

G. Czihak · H. Langer · H. Ziegler (Hrsg.)

BIOLOGIE

Ein Lehrbuch

Fünfte korrigierte Auflage

Gemeinschaftlich verfaßt von

D. Baron · V. Blüm · G. Czihak · G. Gottschalk
B. Hassenstein · C. Hauenschild · W. Haupt · J. Jacobs
G. Kümmel · O. L. Lange · H. Langer · H. F. Linskens
W. Nachtigall · D. Neumann · G. Osche · W. Rathmayer
W. Rautenberg · K. Sander · P. Schöpfer · R. Sitte
H. Walter · E. Weberling · W. Wieser
H. Ziegler · V. Ziswiler

Mit 1350 zum Teil farbigen Abbildungen

Springer-Verlag

Berlin Heidelberg New York

London Paris Tokyo

HongKong Barcelona

Budapest

Inhaltsverzeichnis

Einführung

Bau und Leistungen der Zellen

1	Zellbiologie	7
1.1	Zelltypen und Zellfeinbau	9
1.1.1	Die Zelle als universelles Bauelement der Organismen	9
1.1.2	Eucyt und Protocyt	11
1.1.2.1	Strukturelemente des Eucyten: Lichtmikroskopie	11
1.1.2.2	Strukturelemente des Eucyten: Elektronenmikroskopie	13
1.1.2.3	Beispiele von Eucyten	18
1.1.2.4	Strukturelemente des Protocyten	24
1.2	Molekulare Architektur der Zelle	28
1.2.1	Proteine	31
1.2.2	Nucleinsäuren	37
1.2.2.1	Die Rolle der Nucleinsäuren	37
1.2.2.2	Struktur und Eigenschaften der DNA	38
1.2.2.3	Replikation der DNA	41
1.2.2.4	Struktur- und Funktionstypen von RNA	43
1.2.3	Nucleoproteine	43
1.2.3.1	Ribosomen	43
1.2.3.2	Viren	44
1.2.3.3	Viroide und Prionen	46
1.2.4	Polysaccharide	47
1.2.5	Lipide und Biomembranen	48
1.2.5.1	Permeabilität und Membrantransport	48
1.2.5.2	Membranlipide	49
1.2.5.3	Molekulare Architektur der Membranen	49
1.3	Inneres Milieu der Zelle	52
1.3.1	Die Bedeutung des Wassers	52
1.3.2	Zellsäfte als wässrige Lösungen	53
1.3.3	Wasserstoffionenkonzentration und Pufferung	57
1.3.4	Dynamik des inneren Milieus	59
1.3.4.1	Dynamik des Lösungsmittels	59
1.3.4.2	Quellung	61

1.4	Energie- und Stoffwechsel	62
1.4.1	Energetik	62
1.4.2	Kinetik	68
1.4.2.1	Aktivierungsenergie	68
1.4.2.2	Enzymatische Katalyse	69
1.4.2.3	Reaktionskinetik	74
1.4.3	Energieübertragung in Zellen	77
1.4.3.1	Direkte Nutzung der chemischen Potentiale organischer Verbindungen	77
1.4.3.2	Elektronenübertragungspotentiale und Elektronentransportketten	78
1.4.3.3	Ionenmotorische Kräfte und chemiosmotische Theorie	80
1.4.3.4	Transport von Ionen und kleinen Molekülen durch Membranen	83
1.4.3.5	Der Transport von Energie- und Reduktionsäquivalenten zwischen Zellkompartimenten	85
1.4.4	Zellstoffwechsel	87
1.4.4.1	Gemeinsame Endstrecke des Katabolismus	88
1.4.4.2	Weitere Reaktionen im Stoffwechsel der Kohlenhydrate	92
1.4.4.3	Stoffwechsel der Lipide	95
1.4.4.4	Denitrifikation und Stickstofffixierung	97
1.4.4.5	Stoffwechsel der Proteine und Aminosäuren	98
1.4.4.6	Stoffwechsel der Nucleinsäuren und Nucleotide	101
1.4.4.7	Stickstoffendprodukte	102
1.4.4.8	Einige Prinzipien der Biosynthese von Makromolekülen und der Organisation des Zellstoffwechsels	
1.4.4.9	Räumliche Ordnung und Kompartimentierung im Zellstoffwechsel	105
1.4.4.10	Knotenpunkte des Stoffwechsels	105
1.4.4.11	Regulation des Zellstoffwechsels	106
1.4.4.12	Licht als Energie- und Informationsträger	110
1.4.4.13	Energiegewinnung durch Photosynthese	113
1.4.4.14	Chemolithotrophie	130
1.5	Bioelektrizität	131
1.5.1	Gleichgewichtspotential	131
1.5.2	Membranpotential	132
1.6	Zellorganellen	134
1.6.1	Cytomembranen	135
1.6.1.1	Intrazellulärer Stofftransport	135
1.6.1.2	Kompartimentierung des Eucyten	136
1.6.1.3	Endoplasmatisches Reticulum (ER)	136
1.6.1.4	Golgi-Apparat	138
1.6.2	Cytosomen, Vesikel, Vakuolen	138
1.6.2.1	Lysosomen	138
1.6.2.2	Endocytose	139
1.6.2.3	Cytosomen	139
1.6.2.4	Vakuolen	139
1.6.3	Cytoplasmatische Strukturen und Zellmobilität	140
1.6.3.1	Kontraktile Systeme im Cytoplasma	140
1.6.3.2	Mikrotubuli	141
1.6.3.3	Cytoplasmatisches Skelett tierischer Zellen	141
1.6.3.4	Amöboide Bewegung	142

- 1.6.3.5 Centriolen und Basalkörper 143
- 1.6.3.6 Flagellen und Cilien 143
- 1.6.4 Bewegung von Einzellern 145
 - 1.6.4.1 Vortriebserzeugung 145
 - 1.6.4.2 Chemophobotaktische Reaktion bei Bakterien 145
 - 1.6.4.3 Phototaxis bei Euglena 146
- 1.6.5 Mitochondrien und Plastiden 147
 - 1.6.5.1 Feinbau und Funktion der Mitochondrien 147
 - 1.6.5.2 Genese der Mitochondrien 148
 - 1.6.5.3 Strukturtypen und Entwicklung der Plastiden 149
 - 1.6.5.4 Plastiden als semiautonome Systeme 151
 - 1.6.5.5 Bewegungen von Chloroplasten 152
 - 1.6.5.6 Stammesgeschichtliche Herkunft der Plastiden und Mitochondrien: Die Endosymbionten-Hypothese
- 1.6.6 Zellkern 154
 - 1.6.6.1 Aktivitäten und Komponenten des Zellkerns 154
 - 1.6.6.2 Chromatin 154
 - 1.6.6.3 Bau und Feinbau der Chromosomen 155
 - 1.6.6.4 Endopolyploidie, Riesenchromosomen und Lampenbürstenchromosomen 157
 - 1.6.6.5 Besondere Eigenschaften der Kern-DNA 159
 - 1.6.6.6 Nucleolus; Prä-Ribosomen und Prä-mRNA-Partikel 161
 - 1.6.6.7 Das Kernskelett 162
 - 1.6.6.8 Kernhülle 162
- 1.7 Mitose und Zellteilung 163
 - 1.7.1 Ablauf der Mitose 163
 - 1.7.2 Zellteilung (Cytokinese) 167
 - 1.7.3 Zellzyklus 167
 - 1.7.4 Zellvermehrung 168
- 1.8 Meiose und Rekombination 169
- 1.9 Zellwand 171
 - 1.9.1 Zellwände bei Pflanzen 171
 - 1.9.2 Zellwände bei Tieren 173

Strukturen und Funktionen der Organismen

- 2 **Genetik** 177
 - 2.1 Einleitung 177
 - 2.2 Nucleinsäuren als Träger der Erbinformation 179
 - 2.3 DNA-Analytik 180

2.3.1	Restriktions-Kartierung	180
2.3.2	Nucleotidsequenzanalyse	181
2.4	Realisierung der genetischen Information	181
2.4.1	Transkription	181
2.4.1.1	Processing	184
2.4.1.2	Sequenzanalyse der RNA	185
2.4.2	Translation	186
2.4.3	Reverse (umgekehrte) Transkription	187
2.4.4	Der genetische Code	188
2.5	Organisation der DNA im Genom	190
2.5.1	Das Tabakmosaik-Virus	191
2.5.2	RSV, das Rous-Sarkom-Virus	192
2.5.3	Phagen	192
2.5.3.1	«DX174	193
2.5.3.2	Temperente Phagen	194
2.5.4	<i>Escherichia coli</i>	196
2.5.5	Eukaryoten	200
2.5.5.1	Isolierung von Genen	200
2.5.5.2	Anlage von Genbanken (-bibliotheken)	202
2.5.5.3	Histogene	203
2.5.5.4	Die Globingenfamilie	203
2.5.5.5	Das Kollagen-Gen	204
2.6	Mendelsche oder Formalgenetik	205
2.6.1	Dominant-rezessiver Erbgang	205
2.6.2	Intermediäre Erbgänge	207
2.6.3	Heterosis	208
2.6.4	Geschlechtschromosomale Vererbung	209
2.6.5	Kodominanz und Genetik des Blutgruppensystems ABO	210
2.7	Inzucht. Züchtung reiner Linien. Problematik der Verwandtenehe	213
2.8	Rekombination und Genkartierung	216
2.9	Genwirkketten (Stoffwechsel des Phenylalanin)	221
2.9.1	Erster Weg und Tyrosinose sowie Alkaptonurie	223
2.9.2	Zweiter Weg und Albinismus	224
2.9.3	Dritter Weg und Kretinismus	224
2.10	Mutation	224
2.10.1	Fluktuationstest	225

- 2.10.2 Spontanmutationen 226
 - 2.10.2.1 Punkt-oder Kleinbereichsmutationen 227
 - 2.10.2.2 Chromosomenmutationen 231
 - 2.10.2.3 Genommutationen 232
- 2.10.3 Chemische Mutagene 235
- 2.10.4 Strahlenwirkung 236
- 2.10.5 Mutagenitätsprüfung 242

- 2.11 Genregulation 243

- 2.12 Transposons 246

- 2.13 Tumorgenetik 247

- 2.14 Plasmatische oderextrachromosomale Vererbung 250

- 2.15 Gentechnologie – Genmanipulation 253
 - 2.15.1 Genvermehrung in Vektoren 253
 - 2.15.2 Vektoren 255
 - 2.15.2.1 Einige Plasmide 255
 - 2.15.2.2 λ -Vektoren 257
 - 2.15.2.3 Cosmide 258
 - 2.15.3 Ergebnisse derGentechnologie 259
 - 2.15.3.1 Bakterien als Proteinproduzenten 259
 - 2.15.3.2 Gentransfer bei Pflanzen 259
 - 2.15.3.3 Säugerzellen 259

- 3 Fortpflanzung undSexualität 263**
 - 3.1 Ungeschlechtliche Fortpflanzung 268
 - 3.1.1 Monocytogene Fortpflanzung (Agamogonie) 268
 - 3.1.1.1 Agamogonie bei Pflanzen 268
 - 3.1.1.2 Agamogonie bei Tieren 268
 - 3.1.2 Polycytogene Fortpflanzung (Vegetative Fortpflanzung) 269
 - 3.1.2.1 Vegetative Fortpflanzung bei Pflanzen 269
 - 3.1.2.2 Vegetative Fortpflanzung bei Tieren 271
 - 3.2 Geschlechtliche Fortpflanzung 272
 - 3.2.1 Parasexualität bei Bakterien und Pilzen 273
 - 3.2.2 Gametogamie bei Algen und Pflanzen 273
 - 3.2.3 Gameto- und Gamontogamie bei Protozoen 275
 - 3.2.4 Gametangiogamie und Somatogamie bei Pilzen 278
 - 3.2.5 Gametogamie bei Archegoniaten 280
 - 3.2.6 Gametophytenbefruchtung 282

- 3.2.6.1 Blüte 283
- 3.2.6.2 Entstehung der Geschlechtszellen 284
- 3.2.6.3 Befruchtungsprozeß 286
- 3.2.6.4 Endosperm. Frucht und Samen 292
- 3.2.7 Befruchtungsbarrieren 292
- 3.2.8 Gamogonie der Metazoen 295
- 3.2.8.1 Gametogenese 295
- 3.2.8.2 Besamung 299
- 3.2.8.3 Befruchtung 300
- 3.2.9 Rudimentäre Formen der Gamogonie 302
- 3.2.9.1 Bei Pflanzen 302
- 3.2.9.2 Bei Tieren 303
- 3.3 Generations- und Fortpflanzungswechsel 305
- 3.3.1 Primärer Generationswechsel 306
- 3.3.1.1 Bei Pflanzen (Biontenwechsel) 306
- 3.3.1.2 Bei Tieren 307
- 3.3.2 Sekundärer Generationswechsel der Metazoen 308
- 3.4 Geschlechtsverteilung 310
- 3.4.1 Bei Pflanzen 310
- 3.4.2 Bei Tieren 311
- 3.5 Geschlechtsbestimmung 312
- 3.5.1 Haplogentypische Geschlechtsbestimmung bei Thallophyten und Archegoniaten 314
- 3.5.2 Diplogentypische Geschlechtsbestimmung 314
- 3.5.2.1 Normaltypus 314
- 3.5.2.2 Abweichende Geschlechtsbestimmungsmechanismen bei Metazoen 316
- 3.5.2.3 Subdiözie bei Pflanzen 317
- 3.5.2.4 Intersexualität und Gynandromorphismus bei Metazoen 317
- 3.5.3 Modifikatorische (phänotypische) Geschlechtsbestimmung 319
- 3.5.4 Geschlechtsdifferenzierung durch Sexualhormone 320
- 4 Entwicklung 323**
- 4.1 Wachstum 327
- 4.1.1 Zellvermehrung und Zellvergrößerung 327
- 4.1.2 Streckungswachstum und Regulatoren 328
- 4.1.3 Allometrisches Wachstum 329
- 4.2 Steuerung durch äußere Faktoren 329
- 4.2.1 Photomorphogenese der Pflanzen 330
- 4.2.2 Saisonale Einpassung durch äußere Faktoren 335
- 4.2.2.1 Photoperiodismus 335

- 4.2.2.2 Vernalisation **338**
- 4.2.3 Biotische äußere Faktoren **339**
- 4.2.4 Signale zur Entwicklungsauslösung **339**
- 4.3 Innere Faktoren: Genwirkungen in der Ontogenese **341**
 - 4.3.1 Nachweis der Totipotenz von Zellkernen und Zellen **341**
 - 4.3.2 Ontogenese als differentielle Genexpression **343**
 - 4.3.3 Die Mittlerfunktion des Cytoplasmas **345**
 - 4.3.4 Lokalisierte Cytoplasmafaktoren **348**
 - 4.3.5 Entwicklungsspezifische Komplexloci **349**
- 4.4 Regulation der ontogenetischen Genexpression **351**
 - 4.4.1 Differentielle Transkription **351**
 - 4.4.2 Differentielles Processing **353**
 - 4.4.3 Differentielle Translation **354**
 - 4.4.4 Selektive Genamplifikation **355**
- 4.5 Zelldetermination und Zelldifferenzierung **356**
 - 4.5.1 Progressive Zelldetermination im Amphibienembryo **357**
 - 4.5.2 Zelldifferenzierung **357**
 - 4.5.3 Transdetermination **359**
 - 4.5.4 Transdifferenzierung (Metaplasie) **360**
 - 4.5.5 Die Rolle des Chromatinzustands bei der Zelldifferenzierung **362**
- 4.6 Musterbildung **363**
 - 4.6.1 Zellpolarität **363**
 - 4.6.2 Ooplasmatische Segregation **365**
 - 4.6.3 Zellteilungsmuster **365**
 - 4.6.4 Epigenetische Musterbildung in vielzelligen Systemen **369**
 - 4.6.5 Genetische Komponenten der Musterbildung **372**
 - 4.6.6 Synergetik der Systemkomponenten in der epigenetischen Musterbildung **373**
- 4.7 Morphogenese **374**
 - 4.7.1 Morphogenese durch Selbstordnung (self assembly) **374**
 - 4.7.2 Morphogenese bei Höheren Pflanzen **375**
 - 4.7.3 Morphogenese durch Umordnung von Zellen bei Höheren Tieren **377**
- 4.8 Korrelative Wechselwirkungen **378**
 - 4.8.1 Modellsystem *Dictyostelium* (Acrasiales) **379**
 - 4.8.2 Hormonelle Steuerung zellulärer Entwicklungsfunktionen **380**
 - 4.8.3 Hormonelle Steuerung der pflanzlichen Morphogenese **380**

4.8.4	Hormonelle Steuerung der Metamorphose bei Tieren	382
4.8.5	Korrelative Hemmungen und korrelative Förderungen bei Pflanzen	383
4.8.6	Gewebeintegration nach Pfropfung bei Pflanzen	384
4.8.7	Embryonale Induktionssysteme bei Tieren	386
4.8.8	Wirbeltier-Chimären	388
4.9	Regeneration	389
4.9.1	Verlauf der Regeneration bei Pflanzen	390
4.9.2	Verlauf der Regeneration bei Tieren	391
4.9.3	Regenerative Musterbildung bei Tieren	391
4.9.4	Paradoxe Regenerationen und das Kontinuitätsprinzip	392
4.10	Regressive Entwicklung	393
4.10.1	Programmierter Zelltod bei Pflanzen und Blattfall	394
4.10.2	Programmierter Zelltod bei Tieren	394
4.10.3	Lebensdauer, Altern und Tod	395
4.11	Entwicklungsanomalien	397
4.11.1	Teratogenese bei Pflanzen	397
4.11.2	Teratogenese bei Tieren	398
4.11.3	Entwicklungsbiologische Aspekte des Krebsproblems	399
5	Struktur und Funktion pflanzlicher und tierischer Organe	403
5.1	Bau der Gewebe und Organe bei Höheren Pflanzen	404
5.1.1	Allgemeiner Aufbau	404
5.1.1.1	Samenbau und Keimung	406
5.1.1.2	Erstarkungswachstum und Dickenperiode des Achsenkörpers	406
5.1.1.3	Blattfolge	407
5.1.1.4	Blattstellung und Längen der Internodien	407
5.1.2	Die einzelnen Organe	410
5.1.2.1	Sproßachse	410
5.1.2.2	Blatt	418
5.1.2.3	Wurzel	424
5.1.2.4	Bau der Angiospermenblüte	427
5.2	Funktionen pflanzlicher Gewebe und Organe	430
5.2.1	Bildung organischer Materie im Blatt	431
5.2.1.1	Das Blatt als effektiver Lichtabsorber	431
5.2.1.2	Assimilatorischer und dissimilatorischer Gaswechsel	432
5.2.1.3	Begrenzende Faktoren der apparenten Photosynthese	434
5.2.1.4	Regulation des Gastransports an den Stomata	436
5.2.1.5	Photosynthespezialisten: C ₄ -Pflanzen und CAM-Pflanzen	440
5.2.2	Regulation der Dissimilation heterotropher pflanzlicher Gewebe	442

- 5.2.3 Biosyntheseleistungen pflanzlicher Gewebe *444*
- 5.2.3.1 Terpenoidbiosynthese *445*
- 5.2.3.2 Flavonoidbiosynthese *446*
- 5.2.4 Funktionen der Wurzel *447*
- 5.2.4.1 Wasseraufnahme *448*
- 5.2.4.2 Ionenaufnahme *449*

- 5.3 Bau und Leistungen tierischer Gewebe *450*
- 5.3.1 Epithel- und Drüsengewebe *450*
- 5.3.2 Stütz- und Bindegewebe einschließlich Blut *452*
- 5.3.3 Muskelgewebe *455*
- 5.3.4 Nervengewebe *460*

- 5.4 Bau und Leistungen tierischer Organe *470*
- 5.4.1 Organe des Stoffaustausches und des Stoffwechsels *470*
- 5.4.1.1 Allgemeines zum Stoffaustausch *471*
- 5.4.1.2 Organe der Ernährung und des Stoffwechsels *474*
- 5.4.1.3 Organe der Atmung und des Gasaustausches *486*
- 5.4.1.4 Organe der Exkretion und der Osmo- und Ionenregulation *489*
- 5.4.2 Nervensysteme und Sinnesorgane *493*
- 5.4.2.1 Nervensysteme *493*
- 5.4.2.2 Allgemeine Eigenschaften der Sinnesorgane *495*
- 5.4.2.3 Mechanische Sinnesorgane *497*
- 5.4.2.4 Elektrische Sinnesorgane *502*
- 5.4.2.5 Temperatursinnesorgane *502*
- 5.4.2.6 Chemische Sinnesorgane *503*
- 5.4.2.7 Lichtsinnesorgane *506*
- 5.4.3 Bewegungssysteme *514*
- 5.4.3.1 Biomechanische Einheiten *514*
- 5.4.3.2 Muskulatur *516*
- 5.4.3.3 Elektrische Organe *520*
- 5.4.4 Körperdecke *521*
- 5.4.4.1 Haut der Vertebraten *521*
- 5.4.4.2 Haut der Mollusken *523*
- 5.4.4.3 Integument der Arthropoden *524*
- 5.4.5 Immunsystem *526*
- 5.4.5.1 Funktion, Leistung und Herkunft des Immunsystems *526*
- 5.4.5.2 Unspezifische Abwehr *528*
- 5.4.5.3 Organe und Zellen des Immunsystems *529*
- 5.4.5.4 Humorale Immunantwort *531*
- 5.4.5.5 Zelluläre Immunantwort *545*
- 5.4.5.6 Immunregulation und idiotypisches Netzwerk *551*

- 6 Strukturelle und funktionelle Integration im Gesamtorganismus *553***
- 6.1 Symmetriellehre *554*

6.2	Morphologische Organisationsstufen bei Pflanzen	556
6.2.1	Protophyten	556
6.2.2	Thallophyten	558
6.2.3	Cormophyten: Anpassungen des Cormusan Lebensweise und Lebensraum	562
6.3	Gestalt des tierischen Organismus	565
6.3.1	Baupläne ausgewählter Tierstämme	565
6.3.2	Anpassungen an Lebensweise und Lebensraum	575
6.3.3	Optische (äußere) Gestalt	577
6.4	Homoiostase und Koordination	578
6.4.1	Homoiostase durch Regelprozesse	579
6.4.2	Homoiostase ohne »feedback«	581
6.4.3	Führung durch den schnellsten Prozeß	582
6.5	Gesamtenergiehaushalt der Organismen	583
6.5.1	Energiefluß in der belebten Natur	583
6.5.2	Quantitative Aspekte der Energiegewinnung aus Nährstoffen	584
6.5.3	Abhängigkeiten der Größe des Stoffwechselumsatzes	587
6.5.3.1	Einfluß der Körpergröße	587
6.5.3.2	Einfluß von Alter und Entwicklungsstadium	589
6.5.3.3	Einfluß der Aktivität	589
6.5.3.4	Einfluß des Sauerstoffangebotes	591
6.5.4	Thermoregulation	592
6.5.4.1	Bedingungen des Wärmeaustausches	592
6.5.4.2	Poikilothermie	593
6.5.4.3	Homoiothermie	595
6.6	Gesamtstoffhaushalt der Organismen	596
6.6.1	Mineralhaushalt	598
6.6.1.1	Mineralbedarf der Pflanzen	598
6.6.1.2	Mineralbedarf der Tiere	599
6.6.2	Ionen- und Osmoregulation	600
6.6.2.1	Ionen- und Osmoregulation bei Pflanzen	600
6.6.2.2	Ionen- und Osmoregulation bei Tieren	601
6.6.3	Ernährung von heterotrophen Organismen	606
6.6.3.1	Essentielle Nährstoffe	607
6.6.3.2	Vitamine	610
6.7	Transportvorgänge bei Höheren Pflanzen und Tieren	614
6.7.1	Langstreckentransport bei Pflanzen	614
6.7.1.1	Ferntransport von Wasser	614
6.7.1.2	Ferntransport organischer Moleküle	618
6.7.1.3	Ferntransport von Ionen	620
6.7.1.4	Ferntransport von Gasen	620

- 6.7.2 Ferntransport bei Tieren **621**
 - 6.7.2.1 Tracheensystem **621**
 - 6.7.2.2 Blutgefäßsysteme **623**
 - 6.7.2.3 Blutkreislaufdynamik **626**
 - 6.7.2.4 Gastransport durch Körperflüssigkeiten **632**
 - 6.7.2.5 Kreislaufregulation **638**
- 6.8 Bewegung **640**
 - 6.8.1 Bewegungsvorgänge bei Höheren Pflanzen **641**
 - 6.8.1.1 Phototropismus **642**
 - 6.8.1.2 Gravitropismus (Geotropismus) **643**
 - 6.8.1.3 Nastische Bewegungen von Blattoorganen **645**
 - 6.8.2 Lokomotion bei Tieren **647**
 - 6.8.2.1 Schwimmen **648**
 - 6.8.2.2 Fliegen **653**
 - 6.8.2.3 Kriechen **656**
 - 6.8.2.4 Graben **658**
 - 6.8.2.5 Laufen **659**
 - 6.8.2.6 Springen **661**
 - 6.8.3 Biomechanik des Sprunges **662**
- 6.9 Humorale Integration **664**
 - 6.9.1 Botenstoffe **665**
 - 6.9.1.1 Funktionelle Einteilung **665**
 - 6.9.1.2 Chemische Einteilung **666**
 - 6.9.2 Humorale Regulation bei Tieren **666**
 - 6.9.2.1 Morphologie der Hormonbildungsstätten **666**
 - 6.9.2.2 Neuroendokrine Integration **667**
 - 6.9.2.3 Ausschüttung und Transport von Hormonen **669**
 - 6.9.2.4 Molekulare Wirkungsmechanismen der Hormone **670**
 - 6.9.2.5 Allgemeine Möglichkeiten hormonaler Regelung und Steuerung **672**
 - 6.9.2.6 Beispiele für Hormonsysteme und Regulationsvorgänge bei wirbellosen Tieren **674**
 - 6.9.2.7 Hormonsysteme bei Wirbeltieren **677**
 - 6.9.2.8 Die hormonale Regulation des menschlichen Menstruationszyklus und der Gestation als Beispiel multihormonaler Integration **681**
 - 6.9.2.9 Wichtige Parahormone der Wirbeltiere **683**
 - 6.9.2.10 Pheromone und ihre Korrelation mit hormonalen Regulationsvorgängen **684**
 - 6.9.3 Humorale Wechselwirkungen im Cormus der Höheren Pflanze **685**
 - 6.9.3.1 Nachweis und Wirkungen von Phytohormonen **685**
 - 6.9.3.2 Phytohormontransport und Integration im Cormus **691**
 - 6.9.3.3 Vergleich der Phytohormone mit tierischen Hormonen **692**
- 6.10 Ordnungsleistungen des Zentralnervensystems **693**
 - 6.10.1 Stufenfolge der Reiz-Reaktions-Zusammenhänge **694**
 - 6.10.2 Schnelleitungssysteme **696**
 - 6.10.3 Steuerung von Muskelaktionen in Extremitäten **698**
 - 6.10.4 Steuerung der Fortbewegung **700**
 - 6.10.5 Reafferenzprinzip **702**

6.10.6	Synergie: Sympathicus und Parasympathicus	703
6.10.7	Elektrische Gehirnreizung	705
6.10.8	Bewertung und Verrechnung von Sinnesdaten	707
6.10.9	Repräsentation, Verrechnung	710
6.11	Biologische Rhythmen und biologische Zeitmessung	711
6.11.1	Tagesrhythmik	712
6.11.1.1	Nachweis einer »circadianen Uhr«	712
6.11.1.2	Zeitgeber	713
6.11.1.3	Tagesrhythmen beim Menschen	714
6.11.1.4	Lokalisation der circadianen Uhr	715
6.11.1.5	Nutzung der circadianen Uhr	717
6.11.2	Biologische Zeitmessungen in der Gezeitenzone	718
6.11.3	Zeitmessung im Wechsel der Jahreszeiten	719
7	Verhalten	721
7.1	Angeborenes Verhalten	722
7.1.1	Endogene Periodik des Verhaltens	722
7.1.2	Reflexe	723
7.1.3	Gleichgewichtshaltung und Raumorientierung	723
7.1.4	Reaktionsbereitschaft	725
7.1.5	Auslösende Reize, angeborener auslösender Mechanismus	726
7.1.6	Appetenzverhalten, instinktive Endhandlung	726
7.1.7	Bereitschaft (Antrieb) und Versorgungszustand	728
7.1.8	Bereitschaft (Antrieb) und instinktive Endhandlung	729
7.1.9	Antriebsenkende und antriebssteigernde Außenreize	730
7.1.10	Gegenseitige Hemmung zwischen Verhaltenstendenzen	730
7.1.11	Doppelte Quantifizierung, Leerlaufaktionen	731
7.1.12	Umorientiertes Verhalten, Intentionsbewegungen	731
7.1.13	Übersprungsverhalten	732
7.2	Lernen (erfahrungsbedingte Programmierung des Verhaltens)	733
7.2.1	Bedingte Reflexe	734
7.2.2	Lernen aufgrund von guten Erfahrungen (Belohnungen)	735
7.2.3	Lernen aufgrund von schlechten Erfahrungen (Strafen)	736
7.2.4	Prägung	737
7.2.5	Motorisches Lernen	738
7.2.6	Soziale Anregung, Nachahmung	738
7.2.7	Lernerfolg, Lernbereitschaft	739
7.2.8	Kurz- und Langzeitgedächtnis und deren physiologische Basis	740

- 7.3 Erkunden, Neugierde, Spielen 742
- 7.3.1 Erkunden 742
- 7.3.2 Neugierde 742
- 7.3.3 Spielen 743
- 7.4 Engrammwirkungen im nichtgelernten Zusammenhang 745
- 7.4.1 Anwendung von Orts- und Geländekenntnis 745
- 7.4.2 Vergleich von Engramm und Wahrnehmung 746
- 7.4.3 Zielbedingte Neukombination von Engrammen 746
- 7.5 Verhaltensbeziehungen zwischen Artgenossen (Tiersoziologie) 746
- 7.5.1 Ursprung und Selektionswert sozialen Verhaltens 747
- 7.5.2 Soziale Auslöser, Ritualisierung 748
- 7.5.3 Kampf, Drohung, Tötungshemmung 749
- 7.5.4 Revierverhalten 751
- 7.5.5 Paarbildung 752
- 7.5.6 Eltern und Junge 754
- 7.5.7 Rangordnung 755
- 7.5.8 Sozialverbände auseinander individuell bekannten Mitgliedern 756
- 7.5.9 Anonyme Gruppen und Staaten 757

Organismen in ihrer Umwelt und in Populationen

- 8 **Ökologie** 761
- 8.1 Umweltfaktoren und ihre Wirkungen auf Organismen, Autökologie 762
- 8.1.1 Die Umwelt 762
- 8.1.1.1 Allgemeine Eigenschaften der Umweltfaktoren 763
- 8.1.1.2 Einige wichtige abiotische Umweltfaktoren und ihre Bedeutung für die Organismen
- 8.1.1.3 Korrelationen zwischen Umweltfaktoren 768
- 8.1.1.4 Die Sonderstellung der biotischen Umweltfaktoren 769
- 8.1.2 Die Wirkungen der Umwelt auf die Organismen 771
- 8.1.2.1 Fundamentale Reaktionsweisen der Individuen 771
- 8.1.2.2 Prinzipien von übergeordneter Bedeutung 773
- 8.1.2.3 Komplexe Organismus-Umwelt-Beziehungen 777
- 8.1.2.4 Die ökologische Nische 779
- 8.1.2.5 Schlüsselfaktoren, limitierende Faktoren 781
- 8.2 Populationen 782
- 8.2.1 Populationsgröße, Anzahl und Biomasse, Populationsdichte 783
- 8.2.2 Variabilität in der Population 783
- 8.2.3 Populationsstrukturen 784

8.2.4	Zeitliche Veränderungen der Populationen. Populationsdynamik	786
8.2.4.1	Grundkomponenten der Populationsveränderungen: Natalität und Mortalität	787
8.2.4.2	Altersabhängigkeit von Reproduktion und Sterblichkeit	787
8.2.4.3	Exponentielles Wachstum der Population	790
8.2.4.4	Dichteabhängige Regulation der Populationsgröße. Logistisches Wachstum	790
8.2.4.5	Schwankungen der Populationsdichte. Zyklen	792
8.2.4.6	Extinktion	795
8.2.5	Räumliche Veränderungen der Populationen	795
8.2.5.1	Ausbreitungsmechanismen	796
8.2.5.2	Populationsgrenze und Expansion	796
8.2.5.3	Kolonisierung und ihre Beziehung zur Extinktion	797
8.2.5.4	Wanderungen	797
8.3	Die Biozonose und das Ökosystem	799
8.3.1	Einfache Wechselbeziehungen	801
8.3.1.1	Konkurrenz	801
8.3.1.2	Symbiose	804
8.3.1.3	Feind-Beute-Beziehungen. Parasitismus	807
8.3.1.4	Kommensalismus. Amensalismus, Neutralismus	810
8.3.2	Komplexe Wechselbeziehungen	811
8.3.2.1	Konkurrenz und Feind-Beute-Beziehung	811
8.3.2.2	Die Trophiestruktur des Ökosystems	812
8.3.2.3	Artenzahl und Diversität	813
8.3.2.4	Komplexität und Stabilität	815
8.3.2.5	Systemanalyse	816
8.3.3	Stoff- und Energiehaushalt	817
8.3.3.1	Stoffkreisläufe	817
8.3.3.2	Bodenbildung	819
8.3.3.3	Energiehaushalt	820
8.3.4	Sukzession	825
9	Biogeographie	829
9.1	Beschreibende Biogeographie	829
9.1.1	Arealbegriff	829
9.1.2	Gliederung des Festlandes	830
9.1.2.1	Holarktis	832
9.1.2.2	Paläotropis	832
9.1.2.3	Neotropis (Neogäa)	833
9.1.2.4	Australis (Notogäa)	834
9.1.2.5	Antarktis	834
9.1.3	Gliederung des Meeres	834
9.2	Historische Biogeographie	836
9.2.1	Einfluß der Kontinentalverschiebung	836
9.2.2	Großdisjunktionen	836

- 9.2.3 Isolationsphänomene **837**
- 9.2.4 Bedeutung der Landverbindungen **838**
- 9.2.5 Biogeographie des Pleistozäns **839**
 - 9.2.5.1 Eiszeiten **840**
 - 9.2.5.2 Warmzeiten und Nacheiszeit **840**
- 9.2.6 Gegenwart **841**
 - 9.2.6.1 Gegenwärtige Disjunktionen **841**
 - 9.2.6.2 Arealbeschränkungen **843**
 - 9.2.6.3 Evolutive Aufsplitterung **843**
- 9.3 Ökologische Biogeographie **844**
 - 9.3.1 Dynamische Faktoren **844**
 - 9.3.1.1 Passive (allochore) Ausbreitung **844**
 - 9.3.1.2 Aktive (autochore) Ausbreitung **845**
 - 9.3.1.3 Kombinierte Ausbreitung **846**
 - 9.3.1.4 Schränkender Ausbreitung **846**
 - 9.3.2 Existenzfaktoren **847**
 - 9.3.3 Floren- und Faunenelemente, am Beispiel Mitteleuropas erläutert **847**
 - 9.3.4 Ökologische Gliederung der Geobiosphäre **850**

10 Evolution 855

- 10.1 Nachweis von Verwandtschaftsbeziehungen **855**
 - 10.1.1 Homologie **855**
 - 10.1.1.1 Abwandlung homologer Strukturen durch Funktionswechsel **856**
 - 10.1.1.2 Homologiekriterien mit Beispielen aus der Morphologie **856**
 - 10.1.1.3 Seriale Homologie (Homonomie) **857**
 - 10.1.1.4 Homologie und Korrelationsgesetz **857**
 - 10.1.1.5 Homologie von Makromolekülen **858**
 - 10.1.1.6 Homologie im Karyotyp **859**
 - 10.1.1.7 Homologie physiologischer Prozesse **859**
 - 10.1.1.8 Homologie von Verhaltensweisen **860**
 - 10.1.2 Historische Reste als Dokumente der Stammesgeschichte **861**
 - 10.1.3 Embryologie und Verwandtschaftsforschung – Rekapitulationsentwicklung
- 10.2 Anpassungsähnlichkeit – Analogie und Konvergenz **866**
- 10.3 Transformation von Strukturen in der Phylogenese **869**
 - 10.3.1 Transformation morphologischer Strukturen – das fossile Belegmaterial **869**
 - 10.3.1.1 Fossile Abwandlungsreihen **869**
 - 10.3.1.2 Fossile Übergangsformen (»connecting links«) **871**
 - 10.3.2 Transformation von Makromolekülen **872**
 - 10.3.2.1 Zunahme der DNA-Menge in der Evolution **872**
 - 10.3.2.2 Transformation von Proteinen **873**
 - 10.3.2.3 Allozyme und der genetische Polymorphismus in Populationen **878**

- 10.3.3 Transformationen im Karyotyp **879**
- 10.3.3.1 Folgen von Transformationen des Karyotyps **879**
- 10.3.3.2 Beispiele für Transformationen des Karyotyps durch Fusion und Inversion **880**
- 10.4 Selektion als wesentlicher Evolutionsfaktor **881**
- 10.4.1 Die Theorien von Lamarck und Darwin **881**
- 10.4.2 Populationsgenetik **883**
- 10.4.2.1 Phänotypische Variabilität und Erbllichkeit **884**
- 10.4.2.2 Genotyp- und Genfrequenz. Das Hardy-Weinberg-Gesetz **886**
- 10.4.2.3 Genetische Drift: Die Rolle der Populationsgröße **888**
- 10.4.2.4 Inzucht **888**
- 10.4.2.5 Selektion **890**
- 10.4.2.6 Die Erhaltung genetischer Vielfalt **893**
- 10.4.2.7 Fitness der Population und genetische Bürde. Die Harmonie des Genpools **898**
- 10.4.2.8 Artaufspaltung und genetische Divergenz **900**
- 10.4.3 Beispiele für das Wirken der Selektion **901**
- 10.4.3.1 Ökologische Vorbemerkung **901**
- 10.4.3.2 Anpassung an den abiotischen Faktor Wind auf Inseln **902**
- 10.4.3.3 Resistenzphänomene bei Insekten und Bakterien **902**
- 10.4.3.4 Industriemelanismus bei Schmetterlingen **903**
- 10.4.4 Sexualdimorphismus und sexuelle Selektion **904**
- 10.5 Artbildung (Speziation) **905**
- 10.5.1 Artbegriff **905**
- 10.5.2 Artbildungsmodi **906**
- 10.5.3 Artbildungsfaktoren **906**
- 10.5.4 Geographische Rassen (Subspezies) **908**
- 10.5.5 Ökologische Rassen (Ökotypen) **909**
- 10.5.6 Von der Rasse zur Art – allopatrische Artbildung **909**
- 10.5.6.1 Sympatrie und ökologische Sonderung **911**
- 10.5.6.2 Artbildung auf Inseln **911**
- 10.5.6.3 Isolationsmechanismen **911**
- 10.5.6.4 Phylogenetische Entstehung von Isolationsmechanismen **913**
- 10.5.6.5 »Zusammenbruch« von Isolationsmechanismen **914**
- 10.5.7 Sympatrische Artbildung **915**
- 10.5.7.1 Sympatrische Artbildung durch Polyploidie **915**
- 10.5.7.2 Sympatrische Artbildung durch disruptive Selektion **918**
- 10.6 Transspezifische Evolution und Typogenese **919**
- 10.6.1 Bildung neuer »ökologischer Zonen« (Adaptionszonen) und adaptive Radiation
- 10.6.2 Beispiele für transspezifische Evolution **921**
- 10.6.2.1 Adaptive Radiation auf Inselgruppen **921**
- 10.6.2.2 Die »Eroberung« des Landes durch die Wirbeltiere **923**
- 10.7 Lebende Fossilien und das Aussterben **924**
- 10.7.1 Lebende Fossilien **924**
- 10.7.2 Aussterben **926**

11 Grundlagen, Ziele und Methoden der biologischen Systematik

Tafeln: Pflanzenreich, Tierreich 940

Weiterführende Literatur 947

Abkürzungsverzeichnis 953

Internationales System der Einheiten (SI) 957

Sachverzeichnis 959