

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	103
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 Chemotaktische 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 152
- 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

XII	Inhaltsverzeichnis	
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	Φ X 174	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	Histongene	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 AB 0	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 oder extrachromosomale 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 der Gentechnologie 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 und Sexualität 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

XIV Inhaltsverzeichnis

- 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

XVI Inhaltsverzeichnis

- 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: C₄-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 Cormus an 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 Homiothermie 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 Gravotropismus (Geotropismus) 643
 - 6.8.1.3 Nastische Bewegungen von Blattorganen 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	Antriebssenkende 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 nicht gelernten 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 aus einander 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 765
 - 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 Aufspaltung 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 Schranken der 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 863
 - 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

XXIV	Inhaltsverzeichnis
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 919
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 931**Tafeln: Pflanzenreich, Tierreich 940****Weiterführende Literatur 947****Abkürzungsverzeichnis 953****Internationales System der Einheiten (SI) 957****Sachverzeichnis 959**