnutzung und Waldrodung	807
27.9.3	Weide- und Wiesenwirtschaft	809
27.9.4	Nutzpflanzenbau	809
	 Weiterführende Literatur	810
28	Populations- und Vegetationsökologie	811
	<i>Christian Körner</i>	
28.1	Populationsökologie	812
28.1.1	Wachstum von Populationen	812
28.1.2	Konkurrenz und Coexistenz	816
28.1.3	Reproduktionsökologie	818
28.2	Pflanzenareale	821
28.2.1	Arealtypen	822
28.2.2	Ausbreitung	823
28.2.3	Ursachen für Arealgrenzen und Arealbesetzung	826
28.2.4	Florenggebiete und Florenreiche	828
28.3	Biodiversität und ökosystemare Stabilität	829
28.3.1	Biodiversität	829
28.3.2	Biodiversität und Ökosystemfunktion	830
28.4	Vegetationsökologie	832
28.4.1	Zusammensetzung von Pflanzengemeinschaften	832
28.4.2	Entstehung und Veränderung von Pflanzengemeinschaften	835
28.4.3	Klassifikation von Vegetationstypen	837
28.4.4	Korrelative Analyse von Vegetationsmustern	838
28.4.5	Physiognomische Vegetationsgliederung	839
28.4.6	Räumliche Standort- und Vegetationsgliederung	840
	 Weiterführende Literatur	841
29	Vegetation der Erde	843
	<i>Christian Körner</i>	
29.1	Vegetation der temperaten Zone	844
29.1.1	Vom Tiefland zur untersten Bergwaldstufe	844
29.1.2	Oberer Bergwald und alpine Stufe	847
29.2	Die Biome der Erde	850
29.2.1	Feucht-tropische Tieflandwälder	852
29.2.2	Feucht-tropische Bergwälder	854
29.2.3	Tropische und subtropische Hochgebirgsvegetation	856
29.2.4	Tropische halbimmergrüne Wälder	858
29.2.5	Tropische Savannen	860
29.2.6	Vegetation der heißen Wüsten	862
29.2.7	Winterregengebiete des mediterranen Klimatyps	864
29.2.8	Lorbeerwaldzone	866
29.2.9	Laubabwerfende Wälder der temperaten Zone	868
29.2.10	Bergwälder der temperaten Zone	870
29.2.11	Alpine Vegetation der temperaten Hochgebirge	872
29.2.12	Steppen und Prärien	874
29.2.13	Wüsten der temperaten Zone	876
29.2.14	Boreale Wälder	878
29.2.15	Subarktische und arktische Vegetation	880
29.2.16	Küstenvegetation	882
	 Weiterführende Literatur	884

Serviceteil885
Literaturverzeichnis886
Sachwortregister890
Taxonomieregister906