

Inhaltsverzeichnis

Teil I Struktur

Danksagung2

1 **Bau und Feinbau der Zelle**3
 Benedikt Kost

1.1 **Zellbiologie**4

1.1.1 Lichtmikroskopie4

1.1.2 Elektronenmikroskopie8

1.2 **Die Pflanzenzelle**9

1.2.1 Übersicht9

1.2.2 Cytoplasma12

1.2.3 Zellkern20

1.2.4 Ribosomen34

1.2.5 Biomembranen36

1.2.6 Zelluläre Membranen und Kompartimente39

1.2.7 Zellwände47

1.2.8 Mitochondrien59

1.2.9 Plastiden61

1.3 **Endosymbiontentheorie und Hydrogenhypothese**67

1.3.1 Endocytobiose67

1.3.2 Entstehung der Plastiden und Mitochondrien durch Symbiogenese68

 Weiterführende Literatur69

2 **Die Gewebe der Gefäßpflanzen**71
 Benedikt Kost

2.1 **Bildungsgewebe (Meristeme)**72

2.1.1 Apikale (Scheitel-)Meristeme und Primärmeristeme73

2.1.2 Laterale Meristeme (Cambien)78

2.2 **Dauergewebe**78

2.2.1 Parenchym79

2.2.2 Abschlussgewebe79

2.2.3 Festigungsgewebe87

2.2.4 Leitgewebe89

2.2.5 Drüsenzellen und -gewebe93

 Weiterführende Literatur96

3 **Funktionelle Morphologie und Anatomie der Gefäßpflanzen**97
 Benedikt Kost, Joachim W. Kadereit

3.1 **Morphologie und Anatomie**98

3.1.1 Homologie und Analogie99

3.1.2 Kormus und Thallus101

3.2 **Sprossachse**102

3.2.1 Längsgliederung104

3.2.2 Blattstellungen106

3.2.3 Rhizome107

3.2.4 Lebensformen108

3.2.5 Verzweigung der Sprossachse110

3.2.6 Besondere Funktionen und Anpassungsformen114

3.2.7 Anatomie der Sprossachse im primären Zustand118

3.2.8 Sprossachsen im sekundären Zustand122

3.3 **Blattorgane: Formen und Metamorphosen**132

3.3.1 Laubblatt133

3.3.2 Blattfolge138

3.3.3 Gestaltabwandlungen bei Blättern139

3.4 **Wurzeln**143

3.4.1 Wurzelsysteme143

3.4.2 Anatomie der Wurzel149

3.5 **Reproduktionsorgane der Samenpflanzen**152

3.5.1 Blüten152

3.5.2 Blütenstände164

3.5.3 Bestäubung165

3.5.4 Befruchtung169

3.5.5 Samen170

3.5.6 Früchte171

3.5.7 Samen- und Fruchtausbreitung173

3.5.8 Samenkeimung175

 Weiterführende Literatur176

Teil II Genetik

Danksagung179

4 **Proteine**181

Benedikt Kost

4.1 **Aminosäuren, die Bausteine der Proteine**182

4.2 **Aufbau von Proteinen**182

4.2.1 Primärstruktur182

4.2.2 Räumliche Struktur von Proteinen184

4.2.3 Proteinkomplexe186

 Weiterführende Literatur187

5 **Nucleinsäuren**189

Benedikt Kost

5.1 **Bausteine der Nucleinsäuren**190

5.2 **Struktur der Desoxyribonucleinsäure (DNA)**191

5.3 **Ribonucleinsäuren (RNAs)**193

 Weiterführende Literatur193

6 **Replikation**195

Benedikt Kost

 Weiterführende Literatur197

7 **Die genetischen Systeme der Pflanzenzelle**199

Uwe Sonnewald

7.1 **Die Acker-Schmalwand (*Arabidopsis thaliana*) 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 Literatur208

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

Danksagung335

19 Stoffwechselphysiologie337

 Uwe Sonnewald

19.1 Mineralstoffhaushalt339

19.1.1 Stoffliche Zusammensetzung des Pflanzenkörpers339

19.1.2 Nährelemente340

19.1.3 Aufnahme und Verteilung mineralischer Nährelemente346

19.2 Wasserhaushalt351

19.2.1 Transportmechanismen352

19.2.2 Zellulärer Wasserhaushalt353

19.2.3 Aufnahme des Wassers durch die Pflanze355

19.2.4 Abgabe von Wasser durch die Pflanze356

19.2.5 Leitung des Wassers360

19.2.6 Wasserbilanz362

19.3 Photosynthese: Lichtreaktion362

19.3.1 Licht und Lichtenergie362

19.3.2 Photosynthesepigmente363

19.3.3 Aufbau der lichtsammelnden Antennenkomplexe368

19.3.4 Übersicht über den photosynthetischen Elektronen- und Protonentransport369

19.3.5 Photosystem II373

19.3.6 Cytochrom-b₆/f-Komplex374

19.3.7 Photosystem I375

19.3.8 Regulations- und Schutzmechanismen der Lichtreaktion376

19.3.9 Photophosphorylierung376

19.4 Photosynthese: Weg des Kohlenstoffs378

19.4.1 Carboxylierende Phase des Calvin-Zyklus378

19.4.2 Reduzierende Phase des Calvin-Zyklus380

19.4.3 Regenerierende Phase des Calvin-Zyklus380

19.4.4 Verarbeitung der Primärprodukte der Kohlenstoffassimilation380

19.4.5 Regulationsmechanismen bei der photosynthetischen Kohlenhydratproduktion und -verteilung385

19.4.6 Photorespiration386

19.4.7 Aufnahme von CO₂ in die Pflanze388

19.4.8 Vorgeschaltete CO₂-Fixierung bei C₄-Pflanzen390

19.4.9 Vorgeschaltete CO₂-Fixierung bei Pflanzen mit Crassulaceen-Säuremetabolismus (CAM)393

19.4.10 Vorgeschaltete CO₂-Konzentrierung durch Hydrogencarbonatpumpen395

19.4.11 Abhängigkeit der Kohlenstoffassimilation von Außenfaktoren395

19.5 Assimilation von Nitrat397

19.5.1 Photosynthetische Nitratassimilation398

19.5.2 Nitratassimilation in photosynthetisch nicht aktiven Geweben400

19.6 Assimilation von Sulfat400

19.7 Transport von Assimilaten in der Pflanze401

19.7.1 Zusammensetzung des Phloeminhalts401

19.7.2 Beladung des Phloems402

19.7.3 Transport der Assimilate im Phloem403

19.7.4 Phloementladung404

19.8 Energiegewinnung durch den Abbau von Kohlenhydraten404

19.8.1 Glykolyse405

19.8.2 Gärungen405

19.8.3 Zellatmung407

19.9 Bildung von Struktur- und Speicherlipiden414

19.9.1 Biosynthese der Fettsäuren415

19.9.2 Biosynthese von Membranlipiden415

19.9.3 Biosynthese von Speicherlipiden417

19.10 Mobilisierung von Speicherlipiden418

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

Servicetell885
Literaturverzeichnis886
Sachwortregister890
Taxonomieregister906