

Kurzzinhalt

1 Der evolutionäre Rahmen der Biologie	1
--	---

Teil I Die Zelle 18

2 Leben und Chemie: Kleine Moleküle	21
3 Leben und Chemie: Große Moleküle	45
4 Zellen: Die kleinsten Einheiten des Lebens . . .	75
5 Zelluläre Membranen	105
6 Energie, Enzyme und Stoffwechsel	127
7 Zelluläre Stoffwechselwege, die chemische Energie gewinnen.	149
8 Photosynthese: Energie von der Sonne	173

Teil II Information und Vererbung 194

9 Chromosomen, Zellzyklus und Zellteilung . . .	197
10 Genetik: Mendel und seine Nachfolger	225
11 DNA und ihre Funktion bei der Vererbung. . .	255
12 Von der DNA zum Protein: Vom Genotyp zum Phänotyp	279
13 Die Genetik der Viren und Prokaryoten	307
14 Das eukaryotische Genom und seine Expression. .	333
15 Signalübertragung und Kommunikation zwischen Zellen.	359
16 Gentechnik und Biotechnologie	379
17 Molekularbiologie und Medizin	405
18 Die natürliche Abwehr von Krankheiten	435

Teil III Entwicklung 466

19 Differenzielle Genexpression in der Entwicklung. .	469
20 Entwicklung der Tiere: Vom Genom zum Organismus	491
21 Entwicklung und evolutionärer Wandel	515

Teil IV Evolutionsprozesse . . . 530

22 Die Geschichte des Lebens auf der Erde.	533
23 Die Mechanismen der Evolution	555
24 Arten und ihre Entstehung.	581
25 Die Rekonstruktion der Phylogenie und ihre Anwendungsmöglichkeiten	599
26 Evolution von Molekülen und Genomen	617

Teil V Die Evolution der biologischen Vielfalt . . . 634

27 Bacteria und Archaea: Die prokaryotischen Domänen	637
---	-----

28	Protisten und der Aufbruch der Eukarya	661
29	Samenlose Pflanzen: Übergang vom Wasser ans Land.	695
30	Die Evolution der Samenpflanzen	717
31	Chitinpilze: Zersetzer, Parasiten, Symbionten und Pathogene	735
32	Die Entstehung der Tiere und die Evolution ihrer Körperbaupläne	755
33	Ecdysozoa: Häutungstiere	783
34	Deuterostomier	803

Teil VI Die Biologie der Blütenpflanzen 838

35	Der Pflanzenkörper	841
36	Transport in Pflanzen	863
37	Mineralstoffhaushalt der Pflanzen	881
38	Regulation des Pflanzenwachstums	897
39	Fortpflanzung bei Blütenpflanzen	921
40	Reaktionen der Pflanze auf Umweltstress	943

Teil VII Die Physiologie der Tiere 962

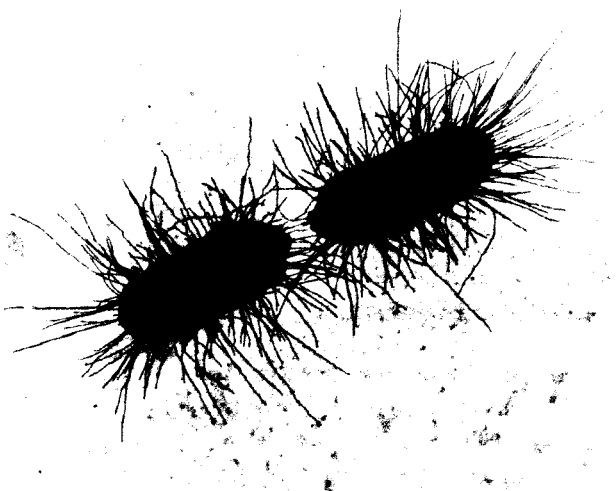
41	Physiologie, Homöostase und Thermoregulation	965
42	Hormone der Tiere	989
43	Fortpflanzung der Tiere	1015
44	Nervenzellen und Nervensysteme	1049
45	Sensorische Systeme	1073
46	Das Nervensystem von Säugern: Struktur und höhere Funktionen	1099
47	Effektoren: Wie Tiere sich bewegen	1121
48	Gasaustausch bei Tieren	1145
49	Kreislaufsysteme	1169
50	Ernährung, Verdauung und Resorption	1195
51	Salzhaushalt, Wasserhaushalt und Stickstoffausscheidung	1225
52	Verhalten von Tieren	1247

Teil VIII Ökologie und Biogeographie 1274

53	Verhaltensökologie	1277
54	Populationsökologie	1295
55	Lebensgemeinschaften und Ökosysteme	1317
56	Biogeographie.	1335
57	Naturschutzbiologie	1363
58	<i>Earth System Science</i> – die Wissenschaft vom System Erde	1381

Inhaltsverzeichnis

1 Der evolutionäre Rahmen der Biologie	1
Was ist Leben?	2
Stoffwechsel beruht auf Umwandlungen von Materie und Energie.	3
Fortpflanzung und genetische Veränderungen (Mutationen) bilden die Grundlage der biologischen Evolution.	3
Biologische Evolution: Veränderungen im Laufe von Jahrmilliarden.	4
Darwin lieferte eine Erklärung, wie Evolution funktioniert.	4
Wichtige Ereignisse in der Geschichte des Lebens auf der Erde	5
Leben entstand durch chemische Evolution aus abiotischem Material	6
Die biologische Evolution begann mit der Bildung von Zellen	6
Die Photosynthese änderte den Verlauf der Evolution.	6
Es entstanden Zellen mit komplexen inneren Kompartimenten	7
Vielzelligkeit entstand, und die Zellen spezialisierten sich	7
Sexualität führte zu einem Anstieg der Evolutionsrate	7
Organisationsebenen des Lebens	8
Der evolutionäre Stammbaum des Lebens.	9
Biologie als Naturwissenschaft.	11
Konzeptionelle Hilfsmittel in der naturwissenschaftlichen Forschung	12
Hypothesen werden vor allem auf zwei Wegen überprüft.	12
Nicht alle Fragestellungen sind naturwissenschaftlich	14
Die Biologie wirkt sich auf das öffentliche Handeln aus	15



Teil I

Die Zelle

Essay

Was ist Wissenschaft?	18
Von Jürgen Mittelstraß	

2 Leben und Chemie:	
Kleine Moleküle	21
Wasser und der Ursprung der Chemie des Lebens.	22
Atome: Die Bestandteile der Materie . . .	22
Ein chemisches Element besteht nur aus einem einzigem Typ von Atomen	23
Die Anzahl der Protonen charakterisiert ein chemisches Element	23
Isotope unterscheiden sich in der Anzahl ihrer Neutronen	23
Das Verhalten von Elektronen bestimmt das chemische Bindungsvermögen	25

Chemische Bindungen:	
Wie sich Moleküle bilden	27
Kovalente Bindungen beruhen auf gemeinsamen Elektronenpaaren	28
Wasserstoffbindungen können sich in oder zwischen Molekülen mit polaren kovalenten Bindungen ausbilden.	30
Ionenbindungen bilden sich durch elektrische Anziehung	31
Koordinative Bindungen verankern Metallatome	32
Polare und unpolare Substanzen interagieren am besten mit ihresgleichen	32
Chemische Reaktionen: Partnerwechsel bei Atomen	33
Wasser: Struktur und Eigenschaften.	34
Wasser besitzt eine einzigartige Struktur und spezielle Eigenschaften	34
Wasser ist das Lösungsmittel des Lebens	36
Säuren, Basen und die pH-Skala	37
Säuren sind H ⁺ -Donatoren, Basen sind H ⁺ -Akzeptoren	37
Säuren und Basen heben sich in ihrer Wirkung auf: Neutralisation	38
Die Reaktionen zwischen Säuren und Basen können reversibel sein	38
Wasser ist eine schwache Säure	38
Der pH-Wert ist das Maß für die Protonenkonzentration.	38
Puffer minimieren Schwankungen im pH-Wert	39
Eigenschaften von Molekülen.	40
Funktionelle Gruppen geben den Molekülen spezifische Eigenschaften	40
Isomere weisen eine unterschiedliche Anordnung der gleichen Atome auf	40

3 Leben und Chemie:	
Große Moleküle	45
Hypothesen zum Ursprung des Lebens	46
Kann das Leben von außerirdischen Systemen stammen?	46
Ist das Leben auf der Erde entstanden?	46
Biologische Makromoleküle:	
Riesige Polymere.	47
Kondensations- und Hydrolyse-reaktionen.	48

Proteine: Polymere aus Aminosäuren . . .	48
Proteine sind aus Aminosäuren	
zusammengesetzt	49
Aminosäuren werden durch Peptidbindungen	
kovalent verbunden	51
Die Primärstruktur eines Proteins ist seine	
Aminosäuresequenz	52
Die Sekundärstruktur eines Proteins benötigt	
Wasserstoffbrücken	52
Die Tertiärstruktur eines Proteins wird durch	
Knäuelung und Faltung gebildet.	52
Die Quartärstruktur eines Proteins besteht aus	
Untereinheiten	54
Die Oberflächen von Proteinen besitzen spezifische	
Raumstrukturen	54
Die Raumstruktur der Proteine reagiert empfindlich	
auf Umwelteinflüsse	56
Chaperone helfen mit, Proteinstrukturen zu	
formen	56
 Kohlenhydrate: Zucker und	
Zuckerpolymeren	57
Monosaccharide sind einfache Zucker	58
Glykosidische Bindungen verknüpfen	
Monosaccharide	59
Polysaccharide dienen als Energiespeicher	
oder Strukturmaterial	59
Chemisch modifizierte Kohlenhydrate enthalten	
weitere chemische Gruppen	61
 Lipide: Wasserunlösliche Moleküle.	62
Fette und Öle speichern Energie	62
Phospholipide bilden das Kernstück biologischer	
Membranen	63
Carotinoide und Steroide	64
Einige Lipide sind Vitamine	65
Wachsartige Überzüge stoßen Wasser ab	65
 Nucleinsäuren: Informationsträger und	
manchmal auch Katalysatoren	66
Die Nucleinsäuren besitzen charakteristische	
chemische Eigenschaften	66
Die Einzigartigkeit einer Nucleinsäure liegt in	
ihrer Nucleotidsequenz.	66
DNA als Schlüssel zu evolutionären Verwandt-	
schaftsbeziehungen	68
RNA wirkte möglicherweise als erster	
Biokatalysator	69
Nucleotide spielen weitere wichtige Rollen	69
 Alles Leben entsteht aus Leben	69

4 Zellen: Die kleinsten Einheiten des Lebens	75
Die Zelle als Grundeinheit des Lebens	76
Zellen sind möglicherweise aus stabilen Tröpfchen entstanden	76
Die Zellgröße wird durch das Oberflächen-Volumen-Verhältnis begrenzt	77
Das Mikroskop dient zum Sichtbarmachen von Zellen	78
Zellen sind von einer Plasmamembran umgeben	78
Zellen weisen zwei Organisationsmuster auf	78
Prokaryotische Zellen	80
Prokaryotische Zellen weisen bestimmte gemeinsame Merkmale auf	80
Prokaryotische Zellen weisen spezialisierte Eigenschaften auf	80
Eukaryotische Zellen	82
Das Wesentliche bei den eukaryotischen Zellfunktionen ist die Kompartimentierung	84
Organellen können mikroskopisch untersucht oder für biochemische Analysen isoliert werden	84
Informationsverarbeitende Organellen	85
Der Zellkern enthält den Großteil der DNA	85
Ribosomen sind der Ort der Proteinsynthese	85
Das Endomembransystem	85
Das endoplasmatische Reticulum ist eine besonders komplexe Fabrik	87
Der Golgi-Apparat speichert, verändert und verpackt Proteine	88
Lysosomen enthalten Verdauungsenzyme	89
Organellen, die Energie umformen	90
Mitochondrien sind Energiewandler	90
Plastiden betreiben Photosynthese oder speichern Substanzen	91
Die Endosymbiontentheorie erklärt den Ursprung von Mitochondrien und Chloroplasten	93
Weitere Organellen	93
In Peroxisomen sind spezialisierte Enzymreaktionen lokalisiert	93
Vakuolen sind mit einer wässrigen Lösung von Substanzen gefüllt	94
Das Cytoskelett	95
Actinfilamente geben Halt und ermöglichen Bewegungen	96
Intermediärfilamente sind wie starke Seile	96
Mikrotubuli sind lang und hohl	97

Mikrotubuli treiben Geißeln und Cilien an	97
Motorproteine wandern an den Mikrotubuli entlang	98
Extrazelluläre Strukturen.	98
Die pflanzliche Zellwand besteht weitgehend aus Cellulose	98
Tierzellen besitzen eine aufwendige extrazelluläre Matrix	99

5 Zelluläre Membranen 105

Bestandteile und Struktur der Biomembran	106
Lipide machen den Großteil der Biomembran aus	106
Membranproteine sind asymmetrisch verteilt	107
Membran-Kohlenhydrate sind Erkennungsorte	109

Zell/Zell-Erkennung und -Adhäsion	109
An Zell/Zell-Erkennung und -Adhäsion sind Proteine auf der Zelloberfläche beteiligt	110
Spezialisierte Zell/Zell-Verbindungen (Junctions) bei Tieren.	110

Wege des passiven Membrantransports	113
Die physikalische Natur der Diffusion	113
Einfache Diffusion findet durch die Lipiddoppelschicht der Membran statt	115
Osmose ist die Diffusion von Wasser durch Membranen	115
Die Diffusion kann durch Kanalproteine erleichtert werden	116
Transportproteine fördern die Diffusion durch Substanzbindung.	118

Aktiver Transport.	118
Aktiver Transport ist gerichtet	119
Primär aktiver Transport und sekundär aktiver Transport benötigen unterschiedliche Energiequellen	119

Endocytose und Exocytose.	121
Makromoleküle und noch größere Partikel gelangen durch Endocytose in die Zelle	121
Rezeptorvermittelte Endocytose ist hochspezifisch	121
Exocytose befördert Material aus der Zelle hinaus	122

Membranen stellen nicht nur schlichte Barrieren dar	122
--	-----

Membranen sind dynamisch.	123
--	-----

6 Energie, Enzyme und Stoffwechsel.	127
Energie und Energieumwandlungen.	128
Energieumwandlungen gehen mit Veränderungen der Materie einher	128
Der erste Hauptsatz: Energie wird weder erzeugt noch vernichtet.	129
Der zweite Hauptsatz: Nicht alle Energie kann genutzt werden; die Unordnung strebt einem Maximum zu	129
Chemische Reaktionen setzen Energie frei oder nehmen sie auf.	131
Chemisches Gleichgewicht und freie Energie sind eng miteinander verknüpft.	132
ATP: Energieübertragung in Zellen.	133
Die Hydrolyse von ATP setzt Energie frei.	133
ATP koppelt exergonische und endergonische Prozesse	134
Enzyme: Biokatalysatoren	135
Damit eine Reaktion ablaufen kann, muss eine Energieschwelle überwunden werden	135
Enzyme binden spezifische Reaktionspartner . . .	137
Enzyme erniedrigen die Energieschwelle, beeinflussen aber nicht das Gleichgewicht	137
Welche chemischen Prozesse laufen im aktiven Zentrum von Enzymen ab?	138
Die Molekülstruktur bestimmt die Enzymfunktion	139
Das aktive Zentrum ist für das Substrat spezifisch.	139
Ein Enzym ändert seine Konformation, wenn es ein Substrat bindet.	139
Viele Enzyme benötigen für ihre Funktion weitere Komponenten	140
Die Substratkonzentration beeinflusst die Reaktionsrate	141
Die Regulation von Enzymen im Stoffwechsel	141
Der Metabolismus ist in Stoffwechselwegen organisiert	142
Die Enzymaktivität wird durch Inhibitoren reguliert.	142
Allosterische Enzyme kontrollieren ihre Aktivität durch eine Veränderung der Konformation	143
Allosterische Effekte regulieren den Stoffwechsel .	145
Enzyme werden durch ihre Umgebung beeinflusst .	145

7 Zelluläre Stoffwechselwege, die chemische Energie gewinnen	149
Energie und Elektronen aus Glucose . . .	149
Durch den Glucoseabbau versorgen sich die Zellen mit freier Energie.	150
Redoxreaktionen übertragen Elektronen und Energie	151
Das Coenzym NAD spielt eine Schlüsselrolle bei der Wasserstoffübertragung in Redoxreaktionen .	151
Überblick: Die Freisetzung von Energie aus Glucose	152
Die Glykolyse: Von der Glucose zum Pyruvat.	152
Die Energieinvestitionsphase der Glykolyse benötigt ATP	153
Die Energiegewinnungsphase der Glykolyse liefert NADH + H ⁺ und ATP	155
Die Pyruvatoxidation	156
Der Citratzyklus	156
Im Citratzyklus werden CO ₂ , ATP und reduzierte Elektronencarrier gebildet	156
Die Atmungskette: Elektronen, Protonen und ATP-Synthese	159
Die Atmungskette transportiert Elektronen und setzt Energie frei	159
Die Protonendiffusion wird mit der ATP-Synthese gekoppelt	160
Gärung: ATP aus Glucose, in Abwesenheit von Sauerstoff	163
Manche gärenden Zellen bilden Milchsäure, andere bilden Ethanol	164
Gegenüberstellung der Energieausbeute .	165
Beziehungen zwischen Stoffwechselwegen	166
Im Katabolismus und Anabolismus werden Kohlenstoffgerüste umgebaut	166
Katabolismus und Anabolismus sind eng miteinander verzahnt	167
Die Regulation der Energie gewinnenden Stoffwechselwege	168

8 Photosynthese: Energie von der Sonne	173
Die Identifizierung von Ausgangsstoffen und Produkten der Photosynthese.	174
Die beiden Abschnitte der Photosynthese: Ein Überblick	175
Die Wechselwirkungen von Licht und Pigmentmolekülen.	175
Licht verhält sich gleichzeitig als Partikel und als Welle	175
Durch die Absorption eines Photons wird ein Pigmentmolekül in einen angeregten Zustand versetzt . . .	176
Absorbierte Wellenlängen sind mit biologischer Aktivität korreliert	177
Die Photosynthese nutzt die von verschiedenen Farbstoffen absorbierte Energie	177
Die Lichtabsorption führt zu photochemischen Veränderungen	178
Das angeregte Chlorophyll im Reaktionszentrum wirkt als Reduktionsmittel für den Elektronentransport	179
Die Lichtreaktionen: Elektronentransport, Reduktionen und Photophosphorylierung .	179
Im nichtzyklischen Elektronentransport werden ATP und NADPH gebildet	180
Beim zyklischen Elektronentransport wird ATP, nicht jedoch NADPH gebildet	181
Chemiosmose führt zur ATP-Bildung durch Photophosphorylierung	182
Die Bildung von Kohlenhydrat aus CO₂: Der Calvin-Zyklus	183
Die Schritte des Calvin-Zyklus wurden durch Isotopenmarkierung aufgeklärt	183
Der Calvin-Zyklus besteht aus drei Abschnitten . .	183
Photorespiration und ihre Folgen	186
Rubisco katalysiert die Reaktion von RuBP sowohl mit O ₂ als auch mit CO ₂	186
C ₄ -Pflanzen können die Photorespiration umgehen	187
Auch CAM-Pflanzen verwenden die PEP-Carboxylase	189
Stoffwechselwege bei Pflanzen	189



Teil II

Information und Vererbung

Essay

Ethische Aspekte der genetischen Veränderung der Natur	194
Von Eve-Marie Engels	

9 Chromosomen, Zellzyklus und Zellteilung	197
Systeme der Zellreproduktion	198
Prokaryoten teilen sich durch Spaltung	198
Eukaryotische Zellen trennen sich durch Mitose oder Meiose	200
Interphase und die Regulation der Zellteilung	200
Cycline und andere Proteine zeigen Ereignisse des Zellzyklus an	201
Wachstumsfaktoren können Zellen zur Teilung anregen	203
Eukaryotische Chromosomen	203
Mitose: Die Verteilung von genauen Kopien der genetischen Information	205
Die Centrosomen bestimmen die Ebene der Zellteilung	205
In der Prophase werden die Chromatiden sichtbar und die Mitosespindel bildet sich	205

Die Wanderung der Chromosomen ist hochgradig organisiert	206
In der Telophase bilden sich wieder die Zellkerne aus	208
Cytokinese: Die Teilung des Cytoplasmas .	208
Reproduktion: Geschlechtlich oder ungeschlechtlich	209
Die Fortpflanzung durch Mitose führt zu genetischer Beständigkeit	209
Die Fortpflanzung durch Meiose führt zu genetischer Vielfalt.	210
Anzahl, Form und Größe von Metaphase-chromosomen bilden den Karyotyp	211
Meiose: Eine zweifache Teilung des Zellkerns	212
Die erste meiotische Teilung verringert die Chromosomenzahl	212
Die zweite meiotische Teilung trennt die Schwesterchromatiden	213
Die Meiose führt zu genetischer Vielfalt	216
Fehler bei der Meiose.	218
Aneuploidie kann zu Krankheitsbildern führen . .	218
Eine Polyploidie kann bei der Zellteilung Probleme bereiten	219
Zelltod	219

10 Genetik: Mendel und seine Nachfolger	225
Die Anfänge der Genetik.	226
Die Pflanzenzucht zeigt: Beide Eltern tragen gleichmäßig zur Vererbung bei.	226
Mendel führte neue Methoden für Vererbungsexperimente ein	227
Mendels Experimente und die Vererbungsregeln	227
Mendel entwickelte einen sorgfältigen Experimentierplan	227
Mendels Experiment 1 umfasste eine Kreuzung von Monohybriden.	228
Mendels erste Regel	230
Mendel verifizierte seine Hypothese, indem er eine Rückkreuzung durchführte	232
Nach Mendels zweiter Regel segregieren Allele von verschiedenen Genen unabhängig voneinander .	232
Punnett-Quadrat oder Wahrscheinlichkeitsrechnung: Was geht schneller?	233

Mendels Regeln lassen sich in menschlichen Stammbäumen beobachten	235
Allele und ihre Wechselwirkungen	237
Neue Allele entstehen durch Mutation.	237
Bei vielen Genen gibt es mehrere Allele	237
Dominanz ist nicht immer vollständig	237
Bei einer Codominanz werden beide Allele exprimiert	238
Einige Allele zeigen mehrere phänotypische Effekte .	238
Wechselwirkungen zwischen den Genen.	239
Einige Gene verändern die Wirkung von anderen Genen	239
Bastardwüchsigkeit (Heterosis) ist das Ergebnis von neuen Genkombinationen und Wechselwirkungen	240
Die Umgebung beeinflusst die Genaktivität	240
Die meisten komplexen Phänotypen werden von mehreren Genen und von der Umwelt bestimmt .	240
Gene und Chromosomen	241
Gene auf demselben Chromosom sind gekoppelt .	241
Gene können zwischen den Chromatiden ausgetauscht werden	242
Genetiker können Chromosomenkarten erstellen .	243
Geschlechtsbestimmung und geschlechtsgekoppelte Vererbung	243
Das Geschlecht wird bei den einzelnen Spezies auf verschiedene Weise bestimmt	243
Das X- und das Y-Chromosom haben unterschiedliche Funktionen	246
Gene auf den Geschlechtschromosomen werden auf besondere Weise vererbt.	247
Menschen besitzen viele geschlechtsgekoppelte Merkmale	247
Nicht an den Zellkern gebundene Vererbung	249

11 DNA und ihre Funktion bei der Vererbung.	255
DNA: Das genetische Material	255
Die DNA von einem Bakterienstamm bewirkt bei einem anderen Stamm eine genetische Transformation	256
Das transformierende Prinzip ist die DNA	256
Replikationsexperimente mit Viren bestätigen die DNA als das genetische Material	257

Die Struktur der DNA	258
Röntgenstrukturanalysen lieferten Hinweise auf die DNA-Struktur.	259
Die chemische Zusammensetzung der DNA war bekannt	259
Watson und Crick beschrieben die Doppelhelix . .	260
Fünf wesentliche Eigenschaften definieren die DNA-Struktur.	260
Die Doppelhelixstruktur der DNA ist für ihre Funktion essenziell.	261
Die Bestimmung des DNA-Replikations- mechanismus	263
Bei der DNA-Replikation erschienen drei Mechanismen als plausibel	263
Meselson und Stahl zeigten, dass die DNA-Replikation semikonservativ erfolgt	263
Die molekularen Mechanismen der DNA-Replikation	265
Die DNA wird durch den Replikationskomplex geführt	265
Kleine zirkuläre DNA-Moleküle werden von einem einzigen Ursprung aus repliziert	266
Große lineare DNA-Moleküle enthalten mehrere Ursprünge	267
DNA-Polymerasen benötigen einen Primer	267
Zellen enthalten mehrere verschiedene DNA-Polymerasen	268
Der Folgestrang wird aus Okazaki-Fragmenten synthetisiert	269
Die Telomere werden nicht vollständig repliziert. .	270
DNA-Korrekturlesefunktion und DNA-Reparatur	271
Korrekturlesemechanismen stellen sicher, dass die DNA-Replikation genau erfolgt	271
Mechanismen für die Reparatur von Fehlpaarungen korrigieren Fehler bei der Basenpaarung.	272
Die Excisionsreparatur beseitigt chemisch bedingte Schäden	272
Praktische Anwendungen der DNA-Replikation	272
Die Polymerasekettenreaktion erzeugt zahlreiche Kopien einer DNA	272
Die Nucleotidsequenz der DNA lässt sich bestimmen	273

12 Von der DNA zum Protein:	
Vom Genotyp zum Phänotyp.	279
Ein Gen – ein Polypeptid.	279

DNA, RNA und der Informationsfluss . . .	282
RNA unterscheidet sich von DNA	282
Wenn Gene exprimiert werden, erfolgt der Informationsfluss nur in einer Richtung	282
Viren erweitern das zentrale Dogma.	283
Transkription: DNA-abhängige RNA-Synthese.	283
Die Initiation der Transkription erfordert einen Promotor und eine RNA-Polymerase.	284
Die RNA-Polymerase verlängert das Transkript . .	284
Die Transkription endet an bestimmten Basensequenzen	284
Der genetische Code	286
Der genetische Code ist redundant, aber eindeutig .	286
Der genetische Code ist (nahezu) universell	286
Der genetische Code wurde mithilfe künstlicher mRNAs entschlüsselt.	287
Vorbereitung der Translation: Kopplung von RNAs, Aminosäuren und Ribosomen .	288
Transfer-RNAs tragen spezifische Aminosäuren und binden an spezifische Codons.	288
Aktivierungsenzyme verknüpfen die richtigen tRNAs und Aminosäuren.	289
Das Ribosom ist die Werkbank der Translation. . .	290
Translation: RNA-abhängige Polypeptidsynthese	291
Die Translation beginnt mit dem Initiationskomplex	292
Das Polypeptid wird vom N-Terminus aus verlängert	292
Die Elongation setzt sich fort und das Polypeptid wächst	293
Ein Freisetzungsfaktor beendet die Translation . .	293
Regulierung der Translation	294
Manche Antibiotika und bakterielle Toxine wirken, indem sie die Translation hemmen.	294
Die Polysombildung erhöht die Geschwindigkeit der Proteinsynthese	294
Posttranslationale Ereignisse	295
Signalsequenzen lenken Proteine zu ihrem zellulären Bestimmungsort.	295
Viele Proteine werden nach der Translation modifiziert	297
Mutationen: Vererbare Veränderungen im Genom	298
Punktmutationen sind Veränderungen einzelner Nucleotide	299

Chromosomenmutationen sind umfangreiche Veränderungen des genetischen Materials.	300
Mutationen können spontan oder induziert entstehen	301
Mutationen sind das Rohmaterial der Evolution. . .	303

13 Die Genetik der Viren und Prokaryoten. 307

Untersuchungen zur Natur der Gene . . .	308
--	------------

Viren: Reproduktion und Rekombination. . .	308
---	------------

Viren wurden bereits untersucht, bevor man sie sehen konnte.	308
---	-----

Viren vermehren sich nur mithilfe von lebenden Zellen	309
--	-----

Es gibt viele Arten von Viren	309
---	-----

Bakteriophagen reproduzieren sich durch einen lytischen oder einen lysogenen Zyklus.	310
---	-----

Lytische Phagen können bei der Behandlung bakterieller Infektionen helfen.	311
---	-----

Tierviren weisen sehr unterschiedliche Reproduktionszyklen auf	311
---	-----

Viele Pflanzenviren verbreiten sich mithilfe von Vektoren.	312
---	-----

Prokaryoten: Reproduktion und Rekombination	314
--	------------

Durch die Reproduktion von Prokaryoten entstehen Klone	315
---	-----

Bakterien konjugieren bei der Rekombination. . .	315
--	-----

Bei einer Transformation nehmen die Zellen Gene aus ihrer Umgebung auf.	317
--	-----

Bei der Transduktion übertragen Viren Gene von Zelle zu Zelle.	317
---	-----

Plasmide sind zusätzliche Chromosomen in Bakterien	318
---	-----

Transponierbare Elemente bewegen Gene zwischen Plasmiden und Chromosomen.	320
--	-----

Die Regulation der Genexpression bei Prokaryoten	320
---	------------

Die Regulation der Transkription spart Energie . .	321
--	-----

Ein einziger Promotor kontrolliert die Transkription benachbarter Gene.	321
--	-----

Operons sind Transkriptionseinheiten der Prokaryoten	322
---	-----

Operator und Repressor kontrollieren, wodurch die Transkription induziert wird: Das <i>lac</i> -Operon .	322
---	-----

Operator und Repressor kontrollieren, wodurch die Transkription gehemmt wird: Das <i>trp</i> -Operon .	324
---	-----

Die Proteinsynthese kann durch Erhöhung der Promotoreffizienz kontrolliert werden	325
--	-----

Transkriptionskontrolle bei Viren	325
Prokaryotische Genome	327
Die funktionelle Genomik setzt Gensequenzen in Beziehung zu ihren Funktionen	327
Die Sequenzierung prokaryotischer Genome hat eine medizinische Bedeutung	328
Welche Gene sind für das Überleben einer Zelle erforderlich?	328

14 Das eukaryotische Genom und seine Expression 333

Das eukaryotische Genom	333
Das eukaryotische Genom ist größer und komplexer als das der Prokaryoten	334
Beim Hefegenom kommen eukaryotische Funktionen zum prokaryotischen Modell hinzu	335
Beim Nematodengenom kommt die Komplexität der Entwicklung hinzu	335
Die Taufliede besitzt erstaunlich wenige Gene. . .	336
Der Kugelfisch ist ein Wirbeltier mit einem kompakten Genom.	337
Das Genom der Reispflanze lässt sich auf das Genom der Modellpflanze <i>Arabidopsis</i> zurückführen . . .	337

Repetitive Sequenzen im eukaryotischen Genom	338
Hochrepetitive Sequenzen liegen in einer großen Anzahl von Kopien vor.	338
Einige mittelrepetitive Sequenzen werden transkribiert	339
Transposons bewegen sich durch das Genom . . .	339

Die Struktur von Protein codierenden Genen.	341
Protein codierende Gene enthalten nichtcodierende interne und flankierende Sequenzen.	341
Viele eukaryotische Gene gehören zu Genfamilien	343

RNA-Prozessierung	344
Das Primärtranskript Protein codierender Gene wird an beiden Enden modifiziert.	344
Das Spleißen entfernt Introns aus dem Primärtranskript	345

Regulierung der Genexpression bei der Transkription	346
Spezifische Gene können selektiv transkribiert werden.	346
Gene können durch die Chromatinstruktur inaktiviert werden	350

DNA-Rearrangement: Eine DNA-Sequenz kann an einen neuen Genort springen, wodurch ihre Transkription aktiviert wird	352
Selektive Genamplifikation führt zu mehr Matrizen für die Transkription	352
Posttranskriptionale Regulierung	353
Durch alternatives Spleißen können aus demselben Gen verschiedene mRNAs hervorgehen	353
Die Stabilität der mRNA kann reguliert werden . .	354
RNA kann ediert werden, um ein codiertes Protein zu verändern	354
Translationale und posttranslationale Regulierung	354
Die Translation der mRNA kann reguliert werden .	355
Das Proteasom kontrolliert die Existenzdauer von Proteinen nach der Translation	355

15 Signalübertragung und Kommunikation zwischen Zellen . .

Signale

Zellen empfangen physikalische Reize und chemische Signale aus ihrer Umwelt und von anderen Zellen

Zu einem Signalübertragungsweg gehören Signal, Rezeptor, Signaltransduktion und Reaktion

Rezeptoren

Rezeptoren haben spezifische Bindungsstellen für ihr Signalmolekül.

Es gibt viele Arten von Rezeptoren

Übertragung von Signalen (Signaltransduktion).

Proteinkinaskaskaden verstärken die Reaktion auf die Rezeptorbindung.

Zyklisches AMP ist ein häufiges sekundäres Botenmolekül

Zwei sekundäre Messenger leiten sich aus Lipiden ab

Calciumionen sind an vielen Signalübertragungswegen beteiligt

Stickstoffmonoxid ist ein Gas, das als sekundärer Messenger fungieren kann.

Die Signalübertragung ist hochgradig reguliert . .

Signaleffekte: Veränderungen der Zellfunktion

Ionenkanäle werden geöffnet

Enzymaktivitäten werden verändert

Verschiedene Gene werden transkribiert.

Direkte Kommunikation zwischen Zellen . . .	373
Tierzellen kommunizieren über die Gap Junctions . . .	373
Pflanzenzellen kommunizieren über Plasmodesmen . . .	374

16 Gentechnik und Biotechnologie . . . 379

Zerschneiden und Neuverknüpfen von DNA 380

Restriktionsenzyme schneiden DNA an spezifischen Sequenzen	380
Mithilfe einer Gelelektrophorese lässt sich die Größe von DNA-Fragmenten bestimmen.	381
Rekombinante DNA kann im Testgefäß erzeugt werden	382

Wie man neue Gene in Zellen einschleust . 383

Gene können in prokaryotische oder eukaryotische Zellen eingeschleust werden	383
Vektoren können neue DNA in Wirtszellen transportieren	384
Mithilfe von Reportergenen lassen sich Wirtszellen identifizieren, die rekombinante DNA enthalten . .	386

Quellen für Gene, die kloniert werden sollen. 388

Genbibliotheken enthalten Fragmente eines Genoms	388
Mithilfe der Reversen Transkriptase lässt sich von mRNA eine DNA-Kopie erzeugen	388
DNA kann im Labor chemisch synthetisiert werden .	389
DNA kann im Labor mutiert werden	390

Einige weitere Werkzeuge für die Manipulation von DNA 390

Durch eine homologe Rekombination lassen sich Gene inaktivieren	390
DNA-Chips können DNA-Mutationen und die Expression von RNA sichtbar machen	391
Antisense-RNA und die RNA-Interferenz können die Expression spezifischer Gene verhindern. . . .	392
Das Two-Hybrid-System zeigt, welche Proteine in einer Zelle interagieren	393

Anwendungen künstlich veränderter DNA in der Biotechnologie 394

Expressionsvektoren können Zellen in Proteinreaktoren umwandeln	394
Mit Biotechnologie können medizinisch relevante Proteine hergestellt werden	395
Die künstliche Veränderung von DNA verändert die Landwirtschaft	396
Es gibt in der Öffentlichkeit Bedenken gegen die grüne Biotechnologie	399

Genetische Fingerabdrücke basieren auf der Polymerasekettenreaktion	400
---	-----

17 Molekularbiologie und Medizin 405

Anomale oder fehlende Proteine:

Der mutierte Phänotyp 406

Enzymatische Fehlfunktionen können Krankheiten verursachen	406
--	-----

Ein anomales Hämoglobin ist die Ursache für die Sichelzellenanämie.	407
---	-----

Veränderte Membranproteine verursachen viele Krankheiten	407
--	-----

Veränderungen in Strukturproteinen können Krankheiten verursachen.	409
--	-----

Prionkrankheiten beruhen auf Störungen der Proteinkonformation	409
--	-----

Die meisten Krankheiten werden von Genen und Umwelteinflüssen gemeinsam verursacht	410
--	-----

Die genetisch bedingten Krankheiten des Menschen zeigen verschiedene Vererbungsmuster	410
---	-----

Mutationen und menschliche

Krankheiten 411

Um ein Gen zu identifizieren, kann man beim Protein beginnen.	412
---	-----

Chromosomale Deletionen können die Isolierung des Gens und dann des Proteins ermöglichen . . .	412
--	-----

Genetische Marker können den Weg zu wichtigen Genen weisen	413
--	-----

Mutationen von Genen treten beim Menschen in vielen verschiedenen Größenordnungen auf . .	414
---	-----

Sich ausdehnende Triplettwiederholungen markieren Bruchstellen in einigen menschlichen Genen . . .	415
--	-----

Aufgrund genomischer Prägung benötigen Säuger stets auch einen Vater	416
--	-----

Reihentests auf genetisch bedingte menschliche Krankheiten 416

Ein Test auf anomale Phänotypen kann auf der Expression von Proteinen basieren	416
--	-----

Anomale Gene lassen sich mit verschiedenen Testmethoden auffinden	417
---	-----

Krebs: Krankheit durch genetische Veränderungen 419

Krebszellen unterscheiden sich von normalen Zellen	419
--	-----

Einige Krebsformen werden durch Viren verursacht .	420
--	-----

Die meisten Krebserkrankungen werden durch Mutationen verursacht.	421
---	-----

Bei vielen Krebserkrankungen sind zwei Arten von Genen verändert.	421
---	-----

Der Weg von einer normalen Zelle zu einer Krebszelle ist komplex	423
Behandlung genetisch bedingter Krankheiten	424
Eine mögliche Behandlungsmethode ist die Beeinflussung des Phänotyps	424
Die Gentherapie bietet die Hoffnung auf eine spezifische Behandlung	425
Sequenzierung des menschlichen Genoms	426
Bei der Genomsequenzierung gibt es zwei Strategien	427
Die Sequenz des menschlichen Genoms wurde bestimmt	428
Für die Sequenz des menschlichen Genoms gibt es zahlreiche Anwendungsmöglichkeiten	429
Wie soll die genetische Information genutzt werden?	429
Das Proteom ist komplexer als das Genom	430

18 Die natürliche Abwehr

von Krankheiten	435
Abwehrsysteme bei Tieren.	436
Das Blut und die lymphatischen Gewebe spielen bei den Abwehrsystemen eine wichtige Rolle	436
Zellen und Proteine der Immunabwehr.	437
Weiße Blutzellen besitzen viele Abwehrfunktionen	438
Proteine des Immunsystems binden an Krankheitserreger oder übertragen Signale auf andere Zellen.	438
Unspezifische Immunabwehr	438
Barrieren und lokale Faktoren verteidigen den Körper gegen Eindringlinge	438
Zu den unspezifischen Abwehrmechanismen gehören chemische und zelluläre Reaktionen	440
Ein zellulärer Signalübertragungsweg stimuliert die Immunabwehr	441
Spezifische Abwehrmechanismen:	
Das Immunsystem	442
Vier Eigenschaften charakterisieren das Immunsystem	443
Es gibt zwei interaktive Immunreaktionen.	443
Genetische Prozesse und die klonale Selektion bringen die Vielfalt der Antikörper hervor	444
Immunität und das immunologische Gedächtnis sind das Ergebnis der klonalen Selektion	445

Impfstoffe stimulieren das immunologische Gedächtnis	445
Tiere unterscheiden körpereigen von körperfremd und tolerieren die eigenen Antigene	446
B-Zellen: Die humorale Immunantwort . .	447
Einige B-Zellen entwickeln sich zu Plasmazellen. .	448
Die verschiedenen Antikörper haben eine übereinstimmende Struktur	448
Hybridome produzieren monoklonale Antikörper .	449
T-Zellen: Die zelluläre Immunantwort . .	451
T-Zell-Rezeptoren kommen auf zwei Typen von T-Zellen vor	451
Der Haupthistokompatibilitätskomplex codiert Proteine, die dem Immunsystem Antigene präsentieren	452
An der humoralen Immunantwort sind T-Helferzellen und MHC-II-Proteine beteiligt	453
An der zellulären Immunantwort sind cytotoxische T-Zellen und MHC-I-Moleküle beteiligt	455
MHC-Proteine bilden die Grundlage der Selbsttoleranz	455
MHC-Proteine sind verantwortlich für die Abstoßung von Transplantaten.	455
Die genetischen Grundlagen der Antikörpervielfalt.	456
Die Antikörpervielfalt ist das Ergebnis von DNA-Umstrukturierungen und anderen Mutationen. . .	456
Die konstante Region wirkt beim Immunglobulin-Klassenwechsel mit	458
Störungen des Immunsystems	458
AIDS ist eine Immunschwächekrankheit	459
Infektion und Replikation von HIV erfolgen in T _H -Zellen.	461
Die Behandlung von HIV-Infektionen beruht auf Erkenntnissen über die molekulare Biologie des Virus	461



Probleme der Forschung an embryonalen Stammzellen	466
Von Gisela Badura-Lotter	

Entwicklungsprozesse.	470
Entwicklung besteht aus Wachstum, Differenzierung und Morphogenese	470
Mit fortschreitender Entwicklung werden Zellen immer stärker spezialisiert	471

Die Rolle der differentiellen Genexpression bei der Zelldifferenzierung	472
Differenzierung führt gewöhnlich nicht zu irreversiblen Veränderungen im Genom	472
Stammzellen können von Signalen aus der Umgebung dazu angeregt werden, sich zu differenzieren . . .	475
Gene werden bei der Zelldifferenzierung differentiell exprimiert	477

Die Rolle von cytoplasmatischer Segregation und Induktion bei der Zelldetermination	478
Polarität resultiert aus cytoplasmatischer Segregation	478
Gewebe induzieren die Entwicklung ihrer Nachbarregion, indem sie Induktoren sezernieren .	479
Einzelne Zellen können bei ihren Nachbarn Veränderungen bewirken	480

Die Rolle der Musterbildung bei der Organentwicklung	481
Einige Zellen sind darauf programmiert zu sterben .	481
Pflanzen haben Organidentitätsgene	482
Morphogen-Gradienten liefern Positionsinformation	483

Die Rolle der differentiellen Genexpression beim Entwickeln der Körpersegmentierung	484
Maternaleffektgene codieren Morphogene, welche die Polarität bestimmen	484

Nach den Maternaleffektgenen wirken	
Segmentierungsgene und homöotische Gene	485
Die Entwicklung von <i>Drosophila</i> resultiert aus einer	
transkriptionell kontrollierten Genkaskade	485
Homöotische Gene rufen Veränderungen in der	
Segmentidentität hervor	486
Homöobox enthaltende Gene codieren	
Transkriptionsfaktoren	487

Die Entwicklung beginnt mit der	
Befruchtung	492
Spermium und Eizelle liefern unterschiedliche	
Beiträge zur Zygote	492
Befruchtung führt zu einer Reorganisation im	
Cytoplasma der Eizelle	492
Die Reorganisation des Ooplasmas schafft die	
Voraussetzungen für die Determination	493

Furchung: Das Cytoplasma wird neu	
verpackt	494
Die Dottermenge beeinflusst die Furchung	494
Die Orientierung der Mitosespindeln beeinflusst	
das Furchungsmuster	495
Die Furchung bei Säugern ist einzigartig.	495
Bestimmte Blastomeren generieren bestimmte	
Gewebe und Organe	497

Gastrulation: Der Körperbauplan entsteht	498
Die Gastrulation beim Seeigel ist durch die	
Invagination des vegetativen Pols charakterisiert .	498
Die Gastrulation beginnt beim Frosch am grauen	
Halbmond	499
Die dorsale Urmundlippe organisiert die Bildung des	
Embryos	499
Die Gastrulation von Reptilien und Vögeln ist eine	
Anpassung an dotterreiche Eier	503
Säugerkeime haben keinen Dotter, aber dennoch	
entspricht ihr Gastrulationsmuster dem der	
Reptilien und Vögel	504

Neurulation: Das Nervensystem wird	
angelegt	504
Bei der Neurulation spielt die dorsale Urmundlippe	
eine zentrale Rolle	504
Die Körpersegmentierung entwickelt sich im Verlauf	
der Neurulation	505
Hox-Gene kontrollieren die Entwicklung längs der	
anterior-posterioren Achse	506

Extraembryonale Membranen.	507
---	-----

An der Bildung der extraembryonalen Membranen sind alle drei Keimblätter beteiligt	507
Bei Säugern bilden die extraembryonalen Membranen die Placenta	508
Die extraembryonalen Membranen bieten die Möglichkeit, Erbkrankheiten zu erkennen	509
Die Entwicklung des Menschen.	509
Die Entwicklung im Uterus lässt sich in drei Trimester unterteilen	509
Entwicklungsprozesse setzen sich das ganze Leben fort	510
Evolution und Individualentwicklung . . .	516
Die Entwicklung stützt sich im ganzen Tierreich auf die gleichen Gegensätze	517
Regulationsgene und Modularität:	
Die Morphologie wird abgewandelt. . . .	518
Mutationen können zu neuen Phänotypen führen .	518
Der zeitliche Ablauf der Genexpression kann die Morphologie beeinflussen	519
Pflanzliche Entwicklung und Evolution . .	521
Umwelteinflüsse auf Entwicklungsmuster .	522
Manche Umweltsignale kündigen Ereignisse an, die sicher eintreten werden	522
Manche Umweltsignale kündigen Ereignisse präzise an, die nicht regelmäßig auftreten.	524
Organismen reagieren in ihrer Entwicklung nicht auf Umweltsignale, die nur wenig mit zukünftigen Lebensbedingungen zu tun haben	525
Manchmal fehlen Organismen geeignete Reaktionen auf neue Umweltsignale.	526
Lernen: Eine Entwicklungsmodifikation .	526



Teil IV

Evolutionsprozesse

Essay

Wie hat Darwins Theorie der natürlichen Selektion unser Weltbild bezüglich der Stellung des Menschen im Universum verändert?	530
Von Daniel Dennett	

22 Die Geschichte des Lebens auf der Erde	533
Definition der biologischen Evolution	534
Bestimmung des Alters der Erde	534
Radioaktivität bietet eine Möglichkeit, Gesteine zu datieren	534
Die Methoden der radiometrischen Datierung wurden erweitert und verbessert	535
Das wechselhafte Antlitz der Erde	536
Die Kontinente haben ihre Lage verändert.	536
Die Erdatmosphäre war einem gerichteten Wandel unterworfen	537
Das Klima auf der Erde schwankt zwischen feucht-heiß und trocken-kalt.	539
Gelegentlich veränderten Vulkane die Geschichte des Lebens	540
Ereignisse von außen haben ebenfalls Veränderungen auf der Erde ausgelöst.	540
Die Fossilbelege	540
Wichtige Abläufe in der Geschichte des Lebens auf der Erde	541
Während des Kambriums entwickelte sich das Leben rasch weiter.	542
Das gesamte Paläozoikum war von großen Veränderungen geprägt	543
Während des Mesozoikums verstärkten sich die geographischen Unterschiede	545
Die modernen Biota entwickelten sich im Känozoikum	546
Drei wichtige Faunen haben das Leben auf der Erde dominiert	547
Die Geschwindigkeit evolutionärer Veränderungen innerhalb von Entwicklungslinien.	548

Manche heute lebenden Arten ähneln stark ihren Vorfahren von vor langer Zeit	548
In manchen Entwicklungslinien verliefen die evolutionären Veränderungen allmählich	549
Manchmal verlaufen evolutionäre Veränderungen mit hoher Geschwindigkeit.	550
Aussterberaten schwanken im Laufe der Zeit . . .	551
Die Zukunft der Evolution	551

23 Die Mechanismen der Evolution

Charles Darwins Evolutionstheorie	556
--	------------

Genetische Variabilität innerhalb von Populationen	559
---	------------

Die meisten Populationen sind genetisch variabel .	560
--	-----

Wie lässt sich genetische Variabilität messen?. . .	561
---	-----

Das Hardy-Weinberg-Gleichgewicht	562
---	------------

Warum ist das Hardy-Weinberg-Gleichgewicht so bedeutend?	564
--	-----

Evolutionsfaktoren und ihre Auswirkungen	564
---	------------

Mutationen sind Veränderungen im genetischen Material	564
---	-----

Austausch von Individuen oder Gameten und anschließende Reproduktion erzeugen einen Genfluss	565
--	-----

Genetische Drift kann in kleinen Populationen große Veränderungen hervorrufen	565
---	-----

Durch nichtzufällige Paarungen verändert sich die Häufigkeit von Homozygoten	566
--	-----

Die natürliche Selektion führt zu Anpassung. . . .	567
--	-----

Die Ergebnisse der natürlichen Selektion .	568
---	------------

Sexuelle Selektion führt zur Entstehung auffälliger Merkmale	570
--	-----

Einschätzung der Kosten von Anpassungen	572
--	------------

Aufrechterhalten der genetischen Variabilität.	573
---	------------

Sexuelle Rekombination erhöht die Zahl möglicher Genotypen	573
--	-----

Neutrale Mutationen sammeln sich mit der Zeit in einer Population an	574
--	-----

Durch häufigkeitsabhängige Selektion wird die genetische Variabilität innerhalb von Populationen aufrechterhalten	574
---	-----

In geographisch getrennten Subpopulationen bleibt genetische Variabilität erhalten	574
--	-----

Einschränkungen der Evolution	575
Kulturelle Evolution	575
Evolution auf kurze und auf lange Sicht .	576
 24 Arten und ihre Entstehung	581
Was sind Arten?	582
Wie entstehen neue Arten?	584
Allopatrische Artbildung erfordert völlige genetische Isolation	584
Sympatrische Artbildung erfolgt ohne physikalische Barrieren	585
Endgültige Artbildung: Mechanismen der reproduktiven Isolation	588
Präzygotische Barrieren wirken vor der Befruchtung ein	588
Postzygotische Barrieren wirken nach der Befruchtung ein	590
Gerade ablaufende Artbildung lässt sich beobachten	590
Hybridzonen: Unvollständige reproduktive Isolation	591
Unterschiedliche Artbildungsraten	593
Adaptive Radiationen	594
 25 Die Rekonstruktion der Phylogenie und ihre Anwendungsmöglichkeiten	599
Stammbäume	600
Homologe Merkmale sind von einem gemeinsamen Vorfahren geerbt	600
Bisweilen ist es schwierig, Merkmale als ursprünglich zu identifizieren	602
Die Schritte bei der Rekonstruktion von Stammbäumen	603
Zur Rekonstruktion von Stammbäumen dienen morphologische Merkmale und Entwicklungsmerkmale	603
Molekulare Merkmale sind ebenfalls hilfreich zur Rekonstruktion von Stammbäumen	604
Rekonstruktion eines einfachen Stammbaums	604
Systematiker wenden bei der Rekonstruktion von Phylogenien das Parsimonie-Prinzip an	606

Biologische Klassifizierung und evolutionäre Verwandtschaftsbeziehungen	607
Die gegenwärtige biologische Klassifikation spiegelt die evolutionären Beziehungen wider	607
Stammbäume sind in vieler Hinsicht von Nutzen	610
Wie viele Male ist ein Merkmal entstanden? . . .	610
Wann erfolgte die Aufspaltung von Linien?	611
Vor wie langer Zeit erfolgte die Radiation der Buntbarsche im Victoriasee?	611

26 Evolution von Molekülen

und Genomen	617
Genome und ihre Evolution	618
Die Evolution von Genen und Proteinen .	618
Veränderungen der Nucleotidsequenzen sind der Antrieb für die molekulare Evolution	618
Viele Mutationen können selektiv neutral sein . .	619
Bestimmung und Vergleich von Sequenzen	620
Die Substitutionsraten von Nucleotiden schwanken, weil die Proteine unterschiedliche Funktionen haben	621
Veränderungen in den Sequenzen können als molekulare Uhr dienen.	621
Proteine übernehmen neue Funktionen .	624
Durch Genduplikation können Proteine neue Funktionen erhalten	624
Physiologische Veränderungen können dazu führen, dass ein Protein neue Funktionen evolviert	624
Die Evolution der Genomgröße	626
Komplexere Organismen besitzen mehr Gene als einfachere	626
Durch Genduplikation können sich die Genomgröße und die Komplexität erhöhen	627
Nutzungsmöglichkeiten von molekularen Informationen über Genome	628
Anhand molekularer Informationen werden Phylogenien rekonstruiert	628
Mithilfe von molekularen Daten kann man die Entwicklungsgeschichte von Genen aufklären. . .	629
Molekulare Informationen eröffnen neue Möglichkeiten zur Bekämpfung von Krankheiten .	630
Nicht alle Krankheitsprobleme lassen sich mit molekularen Daten lösen	630



Teil V

Die Evolution der biologischen Vielfalt

Essay

Welche Verpflichtung haben wir der Natur gegenüber? 634

Von Holmes Rolston, III

27 Bacteria und Archaea: Die prokaryotischen Domänen 637

Warum drei Domänen? 638

Allgemeine Biologie der Prokaryoten. . . 639

Prokaryoten kommen in bestimmten charakteristischen Formen und Assoziationen vor . 640

Prokaryoten fehlen Zellkerne, Organellen und ein Cytoskelett 640

Bei Prokaryoten gibt es charakteristische Fortbewegungsweisen 641

Prokaryoten besitzen charakteristische Zellwände . 642

Prokaryoten pflanzen sich asexuell fort, aber es erfolgt eine genetische Rekombination 643

Prokaryoten haben sich viele Stoffwechselmöglichkeiten erschlossen 643

Prokaryoten in ihren Lebensräumen. . . . 645

Prokaryoten spielen eine wichtige Rolle im Kreislauf der Elemente 645

Archaea tragen dazu bei, die globale Erwärmung zu minimieren 645

Prokaryoten leben auf und in anderen

Organismen	645
Eine kleine Minderheit von Bakterien sind Krankheitserreger	646
Prokaryoten können Biofilme bilden	647

Phylogenie und Diversität

der Prokaryoten	647
----------------------------------	------------

Die Nucleotidsequenzen von Prokaryoten bringen ihre evolutionären Verwandtschaftsbeziehungen ans Licht	647
--	-----

Durch horizontalen Gentransfer wurde die Klarheit der Phylogenie getrübt.	648
--	-----

Mutationen sind eine bedeutende Quelle für die Variabilität der Prokaryoten	648
--	-----

Die Bacteria	649
-------------------------------	------------

Manche Bakterien lieben Hitze	649
---	-----

Die Proteobacteria sind eine große und vielgestaltige Gruppe	649
---	-----

Cyanobakterien sind wichtige Photoautotrophe . .	650
--	-----

Spirochäten sehen aus wie Korkenzieher	651
--	-----

Chlamydien sind extrem klein	652
--	-----

Die meisten Firmicutes sind Gram-positiv	652
--	-----

Die Archaea	654
------------------------------	------------

Die Archaea haben einige für sie typische Merkmale gemeinsam	654
---	-----

Die meisten Crenarchaeota leben in heißen, sauren Habitaten.	655
---	-----

Die Euryarchaeota leben an vielen erstaunlichen Stellen	655
--	-----

28 Protisten und der Aufbruch

der Eukarya	661
------------------------------	------------

Definition der Protisten	661
---	------------

Die Entstehung der eukaryotischen Zelle	662
--	------------

Die moderne eukaryotische Zelle entstand in mehreren Schritten.	662
--	-----

Es bleiben viele Ungewissheiten	664
---	-----

Zur allgemeinen Biologie der Protisten. .	665
--	------------

Protisten zeigen unterschiedliche Fortbewegungsweisen	665
--	-----

Vesikel erfüllen zahlreiche verschiedene Funktionen	665
--	-----

Protisten weisen ganz unterschiedliche Zelloberflächen auf.	666
--	-----

Viele Protisten enthalten Endosymbionten.	667
---	-----

Protisten betreiben meist sowohl asexuelle als auch sexuelle Fortpflanzung	667
---	-----

Diversität der Protisten	668
Diplomonadida und Trichomonadida . . .	670
Euglenozoa	670
Euglenida besitzen Geißeln am Vorderende	670
Kinetoplastida besitzen Mitochondrien, die ihre eigene RNA editieren	671
Alveolata	671
Dinoflagellata sind einzellige marine Organismen mit zwei Geißeln	672
Apicomplexa sind Parasiten mit ungewöhnlichen Sporen	672
Ciliata haben zwei Formen von Zellkernen.	674
Heterokontobionta (Stramenopiles)	676
Diatomeen kommen in allen marinen Lebensräumen vor	676
Unter den Braunalgen finden sich die größten Protisten	677
Der Entwicklungszyklus vieler Protisten und aller Pflanzen ist durch einen Generationswechsel gekennzeichnet	679
Zu den Cellulosepilzen gehören die Wasserschimmel und ihre Verwandten.	680
Rhodobionta (Rotalgen)	680
Chlorophyta (Grünalgen)	681
Gestalt und zelluläre Organisation der Chlorophyta sind sehr variabel	682
Chlorophyta durchlaufen unterschiedliche Entwicklungszyklen	682
Zwischen den Chlorophyta und den Landpflanzen stehen die Armleuchteralgen.	683
Choanoflagellata	684
Die Geschichte der multiplen Endosymbiosen	684
Einige mehrfach auftretende Körperformen	686
Amöben bilden Pseudopodien	686
Schleimpilze setzen aus aufrechten Fruchtkörpern Sporen frei	687
 29 Samenlose Pflanzen: Übergang vom Wasser ans Land	 695
Das Pflanzenreich	696
Wir unterscheiden bei den Landpflanzen zwölf rezente Klassen	697

Entwicklungszyklen von Landpflanzen sind durch Generationswechsel gekennzeichnet.	697
Die Landpflanzen entstanden aus einer Gruppe der Grünalgen II	698
Die Eroberung des Festlands	699
Besondere Anpassungen an die terrestrische Umwelt unterscheiden die Landpflanzen von den Grünalgen	699
Die meisten heutigen Pflanzen besitzen Leitbündel .	699
Die Bryophyten: Lebermoose, Hornmoose und Laubmoose	700
Der Sporophyt der Moospflanzen ist vom Gametophyten abhängig.	700
Die Lebermoose sind wahrscheinlich die älteste rezente Klasse der Landpflanzen.	702
Hornmoose haben als Anpassung an ein Leben an Land Spaltöffnungen entwickelt	703
Bei den Laubmoosen entstanden Mechanismen zum Transport von Wasser und Kohlenhydraten . .	703
Die Entstehung der Gefäßpflanzen (Tracheophyten)	705
Die Evolution der Gefäßpflanzen erstreckte sich über fast eine halbe Milliarde Jahre	706
Die ersten Gefäßpflanzen besaßen weder Wurzeln noch Blätter	707
Die ersten Tracheophyten entwickelten zusätzliche neue Merkmale	707
Die rezenten Farnpflanzen (Pteridophyten).	709
Die Bärlappe bilden die Schwestergruppe der anderen Tracheophyten	710
Schachtelhalme, Gabelblattgewächse und Echte Farne bilden ein Monophylum.	710
Farne entwickelten große, komplexe Blätter	712
Im Entwicklungszyklus der Echten Farne dominiert die Sporophytengeneration	713

30 Die Evolution der Samenpflanzen . 717

Die Samenpflanzen	718
Samenpflanzen sind heterospor und haben sehr kleine Gametophyten	718
Der Samen ist ein komplexes Paket	719
Die Gymnospermen oder Nacktsamer . .	720
Koniferen bilden Zapfen, aber keine frei beweglichen Zellen.	722
Die Angiospermen oder Bedecktsamer . .	723

Die Geschlechtsorgane der Angiospermen sind die Blüten	724
Der Blütenbau hat sich im Verlauf der Evolution weiterentwickelt	725
Zwischen Angiospermen und Tieren hat eine Koevolution stattgefunden.	727
Kennzeichnend für den Entwicklungszyklus der Angiospermen ist eine doppelte Befruchtung . . .	727
Angiospermen bilden Früchte	727
Es gibt mehrere monophyletische Angiospermengruppen.	729
Ermittlung der stammesgeschichtlich ältesten Angiospermen	731
Der Ursprung der Angiospermen ist weiterhin rätselhaft.	731

31 Chitinpilze: Zersetzer, Parasiten, Symbionten und Pathogene 735

Die allgemeine Biologie der Chitinpilze .	736
Manche Chitinpilze sind einzellig	737
Der Körper eines vielzelligen Pilzes besteht aus Hyphen	737
Pilze stehen in engem Kontakt mit ihrer Umgebung	738
Pilze sind heterotrophe Organismen, die sich durch Absorption ernähren.	738
Die meisten Chitinpilze pflanzen sich sowohl asexuell als auch sexuell fort	739
Drei der vier Abteilungen weisen als Synapomorphie ein Dikaryon auf	740
Manche Chitinpilze sind Krankheitserreger	740
Die Diversität des Reiches Mycobionta . .	741
Flagellatenpilze ähneln vermutlich den ältesten Chitinpilzen	741
Jochpilze pflanzen sich sexuell durch Verschmelzung zweier Gametangien fort	742
Asci sind die von Schlauchpilzen zur geschlechtlichen Fortpflanzung gebildeten Strukturen.	743
Die sexuelle Fortpflanzungsstruktur der Ständerpilze ist das Basidium	746
Imperfekte Pilze weisen kein sexuelles Stadium auf .	748
Lebensgemeinschaften von Chitinpilzen .	749
Mykorrhizen sind für viele Pflanzen lebensnotwendig.	749
Flechten können an Standorten wachsen, an denen kein Pflanzenwachstum mehr möglich ist	750

32 Die Entstehung der Tiere und die Evolution ihrer Körperbaupläne . . . 755

Tiere: Abkömmlinge eines gemeinsamen Vorfahren 756

Tiere sind vielzellige heterotrophe Organismen . . . 756

Zahlreiche Merkmale belegen evolutionäre

Verwandschaftsbeziehungen zwischen Tieren. . . 757

Grundlegende Körperbaupläne des Tierreichs 758

Porifera: Tiere mit lockerer Organisation . 760

Cnidaria: Zwei Zellschichten und ein blind endender Verdauungstrakt 761

Nesseltiere sind einfach gebaute, aber sehr

erfolgreiche Carnivoren 762

Der Entwicklungszyklus der Cnidarier ist durch

zwei Stadien gekennzeichnet 763

Ctenophora: Vollständiger Verdauungskanal, Tentakel und Kämme 766

Die Evolution der Bilateria 767

Eine frühe Aufspaltung führte zur getrennten Ent-

wicklung der Protostomier und Deuterostomier . . 767

Die Protostomier spalteten sich in zwei Linien auf 768

Platyzoa: Einfach gebaute

Lophotrochozoa 769

Bei Plattwürmern wird die Fortbewegung

durch Cilienschlag unterstützt 769

Rädertiere sind klein, aber komplex gebaut . . . 770

Tentaculata: Ein alter Körperbauplan . . . 771

Hufeisenwürmer sind festsitzende Tentaculaten . . 771

Moostierchen sind koloniebildende Tentaculaten . 772

Brachiopoden ähneln oberflächlich Muscheln . . . 773

Euspiralia: Spiralfurchung und

wurmformiger Körper. 773

Schnurwürmer sind unsegmentiert. 773

Die Segmentierung ermöglichte den Anneliden

eine bessere Fortbewegung 774

Mollusken haben Schalen entwickelt 776

33 Ecdysozoa: Häutungstiere. 783

Die Cuticula: Ein flexibles, unsegmentiertes Exoskelett 784

Einige marine Stämme der Ecdysozoa sind recht

artenarm 784

Bei einigen unsegmentierten Würmern entwickelte sich eine feste Cuticula	786
Arthropoden und ihre Verwandten:	
Segmentierte Exoskelette	787
Einige Verwandte der Arthropoden haben keine gegliederten Extremitäten	788
Bei den Trilobiten traten erstmals gegliederte Beine auf	789
Die modernen Arthropoden dominieren heute die Fauna der Erde	789
Crustaceen: Vielfältig, häufig und gut gepanzert	790
Insekten: Terrestrische Nachfahren mariner Crustaceen	791
Arthropoden mit zwei Körperabschnitten	795
Tausendfüßer haben viele Beine	795
Die meisten Cheliceraten haben sechs Extremitätenpaare	795
Trends in der Evolution der Protostomier .	796

34 Deuterostomier. 803

Die Vorfahren der Deuterostomier. 803

Echinodermen: Radiärsymmetrie und Ambulacralsystem 804

Pelmatozoa haben gegliederte Arme. 807

Die Eleutherozoa sind die dominierenden Echinodermen 808

Hemichordaten: Ein altertümlicher Bauplan 810

Chordaten: Neue Strategien des Nahrungserwerbs 811

Bei den Wirbeltieren wurde die Chorda dorsalis durch eine gelenkige Wirbelsäule ersetzt 812

Kiefer ermöglichten eine effizientere Ernährung. . 813

Flossen sorgten für eine noch bessere Beweglichkeit 814

Die Evolution der Schwimmblase ermöglichte eine Kontrolle des Auftriebs 815

Die Besiedlung des Landes: Aufnahme von Sauerstoff aus der Luft 817

Amphibien eroberten das Land 818

Amnioten besiedelten trockene Lebensräume . . . 819

Die Linien der Reptilien spalteten sich auf. 821

Vögel: Mehr Federn und besseres Flugvermögen	823
Entstehung und Vielfalt der Säugetiere.	825
Primaten und die Entstehung des Menschen.	828
Bei den Vorfahren des Menschen evolvierte der bipede Gang	829
Die Menschen entstanden aus australopithecinen Vorfahren	831
Das menschliche Gehirn wurde größer.	831
Die Menschen entwickelten Sprache und Kultur	833
Deuterostomier und Protostomier: Gemeinsame Evolutionstrends	834



Teil VI

Die Biologie der Blütenpflanzen

Essay

Wann und warum sollen wir zur Förderung und Erhaltung „natürlicher Prozesse“ aktiv in die Natur eingreifen?	838
Von Thomas Potthast	

35 Der Pflanzenkörper.	841
Vegetative Organe der Blütenpflanzen	842
Wurzeln verankern die Pflanze und nehmen Wasser und Mineralstoffe auf	843
Die Sprossachse trägt Knospen, Blätter und Blüten	844
Blätter sind der Hauptort der Photosynthese	845

Pflanzenzellen	845
Zellwände können eine komplexe Struktur aufweisen	846
Parenchymzellen müssen leben, um ihre Funktion auszuüben	846
Lebende Kollenchymzellen bieten einen flexiblen Halt.	847
Sklerenchymzellen geben starren Halt.	847
Xylem transportiert Wasser aus den Wurzeln in den Spross und die Blätter	848
Das Phloem transportiert Kohlenhydrate und andere Nährstoffe	849
Gewebe von Blütenpflanzen	850
Die Ausformung des Pflanzenkörpers . . .	851
Pflanzen und Tiere wachsen unterschiedlich. . . .	851
Der Pflanzenkörper wird durch eine Hierarchie von Meristemen erzeugt.	851
Aus dem Apikalmeristem der Wurzel entstehen die Wurzelhaube und die primären Meristeme. . .	853
Die Produkte der primären Wurzelmeristeme werden zu den Wurzelgeweben	854
Die Produkte des Spross-Apikalmeristems werden zu Sprossgeweben	855
Sprossachse und Wurzel weisen häufig ein sekundäres Dickenwachstum auf	856
Die Blattanatomie ermöglicht die Photosynthese	859

36 Transport in Pflanzen 863

Aufnahme und Beförderung von Wasser und gelösten Stoffen	864
Wasser wandert mittels Osmose durch eine Membran.	864
Aquaporine erleichtern die Bewegung von Wasser durch Membranen	865
Für die Aufnahme von Mineralionen werden Membran-Transportproteine benötigt	866
Wasser und Ionen passieren auf ihrem Weg ins Xylem den Apoplasten und den Symplasten	867
Der Transport von Wasser und Mineralionen im Xylem.	869
Xylemtransport durch Pumpstätigkeit lebender Zellen wurde experimentell ausgeschlossen	869
Wurzeldruck ist nicht für den Xylemtransport verantwortlich	869
Für den Xylemtransport sind Transpiration und Kohäsion verantwortlich	870

Die Saugspannung im Xylemsaft wird mit der Druckkammer gemessen	871
---	-----

Transpiration und die Spaltöffnungen 872

Die Schließzellen kontrollieren den Öffnungszustand der Spaltöffnung	873
--	-----

Die Transpiration von Nutzpflanzen lässt sich herabsetzen	874
---	-----

Der Substanztransport im Phloem 874

Die Druckstromtheorie liefert eine Erklärung für den Phloemtransport.	875
---	-----

Die Druckstromtheorie wurde experimentell untersucht	876
--	-----

Plasmodesmen und der Materialtransfer zwischen Zellen	877
---	-----

37 Mineralstoffhaushalt der Pflanzen 881

Der Erwerb von Nährstoffen 882

Autotrophe stellen ihre eigenen organischen Verbindungen her	882
--	-----

Wie findet ein sessiler Organismus Nährelemente?	882
--	-----

Essenzielle mineralische Nährelemente der Pflanzen. 883

Mangelercheinungen zeigen eine ungenügende Ernährung an.	884
--	-----

Mehrere essenzielle Nährelemente erfüllen multiple Aufgaben	884
---	-----

Die essenziellen Nährelemente wurden durch spezifische Experimente bestimmt.	885
--	-----

Böden und Pflanzen 885

Böden haben eine komplexe Struktur	885
--	-----

Boden bildet sich durch die Verwitterung von Gestein	887
--	-----

Böden sind die Basis der Pflanzenernährung	887
--	-----

In der Landwirtschaft werden Dünger und Kalk eingesetzt	887
---	-----

Der Einfluss von Pflanzen auf Bodenfruchtbarkeit und pH-Wert	888
--	-----

Die Fixierung von Stickstoff 889

Kein Leben ohne Stickstoff fixierende Bakterien	889
---	-----

Die Nitrogenase katalysiert die Stickstoff-Fixierung	890
--	-----

Einige Pflanzen und Bakterien arbeiten zusammen, um Stickstoff zu fixieren	890
--	-----

Die biologische Stickstoff-Fixierung entspricht nicht immer dem landwirtschaftlichen Bedarf	892
---	-----

Pflanzen und Bakterien nehmen am globalen Stickstoffkreislauf teil	892
--	-----

Carnivore und parasitische Pflanzen 893

38 Regulation des Pflanzenwachstums	897
Die pflanzliche Entwicklung wird durch interagierende Faktoren gesteuert	898
Verschiedene Phytohormone und Photorezeptoren regulieren das Pflanzenwachstum	898
Die Wirkung von Phytohormonen und Photorezeptoren wird über Signaltransduktionswege vermittelt.	898
Die Pflanzenentwicklung im Überblick . .	899
Nach der Samenkeimung entwickelt sich ein wachsender Keimling	899
Die Pflanze blüht und setzt Früchte an.	899
Die Pflanze altert und stirbt ab	900
Das Ende der Keimruhe und der Beginn der Keimung	900
Die Keimruhe bietet adaptive Vorteile	901
Samenkeimung beginnt mit Wasseraufnahme . . .	901
Der Embryo muss seine Reserven mobilisieren . .	901
Gibberelline regulieren viele Prozesse von der Keimung bis zum Fruchtwachstum . .	902
„Verrückte Keimlinge“ führten zur Entdeckung der Gibberelline	902
Die Gibberelline haben zahlreiche Wirkungen . . .	903
Auxine beeinflussen bei Pflanzen Wachstum und Form	904
Auxin wurde anhand des Phototropismus entdeckt	904
Der Auxintransport ist gerichtet	906
Carrierproteine befördern Auxin in Zellen hinein und aus ihnen heraus	906
Licht und Schwerkraft beeinflussen die Richtung des Pflanzenwachstums	906
Auxin beeinflusst das Pflanzenwachstum auf verschiedene Weise	907
Strukturanaloga des Auxins wirken als Herbizide .	908
Die Wachstumsförderung von Auxin beruht auf seiner Wirkung auf die Zellwände	908
Pflanzen enthalten spezifische Auxinrezeptoren . .	910
Auxin und andere Phytohormone lösen Zelldifferenzierung und Organbildung aus.	911
Cytokinine sind von der Keimung bis zur Seneszenz aktiv	911
Ethylen: Ein Phytohormon, das Blattseneszenz und Fruchtreife beschleunigt .	912
Ethylen beschleunigt die Fruchtreife	912
Ethylen beeinflusst den Spross auf unterschiedliche Weise.	912

Der Ethylen-Signaltransduktionsweg ist weitgehend aufgeklärt	913
Abscisinsäure: Das Stresshormon	913
Brassinosteroide: Phytohormone, die an der Lichtwirkung beteiligt sind	914
Licht und Photorezeptoren	915
Phytochrome vermitteln die Rot- und Dunkelrotlichteffekte	915
Phytochrome beeinflussen Wachstum und Entwicklung von Pflanzen auf vielfältige Weise	916
Es existieren verschiedene Phytochrome mit unterschiedlicher Rolle in der Pflanzenentwicklung . . .	916
Cryptochrome, Phototropine und Zeaxanthin sind Blaulichtrezeptoren	917

39 Fortpflanzung bei Blütenpflanzen 921

Viele Wege, sich fortzupflanzen	921
--	------------

Sexuelle Reproduktion bei Pflanzen	922
---	------------

Die Blüte ist der Sporophyllstand der Angiospermen zur sexuellen Fortpflanzung	922
--	-----

Blütenpflanzen besitzen mikroskopisch kleine Gametophyten	923
---	-----

Die Bestäubung ermöglicht eine Befruchtung ohne Anwesenheit von Wasser	923
--	-----

Einige Pflanzen praktizieren eine „Partnerwahl“	925
---	-----

Ein Pollenschlauch bringt die männlichen Zellen zum Embryosack	925
--	-----

Die Angiospermen führen eine doppelte Befruchtung durch	926
---	-----

Embryonen entwickeln sich innerhalb von Samen	927
---	-----

Einige Früchte helfen bei der Samenverbreitung mit	928
--	-----

Blühinduktion: Der Übergang zum Blühzustand	928
--	------------

Apikalmeristeme können sich in Infloreszenzmeristeme umwandeln	929
--	-----

Eine Kaskade von Genexpressionen führt zur Blüte	929
--	-----

Photoperiodismus und Blühinduktion	929
---	------------

Es gibt Kurztag-, Langtag- und tagneutrale Pflanzenarten	930
--	-----

Die Länge der Nacht legt fest, ob eine photoperiodische Pflanze blühen wird	931
---	-----

Circadiane Rhythmen werden durch eine biologische Uhr aufrechterhalten	932
--	-----

Photorezeptoren eichen die biologische Uhr	933
--	-----

Gibt es ein Blühhormon?	933
-----------------------------------	-----

Vernalisation und Blühinduktion	936
Vegetative Vermehrung	936
Es gibt viele Formen vegetativer Vermehrung . . .	936
Die vegetative Vermehrung ist für Landwirtschaft und Gartenbau von Bedeutung	938

40 Reaktionen der Pflanze

auf Umweltstress	943
-----------------------------------	-----

Wechselwirkungen zwischen Pflanzen und Pathogenen	944
Pflanzen riegneln infizierte Teile zur Schadensbegrenzung ab	944
Pflanzen besitzen wirksame chemische Abwehrmittel gegen Pathogene	944
Die hypersensitive Reaktion ist eine lokalisierte Eingrenzungsstrategie	945
Die systemische erworbene Resistenz ist eine Form von „Langzeit-Immunität“	946
Einige Pflanzengene interagieren spezifisch mit Genen des Pathogens	946
Pflanzen entwickeln spezifische Immunität gegen RNA-Viren	947

Pflanzen und Herbivoren: Nutzen und Schaden	947
Beweidung erhöht die Produktivität einiger Pflanzenarten	948
Pflanzen wehren sich mit mechanischen Barrieren .	948
Pflanzen bilden chemische Abwehrstoffe	949
Einige Sekundärstoffe haben multiple Funktionen .	949
Viele Abwehrreaktionen benötigen weitreichende Signalketten	950
Mithilfe von Gentechnik können Pflanzen gegen Insekten resistent gemacht werden	950
Warum vergiften Pflanzen sich nicht selbst?	951
Die Pflanze gewinnt nicht immer	951

Wasserextreme: Trockenstress und Überflutungsstress	952
Einige Pflanzen können Dürreperioden umgehen .	952
Einige Blätter sind speziell an trockene Lebensräume angepasst	952
Pflanzen besitzen weitere Anpassungen an eine begrenzte Wasserversorgung.	953
Sauerstoff ist in staunassen Böden Mangelware. .	954

Salzstress in salinen Lebensräumen	954
Die meisten Halophyten reichern Salz an	955
Halophyten und Xerophyten besitzen einige ähnliche Adaptationen	956

Schwermetallstress an belasteten Standorten	956
Hitzestress und Kältestress	957
Pflanzen besitzen Mechanismen, um mit hohen Temperaturen zurechtzukommen	957
Einige Pflanzen sind an das Überleben bei niedrigen Temperaturen angepasst	958



Teil VII

Die Physiologie der Tiere

Essay

Ethik in Medizin und Biowissenschaften	962
Von Claudia Wiesemann und Nikola Biller-Andorno	

41 Physiologie, Homöostase und Thermoregulation	965
Homöostase: Aufrechterhaltung des inneren Milieus	966
Gewebe, Organe und Organsysteme . . .	968
Epithelgewebe bedecken den Körper und kleiden Organe aus.	968
Bindegewebe stützen und verstärken andere Gewebe	968
Muskelgewebe zieht sich zusammen	969

Nervengewebe verarbeitet Informationen	970
Organe bestehen aus mehreren Geweben	970

Physiologische Regulation und Homöostase	970
---	------------

Temperatur und Leben	972
Der Q_{10} -Wert ist ein Maß für Temperaturabhängigkeit	972
Die Temperaturabhängigkeit eines Tieres kann sich verändern	973

Thermoregulation: Aufrechterhalten einer optimalen Körpertemperatur	974
Ektotherme und Endotherme reagieren unterschiedlich auf Veränderungen in der Umgebungstemperatur.	974
Ektotherme und Endotherme regulieren ihre Körpertemperatur durch Verhalten.	974
Energiebudgets spiegeln den Gesamteffekt der Thermoregulation wider	976
Sowohl Ektotherme als auch Endotherme kontrollieren ihre Hautdurchblutung	977
Einige Ektotherme produzieren Wärme	978
Einige Fische erhöhen regional ihre Körpertemperatur durch Wärmerückgewinnung.	978

Thermoregulation bei endothermen Tieren.	978
Der Grundumsatz von endothermen Tieren ist von der Körpergröße abhängig	979
Endotherme reagieren auf Kälte mit Wärmeproduktion	980
Eine Verminderung des Wärmeverlustes ist für das Leben in der Kälte wichtig.	981
Wasserverdunstung ist eine effiziente Möglichkeit, Wärme abzugeben.	982

Der Thermostat der Wirbeltiere	982
Der Thermostat von Wirbeltieren verwendet Feedback-Information	982
Fieber hilft dem Körper, Infektionen zu bekämpfen	983
Durch Herunterstellen des Thermostats lässt sich Energie sparen	984

42 Hormone der Tiere	989
---------------------------------------	------------

Hormone und ihre Wirkungen.	990
Hormone lassen sich in drei chemische Gruppen einteilen	990
Hormonrezeptoren befinden sich auf der Zelloberfläche oder im Zellinneren.	991
Einige Hormone wirken lokal, andere zirkulieren im Blut	991

Die meisten Hormone werden über das Blut im Körper verteilt	991
Endokrine Drüsen sezernieren Hormone	992

Hormonelle Kontrolle von Häutung und Entwicklung bei Insekten	992
Hormone aus dem Kopf kontrollieren die Häutung bei Insekten	992
Juvenilhormon kontrolliert die Entwicklung von Insekten	993

Das Hormonsystem der Wirbeltiere	995
Die Hypophyse steht in enger Beziehung zum Gehirn	995
Negative Rückkopplungsschleifen kontrollieren die Hormonsekretion	1000
Thyroxin kontrolliert den Zellstoffwechsel	1000
Eine Schilddrüsenstörung führt zur Kropfbildung	1001
Calcitonin reduziert die Calciumkonzentration im Blut	1001
Parathyrin erhöht die Calciumkonzentration im Blut	1002
Vitamin D ist in Wirklichkeit ein Hormon	1002
Parathyrin senkt die Phosphatkonzentration im Blut	1003
Insulin und Glucagon regulieren den Zuckerspiegel im Blut	1003
Somatostatin ist ein Hormon des Gehirns und des Darms	1004
Die Nebenniere stellt zwei Drüsen in einer dar	1004
Die Sexualhormone werden von den Geschlechtsorganen produziert	1006
Veränderungen in der Kontrolle der Sexualhormonproduktion leiten die Pubertät ein	1007
Melatonin spielt bei biologischen Rhythmen und Photoperiodismus eine Rolle	1008
Die Liste der Hormone ist lang	1008

Hormonwirkungen: Die Rolle der Signalübertragungswege	1008
Die Regulation von Hormonrezeptoren kontrolliert die Empfindlichkeit von Zellen für Hormone	1009
Die Reaktion auf Hormone kann stark variieren	1009

43 Fortpflanzung der Tiere 1015

Asexuelle und unisexuelle Fortpflanzung	1016
Knospung und Regeneration erzeugen neue Individuen durch Mitose	1016
Unter Parthenogenese versteht man die Entwicklung unbefruchteter Eier	1017

Bisexuelle Fortpflanzung	1018
Eizellen und Samenzellen entstehen durch Gametogenese	1018
Besamung ist die Fusion der beiden Gameten, Befruchtung die Fusion ihrer Kerne	1020
Anatomische und verhaltensbiologische Anpassungen bringen Eier und Spermien zusammen.	1023
Derselbe Körper kann als Männchen wie auch als Weibchen fungieren	1024
Die Evolution des Fortpflanzungssystems der Wirbel- tiere verlief parallel zur Eroberung des Festlands	1024
Fortpflanzungssysteme unterscheiden sich je nachdem, wo sich der Embryo entwickelt	1025

Das Fortpflanzungssystem des Menschen	1026
Die männlichen Sexualorgane produzieren Samen und geben ihn ab	1026
Die männliche Sexualfunktion wird von Hormonen kontrolliert	1029
Die weiblichen Geschlechtsorgane produzieren Eizellen, nehmen Spermien auf und ernähren den Embryo	1029
Der Ovarialzyklus erzeugt eine reife Eizelle	1030
Der Menstruationszyklus bereitet eine geeignete Umgebung für die befruchtete Eizelle vor	1032
Hormone steuern und koordinieren Ovarial- und Menstruationszyklus	1033
In der Schwangerschaft übernehmen Hormone aus den extraembryonalen Membranen die Kontrolle	1034
Die Geburt wird von hormonellen Signalen und mechanischen Reizen ausgelöst	1035

Menschliches Sexualverhalten	1036
Der sexuelle Reaktionszyklus des Menschen weist vier Phasen auf	1036
Menschen nutzen eine ganze Reihe von Techniken, um ihre Fruchtbarkeit zu kontrollieren	1036
Die Reproduktionsmedizin hilft bei der Lösung von Fertilitätsproblemen	1041
Durch Sexualverhalten werden viele Krankheits- erreger übertragen	1043

44 Nervenzellen und Nervensysteme 1049

Nervensysteme: Zelltypen und ihre Funktion	1049
Nervensysteme verarbeiten Information	1050
Neuronen sind die funktionellen Einheiten des Nervensystems.	1050
Auch Gliazellen sind wichtige Bestandteile des Nervensystems.	1051
Neuronen arbeiten in Netzwerken zusammen	1052

Neuronen: Nervenimpulse erzeugen und weiterleiten	1052
Der neuronalen Funktion liegen einfache elektrische Konzepte zugrunde.	1053
Ionenpumpen und Ionenkanäle erzeugen Ruhe- und Aktionspotenzial.	1054
Ionenkanäle können das Membranpotenzial verändern	1055
Plötzliche Veränderungen in Ionenkanälen lösen Aktionspotenziale aus	1056
Aktionspotenziale werden ohne Signalabschwächung am Axon fortgeleitet	1058
Ionenkanäle und ihre Eigenschaften lassen sich direkt untersuchen	1060
Aktionspotenziale können an Axonen entlang springen	1061
Neuronen, Synapsen und Kommunikation .	1062
Die motorische Endplatte ist eine klassische chemische Synapse.	1062
Das Eintreffen eines Nervenimpulses führt zur Freisetzung von Neurotransmitter	1063
Die postsynaptische Membran integriert synaptische Eingangssignale.	1063
Synapsen zwischen Neuronen können erregend oder hemmend wirken	1064
Die postsynaptische Zelle summiert erregende und hemmende Eingangssignale	1065
Es gibt zwei Typen von Neurotransmitterrezeptoren	1065
Elektrische Synapsen sind zwar schnell, zur Integration von Information aber relativ ungeeignet.	1066
Die Wirkung eines Neurotransmitters hängt von dem Rezeptor ab, an den er bindet	1066
Vermutlich spielen Glutamatrezeptoren bei Lernen und Gedächtnis eine Rolle	1068
Um die synaptische Reaktion abzustellen, muss der Neurotransmitter wieder von der Synapse entfernt werden	1069

45 Sensorische Systeme 1073

Sinneszellen und sensorische Transduktion	1074
Sinnesempfindungen hängen davon ab, welche Neuronen Aktionspotenziale von Sinneszellen empfangen.	1074
Bei der sensorischen Transduktion kommt es zu Veränderungen des Membranpotenzials	1075
Viele Rezeptorzellen adaptieren bei wiederholter Reizung	1076

Chemorezeptoren: Antworten auf spezifische Moleküle	1076
Arthropoden eignen sich gut zur Untersuchung der Chemorezeption	1076
Der Geruchssinn	1077
Das Vomeronasalorgan nimmt Pheromone wahr	1078
Der Geschmackssinn	1078

Mechanorezeptoren: Detektion von Reizen, die Membranen deformieren	1080
Viele verschiedene Sinneszellen reagieren auf Berührung und Druck	1080
Dehnungsrezeptoren findet man in Muskeln, Sehnen und Bändern.	1081
Haarzellen liefern Information über Gleichgewicht, Orientierung im Raum und Bewegung.	1082
Gehörsysteme verwenden Haarzellen zur Wahrnehmung von Schallwellen.	1082

Photorezeptoren und visuelle Systeme	1086
Rhodopsine sind für die Lichtempfindlichkeit verantwortlich	1086
Bei Wirbellosen gibt es eine Vielzahl visueller Systeme	1087
Bei Wirbeltieren und Cephalopoden haben sich unabhängig voneinander scharf abbildende Kameraaugen entwickelt	1089
Die Wirbeltiernetzhaut empfängt und verarbeitet visuelle Information	1091

Sinneswelten jenseits der menschlichen Erfahrung	1093
---	-------------

46 Das Nervensystem von Säugern: Struktur und höhere Funktionen. 1099

Das Nervensystem: Struktur, Funktion und Informationsfluss.	1100
Ein konzeptuelles Schema des Nervensystems verfolgt den Informationsfluss	1100
Das ZNS von Wirbeltieren entwickelt sich aus dem embryonalen Neuralrohr	1101

Funktionelle Subsysteme des Nervensystems	1102
Das Rückenmark empfängt Information aus dem Körper und verarbeitet sie	1102
Das retikuläre System aktiviert das Endhirn	1103
Das limbische System unterstützt elementare Funktionen des Großhirns	1104
Großhirnregionen wechselwirken miteinander, um Bewusstsein zu erzeugen und das Verhalten zu kontrollieren	1104

Das Großhirn hat an Größe und Komplexität zugenommen.	1107
Informationsverarbeitung durch neuronale Netzwerke	1108
Das autonome Nervensystem kontrolliert die physiologischen Funktionen von Organen und Organsystemen	1108
Neuronen und Schaltkreise im Okzipitallappen integrieren visuelle Information	1110
Zellen im visuellen Cortex empfangen Input von beiden Augen	1111
Höhere Gehirnfunktionen auf Zellniveau verstehen	1112
Schlafen und Träumen produziert elektrische Muster im Gehirn	1112
Lernen und Gedächtnis lassen sich zum Teil in bestimmten Gehirnarealen lokalisieren	1114
Sprachliche Fähigkeiten sind in der linken Großhirnhemisphäre lokalisiert	1116
Was ist Bewusstsein?	1117

47 Effektoren: Wie Tiere sich bewegen 1121

Mikrotubuli, Actinfilamente und Zellbewegung.	1122
Mikrotubuli sind Komponenten des Cytoskeletts	1122
Mikrofilamente verändern die Zellform und rufen Zellbewegungen hervor	1122

Muskelkontraktion	1123
Die glatte Muskulatur bewirkt langsame Kontraktionen vieler innerer Organe	1123
Die Herzmuskulatur sorgt dafür, dass das Herz schlägt	1125
Gleitende Filamente bewirken, dass sich die Skelettmuskulatur kontrahiert	1125
Wechselwirkungen zwischen Actin und Myosin bewirken das Gleiten der Filamente	1127
Die Wechselwirkung zwischen Actin und Myosin wird von Calciumionen kontrolliert	1128
Im glatten Muskel vermittelt Calmodulin die Ca^{2+} -Kontrolle der Kontraktion	1129
Einzelne Skelettmuskelzuckungen summieren sich zu abgestuften Kontraktionen	1129

Muskelkraft und Muskelleistung	1131
Die Muskelfasertypen bestimmen Ausdauer und Kontraktionskraft.	1131
Die Kontraktionskraft eines Muskels hängt von seiner Vordehnung ab	1132

Training erhöht Muskelkraft und Ausdauer	1132
Der Energienachschub begrenzt die Muskelleistung	1133
Skelettsysteme	1134
Ein Hydroskelett besteht aus Flüssigkeit in einem von Muskeln umgebenen Hohlraum	1134
Exoskelette sind feste Außenstrukturen	1135
Das Endoskelett der Wirbeltiere bietet den Muskeln ein Widerlager	1135
Knochen entwickelt sich aus Bindegewebe oder aus Knorpel	1137
Knochen, die ein gemeinsames Gelenk haben, können als Hebel wirken.	1138
Muskeln brauchen stets einen Antagonisten.	1139
Andere Effektoren	1139

48 Gasaustausch bei Tieren 1145

Physikalische Prozesse, die den Atemgasaustausch bestimmen	1146
Luft ist ein besseres Atemmedium als Wasser	1146
Hohe Temperaturen bringen Atemprobleme für Wassertiere mit sich	1147
Mit zunehmender Höhe sinkt die verfügbare Sauerstoffmenge	1147
Kohlendioxid wird durch Diffusion abgegeben.	1148
Das Ficksche Diffusionsgesetz gilt für alle Gas austauschenden Systeme	1148
Anpassungen zur Erleichterung des Atemgasaustauschs	1148
Atemorgane haben eine große Oberfläche	1148
Gastransport zu und von den austauschenden Oberflächen optimiert die Partialdruckgradienten	1149
Gasaustausch in der menschlichen Lunge	1155
Sekrete im Atmungsstrakt unterstützen die Ventilation	1156
Die Lunge wird durch Druckänderungen in der Brusthöhle ventiliert	1156
Transport von Atemgasen im Blut	1158
Hämoglobin kann Sauerstoff reversibel binden	1158
Myoglobin hält eine Sauerstoffreserve bereit	1159
Die Sauerstoffaffinität von Hämoglobin ist variabel	1160
Kohlendioxid wird von Bicarbonationen im Blut transportiert	1161
Die Regulation der Atmung	1162
Die Atmung wird vom Hirnstamm kontrolliert	1162
Zur Regulation der Atmung ist Feedback-Information nötig	1163

Kreislaufsysteme: Pumpen, Gefäße und Blut	1170
Einfache wasserlebende Tiere kommen ohne Kreislaufsystem aus	1170
Offene Kreislaufsysteme bewegen Hämolymphe durch den Körper.	1170
Geschlossene Kreislaufsysteme lassen Blut durch Gewebe zirkulieren.	1171

Kreislaufsysteme bei Wirbeltieren	1172
Fische haben ein zweikammeriges Herz	1172
Amphibien haben ein dreikammeriges Herz	1173
Reptilien können Lungen- und Körperkreislauf ausgezeichnet kontrollieren	1173
Bei Vögeln und Säugern sind Lungen- und Körperkreislauf vollständig getrennt.	1175

Das menschliche Herz: Zwei Pumpen in einem Organ.	1175
Blut wird vom rechten Herzen in die Lunge und vom linken Herzen in den Körper gepumpt	1175
Der Herzschlag wird im Herzmuskel generiert	1178
Ein Erregungsleitungssystem koordiniert die Kontraktion des Herzmuskels	1178
Die elektrischen Eigenschaften der Ventrikelmuskulatur erhalten die Herzkontraktion aufrecht	1179
Das EKG registriert die elektrische Aktivität des Herzens	1179

Das Gefäßsystem: Arterien, Kapillaren und Venen	1180
Arterien und Arteriolen verfügen reichlich über elastisches Bindegewebe und Muskelfasern	1180
Blut fließt langsam durch Kapillarbetten.	1180
Der Stoffaustausch in Kapillarbetten erfolgt durch Ultrafiltration, Osmose und Diffusion	1181
Blut fließt durch Venen zurück zum Herzen	1183
Lymphgefäße führen Gewebeflüssigkeit in den Blutkreislauf zurück	1183
Wem droht eine Herz-Kreislauf-Erkrankung?	1184

Blut: Ein flüssiges Bindegewebe	1185
Erythrocyten transportieren die Atemgase	1186
Blutplättchen spielen bei der Blutgerinnung eine Schlüsselrolle	1186
Blutplasma ist eine komplexe Flüssigkeit	1187

Kontrolle und Regulation des Kreislaufsystems	1187
Durch Autoregulation wird die lokale Durchblutung den lokalen Bedürfnissen angepasst.	1188

Der arterielle Blutdruck wird von hormonellen und neuronalen Mechanismen kontrolliert und reguliert	1188
Kardiovaskuläre Kontrolle sorgt bei tauchenden Tieren für die Einsparung von Sauerstoff	1190

50 Ernährung, Verdauung und Resorption 1195

Ernährung muss viele Bedürfnisse decken	1196
Energie lässt sich in Kalorien oder Joule messen	1196
Energiebudgets zeigen, wie Tiere ihre Ressourcen nutzen	1197
Energiereserven können im Körper gespeichert werden	1198
Nahrung liefert die Kohlenstoffgerüste für die Biosynthese	1199
Für zahlreiche Funktionen brauchen Tiere Mineralstoffe	1200
Tiere müssen Vitamine mit der Nahrung aufnehmen	1201
Nährstoffmängel führen zu Erkrankungen	1203

Anpassungen an die Art der Nahrungsaufnahme	1203
Die Nahrung von Herbivoren ist häufig energiearm und schwer verdaulich	1204
Carnivoren müssen Beute entdecken, fangen und töten.	1204
Säugetiere haben unterschiedliche Zahntypen.	1204

Verdauung	1205
Ein durchgehender Verdauungstrakt ist an beiden Enden offen	1205
Verdauungsenzyme bauen Makromoleküle in der Nahrung ab	1206

Bau und Funktion des Verdauungstrakts der Wirbeltiere	1207
Der Magen-Darm-Trakt der Wirbeltiere besteht aus vier Hauptschichten	1207
Mechanische Aktivität bewegt die Nahrung durch den Darm und unterstützt die Verdauung	1208
Die chemische Verdauung beginnt im Mund und Magen.	1209
Der größte Teil der Verdauung findet im Dünndarm statt.	1211
Die Nährstoffe werden im Dünndarm resorbiert.	1212
Wasser und Ionen werden im Dickdarm resorbiert	1214
Herbivoren haben spezielle Anpassungen an die Celluloseverdauung	1214

Kontrolle und Regulation der Verdauung	1215
Autonome Reflexe koordinieren Funktionen in verschiedenen Darmabschnitten	1215
Viele Verdauungsfunktionen werden von Hormonen kontrolliert	1216
Kontrolle und Regulation des Energiestoffwechsels	1216
Die Leber regelt den Umsatz energiereicher Moleküle	1216
Lipoproteine: Der Gute, der Böse und der Hässliche	1217
Die Hormone Insulin und Glucagon kontrollieren den Energiestoffwechsel	1217
Regulation der Nahrungsaufnahme	1218
Toxine in der Nahrung	1220
Manche Toxine werden im Körper gespeichert und konzentriert	1220
Viele künstliche Toxine können vom Körper nicht metabolisiert werden	1221
51 Salzhaushalt, Wasserhaushalt und Stickstoffausscheidung	1225
Gewebeflüssigkeit und Wasserhaushalt	1226
Exkretionsorgane kontrollieren die Osmolarität der Gewebeflüssigkeit durch Ultrafiltration, Sekretion und Reabsorption	1226
Lebensräume und Tiere lassen sich im Hinblick auf Salze und Wasser klassifizieren	1227
Ausscheidung stickstoffhaltiger Abfallprodukte	1229
Wasserlebende Tiere scheiden Ammoniak aus	1229
Viele landlebende Tiere und einige Fische scheiden Harnstoff aus	1230
Viele Landbewohner scheiden Harnsäure aus	1230
Die meisten Arten erzeugen mehr als nur ein einziges stickstoffhaltiges Abfallprodukt.	1230
Die vielfältigen Exkretionssysteme der Wirbellosen.	1230
Die Protonephridien von Plattwürmern scheiden Wasser aus und konservieren Salze	1230
Die Metanephridien von Ringelwürmern verarbeiten Coelomflüssigkeit	1231
Bei Crustaceen dämpft das Exoskelett osmotischen Stress.	1231
Die Malpighi-Gefäße von Insekten arbeiten mit aktivem Transport	1232

Die Exkretionssysteme der Wirbeltiere . . .	1233
Sowohl marine als auch terrestrische Wirbeltiere müssen Wasser sparen	1233
Das Nephron ist die funktionelle Einheit der Niere	1234
Blut wird im Glomerulus ultrafiltriert	1235
Die Nierentubuli wandeln das Glomerulusfiltrat in Harn um	1236

Das Exkretionssystem der Säuger	1236
Nieren produzieren Harn, der in der Harnblase gespeichert wird	1236
Die Nephrone sind in der Niere sehr regelmäßig angeordnet.	1236
Die Blutgefäße sind in der Niere ebenfalls regelmäßig angeordnet	1237
Das Volumen des Glomerulusfiltrats ist viel größer als das des Endharns	1237
Der größte Teil des Glomerulusfiltrats wird im proximalen Tubulus reabsorbiert	1238
Die Henle-Schleife erzeugt im umliegenden Gewebe einen Konzentrationsgradienten	1238
Die Rückresorption von Wasser beginnt im distalen Tubulus	1239
Harn wird im Sammelrohr konzentriert	1239
Die Nieren unterstützen die Regulation des Säure-Base-Gleichgewichts	1240

Regulation der Nierenfunktion	1240
Die Nieren regulieren die glomeruläre Filtrationsrate selbst	1240
Blutdruck und Osmolarität werden von ADH reguliert	1241
Das Herz produziert ein Hormon, das die Nierenfunktion beeinflusst	1242

52 Verhalten von Tieren 1247

Fragen zum Was, Wie und Warum	1248
--	-------------

Durch Vererbung geformtes Verhalten . .	1248
Experimente können darüber Aufschluss geben, ob ein Verhalten angeboren ist	1249
Verhalten kann von einfachen Reizen ausgelöst werden	1249
Auch Lernen formt das Verhalten	1250
Unter Prägung versteht man das Erlernen eines komplexen Schlüsselreizes	1251
Bei der Entstehung des Vogelgesangs gehen Vererbung und Lernen Hand in Hand	1252
Unter bestimmten Bedingungen kann genetisch determiniertes Verhalten adaptiv sein	1253

Hormone und Verhalten	1254
Sexualhormone bestimmen Entwicklung und Expression des Sexualverhaltens von Ratten . . .	1254
Testosteron beeinflusst die Entwicklung der Gehirnregionen, die bei Vögeln für den Gesang zuständig sind	1254
Genetik des Verhaltens	1255
Hybridisierungsexperimente zeigen, ob ein Verhalten genetisch determiniert ist	1256
Künstliche Zuchtwahl und Kreuzungsexperimente enthüllen die genetische Komplexität von Verhalten	1256
Molekularbiologen identifizieren spezifische Gene, die Verhalten beeinflussen	1257
Kommunikation	1258
Chemische Signale sind dauerhaft	1258
Optische Signale sind rasch und wandelbar, aber richtungsabhängig	1259
Akustische Signale können der Kommunikation über größere Entfernungen dienen	1259
Taktile Signale können komplexe Botschaften übermitteln.	1260
Botschaften können auch durch elektrische Signale übermittelt werden	1261
Zeitabhängigkeit von Verhalten:	
Biologische Rhythmen	1261
Circadiane Rhythmen kontrollieren den täglichen Zyklus des Verhaltens	1261
Saisonales Verhalten wird von circannualen Rhythmen kontrolliert	1264
Wegfindung: Orientierung und Navigation	1265
Pilotierende Tiere orientieren sich nach Landmarken	1265
Tiere mit Heimfindevermögen können immer wieder an einen bestimmten Ort zurückkehren . .	1265
Wandernde Tiere finden mit bemerkenswerter Präzision über große Entfernungen zum Ziel. . . .	1266
Menschliches Verhalten	1268



Teil VIII

Ökologie und Biogeographie

Essay

Ökonomische Prinzipien für einen nachhaltigen Umgang mit Ökosystemen. 1274
Von William E. Rees

53 Verhaltensökologie. 1277

Reaktionen auf Veränderungen der Umwelt 1278
Tiere wählen sich ihren Aufenthaltsort selbst . . . 1279
Die Verteidigung eines Territoriums kann die biologische Fitness erhöhen 1280
Tiere entscheiden, welche Nahrung sie aufnehmen 1281
Die Wahl der Partner beeinflusst die biologische Fitness 1283

Die Evolution von Tiergesellschaften . . . 1285
Das Leben in Gruppen bringt Vorteile, aber auch Kosten mit sich 1285
Bei manchen Arten betreiben die Eltern Brutpflege . 1286
Altruismus kann durch natürliche Selektion evolvieren 1287
Eusozialität ist extremes Sozialverhalten 1287

Verhaltensökologie, Populationsdynamik und die Struktur von Lebensgemeinschaften 1288
Soziale Tiere erreichen mitunter eine große Häufigkeit 1289

Interspezifische Wechselbeziehungen beeinflussen die Ausbreitung von Tieren.	1290
---	------

54 Populationsökologie 1295

Populationen in Raum und Zeit. 1296

Geburten, Todesfälle und Wanderungen sind
der Motor der Populationsdynamik 1296

In Lebensstafeln werden die Geburten- und
Sterberaten zusammengefasst. 1296

Formen ökologischer Wechselbeziehungen 1298

Faktoren, welche die Dichte von Populationen beeinflussen. 1300

Schwankungen der Populationsdichte . . 1301

Alle Populationen haben das Potenzial zu
exponentiellem Wachstum 1302

Das Wachstum von Populationen wird durch
Einschränkungen der Umwelt beeinflusst 1303

Die Dichte von Populationen beeinflusst die
Geburten- und Sterberaten. 1303

Populationsschwankungen. 1304

Variabilität des Verbreitungsgebiets von Arten 1307

Populationsmanagement. 1311

Demographische Merkmale bestimmen, wie viele
Individuen bei einer nachhaltigen Nutzung
entnommen werden dürfen 1311

Bei der Bekämpfung von Populationen macht man
sich demographische Informationen zunutze . . . 1312

Gelingt es uns, unsere eigene Population in den
Griff zu bekommen? 1313

Beeinflussung der Dynamik lokaler Populationen durch regionale und globale Prozesse 1313

55 Lebensgemeinschaften und Ökosysteme 1317

Lebensgemeinschaften: Lose

Ansammlungen von Arten 1318

Wenige Wechselbeziehungen können bestimmend
für die Merkmale einer Lebensgemeinschaft sein . 1318

Prozesse und Prinzipien in Lebensgemein- schaften und Ökosystemen 1319

Die Energie der Sonne und Niederschläge sind der Antrieb für Ökosystemprozesse	1320
Der Artenreichtum wird durch die Primärproduktivität beeinflusst	1322
Die Produktivität wirkt sich auf die Struktur von Nahrungsnetzen aus.	1322
Die ökologische Nische bestimmt die Rolle und Funktion einer Art im Ökosystem	1324
Artenreichtum und Produktivität beeinflussen die Stabilität von Ökosystemen	1325
Einzelne Arten können die Abläufe in Lebensgemeinschaften beeinflussen.	1325

Störungen und die Struktur von Lebensgemeinschaften	1326
--	-------------

Ausbreitung, Aussterben und die Struktur von Biozönosen.	1329
---	-------------

56 Biogeographie 1335

Die biogeographischen Regionen der Erde	1336
--	-------------

Erdgeschichte und Biogeographie	1337
Phylogeographen untersuchen Evolution anhand der geographischen Verteilung von Populationen . .	1339
Vikarianzen und die Ausbreitungsfähigkeit beeinflussen die Verbreitung.	1339

Ökologie und Biogeographie	1341
Die Zufuhr an Sonnenenergie ist die treibende Kraft für das weltweite Klima	1341
Die Windströmungen sind die treibende Kraft für die globale ozeanische Zirkulation.	1342

Terrestrische Biome	1343
Tundra findet sich in hohen Breiten und im Hochgebirge	1345
In den meisten borealen Wäldern herrschen immergrüne Bäume vor	1346
Die sommergrünen Wälder der gemäßigten Zone verändern sich mit den Jahreszeiten	1347
Grasländer der gemäßigten Zonen sind weit verbreitet.	1348
Die trockenen Kältewüsten finden sich in größeren Höhen	1349
Hitzewüsten bilden sich im Bereich des 30. Breitengrads	1350
Das Klima in der Hartlaubzone ist trocken und angenehm.	1351
In Dornwäldern und Savannen herrscht ein ähnliches Klima	1352

Sommergrüne tropische Wälder kommen in heißen Tiefländern vor	1353
Immergrüne tropische Wälder sind sehr artenreich	1354
Biogeographie der Gewässer	1355
Süßgewässer enthalten nur relativ wenig Wasser, sind aber sehr artenreich.	1355
Die biogeographischen Regionen der Meere sind durch die Wassertemperatur definiert	1355
Regionale Muster des Artenreichtums	1356
Der Artenreichtum ist mit der Zuwanderungs- und Aussterberate korreliert	1357
Das Modell von MacArthur und Wilson wurde überprüft	1358
Biogeographie und Menschheitsgeschichte	1359

57 Naturschutzbiologie 1363

Warum sollte das Aussterben von Arten Grund zur Besorgnis sein?	1364
--	------

Einschätzung der gegenwärtigen Aussterberaten	1365
--	------

Die Erhaltung der biologischen Vielfalt.	1366
---	------

Der Verlust an Lebensräumen wird durch Beobachtung und Experimente erforscht	1366
--	------

Eingeführte Räuber, Konkurrenten und Krankheitserreger haben zahlreiche Arten ausgerottet	1367
---	------

Durch Übernutzung wurden viele Arten ausgerottet.	1369
---	------

Manche Arten sind auf bestimmte Störungsmuster angewiesen	1370
---	------

Ein rapider Klimawandel könnte das Aussterben von Arten bewirken	1370
--	------

Restauration von Habitaten und Bestandserholung gefährdeter Arten	1373
--	------

Frühere Ökosystemprozesse wiederherzustellen ist schwierig	1374
--	------

Das Aussterben mancher Arten lässt sich durch Vermehrung in Menschenobhut verhindern	1375
--	------

Gesunderhaltung von Flora und Fauna: Conservation Medicine	1375
---	------

Grenzen setzen: Das Vermächtnis von Samuel Plimsoll	1376
--	------

58 Earth System Science – die Wissenschaft vom System Erde . . .	1381
Das System Erde besteht aus vier Kompartimenten	1382
Die Meere erhalten Stoffe vom Land und aus der Atmosphäre	1383
Das Wasser der Erde fließt rasch durch Seen und Flüsse	1383
Die Atmosphäre reguliert die Temperatur an der Erdoberfläche	1385
Etwa ein Viertel der Erdoberfläche ist von Land bedeckt.	1385
Biogeochemische Kreisläufe, Wasser und Feuer	1386
Durch Wasser werden Stoffe zwischen den Kompartimenten übertragen	1386
Feuer ist eine wesentliche Antriebskraft für die Kreisläufe der Elemente	1387
Der Kohlenstoffkreislauf	1388
Die Kohlenstoffkonzentrationen in der Atmosphäre beeinflussen das Klima der Erde	1389
Der Kohlenstoffkreislauf wird sowohl durch physikalische als auch durch biologische Prozesse gesteuert.	1389
Der Mensch muss versuchen, den Kohlenstoffkreislauf zu beeinflussen	1390

Der Stickstoffkreislauf	1390
Der Schwefelkreislauf.	1392
Der Phosphorkreislauf	1393
Wechselwirkungen zwischen den biogeochemischen Kreisläufen	1395
Zukunftsvisionen.	1395

Anhang A	
Einige in der Biologie gebräuchliche Einheiten	1399

Anhang B	
Systematik und Körperbau	1401

Literatur	1407
----------------------------	-------------

Bildnachweise.	1429
-------------------------------	-------------

Glossar	1437
--------------------------	-------------

Index	1505
------------------------	-------------