

Inhaltsübersicht

Vorwort zur amerikanischen Ausgabe	XXXV
Vorwort zur 11. deutschen Auflage des Campbell	XXXIX
Was den Campbell auszeichnet	XLIII
Kapitel 1 Einführung: Evolution, Schlüsselthemen der Biologie, Forschung	1
Teil I Die chemischen Grundlagen des Lebens	37
Kapitel 2 Atome und Moleküle	39
Kapitel 3 Die Chemie des Wassers	63
Kapitel 4 Kohlenstoff: Die Grundlage der molekularen Vielfalt des Lebens	81
Kapitel 5 Biologische Makromoleküle und Lipide	95
Teil II Die Zelle	127
Kapitel 6 Ein Rundgang durch die Zelle	129
Kapitel 7 Struktur und Funktion biologischer Membranen	169
Kapitel 8 Energie und Leben	191
Kapitel 9 Zellatmung	219
Kapitel 10 Photosynthese	251
Kapitel 11 Zelluläre Kommunikation	283
Kapitel 12 Der Zellzyklus	311
Teil III Genetik	335
Kapitel 13 Meiose und geschlechtliche Fortpflanzung	337
Kapitel 14 Mendel und das Genkonzept	357
Kapitel 15 Chromosomen bilden die Grundlage der Vererbung	391
Kapitel 16 Die molekularen Grundlagen der Vererbung	417
Kapitel 17 Vom Gen zum Protein	445
Kapitel 18 Regulation der Genexpression	479
Kapitel 19 Viren	517
Kapitel 20 Gen- und Biotechnologie	539
Kapitel 21 Genome und ihre Evolution	579
Teil IV Evolutionsmechanismen	611
Kapitel 22 Die Evolutionstheorie – Abstammung mit Modifikation	613
Kapitel 23 Mikroevolution – Die Evolution von Populationen	637
Kapitel 24 Die Entstehung der Arten	663
Kapitel 25 Die Geschichte des Lebens auf der Erde	689
Teil V Die Evolutionsgeschichte der biologischen Vielfalt	725
Kapitel 26 Rekonstruktion der Phylogenie der Lebewesen	727
Kapitel 27 Prokaryonten: Bacteria und Archaea	757
Kapitel 28 Der Ursprung und die Evolution der Eukaryonten	789

Kapitel 29	Die Vielfalt der Pflanzen I: Wie Pflanzen das Land eroberten	819
Kapitel 30	Die Vielfalt der Pflanzen II: Evolution der Samenpflanzen	843
Kapitel 31	Pilze	869
Kapitel 32	Eine Einführung in die Diversität und Evolution der Metazoa	893
Kapitel 33	Eine Einführung in die wirbellosen Tiere	913
Kapitel 34	Herkunft und Evolution der Wirbeltiere	955
Teil VI	Pflanzen – Form und Funktion	1009
Kapitel 35	Pflanzenstruktur, Wachstum und Entwicklung	1011
Kapitel 36	Stoffaufnahme und Stofftransport bei Gefäßpflanzen	1041
Kapitel 37	Boden und Pflanzenernährung	1069
Kapitel 38	Fortpflanzung der Blütenpflanzen	1091
Kapitel 39	Pflanzenreaktionen auf innere und äußere Signale	1119
Teil VII	Tiere – Form und Funktion	1157
Kapitel 40	Grundprinzipien tierischer Form und Funktion	1159
Kapitel 41	Hormone und das endokrine System	1191
Kapitel 42	Die Ernährung der Tiere	1219
Kapitel 43	Kreislauf und Gasaustausch	1255
Kapitel 44	Das Immunsystem	1297
Kapitel 45	Osmoregulation und Exkretion	1335
Kapitel 46	Fortpflanzung der Tiere	1365
Kapitel 47	Entwicklung der Tiere	1397
Kapitel 48	Neurone, Synapsen und Signalgebung	1431
Kapitel 49	Nervensysteme	1453
Kapitel 50	Sensorische und motorische Mechanismen	1481
Kapitel 51	Tierisches Verhalten	1521
Teil VIII	Ökologie	1551
Kapitel 52	Ökologie und die Biosphäre: Eine Einführung	1553
Kapitel 53	Populationsökologie	1591
Kapitel 54	Ökologie der Lebensgemeinschaften	1623
Kapitel 55	Ökosysteme	1659
Kapitel 56	Naturschutz und Renaturierungsökologie	1691
Anhang A:	Lösungen	1721
Anhang B:	Anleitungen zu den wissenschaftlichen Übungen	1723
Anhang C:	Weiterführende Literatur	1727
Anhang D:	Bildnachweis	1729
Anhang E:	Personenregister	1739
	Stichwortverzeichnis	1741

Inhaltsverzeichnis

Vorwort zur amerikanischen Ausgabe	XXXV
Vorwort zur 11. deutschen Auflage des Campbell	XXXIX
Was den Campbell auszeichnet	XLIII
Kapitel 1 Einführung: Evolution, Schlüsselthemen der Biologie, Forschung	1
1.1 Theorien und Konzepte verbinden die Disziplinen der Biologie	3
1.1.1 Neue Eigenschaften entstehen auf verschiedenen Organisationsebenen in der biologischen Hierarchie	4
1.1.2 Die Kontinuität des Lebens beruht auf vererbbarer Information in Form von DNA . . .	8
1.1.3 Leben erfordert die Übertragung und Umwandlung von Energie und Materie	11
1.1.4 Vom Ökosystem zum Molekül – Wechselwirkungen sind wichtig in biologischen Systemen	12
1.2 Einheitlichkeit und Vielfalt der Organismen sind das Ergebnis der Evolution	14
1.2.1 Die Eingruppierung von Arten in das hierarchische biologische System.	15
1.2.2 Charles Darwin und die Theorie der natürlichen Selektion	17
1.2.3 Der Stammbaum des Lebens	19
1.3 Naturwissenschaftler verwenden unterschiedliche Methoden.	21
1.3.1 Biologie als empirische Wissenschaft.	22
1.3.2 Induktion und empirische Forschung	22
1.3.3 Hypothesen in der Naturwissenschaft	24
1.3.4 Naturwissenschaftliche Vorgehensweise	24
1.3.5 Fallstudie: Zur Fellfärbung bei verschiedenen Mauspopulationen	26
1.3.6 Die Planung von Kontrollexperimenten	26
1.3.7 Wissenschaftstheorien.	28
1.4 Wissenschaftskultur	28
1.4.1 Auf den Erkenntnissen anderer Wissenschaftler und Vorgänger aufbauen	28
1.4.2 Naturwissenschaft, Technik und Gesellschaft	30
1.4.3 Die Bedeutung unterschiedlicher Standpunkte in der Wissenschaft	31
Teil I Die chemischen Grundlagen des Lebens	37
Kapitel 2 Atome und Moleküle	39
2.1 Materie besteht aus chemischen Elementen in reiner Form und Kombinationen daraus, den sogenannten Verbindungen	40
2.1.1 Elemente und Verbindungen	40
2.1.2 Elemente in lebenden Organismen	41
2.1.3 Fallstudie: Toleranzbildung bei toxischen Elementen.	42
2.2 Die Eigenschaften eines Elements werden durch die Struktur seiner Atome bestimmt	42
2.2.1 Subatomare Teilchen.	42
2.2.2 Ordnungszahl und Massenzahl.	43
2.2.3 Isotope	43
2.2.4 Die Energieniveaus von Elektronen	44
2.2.5 Elektronenverteilung und chemische Eigenschaften	47
2.2.6 Atomorbitale	48
2.3 Die Bildung und die Funktion von Molekülen hängen von den chemischen Bindungen zwischen den Atomen ab	50
2.3.1 Die kovalente Bindung	50
2.3.2 Die Ionenbindung	52
2.3.3 Schwache, nichtkovalente Bindungstypen.	53
2.3.4 Molekülform und -funktion	54
2.4 Bindungen werden im Verlauf chemischer Reaktionen gebildet und gebrochen.	56

Kapitel 3	Die Chemie des Wassers	63
3.1	Wasserstoffbrückenbindungen werden durch polare kovalente Bindungen im Wassermolekül ermöglicht	64
3.2	Vier spezielle Eigenschaften des Wassers schaffen Bedingungen für das Leben auf der Erde	65
3.2.1	Kohäsion und Adhäsion	65
3.2.2	Ausgleich von Temperaturunterschieden	66
3.2.3	Schwimmendes Eis als Garant für den Lebensraum Wasser.	68
3.2.4	Des Lebens Lösungsmittel.	69
3.2.5	Leben auf anderen Planeten	72
3.3	Lebende Organismen sind auf bestimmte Säure/Base-Bedingungen angewiesen	72
3.3.1	Säuren und Basen	73
3.3.2	Die pH-Skala	74
3.3.3	Puffer	75
3.3.4	Gefährdungen der Wasserqualität auf der Erde	75
Kapitel 4	Kohlenstoff: Die Grundlage der molekularen Vielfalt des Lebens	81
4.1	Organische Chemie ist das Studium der Kohlenstoffverbindungen.	82
4.1.1	Organische Moleküle und die Entstehung des Lebens auf der Erde.	82
4.2	Kohlenstoffatome können an vier andere Atome binden und so unterschiedlichste Moleküle bilden	85
4.2.1	Das Entstehen von Kohlenstoffverbindungen	85
4.2.2	Molekulare Vielfalt durch Variation des Kohlenstoffgerüsts	86
4.3	Wenige funktionelle Gruppen entscheiden über die biologische Funktion.	89
4.3.1	Die für Lebensprozesse wichtigsten funktionellen Gruppen	89
4.3.2	ATP: Eine wichtige Energiequelle zellulärer Prozesse	90
4.3.3	Die chemischen Elemente des Lebens – ein Rückblick.	90
Kapitel 5	Biologische Makromoleküle und Lipide	95
5.1	Makromoleküle sind aus Monomeren aufgebaute Polymere	96
5.1.1	Synthese und Abbau von Polymeren	96
5.1.2	Die Vielfalt der Polymere	97
5.2	Kohlenhydrate dienen als Brenn- und Baustoffe	97
5.2.1	Zucker	97
5.2.2	Polysaccharide.	100
5.3	Lipide bilden eine heterogene Gruppe hydrophober Moleküle	102
5.3.1	Fette	103
5.3.2	Phospholipide	104
5.3.3	Steroide	105
5.4	Proteine: Funktionsvielfalt durch Strukturvielfalt	106
5.4.1	Aminosäure-Monomere.	107
5.4.2	Polypeptide (Aminosäurepolymere).	107
5.4.3	Proteinstruktur und -funktion.	109
5.5	Nucleinsäuren speichern, übertragen und verwerten Erbinformation.	116
5.5.1	Aufgaben von Nucleinsäuren	116
5.5.2	Der Aufbau von Nucleinsäuren	117
5.5.3	DNA- und RNA-Strukturen.	118
5.6	Biologie im Wandel durch Genomik und Proteomik	119
5.6.1	DNA und Proteine als Zeitmaß der Evolution	120
Teil II	Die Zelle	127
Kapitel 6	Ein Rundgang durch die Zelle	129
6.1	Zellstudium mittels Mikroskopie und Biochemie.	130
6.1.1	Mikroskopie.	130
6.1.2	Zellfraktionierung	134

6.2	Eukaryontische Zellen sind kompartimentiert	135
6.2.1	Prokaryontische und eukaryontische Zellen im Vergleich	135
6.2.2	Die eukaryontische Zelle im Überblick	140
6.3	Genetische Anweisungen liegen im Zellkern und werden durch Ribosomen umgesetzt	140
6.3.1	Der Zellkern: Die Informationszentrale der Zelle.	140
6.3.2	Ribosomen: Die Proteinfabriken der Zelle	142
6.4	Endomembransystem, Proteinlogistik und Zwischenstoffwechsel	143
6.4.1	Das endoplasmatische Reticulum: Eine biosynthetische Fabrik	143
6.4.2	Logistikzentrum Golgi-Apparat.	144
6.4.3	Lysosomen: Verdauungskompartimente	146
6.4.4	Vakuolen: Vielseitige Mehrzweckorganellen	147
6.4.5	Das Endomembransystem im Überblick.	148
6.5	Mitochondrien und Chloroplasten arbeiten als Energiewandler	149
6.5.1	Der evolutionäre Ursprung von Mitochondrien und Chloroplasten.	149
6.5.2	Mitochondrien: Umwandlung chemischer Energie	150
6.5.3	Chloroplasten: Einfangen von Lichtenergie	150
6.5.4	Peroxisomen: Weitere Oxidationen	151
6.6	Das Cytoskelett organisiert die Zellstruktur	152
6.6.1	Funktionen des Cytoskeletts: Stütze und Beweglichkeit.	152
6.6.2	Bestandteile des Cytoskeletts	153
6.7	Die Koordination zellulärer Aktivitäten.	158
6.7.1	Pflanzenzellwände.	158
6.7.2	Die extrazelluläre Matrix tierischer Zellen.	159
6.7.3	Zell-Zell-Verbindungen	160
6.8	Zellen sind mehr als die Summe ihrer Bestandteile	162

Kapitel 7 Struktur und Funktion biologischer Membranen 169

7.1	Zellmembranen sind ein flüssiges Mosaik aus Lipiden und Proteinen	170
7.1.1	Die Fluidität von Membranen	171
7.1.2	Evolution unterschiedlicher Zusammensetzungen der Membranlipide.	172
7.1.3	Membranproteine und ihre Funktionen	173
7.1.4	Die Rolle von Membran-Kohlenhydraten bei der Zell-Zell-Erkennung	175
7.1.5	Synthese und topologische Asymmetrie von Membranen	175
7.2	Membranen sind aufgrund ihrer Struktur selektiv permeabel	176
7.2.1	Die Permeabilität der Lipiddoppelschicht	176
7.2.2	Transportproteine	176
7.3	Passiver Transport ist die energieunabhängige Diffusion einer Substanz durch eine Membran.	177
7.3.1	Osmotische Effekte und die Wasserbalance.	178
7.3.2	Erleichterte Diffusion: Protein-gestützter passiver Transport	180
7.4	Aktiver Transport ist die energieabhängige Bewegung von Stoffen entgegen ihrem Konzentrationsgradienten.	181
7.4.1	Der Energiebedarf des aktiven Transportes	182
7.4.2	Wie Ionenpumpen das Membranpotenzial aufrechterhalten	184
7.4.3	Cotransport: Gekoppelter Transport durch ein Membranprotein	185
7.5	Massentransport durch die Plasmamembran mittels Exocytose und Endocytose	185
7.5.1	Exocytose	186
7.5.2	Endocytose.	186

Kapitel 8 Energie und Leben 191

8.1	Der Stoffwechsel von Organismen wandelt Stoffe und Energie gemäß den Gesetzen der Thermodynamik um	192
8.1.1	Die biochemischen Prozesse sind in Stoffwechselwegen organisiert	192
8.1.2	Energieformen	193
8.1.3	Die Gesetze der Energieumwandlungen	194

8.2	Die Änderung der freien Enthalpie entscheidet über die Richtung, in der eine Reaktion abläuft	196
8.2.1	Die Änderung der freien Enthalpie (ΔG)	196
8.2.2	Freie Enthalpie, Stabilität und chemisches Gleichgewicht	197
8.2.3	Freie Enthalpie und Stoffwechsel	198
8.3	ATP ermöglicht Zellarbeit durch die Kopplung von exergonen an endergone Reaktionen	200
8.3.1	Struktur und Hydrolyse von ATP	200
8.3.2	Wie durch die Hydrolyse von ATP Arbeit geleistet wird	201
8.3.3	Die Regeneration des ATP	202
8.4	Enzyme beschleunigen metabolische Reaktionen durch das Absenken von Energiebarrieren	203
8.4.1	Die Aktivierungsenergie als Hürde	203
8.4.2	Wie Enzyme Reaktionen beschleunigen	204
8.4.3	Die Substratspezifität von Enzymen	205
8.4.4	Die Katalyse im aktiven Zentrum des Enzyms	206
8.4.5	Die Enzymaktivität hängt von den Umgebungsbedingungen ab	208
8.5	Die Regulation der Enzymaktivität hilft bei der Kontrolle des Stoffwechsels	211
8.5.1	Allosterische Regulation von Enzymen	211
8.5.2	Allosterische Aktivierung und Hemmung	211
8.5.3	Die spezifische Verteilung von Enzymen in der Zelle	213

Kapitel 9 Zellatmung 219

9.1	Energie für den Katabolismus durch Brennstoffoxidation	220
9.1.1	Katabole Stoffwechselwege und die ATP-Produktion	220
9.1.2	Redoxreaktionen: Oxidation und Reduktion	221
9.1.3	Die Stadien der Zellatmung: Eine Vorschau	225
9.2	Glykolyse: Energie durch Glucoseoxidation	226
9.3	Citratzyklus: Vervollständigung der Brennstoffoxidation	227
9.3.1	Oxidation von Pyruvat zu Acetyl-CoA	227
9.3.2	Der Citratzyklus	228
9.4	Elektronentransport und oxidative Phosphorylierung	231
9.4.1	Die Elektronentransportkette	231
9.4.2	Die chemiosmotische Kopplung	232
9.4.3	Bilanzierung der ATP-Produktion durch die Zellatmung	236
9.5	ATP-Synthese ohne Sauerstoff	239
9.5.1	Verschiedene Gärungsformen	239
9.5.2	Ein Vergleich von Gärung und aerober Atmung	240
9.5.3	Die evolutionäre Bedeutung der Glykolyse	241
9.6	Glykolyse und Citratzyklus im Zentrum des Zwischenstoffwechsels	242
9.6.1	Die Vielseitigkeit des Katabolismus	242
9.6.2	Biosynthesen (anabole Stoffwechselwege)	243
9.6.3	Die Regulation der Zellatmung durch Rückkopplungsmechanismen	243

Kapitel 10 Photosynthese 251

10.1	Die Photosynthese wandelt Lichtenergie in chemische Energie um	253
10.1.1	Chloroplasten: Die Orte der Photosynthese in Pflanzen	253
10.1.2	Der Weg einzelner Atome im Verlauf der Photosynthese: Wissenschaftliche Forschung	254
10.1.3	Zwei Teilschritte der Photosynthese: Eine Vorschau	256
10.2	Die Lichtreaktionen wandeln Sonnenenergie in chemische Energie in Form von ATP und NADPH um	257
10.2.1	Die Natur des Lichts	257
10.2.2	Photosynthesepigmente: Die Lichtrezeptoren	258
10.2.3	Anregung von Chlorophyll durch Licht	260
10.2.4	Photosystem = Reaktionszentrum + Lichtsammelkomplex	261
10.2.5	Der lineare Elektronenfluss	262
10.2.6	Der zyklische Elektronenfluss	264
10.2.7	Der chemiosmotische Prozess in Chloroplasten und Mitochondrien im Vergleich	264

10.3	Der Calvin-Benson-Zyklus nutzt die chemische Energie von ATP und NADPH zur Reduktion von CO ₂ zu Zuckern	267
10.4	In heißen, trockenen Klimaregionen haben sich entwicklungsgeschichtlich alternative Mechanismen der Kohlenstofffixierung herausgebildet	269
10.4.1	Die Photorespiration: Ein Überbleibsel der Evolution?	269
10.4.2	C ₄ -Pflanzen	270
10.4.3	CAM-Pflanzen	273
10.5	Das Leben auf der Erde hängt von der Photosynthese ab: Eine Rückschau	274

Kapitel 11 Zelluläre Kommunikation 283

11.1	Externe Signale werden in intrazelluläre Antworten umgewandelt.	284
11.1.1	Evolution der zellulären Signalverarbeitung	284
11.1.2	Signalwirkungen über kurze und lange Distanzen.	286
11.1.3	Die drei Stadien der zellulären Signaltransduktion: Ein Überblick	287
11.2	Signalwahrnehmung: Ein Signalmolekül bindet an ein Rezeptorprotein	289
11.2.1	Rezeptorproteine in der Plasmamembran	289
11.2.2	Intrazelluläre Rezeptorproteine	292
11.3	Signalübertragung: Wechselwirkungen auf molekularer Ebene leiten das Signal vom Rezeptor stufenweise an Zielmoleküle in der Zelle weiter.	293
11.3.1	Signaltransduktionswege	294
11.3.2	Proteinphosphorylierung und Proteindephosphorylierung	294
11.3.3	Kleine Moleküle und Ionen als sekundäre Botenstoffe	295
11.4	Die zelluläre Antwort: Signalwege steuern die Transkription oder Aktivitäten im Cytoplasma.	299
11.4.1	Regulationen im Zellkern und im Cytoplasma.	299
11.4.2	Feinabstimmung der Antwort auf Signale	300
11.5	Die Verschaltung verschiedener Signaltransduktionswege bei der Apoptose	303
11.5.1	Apoptose beim Fadenwurm <i>Caenorhabditis elegans</i> .	303
11.5.2	Die verschiedenen Wege der Apoptose und ihre auslösenden Signale	304

Kapitel 12 Der Zellzyklus 311

12.1	Aus der Zellteilung gehen genetisch identische Tochterzellen hervor.	312
12.1.1	Die Organisation des genetischen Materials in der Zelle.	313
12.1.2	Die Verteilung der Chromosomen bei der eukaryontischen Zellteilung.	313
12.2	Der Wechsel zwischen Mitose und Interphase im Zellzyklus.	315
12.2.1	Die Phasen des Zellzyklus	315
12.2.2	Der Spindelapparat	315
12.2.3	Die Cytokinese	320
12.2.4	Zweiteilung bei Bakterien	320
12.2.5	Die Evolution der Mitose.	322
12.3	Der eukaryontische Zellzyklus wird durch ein molekulares Kontrollsystem gesteuert	323
12.3.1	Hinweise auf die Existenz cytoplasmatischer Signale.	323
12.3.2	Das Zellzyklus-Kontrollsystem	324
12.3.3	Der Verlust der Zellzyklus-Kontrolle bei Krebszellen	328

Teil III Genetik 335

Kapitel 13 Meiose und geschlechtliche Fortpflanzung 337

13.1	Gene werden auf Chromosomen von den Eltern an ihre Nachkommen weitergegeben	338
13.1.1	Die Vererbung von Genen	338
13.1.2	Ein Vergleich von geschlechtlicher und ungeschlechtlicher Fortpflanzung	339
13.2	Befruchtung und Meiose wechseln sich beim geschlechtlichen Generationswechsel ab	340
13.2.1	Die Chromosomensätze menschlicher Zellen	340
13.2.2	Das Verhalten der Chromosomensätze im menschlichen Lebenszyklus	342
13.2.3	Die Vielfalt der Lebenszyklen bei der geschlechtlichen Fortpflanzung	343

13.3	In der Meiose wird der diploide auf einen haploiden Chromosomensatz reduziert	344
13.3.1	Die Meiosestadien	344
13.3.2	Ein Vergleich von Mitose und Meiose	345
13.4	Die geschlechtliche Fortpflanzung erhöht die genetische Variabilität – ein wichtiger Motor der Evolution	351
13.4.1	Ursprung der genetischen Variabilität unter Nachkommen	351
13.4.2	Die Bedeutung der genetischen Variabilität von Populationen für die Evolution	353
Kapitel 14	Mendel und das Genkonzept	357
14.1	Mendels wissenschaftlicher Ansatz führte zu den Gesetzen der Vererbung	358
14.1.1	Mendels quantitativ-experimenteller Ansatz.	358
14.1.2	Die Spaltungsregel (Zweite Mendel'sche Regel)	360
14.1.3	Die Unabhängigkeitsregel (Dritte Mendel'sche Regel).	365
14.2	Die Mendel'sche Vererbung von Merkmalen folgt den Gesetzen der Statistik.	367
14.2.1	Die Anwendung von Multiplikations- und Additionsregel auf Einfaktorkreuzungen	367
14.2.2	Die Lösung komplexer genetischer Probleme mit den Regeln der Wahrscheinlichkeitsrechnung	368
14.3	Komplexere Erbgänge	369
14.3.1	Die Erweiterung der Mendel'schen Regeln bei einzelnen Genen	370
14.3.2	Die Erweiterung der Mendel'schen Regeln auf die Wechselwirkungen von Genen	372
14.3.3	Gene und Erziehung: Der Einfluss der Umwelt auf den Phänotyp.	373
14.3.4	Eine integrierte „Mendel'sche Sicht“ auf die Vererbung und die genetische Variabilität.	374
14.4	Auch die Vererbung beim Menschen folgt den Mendel'schen Regeln	376
14.4.1	Die Analyse von Stammbäumen.	376
14.4.2	Rezessive Erbkrankheiten	377
14.4.3	Dominante Erbkrankheiten	379
14.4.4	Multifaktorielle Krankheiten	380
14.4.5	Genetische Untersuchungen und Beratung	381
Kapitel 15	Chromosomen bilden die Grundlage der Vererbung	391
15.1	Die Chromosomen bilden die strukturelle Grundlage der Mendel'schen Vererbung	392
15.1.1	Ein Beispiel für einen wissenschaftlichen Ansatz: Thomas Hunt Morgan und die Verknüpfung der Mendel'schen Regeln mit dem Verhalten der Chromosomen bei der Zellteilung	394
15.2	Geschlechtschromosomen-gekoppelte Erbgänge	396
15.2.1	Die Geschlechtschromosomen	396
15.2.2	Die Vererbung geschlechtsgebundener Gene	397
15.2.3	Die Inaktivierung eines X-Chromosoms bei weiblichen Säugetieren	398
15.3	Die Vererbung gekoppelter Gene auf einem Chromosom	399
15.3.1	Der Einfluss der Genkopplung auf die Vererbung.	399
15.3.2	Rekombination und Kopplung	400
15.3.3	Die Kartierung von Genen anhand von Rekombinationshäufigkeiten: Ein wissenschaftlicher Ansatz	403
15.4	Abweichungen in der Zahl oder Struktur von Chromosomen als Ursache von Erbkrankheiten	407
15.4.1	Abweichende Chromosomenzahlen	407
15.4.2	Abweichende Chromosomenstrukturen.	408
15.4.3	Menschliche Erbkrankheiten, die auf Veränderungen in der Chromosomenzahl oder -struktur zurückzuführen sind	409
15.5	Erbgänge, die nicht den Mendel'schen Regeln folgen	411
15.5.1	Genomische Prägung.	411
15.5.2	Genome von Organellen und ihre Vererbung	412
Kapitel 16	Die molekularen Grundlagen der Vererbung	417
16.1	Die DNA ist die Erbsubstanz	418
16.1.1	Die Suche nach der Erbsubstanz: Wissenschaftliche Forschung	418
16.1.2	Ein Strukturmodell der DNA: Wissenschaftliche Forschung	423

16.2	Bei der DNA-Replikation und -Reparatur arbeiten viele Proteine zusammen	426
16.2.1	Das Grundprinzip: Basenpaarung mit einem Matrizenstrang	426
16.2.2	Die molekularen Mechanismen der DNA-Replikation.	427
16.2.3	Korrekturlesen und DNA-Reparatur	434
16.2.4	Die evolutionäre Bedeutung von Mutationen.	435
16.2.5	Die Replikation an den Enden linearer DNA-Moleküle.	436
16.3	Ein Chromosom besteht aus einem mit Proteinen verpackten DNA-Molekül	437

Kapitel 17 Vom Gen zum Protein 445

17.1	Die Verbindung von Genen und Proteinen über Transkription und Translation	446
17.1.1	Die Untersuchung von Stoffwechselstörungen	446
17.1.2	Die Grundlagen der Transkription und der Translation	449
17.1.3	Der genetische Code	451
17.2	Transkription – die DNA-abhängige RNA-Synthese: Eine nähere Betrachtung	454
17.2.1	Die molekularen Komponenten des Transkriptionsapparats	454
17.2.2	Die Synthese eines RNA-Transkripts	455
17.3	mRNA-Moleküle werden in eukaryontischen Zellen nach der Transkription modifiziert	457
17.3.1	Veränderung der Enden einer eukaryontischen mRNA.	457
17.3.2	Mosaikgene und RNA-Spleißen	458
17.4	Translation – die RNA-abhängige Polypeptidsynthese: Eine nähere Betrachtung.	460
17.4.1	Die molekularen Komponenten des Translationsapparats	460
17.4.2	Die Biosynthese von Polypeptiden.	464
17.4.3	Vom Polypeptid zum funktionsfähigen Protein.	468
17.4.4	Die gleichzeitige Synthese vieler Polypeptide in Bakterien und Eukaryonten.	469
17.5	Punktmutationen können die Struktur und Funktion eines Proteins beeinflussen.	471
17.5.1	Verschiedene Formen der Punktmutation	471
17.5.2	Neue Mutationen und Mutagene	473
17.5.3	Was ist ein Gen? Eine neue Betrachtung	473

Kapitel 18 Regulation der Genexpression 479

18.1	Die Transkription bakterieller Gene passt sich wechselnden Umweltbedingungen an.	480
18.1.1	Das Operon-Konzept	481
18.1.2	Reprimierbare und induzierbare Operone: Zwei Formen der negativen Regulation der Genexpression.	482
18.1.3	Positive Regulation der Genexpression	484
18.2	Die Expression eukaryontischer Gene kann auf verschiedenen Stufen reguliert werden.	485
18.2.1	Differenzielle Genexpression	485
18.2.2	Regulation der Chromatinstruktur	486
18.2.3	Regulation der Transkriptionsinitiation.	487
18.2.4	Mechanismen der posttranskriptionalen Regulation	493
18.3	Die Regulation der Genexpression durch nicht-codierende RNAs.	495
18.3.1	Die Wirkung von Mikro-RNAs und kleinen interferierenden RNAs auf die mRNA	495
18.3.2	Chromatinumbau und Stilllegung der Transkription durch nicht-codierende RNAs	496
18.3.3	Die Bedeutung kleiner, nicht-codierender RNAs für die Evolution	497
18.4	Die verschiedenen Zelltypen in einem Lebewesen entstehen nach einem Programm zur differenziellen Genexpression	497
18.4.1	Ein genetisches Programm für die Embryonalentwicklung.	497
18.4.2	Cytoplasmatische Determinanten und Induktionssignale.	498
18.4.3	Die schrittweise Regulation der Genexpression während der Zelldifferenzierung	499
18.4.4	Musterbildung zur Festlegung des Körperbaus	501
18.5	Krebs entsteht durch genetische Veränderungen, die den Zellzyklus deregulieren	505
18.5.1	Gene und Krebs	505
18.5.2	Die Störung zellulärer Signalketten	506
18.5.3	Das Mehrstufenmodell der Krebsentstehung	507
18.5.4	Genetische Veranlagung und der Einfluss der Umwelt auf die Krebsentstehung	509
18.5.5	Die Rolle von Viren bei einigen Krebsarten	510

Kapitel 19	Viren	517
19.1	Ein Virus besteht aus einer von einer Proteinhülle eingeschlossenen Nucleinsäure	518
19.1.1	Die Entdeckung der Viren: Ein wissenschaftlicher Exkurs	518
19.2	Viren vermehren sich nur in Wirtszellen.	521
19.2.1	Grundlagen der Virenvermehrung	521
19.2.2	Die Phagenvermehrung	522
19.2.3	Vermehrungszyklen von Tierviren	524
19.2.4	Die Evolution von Viren	528
19.3	Viren, Viroide und Prionen als Pathogene von Tieren und Pflanzen	529
19.3.1	Viruserkrankungen von Tieren	529
19.3.2	Das Auftreten neuer Viren	530
19.3.3	Viruserkrankungen bei Pflanzen.	534
19.3.4	Viroide und Prionen: Die einfachsten Krankheitserreger	535
Kapitel 20	Gen- und Biotechnologie	539
20.1	DNA-Sequenzierung und Klonierung sind wichtige Werkzeuge der Gentechnik und der biologischen Forschung	540
20.1.1	DNA-Sequenzierung	540
20.1.2	Die Vervielfältigung von Genen und anderen DNA-Fragmenten	543
20.1.3	Die Verwendung von Restriktionsenzymen zur Herstellung rekombinanter Plasmide.	545
20.1.4	Die Polymerase-Kettenreaktion (PCR) und ihre Verwendung bei der DNA-Klonierung	546
20.1.5	Die Klonierung und Expression eukaryontischer Gene.	548
20.2	Die Verwendung der Gentechnik zur Untersuchung der Expression und Funktion von Genen	550
20.2.1	Analyse der Genexpression.	550
20.2.2	Die Aufklärung der Funktion eines Gens.	555
20.3	Die Klonierung von Organismen zur Bereitstellung von Stammzellen für die Forschung und andere Anwendungen	559
20.3.1	Die Klonierung von Pflanzen aus Einzelzellkulturen	559
20.3.2	Die Klonierung von Tieren: Zellkerntransplantation	560
20.3.3	Tierische Stammzellen	562
20.4	Die Gentechnik beeinflusst unser Leben.	565
20.4.1	Medizinische Anwendungen	565
20.4.2	Genetische Profile in der Gerichtsmedizin	569
20.4.3	Umweltsanierung und synthetische Biologie	570
20.4.4	Landwirtschaftliche Anwendungen	571
Kapitel 21	Genome und ihre Evolution	579
21.1	Die Entwicklung von schnelleren und billigeren Techniken zur Genomsequenzierung	580
21.2	Genomanalyse mithilfe der Bioinformatik.	582
21.2.1	Zentralisierte Ressourcen zur Analyse von Genomsequenzen	582
21.2.2	Das Aufspüren proteincodierender Gene in DNA-Sequenzen	583
21.2.3	Untersuchungen von Genen und ihren Produkten in komplexen Systemen	584
21.3	Genome unterscheiden sich in der Größe und der Zahl der Gene sowie in der Gendichte	587
21.3.1	Genomgröße.	587
21.3.2	Genzahl	588
21.3.3	Gendichte und nicht-codierende DNA.	588
21.4	Das Genom eukaryontischer Vielzeller enthält viel nicht-codierende DNA und viele Multigenfamilien.	589
21.4.1	Transponierbare Elemente und verwandte Sequenzen	590
21.4.2	Andere repetitive DNA-Sequenzen	591
21.4.3	Gene und Multigenfamilien	592
21.5	Genomevolution durch Duplikation, Umlagerung und Mutation der DNA.	593
21.5.1	Duplikation ganzer Chromosomensätze	593
21.5.2	Veränderungen der Chromosomenstruktur	594
21.5.3	Duplikation und Divergenz einzelner Genbereiche.	595
21.5.4	Umlagerungen innerhalb von Genen: Exonduplikation und Exonaustausch (exon shuffling)	598
21.5.5	Wie transponierbare genetische Elemente zur Genomevolution beitragen	599

21.6	Der Vergleich von Genomsequenzen liefert Hinweise auf evolutionäre und entwicklungsbiologische Mechanismen.	600
21.6.1	Die Bedeutung von Genomvergleichen	600
21.6.2	Sequenzvergleiche geben Aufschluss über Entwicklungsprozesse.	604

Teil IV Evolutionsmechanismen 611

Kapitel 22 Die Evolutionstheorie – Abstammung mit Modifikation 613

22.1	Die Darwin'sche Theorie stellte die traditionelle Ansicht, die Erde sei jung und von unveränderlichen Arten bewohnt, infrage.	615
22.1.1	<i>Scala naturae</i> und die Klassifikation der Arten.	615
22.1.2	Vorstellungen über die Veränderungen von Organismen im Lauf der Zeit	616
22.1.3	Lamarcks Evolutionstheorie	616
22.2	Die gemeinsame Abstammung und die Variationen zwischen Individuen, auf die die natürliche Selektion wirkt, erklären die vielfältigen Anpassungen von Organismen	617
22.2.1	Darwins Feldforschung	618
22.2.2	Die Entstehung der Arten	620
22.3	Die Evolutionstheorie wird durch eine Vielzahl wissenschaftlicher Befunde gestützt	623
22.3.1	Direkte Beobachtungen evolutionärer Veränderungen	624
22.3.2	Homologie	626
22.3.3	Fossilbelege	630
22.3.4	Biogeografie	631
22.3.5	Die Evolutionstheorie – eine Begriffsanalyse.	632

Kapitel 23 Mikroevolution – Die Evolution von Populationen 637

23.1	Genetische Variabilität ermöglicht Evolution	638
23.1.1	Genetische Variabilität	639
23.1.2	Wie wird genetische Variabilität erzeugt?	640
23.2	Mithilfe der Hardy-Weinberg-Gleichung lässt sich herausfinden, ob in einer Population Evolution stattfindet	642
23.2.1	Genpool und Allelfrequenzen.	642
23.2.2	Das Hardy-Weinberg-Gesetz	642
23.3	Natürliche Selektion, genetische Drift und Genfluss können die Allelfrequenzen in einer Population verändern	647
23.3.1	Natürliche Selektion	647
23.3.2	Genetische Drift	647
23.3.3	Genfluss	650
23.4	Die natürliche Selektion ist der einzige Mechanismus, der beständig für eine adaptive Evolution sorgt	651
23.4.1	Eine genauere Betrachtung der natürlichen Selektion.	651
23.4.2	Die Schlüsselrolle der natürlichen Selektion bei der adaptiven Evolution	653
23.4.3	Sexuelle Selektion	653
23.4.4	Erhaltung der genetischen Variabilität: Balancierter Polymorphismus	655
23.4.5	Warum die natürliche Selektion keine perfekten Organismen hervorbringen kann . . .	658

Kapitel 24 Die Entstehung der Arten 663

24.1	Das biologische Artkonzept betont die reproduktiven Isolationsmechanismen	664
24.1.1	Das biologische Artkonzept.	664
24.1.2	Weitere alternative Artkonzepte	668
24.2	Artbildung mit und ohne geografische Isolation	669
24.2.1	Allopatrische Artbildung	669
24.2.2	Sympatrische Artbildung	673
24.2.3	Allopatrische und sympatrische Artbildung: Eine Zusammenfassung.	675

24.3	Hybridzonen ermöglichen die Analyse von Faktoren, die zur reproduktiven Isolation führen. . .	676
24.3.1	Evolutionprozesse in Hybridzonen.	676
24.3.2	Hybridzonen und sich verändernde Umweltbedingungen	677
24.3.3	Zeitliche Entwicklung von Hybridzonen	678
24.4	Artbildung kann schnell oder langsam erfolgen und aus Veränderungen weniger oder vieler Gene resultieren	680
24.4.1	Der zeitliche Verlauf der Artbildung	680
24.4.2	Die Genetik der Artbildung.	683
24.4.3	Von der Artbildung zur Makroevolution	684

Kapitel 25 Die Geschichte des Lebens auf der Erde 689

25.1	Die Umweltbedingungen auf der jungen Erde ermöglichten die Entstehung des Lebens	690
25.1.1	Synthese organischer Verbindungen zu Beginn der Erdentwicklung.	690
25.1.2	Abiotische Synthese von Makromolekülen	692
25.1.3	Protobionten	692
25.1.4	Selbstreplizierende RNA.	692
25.2	Fossilfunde dokumentieren die Geschichte des Lebens	693
25.2.1	Die Fossilfunde	693
25.2.2	Datierung von Gesteinen und Fossilien	695
25.2.3	Die Entstehung neuer Organismengruppen	696
25.3	Zu den Schlüsselereignissen in der Evolution gehören die Entstehung einzelliger und vielzelliger Organismen sowie die Besiedlung des Festlands	698
25.3.1	Die ersten einzelligen Organismen	700
25.3.2	Der Ursprung der Vielzelligkeit	702
25.3.3	Die Besiedlung des Festlands	703
25.4	Aufstieg und Niedergang von Organismengruppen spiegeln Unterschiede in den Speziations- und Aussterberaten wider.	704
25.4.1	Kontinentaldrift.	704
25.4.2	Massenaussterben	707
25.4.3	Adaptive Radiationen	710
25.5	Veränderungen im Körperbau können durch Änderungen in der Sequenz und Regulation von Entwicklungsgenen entstehen.	712
25.5.1	Evolutionäre Effekte von Entwicklungsgenen	713
25.5.2	Evolution von Entwicklungsprozessen	714
25.6	Evolution ist nicht zielorientiert	717
25.6.1	Evolutionäre Neuerungen	717
25.6.2	Evolutionäre Trends	718

Teil V Die Evolutionsgeschichte der biologischen Vielfalt 725

Kapitel 26 Rekonstruktion der Phylogenie der Lebewesen 727

26.1	Phylogenien (Stammbäume) zeigen evolutionäre Verwandtschaftsbeziehungen	728
26.1.1	Die binominale Nomenklatur	729
26.1.2	Hierarchische Klassifikation	729
26.1.3	Der Zusammenhang zwischen Klassifikation und Phylogenie.	730
26.1.4	Bedeutung und Anwendung der Phylogenie	733
26.2	Die Ableitung der Stammesgeschichte aus morphologischen und molekularbiologischen Befunden	734
26.2.1	Morphologische und molekulare Homologien.	734
26.2.2	Homologie und Konvergenz	735
26.2.3	Bewertung molekularer Homologien	736
26.3	Gemeinsame abgeleitete Merkmale (evolutive Neuheiten) erlauben die Rekonstruktion phylogenetischer Stammbäume	737
26.3.1	Kladistik.	737
26.3.2	Phylogenetische Stammbäume mit proportionaler Länge der Äste	740

26.3.3	Maximale Sparsamkeit und maximale Wahrscheinlichkeit (<i>maximum parsimony</i> und <i>maximum likelihood</i>)	741
26.3.4	Phylogenetische Stammbäume als Hypothesen	743
26.4	Die Evolutionsgeschichte eines Lebewesens ist in seinem Genom festgelegt	744
26.4.1	Genduplikationen und Genfamilien	745
26.4.2	Evolution von Genomen	746
26.5	Mit molekularen Uhren kann man den zeitlichen Ablauf der Evolution verfolgen.	746
26.5.1	Molekulare Uhren	747
26.5.2	Mithilfe der molekularen Uhr aufgeklärt: Der Ursprung von HIV.	748
26.6	Neue Befunde und die stetige Weiterentwicklung unserer Kenntnisse über den Stammbaum der Organismen	749
26.6.1	Von zwei Organismenreichen zu drei Großgruppen, so genannten „Domänen“	749
26.6.2	Die besondere Bedeutung des horizontalen Gentransfers	750

Kapitel 27 Prokaryoten: Bacteria und Archaea 757

27.1	Strukturelle und funktionelle Anpassung als Erfolgsrezept der Prokaryoten	758
27.1.1	Zelloberflächenstrukturen	759
27.1.2	Beweglichkeit	761
27.1.3	Innerer Aufbau und Genomorganisation	762
27.1.4	Fortpflanzung und Anpassung	762
27.2	Schnelle Vermehrung, Mutation und Rekombination von Genen als Ursache der genetischen Vielfalt von Prokaryoten	763
27.2.1	Schnelle Vermehrung und Mutation	763
27.2.2	Rekombination von Genen	764
27.3	Evolution vielfältiger Anpassungen in der Ernährung und im Stoffwechsel der Prokaryoten.	767
27.3.1	Rolle des Sauerstoffs im Stoffwechsel	768
27.3.2	Stickstoffstoffwechsel	769
27.3.3	Kooperation im Stoffwechsel	769
27.4	Radiäre Entwicklung der Prokaryoten in mehreren Stammeslinien.	770
27.4.1	Überblick über die prokaryontische Diversität	770
27.4.2	Stammbegriff bei Prokaryoten.	770
27.4.3	Kultivierbarkeit von Prokaryoten und Phylogenie nicht kultivierter Prokaryontenarten	770
27.4.4	Der phylogenetische Stammbaum der Prokaryoten	771
27.4.5	Bacteria.	774
27.4.6	Archaea	775
27.5	Kommunikation mit der Umwelt	778
27.5.1	Zweikomponentensysteme	778
27.5.2	Chemotaxis.	779
27.6	Bedeutung der Prokaryoten für die Biosphäre.	780
27.6.1	Chemisches Recycling	780
27.6.2	Ökologische Wechselwirkungen.	781
27.7	Schädliche und nützliche Auswirkungen der Prokaryoten auf den Menschen.	781
27.7.1	Mutualistische Bakterien.	781
27.7.2	Bakterielle Pathogene	782
27.7.3	Prokaryoten in Forschung und Technik.	783

Kapitel 28 Der Ursprung und die Evolution der Eukaryoten 789

28.1	Die meisten Eukaryoten sind Einzeller	790
28.1.1	Struktur- und Funktionsvielfalt bei Protisten	790
28.1.2	Die vier Übergruppen der Eukaryoten	791
28.1.3	Endosymbiose in der Evolution der Eukaryoten	791
28.1.4	Die Evolution von Plastiden	792
28.2	Excavata: Protisten mit abgewandelten Mitochondrien und bemerkenswerten Flagellen	796
28.2.1	Diplomonadida und Parabasalia.	796
28.2.2	Euglenozoa.	797

28.3	Die SAR-Übergruppe: Ihre Einführung wird durch neue genomweite Sequenzanalysen unterstützt	798
28.3.1	Stramenopilata	798
28.3.2	Alveolata	801
28.3.3	Rhizaria	804
28.4	Archaeplastida: Die engsten Verwandten der Landpflanzen – Rotalgen und Grünalgen	806
28.4.1	Rhodophyta (Rotalgen)	806
28.4.2	Chloroplastida (Chlorobionta, Viridiplantae, Grüne Pflanzen).	807
28.5	Unikonta: Protisten, die eng mit Pilzen und Tieren verwandt sind	809
28.5.1	Amoebozoa	810
28.5.2	Opisthokonta	812
28.6	Protisten spielen eine Schlüsselrolle in allen ökologischen Wechselbeziehungen	812
28.6.1	Symbiontische und parasitische Protisten	812
28.6.2	Photosynthetisch aktive Protisten	813

Kapitel 29 Die Vielfalt der Pflanzen I: Wie Pflanzen das Land eroberten 819

29.1	Die Entstehung der Landpflanzen aus Grünalgen	820
29.1.1	Morphologische und molekularbiologische Befunde	820
29.1.2	Notwendige Anpassungen beim Übergang an Land	821
29.1.3	Schlüsselinnovationen bei Landpflanzen	824
29.1.4	Ursprung und Radiation der Landpflanzen	824
29.2	Moose haben einen vom Gametophyten dominierten Lebenszyklus	827
29.2.1	Die Gametophyten der Bryophyten	828
29.2.2	Die Sporophyten der Bryophyten	829
29.2.3	Die ökologische und ökonomische Bedeutung der Moose	831
29.3	Die ersten hochwüchsigen Pflanzen: Farne und andere samen-lose Gefäßpflanzen	832
29.3.1	Entstehung und Merkmale der Gefäßpflanzen	832
29.3.2	Klassifikation der samenlosen Gefäßpflanzen (Pteridophyten, Farngewächse).	836
29.3.3	Die Bedeutung der samenlosen Gefäßpflanzen	838

Kapitel 30 Die Vielfalt der Pflanzen II: Evolution der Samenpflanzen 843

30.1	Samen und Pollen: Schlüsselanpassungen an das Landleben	844
30.1.1	Vorteile reduzierter Gametophyten	844
30.1.2	Heterosporie ist bei Samenpflanzen die Regel	845
30.1.3	Samenanlagen und die Produktion der Eizellen	845
30.1.4	Pollen und die Bildung von Spermazellen	846
30.1.5	Der Vorteil von Samen in der Evolution der Landpflanzen	846
30.2	Die Zapfen der Gymnospermen tragen „nackte“ Samenanlagen	848
30.2.1	Frühe Samenpflanzen und die Evolution der Gymnospermen	848
30.2.2	Der Entwicklungszyklus einer Kiefer	849
30.3	Die wichtigsten Weiterentwicklungen der Angiospermen sind Blüten und Früchte	853
30.3.1	Merkmale der Angiospermen	853
30.3.2	Die Evolution der Angiospermen	857
30.3.3	Die Vielfalt der Angiospermen	859
30.4	Die Bedeutung der Samenpflanzen für die Menschheit	860
30.4.1	Produkte aus Samenpflanzen	860
30.4.2	Gefahren für die Artenvielfalt der Pflanzen	864

Kapitel 31 Pilze 869

31.1	Pilze sind heterotroph und nehmen ihre Nährstoffe durch Absorption auf	870
31.1.1	Ernährung und Ökologie	870
31.1.2	Aufbau des Pilzkörpers	871
31.2	Pilze nutzen Sporen für ihre geschlechtliche oder ungeschlechtliche Vermehrung	874
31.2.1	Die geschlechtliche Fortpflanzung	874
31.2.2	Die ungeschlechtliche Vermehrung	875

31.3	Die Entwicklung der Pilze aus einem im Wasser lebenden, begeißelten Vorfahren	876
31.3.1	Der Ursprung der Pilze	876
31.3.2	Die divergente Entwicklung früher Pilzgruppen	876
31.3.3	Der Wechsel vom Wasser zum Land	877
31.4	Die verschiedenen Abstammungslinien der Pilze	877
31.4.1	Chytridien	879
31.4.2	Zygomyceten	879
31.4.3	Glomeromyceten	880
31.4.4	Ascomyceten	880
31.4.5	Basidiomyceten	883
31.5	Die zentrale Bedeutung der Pilze für Stoffkreisläufe, ökologische Wechselbeziehungen und den Menschen	884
31.5.1	Pilze als Destruenten	884
31.5.2	Pilze als Mutualisten	885
31.5.3	Pilze als Krankheitserreger und Parasiten	887
31.5.4	Der praktische Nutzen von Pilzen	888
Kapitel 32 Eine Einführung in die Diversität und Evolution der Metazoa		893
32.1	Metazoa sind vielzellige heterotrophe Eukaryonten mit Geweben, die sich aus embryonalen Keimblättern entwickeln	894
32.1.1	Ernährungsweise	894
32.1.2	Zellstruktur und Zellspezialisierung	895
32.1.3	Fortpflanzung und Entwicklung	895
32.2	Die Evolutionsgeschichte der Metazoa umfasst mehr als eine halbe Milliarde Jahre	897
32.2.1	Schritte zur Entstehung der vielzelligen Tiere	897
32.2.2	Neoproterozoikum (vor einer Milliarde bis 541 Millionen Jahren)	898
32.2.3	Paläozoikum (vor 541–252 Millionen Jahren)	899
32.2.4	Mesozoikum (vor 252–66 Millionen Jahren)	902
32.2.5	Känozoikum (vor 66 Millionen Jahren bis zur Gegenwart)	902
32.3	Die Großgruppen der Tiere lassen sich über „Baupläne“ beschreiben	902
32.3.1	Symmetrie	903
32.3.2	Gewebe	903
32.3.3	Leibeshöhlen	904
32.3.4	Proterostome und deuterostome Entwicklung	905
32.4	Aus neuen molekularen und morphologischen Daten erwachsen fortlaufend neue Erkenntnisse über die Phylogenie der Tiere	906
32.4.1	Die evolutive Differenzierung der Metazoa	907
32.4.2	Künftige Richtungen der phylogenetisch-systematischen Forschung	909
Kapitel 33 Eine Einführung in die wirbellosen Tiere		913
33.1	Porifera (Schwämme) sind Tiere ohne echte Gewebe	914
33.2	Cnidaria (Nesseltiere) bilden ein phylogenetisch altes Metazoontaxon	919
33.2.1	Anthozoa	920
33.2.2	Tesserazoa (Medusozoa)	921
33.3	Spiralia, ein Taxon, das anhand morphologischer und molekularer Daten identifiziert wurde, weist das breiteste Spektrum aller Baupläne im Tierreich auf	922
33.3.1	Plathelminthes (Plattwürmer)	923
33.3.2	Syndermata (Rotatoria und Acanthocephala)	927
33.3.3	Lophotrochozoa	928
33.3.4	Mollusca (Weichtiere)	929
33.3.5	Annelida (Ringelwürmer)	935
33.4	Ecdysozoa sind die artenreichste Tiergruppe	938
33.4.1	Nematoda (Fadenwürmer)	938
33.4.2	Arthropoda (Gliederfüßer)	939
33.5	Echinodermata und Chordata sind Deuterostomia	948
33.5.1	Echinodermata (Stachelhäuter)	949
33.5.2	Chordata (Chordatiere)	951

Kapitel 34	Herkunft und Evolution der Wirbeltiere	955
34.1	Chordaten haben eine Chorda dorsalis und ein dorsales Neuralrohr.	956
34.1.1	Abgeleitete Chordatenmerkmale.	957
34.1.2	Acrania/Cephalochordata (Lanzettfischchen)	959
34.1.3	Tunicata (Manteltiere).	959
34.1.4	Die frühe Chordatenevolution	960
34.2	Craniota sind Chordaten, die einen Schädel und eine Wirbelsäule haben	961
34.2.1	Abgeleitete Craniotenmerkmale	961
34.2.2	Cyclostomata/Agnatha (Rundmäuler)	962
34.2.3	Die Frühevolution der Craniota	963
34.2.4	Der Ursprung von Knochen und Zähnen	964
34.3	Gnathostomata sind Wirbeltiere, die einen Kieferapparat haben	965
34.3.1	Abgeleitete Merkmale der Gnathostomata	965
34.3.2	Fossile Gnathostomata	966
34.3.3	Chondrichthyes (Knorpelfische: Haie, Rochen und Verwandte)	966
34.3.4	Actinopterygii, Actinistia und Dipnoi (Strahl(en)flosser, Hohlstachler und Lungenfische).	968
34.4	Tetrapoda sind Osteognathostomata, die Laufbeine haben.	972
34.4.1	Abgeleitete Tetrapodenmerkmale.	972
34.4.2	Die Entstehung der Tetrapoden	972
34.4.3	Lissamphibia (Amphibien)	974
34.5	Amniota sind Tetrapoda, die auch in ihrer Fortpflanzung an das Landleben angepasst sind	978
34.5.1	Abgeleitete Amniotenmerkmale	978
34.5.2	Frühe Amnioten	980
34.5.3	Sauropsida	980
34.6	Mammalia sind Amnioten, die behaart sind und Milch produzieren	987
34.6.1	Abgeleitete Säugetiermerkmale	987
34.6.2	Die frühe Evolution der Säugetiere.	988
34.6.3	Monotremata (Kloakentiere)	989
34.6.4	Marsupialia (Beuteltiere).	989
34.6.5	Placentalia, Eutheria (Placentatiere).	991
34.7	Menschen sind Säugetiere, die ein großes Gehirn haben und sich auf zwei Beinen fortbewegen	996
34.7.1	Abgeleitete Merkmale des Menschen	996
34.7.2	Die ersten Homininen	996
34.7.3	Die Australopithecinen	998
34.7.4	Zweibeinigkeit (Bipedie).	999
34.7.5	Werkzeuggebrauch	999
34.7.6	Frühe Vertreter der Gattung Homo	1001
34.7.7	Die Neandertaler	1002
34.7.8	Homo sapiens	1003

Teil VI Pflanzen – Form und Funktion **1009**

Kapitel 35	Pflanzenstruktur, Wachstum und Entwicklung	1011
35.1	Pflanzen sind hierarchisch organisiert – in Form von Organen, Geweben und Zellen.	1012
35.1.1	Die drei Pflanzenorgane: Wurzel, Spross und Blatt.	1012
35.1.2	Abschlussgewebe, Leitgewebe und Grundgewebe.	1016
35.1.3	Grundtypen der Pflanzenzelle	1020
35.2	Verschiedene Meristeme erzeugen neue Zellen für das primäre und das sekundäre Wachstum	1020
35.3	Primäres Wachstum ist für die Längenzunahme der Wurzeln und Sprosse verantwortlich.	1022
35.3.1	Primäres Wachstum der Wurzel	1022
35.3.2	Primäres Wachstum des Sprosses.	1024
35.4	Sekundäres Dickenwachstum vergrößert bei verholzten Pflanzen den Umfang von Spross und Wurzel	1026
35.4.1	Cambium und sekundäres Leitgewebe	1028

35.4.2	Das Korkcambium und die Bildung des Periderms	1030
35.4.3	Evolution des sekundären Wachstums	1030
35.5	Wachstum, Morphogenese und Differenzierung formen den Pflanzenkörper	1030
35.5.1	Molekularbiologie und ihre Modellorganismen revolutionieren die Pflanzenwissenschaften	1031
35.5.2	Wachstum – Zellteilung und Zellstreckungsausdehnung	1032
35.5.3	Morphogenese und Musterbildung	1034
35.5.4	Genexpression und Kontrolle der Zelldifferenzierung	1034
35.5.5	Veränderte Entwicklungsprozesse durch Phasenwechsel	1035
35.5.6	Genetische Kontrolle der Blütenentwicklung	1036
Kapitel 36 Stoffaufnahme und Stofftransport bei Gefäßpflanzen		1041
36.1	Anpassungen zur Aufnahme der Ressourcen waren wichtige Schritte in der Evolution der Landpflanzen	1042
36.1.1	Aufbau der Sprossachse und Lichtabsorption	1043
36.1.2	Wurzelaufbau und die Aufnahme von Wasser und Mineralstoffen	1044
36.2	Der Transport über Kurz- oder Langstrecken erfolgt durch verschiedene Mechanismen	1045
36.2.1	Apoplast und Symplast: Zwei Transportalternativen	1046
36.2.2	Kurzstreckentransport von gelösten Stoffen über Plasmamembranen	1046
36.2.3	Kurzstreckentransport von Wasser über die Plasmamembran	1047
36.2.4	Massenströmung beim Langstreckentransport	1050
36.3	Der Transport von Wasser und Mineralstoffen von der Wurzel zum Spross durch das Xylem wird durch die Transpiration angetrieben	1051
36.3.1	Aufnahme von Wasser und Mineralstoffen in die Wurzelzellen	1051
36.3.2	Transport von Wasser und Mineralstoffen ins Xylem	1051
36.3.3	Massenströmung wird durch negativen Druck im Xylem angetrieben	1053
36.3.4	Das Steigen des Xylemsafts durch Massenströmung: <i>Zusammenfassung</i>	1056
36.4	Die Transpirationsrate wird durch die Stomata reguliert	1056
36.4.1	Stomata als wichtigster Ort des Wasserverlusts	1057
36.4.2	Mechanismen der Spaltöffnungsbewegung	1057
36.4.3	Reize für die Spaltöffnungsbewegung	1058
36.4.4	Auswirkungen der Transpiration auf Welken und Blatttemperatur	1058
36.4.5	Anpassungen, die den Wasserverlust durch Verdunstung vermindern	1059
36.5	Zucker werden im Phloem vom Produktionsort zum Verbrauchs- oder Speicherort transportiert	1060
36.5.1	Zuckertransport – from Source to Sink	1060
36.5.2	Massenströmung durch positiven Druck – Der Mechanismus des Assimilattransports bei Angiospermen	1061
36.6	Der Symplast – ein dynamisches System	1063
36.6.1	Plasmodesmen – ständig wechselnde Strukturen	1063
36.6.2	Elektrisches „Signaling“ im Phloem	1063
36.6.3	Das Phloem – eine „Datenautobahn“	1063
Kapitel 37 Boden und Pflanzenernährung		1069
37.1	Boden – eine lebende, jedoch endliche Ressource	1070
37.1.1	Bodenart	1070
37.1.2	Zusammensetzung des Oberbodens	1071
37.1.3	Bodenschutz und nachhaltige Landwirtschaft	1072
37.2	Pflanzen benötigen für ihren Lebenszyklus essenzielle Nährelemente	1074
37.2.1	Makro- und Mikronährelemente	1075
37.2.2	Symptome des Nährstoffmangels	1077
37.2.3	Verbesserung der Pflanzenernährung durch Gentechnik – einige Beispiele	1077
37.3	Zur Pflanzenernährung tragen auch andere Organismen bei	1080
37.3.1	Bakterien und Pflanzenernährung	1081
37.3.2	Pilze und Pflanzenernährung	1084
37.3.3	Epiphyten, parasitische Pflanzen und carnivore Pflanzen	1087

Kapitel 38	Fortpflanzung der Blütenpflanzen	1091
38.1	Blüten, doppelte Befruchtung und Früchte: Wichtige Besonderheiten im Entwicklungszyklus der Angiospermen	1092
38.1.1	Aufbau und Funktion der Blüte	1093
38.1.2	Der Lebenszyklus angiospermer Pflanzen: Ein Überblick	1093
38.1.3	Mechanismen der Pollenübertragung	1097
38.1.4	Die Entwicklung des Sporophyten vom Samen zur blühenden Pflanze	1099
38.1.5	Gestalt und Funktion der Frucht	1102
38.2	Sexuelle und asexuelle Fortpflanzung bei Angiospermen	1105
38.2.1	Mechanismen der asexuellen (vegetativen) Fortpflanzung	1105
38.2.2	Vor- und Nachteile von sexueller und asexueller Fortpflanzung	1106
38.2.3	Mechanismen zur Verhinderung der Selbstbefruchtung	1107
38.2.4	Totipotenz, vegetative Vermehrung und Gewebekulturen	1108
38.3	Der Mensch verändert die Nutzpflanzen durch Züchtung und Gentechnik	1110
38.3.1	Pflanzenzüchtung	1110
38.3.2	Biotechnologie und Gentechnik bei Pflanzen	1111
38.3.3	Für und Wider der Pflanzenbiotechnologie	1113
Kapitel 39	Pflanzenreaktionen auf innere und äußere Signale	1119
39.1	Signaltransduktionswege verbinden Signalwahrnehmung und Antwort	1120
39.1.1	Perzeption	1121
39.1.2	Transduktion	1121
39.1.3	Antwort	1122
39.2	Pflanzenhormone koordinieren Wachstum, Entwicklung und Reizantworten	1123
39.2.1	Übersicht über die Phytohormone	1124
39.3	Pflanzen brauchen Licht	1135
39.3.1	Blaulicht-Photorezeptoren	1136
39.3.2	Phytochrome als Photorezeptoren	1136
39.3.3	Biologische Uhren und circadiane Rhythmik	1138
39.3.4	Die Wirkung des Lichts auf die biologische Uhr	1139
39.3.5	Photoperiodismus und Anpassungen an Jahreszeiten	1139
39.4	Pflanzen reagieren auf Licht und viele weitere Reize	1142
39.4.1	Schwerkraft	1142
39.4.2	Mechanische Reize	1143
39.4.3	Umweltstress	1144
39.5	Reaktionen der Pflanze auf Pathogenbefall und Herbivoren	1148
39.5.1	Verteidigungsstrategien gegen Pathogene	1148
39.5.2	Verteidigungsstrategien gegen Herbivoren	1152
Teil VII	Tiere – Form und Funktion	1157
Kapitel 40	Grundprinzipien tierischer Form und Funktion	1159
40.1	Form und Funktion sind bei Tieren auf allen Organisationsebenen eng miteinander korreliert	1160
40.1.1	Evolution bestimmt die Größe und Gestalt von Tieren	1160
40.1.2	Austausch mit der Umgebung	1161
40.1.3	Hierarchische Organisation der Körperbaupläne	1163
40.1.4	Struktur und Funktion von Geweben	1164
40.1.5	Koordination und Kontrolle	1168
40.2	Regulation des inneren Milieus	1169
40.2.1	Regulierer und Konformer	1169
40.2.2	Homöostase	1170
40.3	Einfluss von Form, Funktion und Verhalten auf homöostatische Prozesse	1172
40.3.1	Endothermie und Ektothermie	1172
40.3.2	Veränderung der Körpertemperatur	1173

40.3.3	Gleichgewicht zwischen Wärmeabgabe und Wärmeaufnahme	1173
40.3.4	Anpassung an unterschiedliche Temperaturbereiche	1178
40.3.5	Physiologischer Thermostat und Fieber	1178
40.4	Energiebedarf eines Tieres in Abhängigkeit von Größe, Aktivität und Umwelt.	1179
40.4.1	Bereitstellung und Nutzung von Energie	1179
40.4.2	Quantifizierung des Energieverbrauchs	1180
40.4.3	Minimale Stoffwechselrate und Thermoregulation	1180
40.4.4	Faktoren, die die Stoffwechselrate beeinflussen	1181
40.4.5	Torpor und Energiesparen.	1182

Kapitel 41 Hormone und das endokrine System 1191

41.1	Hormone und andere Signalmoleküle, ihre Bindung an die Rezeptoren und die von ihnen ausgelösten spezifischen Reaktionswege	1193
41.1.1	Interzelluläre Kommunikation	1193
41.1.2	Chemische Klassen von lokalen Regulatoren und Hormonen.	1194
41.1.3	Signalwege in den Zellen	1195
41.1.4	Mehrfachwirkungen von Hormonen.	1197
41.1.5	Endokrine Gewebe und Organe	1198
41.2	Endokrine Hormone: Regulation durch Rückkopplung und Koordination mit dem Nervensystem	1199
41.2.1	Einfache hormonelle Reaktionswege	1199
41.2.2	Rückkopplungskreise	1200
41.2.3	Koordination von Hormon- und Nervensystem bei Wirbellosen	1200
41.2.4	Koordination von Hormon- und Nervensystem bei Wirbeltieren	1202
41.2.5	Hormone des Hypophysenhinterlappens	1202
41.2.6	Hormone des Hypophysenvorderlappens	1203
41.2.7	Die Regulation der Schilddrüse: Eine Hormonkaskade.	1204
41.2.8	Hormonelle Regulation des Wachstums.	1206
41.3	Reaktionen endokriner Drüsen auf verschiedene Reize in der Regulation von Homöostase, Entwicklung und Verhalten	1207
41.3.1	Parathormon und Vitamin D: Steuerung des Ca ²⁺ -Spiegels im Blut.	1207
41.3.2	Hormone der Nebennieren: Stressantwort	1208
41.3.3	Geschlechtshormone aus den Geschlechtsdrüsen	1211
41.3.4	Melatonin und Biorhythmus.	1212
41.3.5	Evolution und Hormonfunktion	1212

Kapitel 42 Die Ernährung der Tiere 1219

42.1	Die Nahrung der Tiere muss die Versorgung mit chemischer Energie, organischen Molekülen und essenziellen Nährstoffen gewährleisten.	1220
42.1.1	Essenzielle Nährstoffe	1221
42.1.2	Mangelernährung.	1226
42.1.3	Ermittlung des Nährstoffbedarfs	1227
42.2	Nährstoffverarbeitung: Aufnahme, Verdauung, Resorption und Ausscheidung	1228
42.2.1	Verdauungskompartimente.	1230
42.3	Spezialisierte Organe für die verschiedenen Stadien der Nahrungverarbeitung im Verdauungssystem der Säugetiere.	1232
42.3.1	Mundhöhle, Schlund und Speiseröhre	1233
42.3.2	Verdauung im Magen	1234
42.3.3	Verdauung im Dünndarm	1236
42.3.4	Resorption im Dünndarm	1237
42.3.5	Resorption im Dickdarm	1239
42.4	Ernährung und die evolutive Anpassung der Verdauungssysteme von Wirbeltieren	1240
42.4.1	Anpassung der Zähne	1240
42.4.2	Anpassungen von Magen und Darm.	1240
42.4.3	Anpassungen durch Symbiose	1241
42.4.4	Anpassungen durch Symbiose bei Pflanzenfressern	1243

42.5	Regelkreise steuern Verdauung, Energiehaushalt und Appetit	1244
42.5.1	Regulation der Verdauung	1244
42.5.2	Regulation des Energiehaushalts	1244
42.5.3	Regulation von Appetit und Verbrauch	1247
Kapitel 43 Kreislauf und Gasaustausch		1255
43.1	Kreislaufsysteme verknüpfen alle Zellen des Körpers mit Austauschflächen.	1256
43.1.1	Gastrovaskularsysteme	1256
43.1.2	Offene und geschlossene Kreislaufsysteme	1257
43.1.3	Die Organisation von Kreislaufsystemen bei Wirbeltieren	1258
43.2	Koordinierte Kontraktionszyklen des Herzens treiben den doppelten Kreislauf bei Säugern an	1260
43.2.1	Der Säugerkreislauf	1260
43.2.2	Das Säugerherz: Eine nähere Betrachtung	1261
43.2.3	Der rhythmische Herzschlag	1262
43.3	Blutdruck und Blutfluss spiegeln Bau und Anordnung der Blutgefäße wider	1264
43.3.1	Bau und Funktion von Blutgefäßen	1264
43.3.2	Strömungsgeschwindigkeit des Blutes	1265
43.3.3	Blutdruck	1265
43.3.4	Kapillarfunktion	1268
43.3.5	Flüssigkeitsrückführung durch das Lymphsystem	1269
43.4	Blutbestandteile und ihre Funktion bei Stoffaustausch, Transport und Abwehr	1271
43.4.1	Blutzusammensetzung und Funktion	1271
43.4.2	Erkrankungen des Herz-Kreislauf-Systems	1274
43.5	Gasaustausch erfolgt an spezialisierten respiratorischen Oberflächen	1277
43.5.1	Partialdruckgradienten beim Gasaustausch	1277
43.5.2	Atemmedien	1277
43.5.3	Respiratorische Oberflächen	1278
43.5.4	Kiemen bei wasserlebenden Tieren	1278
43.5.5	Tracheensysteme bei Insekten	1280
43.5.6	Lungen	1281
43.6	Atmung: Ventilation der Lunge	1283
43.6.1	Atmung bei Amphibien	1283
43.6.2	Atmung bei Vögeln	1283
43.6.3	Atmung bei Säugern	1284
43.6.4	Kontrolle der Atmung beim Menschen	1285
43.7	Anpassungen an den Gasaustausch: Respiratorische Proteine binden und transportieren Atemgase	1286
43.7.1	Koordination von Zirkulation und Gasaustausch	1286
43.7.2	Respiratorische Proteine	1287
43.7.3	Tierische „Spitzenathleten“	1290
Kapitel 44 Das Immunsystem		1297
44.1	Das angeborene Immunsystem basiert auf der Erkennung gemeinsamer Muster von Krankheitserregern	1299
44.1.1	Angeborene Immunabwehr wirbelloser Tiere	1299
44.1.2	Angeborene Immunabwehr der Wirbeltiere	1302
44.1.3	Wie Krankheitserreger dem angeborenen Immunsystem entgehen	1305
44.2	Im adaptiven Immunsystem ermöglicht eine Vielzahl an Rezeptoren die spezifische Erkennung von Pathogenen	1306
44.2.1	Antigenerkennung durch B-Zellen und Antikörper	1306
44.2.2	Antigenerkennung durch T-Zellen	1308
44.2.3	Die Entwicklung von B- und T-Zellen	1308
44.3	Adaptive Immunität und die Abwehr von Infektionen in Körperzellen und Körperflüssigkeiten	1312
44.3.1	Helfer-T-Zellen: Reaktion auf nahezu alle Antigene	1313
44.3.2	Cytotoxische T-Zellen: Abwehr gegen intrazelluläre Pathogene	1314
44.3.3	B-Zellen: Abwehr gegen extrazelluläre Pathogene	1314

44.3.4	Aktive und passive Immunität	1318
44.3.5	Antikörper als Hilfsmittel in Forschung und Diagnostik	1320
44.4	Störungen des Immunsystems	1322
44.4.1	Übermäßige, gegen körpereigene Strukturen gerichtete und verminderte Immunreaktionen	1322
44.4.2	Strategien der Krankheitserreger, der adaptiven Immunabwehr zu entgehen	1325
44.4.3	Krebs und Immunität.	1329

Kapitel 45 Osmoregulation und Exkretion 1335

45.1	Osmoregulation: Gleichgewicht zwischen Aufnahme und Abgabe von Wasser und den darin gelösten Stoffen	1336
45.1.1	Osmose und Osmolarität	1336
45.1.2	Strategien zur Bewältigung osmotischer Herausforderungen	1337
45.1.3	Die Energetik der Osmoregulation	1340
45.1.4	Transportepithelien	1341
45.2	Die stickstoffhaltigen Exkretionsprodukte eines Tieres spiegeln dessen Phylogenie und Habitat wider	1342
45.2.1	Formen stickstoffhaltiger Exkretionsprodukte	1342
45.2.2	Einfluss von Evolution und Umwelt auf stickstoffhaltige Exkretionsprodukte	1343
45.3	Die verschiedenen Exkretionssysteme sind evolutionäre Varianten tubulärer Systeme	1344
45.3.1	Exkretionsprozesse	1344
45.3.2	Ein Überblick über verschiedene Exkretionssysteme	1344
45.4	Das Nephron: Schrittweise Verarbeitung des Ultrafiltrats.	1348
45.4.1	Vom Ultrafiltrat zum Urin: Eine genauere Betrachtung.	1349
45.4.2	Osmotische Gradienten und Wasserkonservierung	1352
45.4.3	Anpassungen der Wirbeltiere an unterschiedliche Lebensräume	1353
45.5	Hormonelle Regelkreise verknüpfen Nierenfunktion, Wasserhaushalt und Blutdruck.	1357
45.5.1	Antidiuretisches Hormon	1357
45.5.2	Das Renin-Angiotensin-Aldosteron-System	1358
45.5.3	Homöostatische Regulation der Niere	1359

Kapitel 46 Fortpflanzung der Tiere 1365

46.1	Sexuelle und asexuelle Fortpflanzung im Tierreich	1366
46.1.1	Mechanismen ungeschlechtlicher Fortpflanzung	1366
46.1.2	Unisexuelle Fortpflanzung	1367
46.1.3	Bisexuelle Fortpflanzung: Ein evolutionäres Rätsel.	1367
46.1.4	Variationen im Fortpflanzungsmuster	1368
46.1.5	Reproduktionszyklen.	1369
46.2	Die Befruchtung hängt von Mechanismen ab, die Eizellen und Spermien derselben Art zusammenbringen.	1370
46.2.1	Das Überleben des Nachwuchses sichern.	1371
46.2.2	Gametenproduktion und -übergabe	1371
46.3	Keimzellenproduktion und -transport mittels Fortpflanzungsorganen	1373
46.3.1	Das weibliche Fortpflanzungssystem	1373
46.3.2	Das männliche Fortpflanzungssystem	1375
46.4	Unterschiede in Zeitverlauf und Muster der Meiose bei männlichen und weiblichen Säugern.	1377
46.5	Fortpflanzungsregulierung bei Säugern: Ein komplexes Zusammenspiel von Hormonen.	1380
46.5.1	Hormonelle Kontrolle des männlichen Fortpflanzungssystems	1381
46.5.2	Der weibliche Fortpflanzungszyklus	1382
46.6	Bei placentalen Säugern findet die gesamte Embryonalentwicklung im Uterus statt	1385
46.6.1	Empfängnis, Embryonalentwicklung und Geburt	1385
46.6.2	Maternale Immuntoleranz gegenüber Embryo und Fetus	1388
46.6.3	Empfängnisverhütung und Abtreibung	1389
46.6.4	Moderne Reproduktionstechniken	1391

Kapitel 47	Entwicklung der Tiere	1397
47.1	Nach der Befruchtung schreitet die Embryonalentwicklung durch Furchung, Gastrulation und Organogenese fort	1399
47.1.1	Besamung und Befruchtung	1399
47.1.2	Furchung	1403
47.2	An der tierischen Morphogenese sind spezifische Veränderungen in Zellform, Zellposition und Zelladhäsion beteiligt.	1406
47.2.1	Gastrulation	1406
47.2.2	Entwicklungsphysiologische Anpassungen von Amnioten	1411
47.2.3	Organogenese.	1411
47.2.4	Mechanismen der Morphogenese.	1414
47.3	Das Schicksal von sich entwickelnden Zellen ist von ihrer Vorgeschichte und von induktiven Signalen abhängig.	1416
47.3.1	Anlagepläne.	1416
47.3.2	Festlegung des Zellschicksals und Musterbildung durch induktive Signale.	1421
Kapitel 48	Neurone, Synapsen und Signalgebung	1431
48.1	Neuronale Organisation und Struktur als Spiegel der Funktion bei der Informationsübermittlung.	1432
48.1.1	Einführung in die Informationsverarbeitung	1432
48.1.2	Neuronale Struktur und Funktion	1433
48.2	Aufrechterhaltung des Ruhepotenzials eines Neurons durch Ionenpumpen und Ionenkanäle.	1434
48.2.1	Entstehung des Ruhepotenzials	1434
48.2.2	Ein Modell des Ruhepotenzials	1436
48.3	Axonale Fortleitung von Aktionspotenzialen	1437
48.3.1	Erzeugung von Aktionspotenzialen	1438
48.3.2	Erzeugung von Aktionspotenzialen: Eine nähere Betrachtung	1438
48.3.3	Fortleitung von Aktionspotenzialen.	1440
48.4	Synapsen als Kontaktstellen zwischen Neuronen.	1442
48.4.1	Erzeugung postsynaptischer Potenziale	1443
48.4.2	Summation postsynaptischer Potenziale	1443
48.4.3	Modulation der synaptischen Übertragung	1444
48.4.4	Neurotransmitter	1445
Kapitel 49	Nervensysteme	1453
49.1	Nervensysteme bestehen aus Neuronenschaltkreisen und unterstützenden Zellen	1454
49.1.1	Organisation des Wirbeltiernervensystems	1455
49.1.2	Das periphere Nervensystem	1457
49.2	Regionale Spezialisierung des Wirbeltiergehirns	1459
49.2.1	Der Hirnstamm	1461
49.2.2	Das Kleinhirn (Cerebellum)	1463
49.2.3	Das Zwischenhirn (Diencephalon)	1463
49.2.4	Funktionelle Bildgebung des Gehirns	1464
49.2.5	Das Großhirn (Cerebrum)	1465
49.2.6	Die Evolution der Kognition bei Wirbeltieren	1465
49.3	Die Großhirnrinde: Kontrolle von Willkürbewegungen und kognitiven Funktionen	1466
49.3.1	Informationsverarbeitung in der Großhirnrinde	1466
49.3.2	Sprache und Sprechen	1468
49.3.3	Lateralisierung corticaler Funktionen	1468
49.3.4	Emotionen	1469
49.3.5	Bewusstsein	1470
49.4	Gedächtnis und Lernen als Folge von Veränderungen der synaptischen Verbindungen	1470
49.4.1	Neuronale Plastizität	1471
49.4.2	Gedächtnis und Lernen.	1471
49.4.3	Langzeitpotenzierung	1472

49.5	Störungen des Nervensystems: Erklärungen auf molekularer Basis	1473
49.5.1	Schizophrenie	1473
49.5.2	Depressionen	1474
49.5.3	Substanzmissbrauch und das Belohnungssystem des Gehirns	1474
49.5.4	Alzheimer-Krankheit	1475
49.5.5	Parkinson-Krankheit	1476
49.5.6	Stammzelltherapie.	1476

Kapitel 50 Sensorische und motorische Mechanismen **1481**

50.1	Sensorische Rezeptoren: Umwandlung von Reizenergie und Signalübermittlung an das Zentralnervensystem	1482
50.1.1	Sensorische Bahnen.	1482
50.1.2	Sensorische Rezeptortypen	1484
50.2	Die für Gehör und Gleichgewicht zuständigen Mechanorezeptoren nehmen Flüssigkeits- oder Partikelbewegungen wahr	1487
50.2.1	Wahrnehmung von Schwerkraft und Schall bei Wirbellosen	1487
50.2.2	Gehör und Gleichgewichtssinn bei Säugern.	1487
50.2.3	Gehör und Gleichgewichtssinn bei anderen Wirbeltieren.	1491
50.3	Geschmacks- und Geruchssinn basieren auf ähnlichen Sinneszelltypen.	1492
50.3.1	Der Geschmackssinn bei Säugern	1493
50.3.2	Der Geruchssinn des Menschen	1495
50.4	Im ganzen Tierreich basiert das Sehen auf ähnlichen Mechanismen.	1497
50.4.1	Sehen bei Wirbellosen.	1497
50.4.2	Das Sehsystem von Wirbeltieren	1498
50.5	Muskelkontraktion erfordert die Interaktion von Muskelproteinen	1503
50.5.1	Die Skelettmuskulatur von Wirbeltieren	1503
50.5.2	Andere Muskeltypen	1509
50.6	Das Skelettsystem wandelt Muskelkontraktion in Fortbewegung um	1510
50.6.1	Skelettsystemtypen	1511
50.6.2	Verschiedene Formen der Fortbewegung	1514
50.6.3	Energetische Kosten der Fortbewegung	1515

Kapitel 51 Tierisches Verhalten **1521**

51.1	Einfaches und komplexes Verhalten kann durch bestimmte sensorische Eingangssignale ausgelöst werden	1522
51.1.1	Festgelegte Reaktionsmuster (Erbkoordination).	1523
51.1.2	Migration	1524
51.1.3	Verhaltensbiologische Rhythmen	1524
51.1.4	Signalgebung und Kommunikation bei Tieren.	1525
51.2	Lernen: Spezifische Verknüpfung von Erfahrung und Verhalten	1527
51.2.1	Erfahrung und Verhalten.	1527
51.3	Verhaltensweisen lassen sich durch Selektion auf Überleben und Fortpflanzungserfolg eines Individuums erklären	1534
51.3.1	Evolution von Verhalten zum Nahrungserwerb.	1534
51.3.2	Paarungsverhalten und Partnerwahl.	1536
51.4	Genetische Analysen und die Theorie der Gesamtfitness liefern eine Basis für Untersuchungen zur Evolution von Verhalten.	1541
51.4.1	Die genetische Basis von Verhalten	1541
51.4.2	Genetische Variabilität und die Evolution von Verhalten.	1542
51.4.3	Altruismus	1543
51.4.4	Gesamtfitness	1544
51.4.5	Evolution und menschliche Kultur	1546

Teil VIII Ökologie

1551

Kapitel 52 Ökologie und die Biosphäre: Eine Einführung

1553

- 52.1 Die Ökologie integriert viele biologische Forschungsrichtungen und dient als wissenschaftliche Grundlage für den Natur- und Umweltschutz. 1554
 - 52.1.1 Der Zusammenhang zwischen Ökologie und Evolutionsbiologie. 1556
 - 52.1.2 Ökologie und Umweltschutz 1556
- 52.2 Die Wechselbeziehungen zwischen Organismen und ihrer Umwelt bestimmen ihre Verbreitung und Häufigkeit 1557
 - 52.2.1 Ausbreitung und Verbreitung 1559
 - 52.2.2 Verhalten und Habitatselektion 1559
 - 52.2.3 Biotische Faktoren. 1560
 - 52.2.4 Abiotische Faktoren 1561
 - 52.2.5 Klima 1562
- 52.3 Aquatische Biome: Vielfältige und dynamische Systeme, die den größten Teil der Erdoberfläche einnehmen. 1568
 - 52.3.1 Struktur aquatischer Biome 1569
- 52.4 Klima und unvorhersagbare Umweltveränderungen bestimmen die Struktur und Verbreitung der terrestrischen Biome. 1578
 - 52.4.1 Makroklima und terrestrische Biome. 1579
 - 52.4.2 Allgemeine Eigenschaften terrestrischer Biome und die Bedeutung von Störungen. . . 1579

Kapitel 53 Populationsökologie

1591

- 53.1 Dynamische Prozesse und ihr Einfluss auf die Individuendichte, Individuenverteilung und Demografie von Populationen. 1592
 - 53.1.1 Individuendichte und Verteilungsmuster 1592
 - 53.1.2 Demografie. 1596
- 53.2 Wichtige Phasen im Lebenszyklus einer Organismenart als Produkt der natürlichen Selektion 1599
 - 53.2.1 Evolution und die Vielfalt von Lebenszyklen 1599
 - 53.2.2 „Kompromisse“ und Lebenszyklus 1600
- 53.3 Exponentielles Wachstum: Ein Modell für Populationen in einer idealen, unbegrenzten Umwelt. 1601
 - 53.3.1 Pro-Kopf-Zunahme 1601
 - 53.3.2 Exponentielles Wachstum. 1602
- 53.4 Das logistische Wachstumsmodell: Langsameres Populationswachstum bei Annäherung an die Umweltkapazität 1603
 - 53.4.1 Das logistische Wachstumsmodell 1604
 - 53.4.2 Das logistische Modell und natürliche Populationen 1605
 - 53.4.3 Logistisches Modell und Lebenszyklus 1606
- 53.5 Dichteabhängige Einflüsse auf das Populationswachstum 1608
 - 53.5.1 Populationsveränderungen und Individuendichte 1608
 - 53.5.2 Dichteabhängige Regulation von Populationen 1609
 - 53.5.3 Populationsdynamik 1610
- 53.6 Die menschliche Bevölkerung: Kein exponentielles Wachstum mehr, aber immer noch ein steiler Anstieg 1613
 - 53.6.1 Die Erdbevölkerung. 1614
 - 53.6.2 Globale Umweltkapazität 1617

Kapitel 54 Ökologie der Lebensgemeinschaften

1623

- 54.1 Wechselbeziehungen zwischen Organismen: Positiv, negativ oder neutral. 1624
 - 54.1.1 Interspezifische Konkurrenz. 1625
 - 54.1.2 Prädation 1627
 - 54.1.3 Herbivorie 1631
 - 54.1.4 Mutualismus 1632
 - 54.1.5 Parabiose und Kommensalismus 1632
 - 54.1.6 Metabiose. 1633

54.2	Der Einfluss von dominanten Arten und Schlüsselarten auf die Struktur von Lebensgemeinschaften	1634
54.2.1	Artendiversität	1634
54.2.2	Trophische Strukturen	1635
54.2.3	Arten mit einer großen Bedeutung für die Lebensgemeinschaft	1638
54.2.4	Bottom-up- und Top-down-Kontrolle in Nahrungsnetzen	1640
54.3	Der Einfluss von Störungen auf Artendiversität und Artenzusammensetzung	1642
54.3.1	Charakterisierung von Störungen	1643
54.3.2	Sukzession	1644
54.3.3	Von Menschen verursachte Störungen	1646
54.4	Biogeografische Faktoren und ihre Bedeutung für die Artendiversität in Lebensgemeinschaften	1647
54.4.1	Breitengradabhängigkeit	1647
54.4.2	Effekte der Flächengröße	1648
54.4.3	Inselbiogeografie	1649
54.5	Lebensgemeinschaften: Ihre Bedeutung für das Verständnis der Lebenszyklen von Pathogenen und ihre Bekämpfung	1651
54.5.1	Pathogene und die Struktur von Lebensgemeinschaften	1651
54.5.2	Lebensgemeinschaften und Zoonosen	1652

Kapitel 55 Ökosysteme 1659

55.1	Der Energiehaushalt und die biogeochemischen Kreisläufe von Ökosystemen	1661
55.1.1	Energieerhaltung	1661
55.1.2	Erhaltung der Masse	1662
55.1.3	Energie, Masse und Trophieebenen	1662
55.2	Energie und andere limitierende Faktoren der Primärproduktion der Ökosysteme	1664
55.2.1	Energiebilanzen von Ökosystemen	1664
55.2.2	Primärproduktion in aquatischen Ökosystemen	1666
55.2.3	Primärproduktion in terrestrischen Ökosystemen	1668
55.3	Energietransfer zwischen Trophieebenen: Effizienz meist unter zehn Prozent	1669
55.3.1	Produktionseffizienz	1669
55.3.2	Die Grüne-Welt-Hypothese	1671
55.4	Biologische und geochemische Prozesse regulieren die Nährstoffkreisläufe eines Ökosystems.	1672
55.4.1	Biogeochemische Kreisläufe	1672
55.4.2	Mineralisierungs- und Umlaufraten bei Nährstoffkreisläufen	1676
55.4.3	Fallstudie: Nährstoffkreisläufe im Hubbard Brook Experimental Forest	1677
55.5	Der Einfluss des Menschen auf die biogeochemischen Kreisläufe der Erde	1678
55.5.1	Nährstoffanreicherung	1678
55.5.2	Saurer Regen	1680
55.5.3	Umweltgifte	1681
55.5.4	Treibhausgase und globale Erwärmung	1682
55.5.5	Abbau der stratosphärischen Ozonschicht	1685

Kapitel 56 Naturschutz und Renaturierungsökologie 1691

56.1	Der Mensch als Gefahr für die biologische Vielfalt	1692
56.1.1	Die drei Ebenen der biologischen Vielfalt	1693
56.1.2	Biologische Vielfalt und das Wohlergehen des Menschen	1695
56.1.3	Drei Gefahren für die biologische Vielfalt	1696
56.2	Populationsgröße, genetische Variabilität und kritische Habitatgröße beim Schutz von Populationen	1699
56.2.1	Ermittlung der minimalen überlebensfähigen Populationsgröße	1699
56.2.2	Populationsextinktion durch zufällige und häufige Umweltereignisse	1702
56.2.3	Abwägen konkurrierender Ansprüche	1704
56.3	Landschafts- und Gebietsschutz zur Erhaltung ganzer Biota	1705
56.3.1	Struktur und biologische Vielfalt von Landschaften	1705
56.3.2	Einrichtung von Schutzgebieten	1706

56.4	Renaturierung: Wiederherstellung geschädigter Ökosysteme	1710
56.4.1	Biologische Sanierung	1711
56.4.2	Biologische Bestandsstützung	1711
56.4.3	Renaturierung als Zukunftsaufgabe	1714
56.5	Nachhaltige Entwicklung: Das Wohlergehen der Menschen durch die Bewahrung der biologischen Vielfalt	1715
56.5.1	Das Konzept der nachhaltigen Entwicklung	1715
56.5.2	Fallstudie: Nachhaltige Entwicklung in Costa Rica	1716
56.5.3	Die Zukunft der Biosphäre	1716
Anhang A:	Lösungen	1721
Anhang B:	Anleitungen zu den wissenschaftlichen Übungen	1723
Anhang C:	Weiterführende Literatur	1727
Anhang D:	Bildnachweis	1729
Anhang E:	Personenregister	1739
	Stichwortverzeichnis	1741