

C1 LIN
UD UB22

LINDER

BIOLOGIE

Lehrbuch für die Oberstufe
22., neu bearbeitete Auflage

herausgegeben von
Horst Bayrhuber
und Ulrich Kull

Schroedel

INHALT

Einleitung: Kennzeichen der Lebewesen 12

Cytologie 16

- 1 Die Zelle als Grundeinheit der Lebewesen 16
 - 1.1 Die Entdeckung der Zellen 16
 - 1.2 Die mikroskopische Dimension der Zelle 17
 - 1.2.1 Die Lichtmikroskopie 18
 - 1.2.2 Die Elektronenmikroskopie 20

2 Eucyte und Protocyte 22

- 2.1 Zwei grundlegende Zelltypen 22
- 2.2 Bau und Funktion von Membranen 24
 - Exkurs: Entwicklung von Membranmodellen 25
- 2.3 Die Eucyte 26
 - 2.3.1 Organellen mit zwei Membranen 26
 - 2.3.2 Organellen mit einfacher Membran 27
 - 2.3.3 Organellen ohne Membran 28
 - Exkurs: Bewegung durch Wimpern und Geißeln 30
 - 2.3.4 Die Zellwand 30
 - 2.3.5 Verknüpfung von Zellen 30
 - Exkurs: Holz als Werkstoff 31
 - Exkurs: Methoden der Zellforschung 32
- 2.4 Die Protocyte 33
 - Exkurs: Antibiotika 33

3 Stofftransport 34

- 3.1 Passiver Stofftransport 34
 - 3.1.1 Diffusion und Osmose 34
 - 3.1.2 Passiver Transport durch Membranen 35
- 3.2 Aktiver Transport 36
- 3.3 Endocytose und Exocytose 37
 - Exkurs: Vesikeltransport in der Zelle 37

4 Vermehrung von Zellen durch Kernteilung und Zellteilung 38

4

- 5 Differenzierung von Zellen 40
 - 5.1 Übergänge vom Einzeller zum Vielzeller 40
 - 5.2 Arbeitsteilung der Zellen beim Schwamm und beim Süßwasserpolytyp 41
 - 5.3 Gewebe und Organe 43
 - 5.4 Der Organismus als System 44
 - Exkurs: Die Zelltheorie 45

Zusammenfassung 46

Aufgaben 47

Ökologie 48

- Exkurs: Untersuchungsebenen der Ökologie 48
- 1 Beziehungen der Organismen zur Umwelt 50
 - 1.1 Wirksame Faktoren 50
 - 1.2 Pflanze und Licht 52
 - 1.2.1 Stoffproduktion und Fotosynthese 52
 - Exkurs: Die Entdeckung der Fotosynthese 54
 - 1.2.2 Das Blatt als Organ der Fotosynthese 55
 - 1.2.3 Die Abhängigkeit der Fotosynthese von Umweltfaktoren 56
 - 1.2.4 Besondere Fotosynthese-Formen als Standortanpassungen 57
 - 1.3 Pflanze und Wasser 58
 - 1.3.1 Wasserhaushalt der Zelle 58
 - 1.3.2 Wasserabgabe der Pflanze 58
 - Exkurs: Plasmolyse 59
 - 1.3.3 Die Wurzel als Organ der Wasser- und Ionenaufnahme 60
 - 1.3.4 Wasser- und Stofftransport in der Pflanze 61
 - Exkurs: Guttation und »Bluten« bei Pflanzen 62
 - 1.3.5 Wasser- und Ionenverfügbarkeit 64
 - 1.4 Pflanze und Temperatur 66

1.5	Pflanze und Boden 66	4	Nutzung und Belastung der Natur durch den Menschen 110
	Exkurs: Die Nährstoffversorgung der Pflanze 67	4.1	Nutzung der Natur in der Menschheitsgeschichte 110
1.6	Abhängigkeit der pflanzlichen Entwicklung von Umweltfaktoren 68	4.2	Heutige Nutzung der Natur und nachhaltige Entwicklung 110
1.7	Pflanzenvorkommen in Abhängigkeit von abiotischen Umweltfaktoren 70	4.3	Eingriffe des Menschen in die Natur 112
1.8	Tiere und Temperatur 74	4.3.1	Zerschneidung und Vernichtung von Lebensräumen 112
1.9	Einfluss biotischer Faktoren 76	4.3.2	Flussregulierung 113
1.9.1	Wettbewerb zwischen den Arten 76	4.3.3	Einführung fremder Pflanzen- und Tierarten 113
1.9.2	Energiebilanz bei der Nahrungsbeschaffung 76	4.3.4	Schädlingsbekämpfung 114
1.9.3	Saprophyten 77	4.4	Abfall- und Schadstoffproblematik in Deutschland 116
1.9.4	Pflanzliche Parasiten 78	4.4.1	Beseitigung des Mülls 116
1.9.5	Tierische Parasiten 79	4.4.2	Schadstoffe in der Nahrung 116
1.9.6	Nutzbringende Formen des Zusammenlebens 81		Exkurs: Cancerogene in Lebensmitteln 116
	Exkurs: Symbiose im Wiederkäuermagen 82	4.5	Einfluss von Lärm und Strahlung 117
1.9.7	Insekten fressende Pflanzen 82	4.6	Belastung des Bodens, des Wassers und der Luft in Europa 118
1.10	Tierstöcke 83	4.6.1	Flächenverbrauch und Belastung des Bodens 118
2	Population und Lebensraum 84	4.6.2	Belastung des Wassers 118
2.1	Population und Populationswachstum 84		Exkurs: Eutrophierung 120
	Exkurs: Wachstumsraten und chaotische Vorgänge 85	4.6.3	Belastung der Luft 121
2.2	Die ökologische Nische 88	4.7	Klimaveränderung 124
	Exkurs: Gebisstypen von Säugetieren 91		Exkurs: Klimageschichte 124
2.3	r- und K-Strategie bei der Fortpflanzung 92	4.8	Umweltschutz und nachhaltige Entwicklung 126
2.4	Regulation der Populationsdichte 93	4.9	Naturschutz und Landschaftspflege 127
2.4.1	Dichteabhängige und dichteunabhängige Faktoren 93	4.9.1	Artenrückgang 127
2.4.2	Populationsdynamik: Räuber-Beute-Systeme 94		Exkurs: Biotopvernetzung 127
		4.9.2	Naturschutzregelungen in Deutschland 128
3	Ökosysteme 96		Exkurs: Ökobilanz 128
3.1	Einteilung und Aufbau von Ökosystemen 96	4.10	Ökologische Situation der Zivilisation 129
3.2	Nahrungsbeziehungen in Ökosystemen 98	4.10.1	Energienutzung und CO ₂ -Produktion 129
3.3	Energiefluss 99	4.10.2	Urbanisation 130
3.4	Stoffkreisläufe 100		Zusammenfassung 131
3.5	Zeitliche Veränderungen von Ökosystemen 102		Aufgaben 132
3.5.1	Aspektfolge 102		
3.5.2	Sukzession und Klimax 102		
3.6	Produktivität und Stabilität von Ökosystemen 104		
3.7	Beispiele für Ökosysteme 105		
3.7.1	Ökosysteme mitteleuropäischer Laubwälder 105		
3.7.2	Ökosysteme im See 106		
3.7.3	Ökosysteme im Meer 108		

Stoffwechsel und Energiehaushalt 134

1	Grundlagen des Zellstoffwechsels	134
1.1	Proteine	134
1.1.1	Aminosäuren und Peptide	134
	Exkurs: Chiralität	135
1.1.2	Struktur und Eigenschaften der Proteine	136
	Exkurs: Bindungskräfte in Proteinmolekülen	137
	Exkurs: Elektrophorese	139
1.2	Wirkungsweise der Enzyme	140
1.2.1	Enzyme als Katalysatoren	140
1.2.2	Wirkungsspezifität und Substratspezifität	142
1.2.3	Hemmung und Regulation der Enzyme	143
	Exkurs: Enzymtechnik	144
1.3	Bau- und Inhaltsstoffe der Zellen	145
1.3.1	Wasser	145
1.3.2	Übersicht über die Stoffgruppen	146
1.3.3	Lipide	147
1.3.4	Kohlenhydrate	148
1.3.5	Nucleotide und Nucleinsäuren	149
1.3.6	Porphyrine	150
	Exkurs: Chromatografie	150
1.4	Energiehaushalt	151
1.4.1	Chemisches Gleichgewicht	151
1.4.2	Energieumsatz	151
	Exkurs: Stoffwechselketten und Fließgleichgewicht	151
1.4.3	ATP als Energieträger	153
1.4.4	Energieumsatz im Organismus	154
1.5	Signalketten und deren Vernetzung	155
	Exkurs: Desensibilisierung und Drogenabhängigkeit	157
2	Energie- und Stoffgewinn autotropher Lebewesen	158
2.1	Fotosynthese	158
2.1.1	Blattfarbstoffe und Lichtabsorption	158
2.1.2	Die Primärvorgänge der Fotosynthese	160
2.1.3	Die Sekundärvorgänge der Fotosynthese	163
2.1.4	Fotosyntheseprodukte	164
	Exkurs: Markierungsverfahren	164
2.2	Chemosynthese	165
3	Stoffabbau und Energiegewinn in der Zelle	166
3.1	Stoffabbau und Energiegewinn durch Zellatmung	166
3.1.1	Glykolyse	168

6

3.1.2	Citronensäurezyklus	168
3.1.3	Endoxidation	169
3.1.4	Energiebilanz und Regulation	170
3.1.5	Fettabbau	170
3.2	Gärungen	171
	Exkurs: Gärungstechnologie	171
	Exkurs: Untersuchungsmethoden des Stoffabbaus	172
3.3	Stoffumwandlung und Stoffspeicherung	172
3.3.1	Umsetzungen im Intermediärstoffwechsel	172
3.3.2	Bildung und Abbau von Aminosäuren	174
3.3.3	Stickstoff-Fixierung	174
3.3.4	Speicherstoffe und ihre Nutzung in der menschlichen Ernährung	174
3.3.5	Produkte des Sekundärstoffwechsels	176
3.3.6	Reaktive Formen des Sauerstoffs	176
3.3.7	Verfahren der Biotechnologie	176
4	Stoffwechsel vielzelliger Tiere und des Menschen	178
4.1	Verdauung und Resorption beim Menschen	178
4.2	Blut und Kreislaufsysteme	181
4.2.1	Blutkreislauf beim Menschen	182
	Exkurs: Sport und Stoffwechsel	183
4.2.2	Lympe	184
4.2.3	Blut	184
4.3	Atmung	186
4.3.1	Gasaustausch	186
4.3.2	Lungenatmung der Wirbeltiere	188
4.3.3	Regelung der äußeren Atmung beim Menschen	188
	Exkurs: Atmung in großer Höhe und beim Tauchen	189
4.3.4	Kiemenatmung der Fische	190
4.3.5	Tracheenatmung der Insekten	190
4.4	Ausscheidung	191
4.4.1	Ausscheidungsorgane der Wirbellosen	191
4.4.2	Bau und Funktion der Niere des Menschen	192
4.4.3	Wasser- und Salzhaushalt	193

Zusammenfassung 194

Aufgaben 195

Neurobiologie 196

- 1 **Bau und Funktion von Nervenzellen 196**
 - 1.1 Bau einer typischen Nervenzelle 196
 - 1.2 Ionentransport durch die Zellmembran 198
 - 1.2.1 Ionen als Ladungsträger 198
 - 1.2.2 Natrium-Kalium-Pumpe 198
 - 1.2.3 Ionenkanäle 199
 - Exkurs: Patch-clamp-Technik 199
 - 1.3 Membranpotenzial 200
 - Exkurs: Messung des Membranpotenzials 200
 - 1.4 Aktionspotenzial 202
 - 1.5 Erregungsleitung im Axon 204
 - 1.5.1 Erregungsleitung im Axon ohne Myelinscheide 204
 - 1.5.2 Erregungsleitung im Axon mit Myelinscheide 205
 - 1.6 Vorgänge an den Synapsen 206
 - Exkurs: Wirkung von Synapsengiften 207
 - Exkurs: Sucht 208
 - 1.7 Neuromodulation, Neurosekretion 212
- 2 **Aufnahme und Verarbeitung von Sinnesreizen 213**
- 3 **Lichtsinn 214**
 - 3.1 Augentypen 214
 - 3.1.1 Facettenaugen 215
 - 3.1.2 Das Auge des Menschen als Beispiel eines Linsenauges 216
 - Exkurs: Perimetrie 217
 - 3.2 Lichtabsorption in den Sehzellen 218
 - 3.3 Signalverarbeitung in der Netzhaut 220
 - 3.3.1 Prinzip der lateralen Inhibition 220
 - 3.3.2 Rezeptives Feld 220
 - 3.4 Farbsehen 222
 - 3.5 Hell- und Dunkeladaptation 224
 - 3.6 Zeitliches Auflösungsvermögen 224
 - 3.7 Auswertung der optischen Informationen im Gehirn 225
 - Exkurs: Künstliche neuronale Netze 226
 - 3.8 Räumliches Sehen 227
- 4 **Weitere Sinne 228**
 - 4.1 Tastsinn 228
 - 4.2 Schmerzsinne 228
 - 4.3 Raumlagesinn 229
 - 4.4 Drehsinn 229
 - 4.5 Gehörsinn 230

- 4.6 Chemische Sinne 231
 - 4.6.1 Geschmackssinn 231
 - 4.6.2 Geruchssinn 232
 - Exkurs: Erfahrbare Umwelt 232
- 5 **Nervensysteme 233**
 - 5.1 Nervensysteme verschiedener Tiergruppen 233
 - 5.2 Nervensystem des Menschen 234
 - 5.2.1 Rückenmark 234
 - 5.2.2 Gehirn 235
 - 5.2.3 Steuerung vegetativer Funktionen 238
 - 5.3 Emotion und Motivation 240
 - Exkurs: Mandelkern und emotionale Reaktionen 241
 - 5.4 Lernen und Gedächtnis 242
 - Exkurs: Zelluläre Mechanismen von Lernen und Gedächtnis 244
 - 5.5 Aufmerksamkeit, Wachheit, Bewusstsein, Schlaf 245
 - Exkurs: Elektroencephalogramm (EEG) 245
 - 5.6 Sprache 247
 - Exkurs: Bildliche Darstellung der Gehirnaktivität 248
- 6 **Muskelbewegung 250**
 - 6.1 Bau der Muskeln 250
 - 6.2 Kontraktion der quer gestreiften Muskelfasern 251
 - 6.3 Molekulare Grundlagen der Muskelkontraktion 252
 - Exkurs: Energieversorgung bei der Muskelarbeit 253
 - 6.4 Regelung der Muskellänge 254
 - 6.5 Steuerung von Bewegungen 255
 - Exkurs: Steuerung der Bewegungsrichtung 256

Zusammenfassung 257

Aufgaben 258

Verhaltensbiologie 260

- 1 **Grundlagen der Verhaltensbiologie 261**
 - 1.1 Einteilung von Verhalten 262
 - Exkurs: Geschichte der Verhaltensforschung 263

- 2 **Verhaltensphysiologie 264**
 - 2.1 Grundelemente des Verhaltens 264
 - 2.1.1 Reflexe 264
 - 2.1.2 Erbkoordination 265
 - 2.2 Mechanismen der Verhaltenssteuerung 265
 - 2.2.1 Appetenzverhalten 265
 - 2.2.2 Schlüsselreize und Auslösemechanismen 266
 - Exkurs: Attrappenversuche 266
 - Exkurs: Messung der sexuellen Motivation 267
 - 2.2.3 Handlungsbereitschaft (Motivation) 268
- 3 **Verhaltensontogenese 269**
 - 3.1 Angeborenes und erlerntes Verhalten 269
 - 3.2 Nicht-assoziatives und assoziatives Lernen 270
 - 3.2.1 Nicht-assoziatives Lernen 270
 - Exkurs: Habituation bei *Aplysia* 271
 - 3.2.2 Assoziatives Lernen 272
 - 3.3 Prägung 275
 - 3.4 Lernen durch Nachahmung 275
 - Exkurs: Neugier- und Spielverhalten 275
 - 3.5 Lernen durch Einsicht 276
- 4 **Verhaltensökologie 277**
 - 4.1 Anpassungswert von Verhaltensweisen 277
 - 4.2 Kooperation und Konkurrenz 277
 - 4.2.1 Soziale Verbände 277
 - Exkurs: Elterliche Fürsorge bei Vögeln und Säugetieren 277
 - 4.2.2 Uneigennütziges Verhalten 278
 - 4.2.3 Aggressives Verhalten 279
 - Exkurs: Kindstötung 279
 - Exkurs: Proximate Ursachen von aggressivem Verhalten 280
 - 4.2.4 Rangordnung 280
 - 4.2.5 Revierverhalten (Territoriales Verhalten) 280
 - 4.3 Kommunikation 282
 - 4.3.1 Formen der Verständigung bei Tieren 282
 - 4.3.2 Kommunikation bei Honigbienen 283
 - 4.3.3 Sprachähnliche Kommunikation bei Tieren 284
 - 4.4 Verhalten von Primaten 286
 - Exkurs: Kognitive Leistungen 288
 - 4.5 Biologische Grundlagen des menschlichen Verhaltens 288
 - Exkurs: Ritualisierung 289

Zusammenfassung 291

Aufgaben 292

Hormone 294

- 1 **Hormone bei Mensch und Tier 294**
 - 1.1 Die Hypophyse 296
 - 1.2 Die Schilddrüse 297
 - 1.3 Die Nebennieren 298
 - Exkurs: Stress 298
 - Exkurs: Doping 300
 - 1.4 Die Bauchspeicheldrüse 300
 - 1.5 Die Keimdrüsen 302

2 Pflanzenhormone 304

Zusammenfassung 305

Aufgaben 305

Genetik 306

- 1 **Variabilität von Merkmalen 306**
 - Exkurs: Sorte, reine Linie, Rasse, Unterart 308
- 2 **MENDELSche Gesetze 310**
 - 2.1 Monohybrider Erbgang 311
 - 2.1.1 Dominant-rezessiver Erbgang 311
 - Exkurs: Allele 311
 - 2.1.2 Rückkreuzung, 1. und 2. MENDELSches Gesetz 312
 - 2.1.3 Unvollständige Dominanz 312
 - 2.2 Dihybrider Erbgang 313
 - 2.3 Populationsgenetik 314
- 3 **Vererbung und Chromosomen 315**
 - 3.1 Meiose und Keimbahn 316
 - 3.2 Kopplung von Genen 318
 - 3.2.1 Kopplungsgruppen und Crossing-over 318
 - 3.2.2 Klassische Genkartierung 319
 - Exkurs: Riesenchromosomen 320
 - 3.2.3 Untersuchung menschlicher Chromosomen 320
 - 3.2.4 Nichtchromosomale Vererbung 321
 - Exkurs: Versuchsobjekte in der Genetik 322
 - 3.3 Mutationen 322

3.3.1	Genmutationen	323			
3.3.2	Chromosomenmutationen	324			
3.3.3	Genommutationen	325			
	Exkurs: Down-Syndrom	326			
	Exkurs: Abstammung des Kulturweizens	327			
3.4	Geschlechtschromosomen	328			
3.4.1	Geschlechtsbestimmung	328			
3.4.2	Störungen der Geschlechtsentwicklung beim Menschen	329			
3.4.3	Geschlechtschromosomen gebundene Vererbung	330			
3.5	Aspekte der Humangenetik	332			
3.5.1	Klassische Methoden der humangenetischen Forschung	332			
3.5.2	Monogene und polygene Merkmale	333			
	Exkurs: Intelligenz	336			
3.5.3	Erbkrankheiten	336			
	Exkurs: Pränatale Diagnose	337			
3.5.4	Penetranz und Expressivität	338			
3.5.5	Die genetische Zukunft des Menschen	339			
	Exkurs: Genetische Beratung	339			
4	Molekulare Grundlagen der Vererbung	340			
4.1	Nucleinsäuren	340			
4.1.1	Übertragung von Nucleinsäuren durch Bakterien und Viren	340			
	Exkurs: Bakterien als Untersuchungsobjekte	341			
	Exkurs: Viroide und Prionen	342			
4.1.2	Desoxyribonucleinsäure (DNA) als Träger der genetischen Information	345			
4.1.3	Vorkommen und Struktur der Nucleinsäuren	345			
4.1.4	DNA als Speicher der genetischen Information	347			
	Exkurs: Modellvorstellungen	347			
4.1.5	Replikation der DNA	348			
4.1.6	Reparatur und Spaltung der DNA	349			
	Exkurs: Nachweis der semikonservativen Replikation der DNA	349			
	Exkurs: Polymerase-Ketten-Reaktion (PCR)	350			
4.1.8	Genetischer Fingerabdruck und DNA-Hybridisierung	351			
	Exkurs: Sequenzanalyse der DNA	352			
4.2	Realisierung der genetischen Information	354			
4.2.1	Der Weg vom Gen zum Merkmal	354			
4.2.2	Transkription und Genetischer Code	354			
4.2.3	Translation	357			
	Exkurs: Reverse Transkription	358			
	Exkurs: Wirkungsweise von Antibiotika	360			
4.2.4	Faltung, Lokalisierung und Abbau der Proteine	360			
4.2.5	Genwirkketten	361			
4.2.6	Molekularer Bau von Genen bei Eukaryoten	362			
4.2.7	Molekulare Grundlage der Genmutation	363			
	Exkurs: Transposons	363			
	Exkurs: Bedeutungswandel des Genbegriffs	364			
4.3	Regulation der Genaktivität	364			
4.3.1	Genetische Totipotenz und unterschiedliche Genaktivität	364			
4.3.2	Regulation der Genaktivität bei Bakterien	365			
4.3.3	Aufbau des Genoms und Regulation der Genaktivität bei Eukaryoten	367			
	Exkurs: Multigenfamilie	368			
4.3.4	Regulation der Zellvermehrung, Tumorbildung	369			
	Exkurs: Epigenetik	369			
	Exkurs: Tiermodelle	369			
	Exkurs: Die Innere Uhr – ein rückgekoppeltes System	371			
4.4	Genkartierung beim Menschen	372			
	Exkurs: Methoden zur Genomsequenzierung	373			
4.5	Genomik und Proteomik	374			
5	Anwendung der Genetik	376			
5.1	Pflanzen- und Tierzüchtung	376			
5.1.1	Klassische Pflanzenzüchtung	376			
	Exkurs: Ziele der Pflanzenzüchtung am Beispiel von Getreide	376			
	Exkurs: Schutz der Wildpflanzen	378			
5.1.2	Klassische Tierzüchtung	379			
5.2	Gentechnik	381			
5.2.1	Methoden der Gentechnik	381			
	Exkurs: Ziele der Gentechnik in Landwirtschaft und Industrie	382			
5.2.2	Anwendung der Gentechnik bei Mikroorganismen und Zellkulturen	384			
5.2.3	Transgene Pflanzen	385			
	Exkurs: Freisetzung von transgenen Pflanzen	386			
5.2.4	Transgene Tiere	386			
5.2.5	Anwendung der Gentechnik beim Menschen	387			
	Exkurs: Risiken und ethische Fragen der Gentechnik	388			
	Zusammenfassung	389			
	Aufgaben	390			

Immunbiologie 392

- 1 **Die Bestandteile des Immunsystems beim Menschen 392**
 - 1.1 Das Immunsystem im Überblick 392
 - 1.2 Die Weißen Blutzellen des Immunsystems 394
 - 1.3 Antikörper 396
 - 1.4 Gene der Antikörper 398

- 2 **Die angeborene Immunabwehr 399**

- 3 **Die erworbene Immunabwehr 400**
 - 3.1 Klonale Selektion und MHC-Proteine 400
 - 3.2 Humorale und zellvermittelte Immunabwehr 401
 - Exkurs: Schutzimpfung 404
 - Exkurs: Blutgruppen und Rhesusfaktor 404

- 4 **Störungen des Immunsystems 406**
 - Exkurs: Organtransplantation 407

- 5 **Anwendungen der Immunreaktion 409**
 - 5.1 Identifizierung von Proteinen durch Immundiffusion 409
 - 5.2 Serumreaktion 409
 - Exkurs: Gewinnung von monoklonalen Antikörpern 409
 - 5.3 Monoklonale Antikörper 410

Zusammenfassung 411

Aufgaben 411

Entwicklungsbiologie 412

- 1 **Fortpflanzung 412**
 - 1.1 Ungeschlechtliche Fortpflanzung 412
 - 1.2 Geschlechtliche Fortpflanzung 413
 - 1.2.1 Geschlechtliche Fortpflanzung bei Samenpflanzen 414
 - 1.2.2 Geschlechtliche Fortpflanzung bei Tieren und Mensch 414
 - Exkurs: Parthenogenese 415

10

1.3 Generationswechsel 416

2 **Keimesentwicklung der Samenpflanzen 418**

3 **Keimesentwicklung von Tieren und Mensch 419**

- 3.1 Keimesentwicklung der Amphibien 419
- 3.2 Keimesentwicklung der Reptilien und der Vögel 423
- 3.3 Embryonalentwicklung des Menschen 423

4 **Entwicklungsphysiologie 426**

- 4.1 Determination und Differenzierung 426
 - 4.1.1 Determination 426
 - 4.1.2 Differenzierung 430
- 4.2 Musterbildung und Morphogenese 431

5 **Forschung mit Stammzellen 433**

Exkurs: Embryonenschutz 435

Zusammenfassung 436

Aufgaben 437

Evolution 438

1 **Geschichte der Evolutionstheorie 438**

- 1.1 Die Entwicklung vor Darwin 438
- 1.2 Von Darwin bis ins 20. Jahrhundert 440

2 **Evolutionstheorie 442**

- 2.1 Evolutionsfaktoren 442
 - 2.1.1 Mutationen als Grundlage der Evolution 442
 - Exkurs: Artbegriff 442
 - 2.1.2 Selektion 443
 - Exkurs: Fitness und genetische Bürde 443
 - Exkurs: Polymorphismus 446
 - Exkurs: Coevolution 447
 - Exkurs: Tarn- und Warnfärbung als Selektionswirkungen 448
 - 2.1.3 Gendrift 450
 - 2.1.4 Genetische Rekombination 450

2.2 Artbildung und Isolation 451

2.2.1 Allopatrische Artbildung 452

2.2.2 Sympatrische Artbildung 452

2.2.3 Biologische Isolationsmechanismen 453

2.3 Rahmenbedingungen der Evolution 454

2.4 Transspezifische Evolution 455

Exkurs: Evolution des Auges 456

2.5 Soziobiologie 457

2.5.1 VerwandtschaftsSelektion und Gesamtfitness 457

2.5.2 Geschlechterbeziehungen und Paarungssysteme 458

2.5.3 Evolutionsstabile Strategien 460

3 **Stammesgeschichte** 461

3.1 Stammesgeschichtsforschung als Homologieforschung 461

3.1.1 Homologien im Bau der Lebewesen 461

3.1.2 Homologien in der Ontogenese 464

3.1.3 Biochemische und molekulare Homologien 465

Exkurs: Bildung neuer Gene 467

3.1.4 Homologie von Parasiten 467

3.2 Geschichte des Lebens 468

3.2.1 Frühzeit der Erde und chemische Evolution 468

Exkurs: Fossilien und Altersbestimmung 468

3.2.2 RNA-Welt und Protobionten 470

Exkurs: Endosymbionten-Theorie 472

Exkurs: Plattentektonik und Evolution 473

3.2.3 Evolution im Präkambrium 474

3.2.4 Evolution im Phanerozoikum 476

Exkurs: Übergangsformen 481

3.3 Stammbäume der Lebewesen 482

3.3.1 Aufstellung von Stammbäumen 482

Exkurs: Methode der Stammbaumentwicklung 483

3.3.2 Molekularbiologische Stammbäume 484

3.3.3 Stammesgeschichte der Organismen 486

3.4 Folgerungen aus der Stammbaumentwicklung 490

3.4.1 Adaptive Radiation 490

3.4.2 Massenaussterben (Extinktion) 491

3.4.3 Gradualismus und Punktualismus 492

3.4.4 Geschwindigkeit der Evolution 492

3.4.5 Höherentwicklung 492

Exkurs: Bedeutung und Kritik der Evolutionstheorie 493

4 **Evolution des Menschen** 494

4.1 Stellung des Menschen im natürlichen System der Organismen 494

4.2 Sonderstellung des Menschen 496

4.3 Stammesgeschichte des Menschen 499

4.3.1 Vorfahren des Menschen 499

4.3.2 Menschwerdung (Hominisation) 500

4.3.3 Vormenschen 500

4.3.4 Menschen (Gattung *Homo*) 501

Exkurs: Probleme der Einordnung und Namensgebung von Fossilfunden 501

4.3.5 Großgruppen des heutigen Menschen 506

4.4 Kulturelle Evolution 507

4.4.1 Kulturentwicklung in der Vorgeschichte 507

4.4.2 Prinzipien der kulturellen Evolution 508

Exkurs: Soziobiologie und menschliches Verhalten 509

Exkurs: Evolution und Disziplinen der Biologie 510

Exkurs: Evolution und Ordnung 510

Zusammenfassung 511

Aufgaben 512

Erkenntniswege der Biologie 514

Baupläne der Lebewesen 522

Glossar 534

Register 550

Bildquellen 560