

Inhaltsverzeichnis

Vorwort V

1 Theoretische Grundlagen und Zielsetzung der Physiologie 1

- 1.1 Das Selbstverständnis der Physiologie 1
- 1.2 Gesetzesaussagen in der Biologie 2
- 1.3 Systemtheorie 3
- 1.4 Prinzipien wissenschaftlichen Arbeitens 4
- 1.5 Das Kausalitätsprinzip in der Physiologie 5
- 1.6 Das Problem der Komplexität 8
- 1.7 Formulierung von Sätzen 12
- 1.8 Merkmale und Variabilität 12
- 1.9 Maßsystem und Bezugsgrößen 14
- 1.10 Darstellung von Daten 15

2 Die Zelle als morphologisches System 17

- 2.1 Die meristematische Pflanzenzelle 17
 - 2.1.1 Strukturelle Gliederung 17
 - 2.1.2 Endoplasmatisches Reticulum 20
 - 2.1.3 Zellkern (Nucleus) 20
 - 2.1.4 Golgi-Apparat 21
 - 2.1.5 Peroxisomen 21
 - 2.1.6 Mitochondrien und Plastiden 22
 - 2.1.7 Cytoskelett 22
 - 2.1.8 Zellwand 23
- 2.2 Zellteilung 30
 - 2.2.1 Cytokinese und Karyokinese 30
 - 2.2.2 Regulation des Zellcyclus 32
 - 2.2.3 Determination der Teilungsebene 33
- 2.3 Zelldifferenzierung 34
- 2.4 Zell- und Organpolarität 39
- 2.5 Die Evolution der Pflanzenzelle 42
- 2.6 Vom einzelligen zum vielzelligen Organismus 44

3	Die Zelle als energetisches System	47
3.1	Der 1. Hauptsatz der Thermodynamik	47
3.2	Der 2. Hauptsatz der Thermodynamik	48
3.3	Die Zelle als offenes System, Fließgleichgewicht	49
3.4	Chemisches Potenzial	50
3.5	Chemisches Potenzial von Wasser	51
3.6	Anwendung des Wasserpotenzialkonzepts auf den Wasserzustand der Zelle	53
3.6.1	Die Zelle als osmotisches System	53
3.6.2	Das Osmometermodell	54
3.6.3	Die Zelle als Osmometeranalogon	55
3.6.4	Das Matrixpotenzial	56
3.6.5	Nomenklatorische Schwierigkeiten	56
3.6.6	Das osmotische Zustandsdiagramm der Zelle (Höfler-Diagramm)	57
3.6.7	Die experimentelle Messung von π und ψ	58
3.6.8	Regulation des Wasserzustandes	60
3.7	Chemisches Potenzial von Ionen	61
3.8	Membranpotenzial	62
3.9	Energetik biochemischer Reaktionen	64
3.10	Phosphatübertragung und Phosphorylierungspotenzial	66
3.11	Redoxsysteme und Redoxpotenzial	67
4	Die Zelle als metabolisches System	71
4.1	Biologische Katalyse	71
4.1.1	Aktivierungsenergie	71
4.1.2	Enzymatische Katalyse	72
4.1.3	Enzymkinetik	73
4.1.4	Messung der Enzymaktivität	74
4.1.5	Modulation der Enzymaktivität	75
4.2	Metabolische Kompartimentierung der Zelle	76
4.3	Transportmechanismen an Biomembranen	77
4.3.1	Diffusion und Permeation	77
4.3.2	Spezifität des Membrantransports, Transportkatalyse	79
4.3.3	Transporter, Ionenpumpen und Ionenkanäle	80
4.3.4	Aquaporine	82
4.3.5	Passiver und aktiver Transport	82
4.3.6	Shuttle-Transport	83
4.4	ATP-Synthese an energietransformierenden Biomembranen	84
4.5	Stoffaufnahme in die Zelle	85
4.5.1	Ionenaufnahme	85
4.5.2	Aufnahme von Anelektrolyten	88
4.5.3	Akkumulation von Metaboliten und anorganischen Ionen in der Vacuole	89

4.6	Prinzipien der metabolischen Regulation	91
4.6.1	Ebenen der Regulation	91
4.6.2	Regulation des Enzymgehalts	92
4.6.3	Regulation des Aktivitätszustands bei konstantem Enzymgehalt	94
4.6.4	Intrazelluläre und interzelluläre Signaltransduktion	94
4.6.5	Die Integration der Regulationsmechanismen zum Kontrollsystem	96
5	Die Zelle als wachstumsfähiges System	101
5.1	Biophysikalische Grundlagen des Zellwachstums	101
5.1.1	Hydraulisches Zellwachstum	101
5.1.2	Messung der physikalischen Wachstumsparameter	104
5.2	Wachstum und Zellwandveränderungen	105
5.2.1	Die strukturelle Dynamik der Primärwand	105
5.2.2	Diffuses Wachstum der Zellwand	106
5.2.3	Lokales Wachstum der Zellwand	109
5.3	Integration des Zellwachstums in vielzelligen Systemen	112
5.3.1	Die Epidermiswand als zellübergreifende Organwand	112
5.3.2	Streckungs- und Kontraktionswachstum bei Wurzeln	114
5.4	Zur Beziehung zwischen Zellwachstum und Zellteilung	116
5.5	Regulation des Streckungswachstums	116
6	Die Zelle als gengesteuertes System	119
6.1	Das Gen – die Einheit der genetischen Information	119
6.2	Die Organisation des Genoms	122
6.2.1	Die drei Genome der Pflanzenzelle	122
6.2.2	Genomstruktur im Zellkern	123
6.2.3	Das plastidäre Genom	126
6.2.4	Das mitochondriale Genom	129
6.3	Die Transkriptionspromotoren, RNA-Polymerasen und RNA-Reifung	131
6.3.1	Transkription nucleärer Gene	131
6.3.2	Transkription plastidärer Gene	132
6.3.3	Transkription mitochondrialer Gene	137
6.3.4	RNA-editing	137
6.4	Proteinsynthese (Translation) und Protein-turnover	137
6.4.1	Translation und Protein-turnover im Cytoplasma	137
6.4.2	Translation und Protein-turnover in Plastiden	138
6.4.3	Translation und Protein-turnover in Mitochondrien	140
6.5	Die Zelle als regulatorisches Netzwerk der Genexpression	140
6.5.1	Regulation nucleärer Gene	140
6.5.2	Regulation plastidärer Gene	144
6.5.3	Regulation mitochondrialer Gene	146
6.5.4	Evolutionäre Adaption von Regulationsstrukturen	146

7	Intrazelluläre Proteinverteilung und Entwicklung der Organellen	149
7.1	Proteinsortierung in der Pflanzenzelle	149
7.1.1	Prinzipien der Proteinsortierung	149
7.1.2	Proteinexport aus der Zelle und Import in die Vacuole	151
7.1.3.	Proteintransport in die Mitochondrien	152
7.1.4	Proteintransport in die Plastiden	155
7.1.5	<i>Isosorting</i> – das gleiche Protein für Cytoplasma, Mitochondrien und Plastiden	156
7.1.6	Evolution der Proteintransportsysteme in Mitochondrien und Plastiden	156
7.1.7	Proteintransport in die Peroxisomen	156
7.1.8	Proteintransport in den Zellkern	157
7.2	Entwicklung der Mitochondrien	158
7.3	Entwicklung der Plastiden	160
7.4	Entwicklung der Peroxisomen	163
8	Photosynthese als Funktion des Chloroplasten	167
8.1	Photosynthese als Energiewandlung	167
8.2	Energiewandlung im Chloroplasten	171
8.2.1	Struktur der Chloroplasten	171
8.2.2	Struktur der Thylakoide	172
8.2.3	Photosynthesepigmente	175
8.2.4	Quantenmechanische Grundlagen der Lichtabsorption	176
8.2.5	Funktion der Pigmente	178
8.2.6	Energietransfer in den Pigmentkollektiven	180
8.2.7	Bildung von chemischem Potenzial	181
8.2.8	Funktionelle Verknüpfung der beiden Photosysteme	183
8.3	Die Pigmentsysteme der Rotalgen und Cyanobakterien	186
8.4	Photosynthetischer Elektronentransport	189
8.4.1	Offenkettiges System	189
8.4.2	Cyclisches System	193
8.5	Mechanismus der Photophosphorylierung	194
8.6	Der biochemische Bereich	195
8.6.1	Stoffwechselleistungen der Chloroplasten	195
8.6.2	Fixierung und Reduktion von CO ₂	196
8.6.3	Reduktion und Fixierung von Nitrat und Sulfat	200
8.6.4	Photosynthetische H ₂ -Produktion	202
8.6.5	Photosynthetische N ₂ -Fixierung	202
8.7	Regulation der photosynthetischen Teilprozesse	203
8.7.1	Regulation der Energieverteilung zwischen PSI und PSII	203
8.7.2	Regulation der ATP-Synthase-Aktivität	204
8.7.3	Regulation der CO ₂ -Assimilation im Calvin-Cyclus	207
8.7.4	Koordination von C- und N-Assimilation	209
8.7.5	Fluoreszenzlöschung als Indikatorreaktion für die Effektivität der Photosynthese	210
8.8	Ein kurzer Blick auf die anoxygene Photosynthese der phototrophen Bakterien	211

- 9 Dissimilation 215**
 - 9.1 Energiegewinnung bei der Dissimilation 215
 - 9.2 Dissimilation der Kohlenhydrate 216
 - 9.2.1 Freisetzung chemischer Energie 216
 - 9.2.2 Glycolyse 217
 - 9.2.3 Fermentation (alkoholische Gärung und Milchsäuregärung) 217
 - 9.2.4 Citratcyclus und Atmungskette 219
 - 9.2.5 Cyanidresistente Atmung 223
 - 9.2.6 Oxidative Phosphorylierung 224
 - 9.2.7 Elektronentransport an der Plasmamembran 226
 - 9.2.8 Oxidativer (dissimilatorischer) Pentosephosphatcyclus 226
 - 9.3 Photorespiration 227
 - 9.3.1 Lichtatmung und Dunkelatmung 227
 - 9.3.2 Photosynthese von Glycolat 228
 - 9.3.3 Metabolisierung des photosynthetischen Glycolats im C_2 -Cyclus 228
 - 9.3.4 Glycolatstoffwechsel bei Grünalgen und Cyanobakterien 231
 - 9.4 Mobilisierung von Speicherstoffen in Speichergeweben 232
 - 9.4.1 Natur und Lokalisierung der Speicherstoffe 232
 - 9.4.2 Umwandlung von Fett in Kohlenhydrat 232
 - 9.4.3 Metabolismus von Speicherpolysacchariden 237
 - 9.4.4 Metabolismus von Speicherproteinen 239
 - 9.5 Regulation des dissimilatorischen Gaswechsels 241
 - 9.5.1 Atmung: CO_2 -Abgabe und O_2 -Aufnahme 241
 - 9.5.2 Der Respiratorische Quotient 242
 - 9.5.3 Regulation des Kohlenhydratabbaus durch Sauerstoff 243
 - 9.5.4 Induktion der Fermentation durch Enzymsynthese und Modulation der Enzymaktivität 246
 - 9.5.5 Wärmeerzeugung durch Atmung (Thermogenese) 248
 - 9.5.6 Klimakterische Atmung 249
 - 9.5.7 Weitere Oxidasen pflanzlicher Zellen 250
 - 9.6 Regulatorische Wechselbeziehungen zwischen Aufbau und Abbau von Kohlenhydraten 251
- 10 Das Blatt als photosynthetisches System 255**
 - 10.1 Wirkungsspektrum und Quantenausbeute 255
 - 10.2 Brutto- und Nettophotosynthese 257
 - 10.2.1 Messung der Photosyntheseintensität 257
 - 10.2.2 Der CO_2 -Kompensationspunkt Γ 257
 - 10.2.3 Der Lichtkompensationspunkt (LK) 258
 - 10.2.4 Reelle und apparente Photosynthese 259
 - 10.2.5 Licht- und Dunkelatmung 260
 - 10.3 Begrenzende Faktoren der apparenten Photosynthese 261
 - 10.3.1 Die Photosynthese als Multifaktorensystem 261
 - 10.3.2 Die Verrechnung der Faktoren Lichtfluss und CO_2 -Konzentration 261
 - 10.3.3 Quantitative Analyse von Lichtfluss-Effekt-Kurven 263
 - 10.4 Ökologische Anpassung der Photosynthese 264
 - 10.5 Temperaturabhängigkeit der apparenten Photosynthese 267

- 10.6 Der Einfluss von Sauerstoff auf die apparente Photosynthese 269
- 10.7 Die Regulation des CO₂-Austausches durch die Stomata 270
 - 10.7.1 Physiologische Grundlagen 270
 - 10.7.2 Lichtabhängige Steuerung der Stomaweite 272
 - 10.7.3 Der H₂O-abhängige Regelkreis 273
 - 10.7.4 Hydraulik der Stomabewegung 274
- 11 C₄-Pflanzen, C₃-C₄-Pflanzen und CAM-Pflanzen 279**
 - 11.1 Systematische Verbreitung der C₄-, C₃-C₄- und CAM-Pflanzen 279
 - 11.2 Das C₄-Syndrom 280
 - 11.3 Der C₄-Dicarboxylatcyclus 283
 - 11.4 Ökologische Aspekte des C₄-Syndroms 286
 - 11.5 Genphysiologische Aspekte des C₄-Syndroms 289
 - 11.6 C₃-C₄-Pflanzen, eine Vorstufe der C₄-Pflanzen? 289
 - 11.7 CAM, eine Alternative zur C₄-Photosynthese 291
 - 11.8 Isotopendiskriminierung bei der CO₂-Fixierung 294
- 12 Stoffwechsel von Wasser und anorganischen Ionen 297**
 - 12.1 Wasser 297
 - 12.2 Mineralernährung der Pflanze 299
 - 12.3 Essenzielle Mikroelemente 301
 - 12.4 Funktion der Nährelemente im Stoffwechsel 302
 - 12.4.1 Makroelemente 302
 - 12.4.2 Mikroelemente 304
 - 12.5 Interaktionen zwischen Wurzel und Boden bei der Nährstoffaneignung 305
 - 12.6 Salzexkretion bei Halophyten 306
 - 12.7 Sequestrierung von Schwermetallen durch Phytochelatine 308
- 13 Ferntransport von Wasser und anorganischen Ionen 311**
 - 13.1 Grundlegende Überlegungen 311
 - 13.2 Der Transportweg aus dem perirhizalen Raum in die Gefäße der Wurzel 313
 - 13.3 Der Transportweg im Xylem 316
 - 13.4 Die Abgabe von Wasser an die Atmosphäre 318
 - 13.5 Die treibende Kraft des Wassertransports im Xylem 320
 - 13.6 Wasserbilanz 324
 - 13.7 Analogiemodell für den Wassertransport in einer Pflanze 326
 - 13.8 Der Transport organischer Moleküle im Xylem 328

14	Ferntransport von organischen Molekülen	333
14.1	Grundlegende Überlegungen	333
14.2	Die Leitbahnen	334
14.3	Die Transportmoleküle	337
14.4	Mechanismen des Phloemtransports	338
14.4.1	Beladung der Siebröhren	338
14.4.2	Entladung der Siebröhren	342
14.4.3	Die Druckstromtheorie	343
14.4.4	Die Volumenstromtheorie	344
14.5	Regulation der Assimilatverteilung in der Pflanze	344
15	Ökologische Kreisläufe der Stoffe und der Strom der Energie	347
15.1	Die Kreisläufe von Kohlenstoff und Sauerstoff	347
15.2	Der Kreislauf des Stickstoffs	350
15.3	Der Strom der Energie	352
16	Produkte und Wege des biosynthetischen Stoffwechsels – eine kleine Auswahl	355
16.1	Primärer und sekundärer Stoffwechsel	355
16.2	Biosynthese von Fettsäuren und Speicherlipiden	357
16.3	Biosynthese der aromatischen Aminosäuren	359
16.4	Biosynthese der Flavonoide	361
16.5	Biosynthese des Lignins	363
16.6	Biosynthese des Chlorophylls	366
16.7	Biosynthese der Carotinoide	368
17	Entwicklung der vielzelligen Pflanze	373
17.1	Grundlegende Gesichtspunkte	373
17.1.1	Entwicklung als ontogenetischer Kreislauf	373
17.1.2	Das genetisch festgelegte Entwicklungsprogramm und der Einfluss der Umwelt	375
17.1.3	Entwicklung und Chromosomensatz	376
17.1.4	Generationswechsel	377
17.1.5	Alternative Entwicklungsstrategien des Gametophyten	379
17.2	Wachstum	379
17.2.1	Definition von Wachstum	379
17.2.2	Messung des Wachstums	380
17.2.3	Allometrisches Wachstum	381
17.3	Morphogenese als Musterbildung und Differenzierung	384
17.3.1	Musterbildung im Embryo	384
17.3.2	Steuerung von Musterbildung und Differenzierung im Embryo	387
17.3.3	Anlage der beiden primären Meristeme	388
17.3.4	Wachstum und Histodifferenzierung der Wurzel	390
17.3.5	Histodifferenzierung und Organogenese im Sprossmeristem	391

17.3.6	Molekulargenetische Analyse der Meristemfunktionen	393
17.3.7	Blattinduktion und Phyllotaxis	395
17.3.8	Oben-unten-Polarität des Blattes	397
17.3.9	Blattentwicklung	397
17.3.10	Konstruktion der Sprossachse	401
17.3.11	Die Bedeutung der Reaktionsnorm	402
17.3.12	Korrelationen	403
17.3.13	Umdifferenzierungen	403
18	Chemoregulation im Organismus – Hormone und Hormonwirkungen	407
18.1	Definition und Eigenschaften der Hormone bei Pflanzen	407
18.2	Überblick über die Struktur und Funktion der Phytohormone	412
18.2.1	Auxin	412
18.2.2	Gibberelline	418
18.2.3	Cytokinine	422
18.2.4	Abscisinsäure	426
18.2.5	Ethylen	428
18.2.6	Brassinosteroide	432
18.2.7	Salicylsäure	435
18.2.8	Jasmonsäure	435
18.2.9	Systemin	436
18.2.10	Strigolactone	436
18.3	Molekulare Mechanismen der hormonellen Signaltransduktion	437
18.3.1	Auxin aktiviert responsive Gene durch den Abbau von Repressorproteinen	437
18.3.2	Negative Regulatoren sind zentrale Elemente in der Signaltransduktionskette der Gibberelline	438
18.3.3	Der Cytokininreceptor CRE1 ist eine Zweikomponenten-Histidinkinase, die eine Phosphorelaiskaskade von Signalen in den Zellkern auslöst	440
18.3.4	Der Ethylenreceptor ETR1 ist eine Zweikomponenten-Histidinkinase, die nicht als Histidinkinase wirksam wird	440
19	Die Wahrnehmung des Lichtes – Photosensoren und Photomorphogenese	445
19.1	Was ist Licht für die Pflanze?	445
19.2	Farbstoffe und Photosensoren	446
19.3	Wirkungsspektren	446
19.4	Wirkungen von UV-B-Strahlung	448
19.5	Photosensoren für den UV-Blau-Bereich	449
19.5.1	Cryptochrom	449
19.5.2	Phototropine	450
19.6	Photosensoren für den Rotlichtbereich	452
19.6.1	Licht als Signalgeber der Entwicklung	452
19.6.2	Photobiologische Eigenschaften der Phytochrome	454
19.6.3	Phytochrom A und Phytochrom B	457
19.6.4	Molekulare Eigenschaften des Phytochroms	459
19.6.5	Signaltransduktion zwischen Phytochrom und Genexpression	460
19.6.6	Phytochromregulierte Enzyme	462
19.6.7	Phytochromregulierte Plastidendifferenzierung	464
19.6.8	Phytochromregulierte Reaktionen von Zellen, Geweben und Organen	467
19.6.9	Phytochromregulierte Reaktionen älterer, grüner Pflanzen	467

- 19.7 Koaktion verschiedener Photosensoren 468
- 20 Reifung und Keimung von Fortpflanzungs- und Verbreitungseinheiten 471**
 - 20.1 Aufbau des Samens 471
 - 20.2 Entwicklung zum reifen Samen 472
 - 20.2.1 Histodifferenzierung 472
 - 20.2.2 Samenreifung 472
 - 20.2.3 Steuerung der Samenreifung 475
 - 20.3 Keimung des gereiften Samens 476
 - 20.3.1 Physiologische Analyse der Keimung 476
 - 20.3.2 Biochemische Analyse der Keimung 480
 - 20.3.3 Physikalische Analyse der Keimung 481
 - 20.4 Regulation der Genexpression während der Embryonalentwicklung 484
 - 20.5 Steuerung der Fruchtentwicklung durch den Samen 484
 - 20.6 Knospenruhe und Knospenkeimung 485
 - 20.7 Austrocknungstoleranz im vegetativen Stadium: Auferstehungspflanzen 487
- 21 Endogene Rhythmik 489**
 - 21.1 Der ursprüngliche Befund: Tagesperiodische Blattbewegungen 489
 - 21.2 Weitere ausgewählte Phänomene der circadianen Rhythmik 490
 - 21.2.1 Tagesperiodische Bewegung von Blütenblättern 490
 - 21.2.2 Tagesperiodischer Sporangienabschuss bei *Pilobolus* 490
 - 21.2.3 Circadiane Rhythmik in Gewebekulturen 491
 - 21.2.4 Endogene Rhythmik und Biolumineszenz 491
 - 21.3 Einige Experimente zur Analyse der endogenen Rhythmik 493
 - 21.3.1 Auslösung der Rhythmik 493
 - 21.3.2 Anpassungen der Rhythmik an Programmänderungen 493
 - 21.3.3 Endogene Rhythmik und Zellatmung 494
 - 21.3.4 Endogene Rhythmik und Zellkern 495
 - 21.4 Genetische Analyse des Oscillators bei *Arabidopsis* 495
 - 21.5 Verschiedene innere Uhren in verschiedenen Organismen 498
- 22 Blütenbildung und Befruchtung 501**
 - 22.1 Autonome Induktion des Blütenmeristems – die oberste Ebene der Blühkontrollgene 501
 - 22.2 Exogene Induktion der Blütenbildung – ebenfalls auf der obersten Ebene der Blühkontrollgene 503
 - 22.2.1 Photoperiode und Kälte als exogene Auslöser 503
 - 22.2.2 Kritische Tageslängen 504
 - 22.2.3 Blätter als Receptororgane des Photoperiodismus 505
 - 22.2.4 Blütenbildung und Gibberelline 506
 - 22.2.5 Molekulare Rezeptoren beim Photoperiodismus 506
 - 22.2.6 Photoperiodismus und circadiane Rhythmik 507
 - 22.2.7 Photoperiodische Phänomene unabhängig von der Blütenbildung 508
 - 22.2.8 Selektionsvorteil des Photoperiodismus 509
 - 22.2.9 Thermoperiodismus 509
 - 22.2.10 Vernalisation 510

- 22.3 Steuerung der Blütensymmetrie, der Blütenzahl und der Abgrenzung der Blütenorgankreise – die 2. Ebene der Blühkontrollgene 511
- 22.4 Die Identität der Blütenorgane – die 3. Ebene der Blühkontrollgene 514
- 22.5 Befruchtung bei den Blütenpflanzen 516
 - 22.5.1 Selbstinkompatibilität 516
- 23 Regulation von Altern und Tod 525**
 - 23.1 Seneszenz von Molekülen 525
 - 23.2 Seneszenz von Zellen 526
 - 23.2.1 Programmierter Zelltod während der Entwicklung der vielzelligen Pflanze 526
 - 23.2.2 Programmierter Zelltod bei der Xylogenese 526
 - 23.2.3 Programmierter Zelltod der Suspensorzellen während der Embryonalentwicklung 527
 - 23.2.4 Programmierter Zelltod zur Bildung von Aerenchym 527
 - 23.3 Seneszenz von Organen 528
 - 23.3.1 Physiologische Steuerung der Organseneszenz 528
 - 23.3.2 Anatomie des Blattfalles 528
 - 23.3.3 Abbau der Plastiden und des Chlorophylls 528
 - 23.3.4 Genaktivierung während der Seneszenz 529
 - 23.3.5 Physiologie der Blattalterung 530
 - 23.3.6 Wirkung von Außenfaktoren 531
 - 23.3.7 Herbstfärbung 532
 - 23.3.8 Alterung der Blütenblätter 532
 - 23.4 Seneszenz von Organismen 533
- 24 Physiologie der Regeneration und Transplantation 535**
 - 24.1 Untersuchungen mit Organkulturen 535
 - 24.2 Gewebekulturen und Zelldifferenzierung 536
 - 24.3 Beweisführung für die Omnipotenz spezialisierter Pflanzenzellen 538
 - 24.3.1 Regenerationsexperimente an Farnprothallien 538
 - 24.3.2 Regenerationsexperimente an Begonienblättern 538
 - 24.3.3 Regeneration *in vitro* aus isolierten Einzelzellen 538
 - 24.3.4 Differenzierung und Regeneration 540
 - 24.3.5 Bildung („Regeneration“) haploider Sporophyten aus Pollenkörnern 540
 - 24.3.6 Regeneration aus Protoplasten und Cybridisierung 542
 - 24.4 Wundheilung 543
 - 24.5 Regeneration ohne Kallusbildung 544
 - 24.5.1 Bildung von Adventivwurzeln 544
 - 24.5.2 Blütenbildung 545
 - 24.6 Transplantation 545
 - 24.6.1 Pfropfen 545
 - 24.6.2 Chimären 546
 - 24.6.3 Intrazelluläre Chimären 546

25	Aktive Bewegungen von Zellen, Organen und Organellen	549
25.1	Freie Ortsbewegungen	549
25.1.1	Phototaxis freilebender Algen	549
25.1.2	Chemotaxis von Geschlechtszellen	552
25.1.3	Feinstruktur und Funktion von Geißeln	552
25.2	Orientierungsbewegungen von Organen	553
25.2.1	Grundphänomene	553
25.2.2	Gravitropismus des <i>Chara</i> -Rhizoids	553
25.2.3	Gravitropismus bei Keimwurzeln und Sprossorganen	555
25.2.4	Weitere tropische Reaktionen	562
25.2.5	Phototropismus bei höheren Pflanzen	562
25.2.6	Phototropismus des Farnsporenkeimlings	568
25.2.7	Phototropismus der <i>Phycomyces</i> -Sporangiophore	570
25.2.8	Osmotische Bewegungen von Zellen und Organen	570
25.2.9	Rankbewegungen	573
25.3	Aktive intrazelluläre Bewegungen	575
25.3.1	Plasmaströmung	576
25.3.2	Chloroplastenbewegungen	576
26	Stress und Stressresistenz	583
26.1	Grundlegende Begriffe	583
26.2	Mechanischer Stress	584
26.3	Trockenstress	586
26.3.1	Konstitutive Trockenstressresistenz	586
26.3.2	Adaptative Trockenstressresistenz bei Mesophyten	588
26.3.3	Abhärtung gegen Trockenstress	591
26.3.4	Salzstress	592
26.4	Temperaturstress	593
26.4.1	Resistenz gegen Hitzestress	593
26.4.2	Hitzeschockproteine	595
26.4.3	Resistenz gegen Kältestress	596
26.4.4	Resistenz gegen Froststress	598
26.5	Oxidativer Stress	601
26.5.1	Warum ist O ₂ giftig?	601
26.5.2	Entgiftungsreaktionen für reaktive Sauerstoffformen	603
26.6	Licht- und UV-Stress	606
26.6.1	Photoinhibition der Photosynthese	606
26.6.2	Resistenz gegen UV-Schäden	607
26.7	Stress durch ionisierende Strahlung	614
27	Interaktionen mit anderen Organismen	617
27.1	Symbiosen	617
27.1.1	Pflanzen und Pilze: Mykorrhiza	617
27.1.2	Pflanzen und Bakterien: Biologische N ₂ -Fixierung in Wurzelknöllchen	621

27.2	Pathogenese	627
27.2.1	Infektionsabwehr durch konstitutive Barrieren und ihre Überwindung	628
27.2.2	Induzierte Abwehr, hypersensitive Reaktion	629
27.2.3	Der <i>oxidative burst</i> : Abwehr und Alarmsignal der Pflanze	630
27.2.4	Schwächung der Wirtspflanze durch Phytotoxine	631
27.2.5	Pflanzliche Antibiotica: Phytoalexine und fungitoxische Proteine	632
27.2.6	Induzierte Resistenz durch Immunisierung	633
27.2.7	Abwehr von Viren/Viroiden: RNAi	634
27.3	Tumorbildung durch <i>Agrobacterium tumefaciens</i>	635
27.4	Interaktionen zwischen Pflanzen und Insekten	639
27.4.1	Symbiosen zwischen Pflanzen und Carnivoren	639
27.4.2	Gallenbildung als pathologische Morphogenese	640
27.5	Interaktionen zwischen Pflanzen und Pflanzen	641
28	Ertragsbildung: Physiologie und Gentechnik	643
28.1	Grundlegende Gesichtspunkte	643
28.1.1	Zur Situation	643
28.1.2	Zur Terminologie	644
28.1.3	Ertrag und Energie	644
28.1.4	Zielsetzung der Ertragsphysiologie	644
28.1.5	Systemsynthese, Produktsynthese	645
28.1.6	Bildung von Speicherstoffen	646
28.1.7	Produktionsfaktoren	647
28.2	Ertragsgesetze	647
28.3	Praktische Optimierung von Produktionsverfahren	649
28.3.1	Versorgung mit Stickstoff	649
28.3.2	Dämpfung von Antagonisten der Ertragsbildung: Herbizide	652
28.3.3	Synthetische Wachstumsretardanzien	656
28.4	Verbesserung des Erbguts	656
28.4.1	Die Tradition	656
28.4.2	Klassische Züchtung	657
28.4.3	Gentechnik und Transformationsmethoden	660
28.4.4	Strategien zur Nutzung der gentechnischen Manipulation	664
28.5	Gentechnische Ansätze in der molekularen Pflanzenphysiologie	666
28.5.1	Grundsätzliche methodische Einschränkungen	666
28.5.2	Hemmung der Pollenreifung für die Hybridzüchtung	667
28.5.3	Manipulationen im Kohlenhydratmetabolismus	668
28.5.4	Manipulationen zur Synthese neuer Produkte	669
28.5.5	Transgene Ansätze zur Virusresistenz	670
28.5.6	Gezielte Beeinflussung von ökonomisch interessanten Merkmalen	671
28.5.7	Gentechnisch veränderte Nahrungsmittel	673
28.6	Ökologische Auswirkungen transgener Veränderungen bei Pflanzen	674
Anhang	Physikalische Messgrößen, Maßeinheiten, Umrechnungsfaktoren, Konstanten	677
Index		681



<http://www.springer.com/978-3-662-49879-8>

Pflanzenphysiologie

Schopfer, P.; Brennicke, A.

2010, XVIII, 702 S. 551 Abb., Softcover

ISBN: 978-3-662-49879-8