

Kurzhalt

Teil I

Die Biowissenschaften und ihre chemischen Grundlagen 1

- 1 Die Erforschung des Lebens 2
- 2 Leben und Chemie: kleine Moleküle 26
- 3 Proteine, Kohlenhydrate und Lipide. 50
- 4 Nucleinsäuren und die Entstehung
des Lebens 78

Teil II

Zellen 99

- 5 Zellen: die kleinsten Einheiten des Lebens . . . 100
- 6 Zelluläre Membranen 138
- 7 Signalübertragung und Kommunikation
zwischen Zellen. 168

Teil III

Zellen und Energie 193

- 8 Energie, Enzyme und Stoffwechsel 194
- 9 Stoffwechselwege zur Gewinnung chemischer
Energie 220
- 10 Photosynthese: Energie aus dem Sonnenlicht. . 246

Teil IV

Gene und Vererbung 273

- 11 Zellzyklus und Zellteilung 274
- 12 Vererbung, Gene und Chromosomen. 308
- 13 DNA und ihre Funktion bei der Vererbung. . . 346
- 14 Von der DNA zum Protein: Genexpression. . . 376
- 15 Genmutationen und molekulare Medizin. . . . 408
- 16 Regulation der Genexpression 442

Teil V

Genome 471

- 17 Genome 472
- 18 Rekombinante DNA und Gentechnik. 500
- 19 Differenzielle Genexpression in der
Entwicklung. 526
- 20 Entwicklung und evolutionärer Wandel. 554

Teil VI

Prozesse und Muster der Evolution 573

- 21 Belege für die Evolution und ihre
Mechanismen. 574
- 22 Die Rekonstruktion der Phylogenie und
ihre Anwendungsmöglichkeiten. 606
- 23 Arten und ihre Entstehung. 630
- 24 Die Evolution von Genen und Genomen 652
- 25 Die Geschichte des Lebens auf der Erde 678

Teil VII

Die Evolution der biologischen Vielfalt 701

- 26 Bacteria und Archaea: die prokaryotischen
Domänen 702
- 27 Die Entstehung und Diversifikation
der Eukaryoten 734
- 28 Samenlose Pflanzen: Übergang vom Wasser
ans Land. 772
- 29 Die Evolution der Samenpflanzen 798
- 30 Chitinpilze: Zersetzer, Parasiten, Symbionten
und Pathogene 822
- 31 Die Entstehung der Tiere und die Evolution
ihrer Körperbaupläne 848
- 32 Protostomier 878
- 33 Deuterostomier 914

Teil VIII
Blütenpflanzen: Form und Funktion 951

34 Der Pflanzenkörper 952
 35 Transport in Pflanzen 978
 36 Pflanzenernährung 998
 37 Regulation des Pflanzenwachstums 1020
 38 Fortpflanzung bei Blütenpflanzen 1050
 39 Reaktionen der Pflanze auf Umweltstress 1076

Teil IX
Die Physiologie der Tiere 1099

40 Physiologie, Homöostase und
 Temperaturregulation 1100
 41 Hormone der Tiere 1124
 42 Immunologie: Abwehrsysteme der Tiere 1152
 43 Fortpflanzung der Tiere 1186
 44 Entwicklung der Tiere 1220
 45 Nervenzellen und Nervensysteme 1248

46 Sensorische Systeme 1276
 47 Das Nervensystem von Säugern: Struktur
 und höhere Funktionen 1304
 48 Muskeln und Skelette. 1330
 49 Gasaustausch bei Tieren 1354
 50 Kreislaufsysteme 1380
 51 Ernährung, Verdauung und Resorption. 1410
 52 Salzhushalt, Wasserhaushalt und Stickstoff-
 ausscheidung 1442
 53 Verhalten von Tieren 1470

Teil X
Ökologie 1505

54 Ökologie und die Verbreitung der
 Organismen 1506
 55 Populationsökologie 1538
 56 Wechselbeziehungen zwischen Arten
 und Koevolution 1562
 57 Ökologie von Biozönosen 1586
 58 Ökosysteme und globale Ökologie 1610
 59 Naturschutzbiologie 1640

Inhaltsverzeichnis

Teil I Die Biowissenschaften und ihre chemischen Grundlagen

1	Die Erforschung des Lebens. . . .	2		
1.1	Was ist Biologie?	3		
	Zellen sind die Grundeinheiten des Lebens. . .	5		
	Alle Lebewesen haben eine gemeinsame Stammesgeschichte	6	1.3	Wie erforschen Biologen das Leben? .
	Die biologische Information ist in einer genetischen Sprache verschlüsselt, die alle Organismen verstehen	7		17
	Zellen nutzen Nährstoffe zur Energieversorgung und zum Aufbau neuer Strukturen	8		Beobachten und Messen sind ganz wesentliche Komponenten.
	Lebewesen regulieren ihr inneres Milieu	9		17
	Lebewesen stehen miteinander in Wechselbeziehung	9		Naturwissenschaftliches Arbeiten ist eine Kombination aus Beobachten, Experimentieren und Schlussfolgern
	Biologische Erkenntnisse lassen sich oft übertragen	11		18
1.2	Wie sind die Lebewesen der Erde miteinander verwandt?	11		Mit den richtigen Experimenten lassen sich Hypothesen widerlegen.
	Leben entstand durch chemische Evolution aus abiotischem Material.	12		19
	Der gemeinsame Vorfahre aller Lebewesen entwickelte eine zelluläre Struktur	12		Statistische Methoden sind für die Biowissen- schaften grundlegend wichtig
	Die Photosynthese veränderte den Verlauf der Evolution	13		20
	Aus Prokaryoten entstanden eukaryotische Zellen	14		Nicht alle Fragestellungen sind naturwissen- schaftlich
	Mit der Entstehung der Vielzelligkeit kam es zu einer Spezialisierung der Zellen	15	1.4	Wie beeinflusst die Biologie politisches Handeln?
	Biologen können den Stammbaum des Lebens rekonstruieren	15		22
	Der Stammbaum des Lebens erlaubt Vorhersagen	16	2	Leben und Chemie: kleine Moleküle
				26
			2.1	Wie beeinflusst der atomare Aufbau die Eigenschaften der Materie?
				27
				Ein chemisches Element besteht nur aus einem einzigsten Typ von Atomen
				28
				Die chemischen Elemente unterscheiden sich in der Anzahl der Protonen
				29
				Isotope unterscheiden sich in der Anzahl ihrer Neutronen
				29

	Die Verteilung der Elektronen bestimmt die chemischen Eigenschaften eines Atoms	30		In der Quartärstruktur eines Proteins können die Untereinheiten kooperieren.	61
2.2	Wie verbinden sich Atome zu Molekülen?	32		Raumstruktur und Oberflächenchemie tragen zur Proteinfunktion bei	62
	Kovalente Bindungen bestehen aus gemeinsamen Elektronenpaaren	32		Das umgebende Milieu beeinflusst die Raumstruktur von Proteinen	63
	Ionenbindungen bilden sich durch elektrische Anziehung	36		Molekulare Chaperone helfen mit, Proteine korrekt zu falten	64
	Wasserstoffbrücken können sich innerhalb oder zwischen Molekülen mit polaren kovalenten Bindungen ausbilden	37	3.3	Welche chemische Struktur besitzen Kohlenhydrate und was können sie?	65
	Polare und unpolare Substanzen interagieren am besten mit ihresgleichen	37		Monosaccharide sind strukturell sehr vielfältig. Glykosidische Bindungen verknüpfen Monosaccharide	66
2.3	Wie läuft der Partnerwechsel bei Atomen in chemischen Reaktionen ab?	38		Polysaccharide dienen als Energiespeicher oder Strukturmaterial	68
2.4	Weshalb hat Wasser für das Leben eine so große Bedeutung?	40	3.4	Welche chemische Struktur besitzen Lipide und warum sind sie biologisch wichtig?	70
	Wasser besitzt eine einzigartige Struktur und spezielle Eigenschaften	40		Fette und Öle sind hydrophob	71
	Wasser ist ein exzellentes Lösungsmittel – das Medium des Lebens	41		Phospholipide bilden biologische Membranen . Lipide dienen auch als Lichtsammler, Botenstoffe und Schutzschicht	72
	Wässrige Lösungen können sauer oder basisch sein.	42			
3	Proteine, Kohlenhydrate und Lipide	50	4	Nucleinsäuren und die Entstehung des Lebens	78
3.1	Welche Makromoleküle kommen in Lebewesen vor?	51	4.1	Welche chemische Struktur haben Nucleinsäuren und wie speichern sie Information?	79
	Funktionelle Gruppen verleihen Biomolekülen spezifische Eigenschaften.	52		Nucleotide sind die Bausteine der Nucleinsäuren	79
	Isomere weisen eine unterschiedliche Anordnung der gleichen Atome auf	52		Sowohl in DNA als auch in RNA findet eine Basenpaarung statt.	80
	Die Strukturen der Makromoleküle spiegeln ihre Funktionen wider	53		DNA speichert Information in Form der Gene, RNA ist die Abschrift eines Gens	82
	Die meisten Makromoleküle bilden sich durch Kondensation und werden durch Hydrolyse gespalten	54		Die DNA-Sequenz als Schlüssel zu evolutionären Verwandtschaftsbeziehungen.	83
3.2	Welche chemische Struktur besitzen Proteine und wie funktionieren sie?	55	4.2	Wie und wo entstanden die Bausteine des Lebens, die Biomonomere?	84
	Aminosäuren sind die Grundbausteine von Proteinen	56		Experimente widerlegten die Urzeugung.	84
	Peptidbindungen bilden das Rückgrat eines Proteins.	58		Das Leben entstand im Wasser	86
	Die Primärstruktur eines Proteins legt alle seine Eigenschaften fest	58		Das Leben könnte von außerirdischen Systemen stammen	86
	Die Sekundärstruktur eines Proteins beruht auf Wasserstoffbrücken	60	4.3	Wie entstanden die für das Leben typischen Makromoleküle?	90
	Die Tertiärstruktur eines Proteins entsteht durch Biegung und Faltung	60			

Die chemische Evolution könnte zu einer Polymerisation geführt haben 90
 Für die Entstehung von Nucleinsäuren, Proteinen und eines Stoffwechsels wurden zwei konträre Hypothesen formuliert 90
 RNA war möglicherweise der erste Biokatalysator 92
4.4 Wie entstanden die ersten Zellen? . . . 93
 Experimente simulieren Schritte der Entstehung von Zellen 93
 Einige ursprüngliche Zellen haben fossile Spuren hinterlassen. 95

Teil II Zellen

5 Zellen: die kleinsten Einheiten des Lebens 100
5.1 Welche Eigenschaften machen Zellen zu den Grundeinheiten des Lebens? . . 101
 Die Zellgröße wird durch das Oberfläche/ Volumen-Verhältnis begrenzt 102
 Das Mikroskop dient zum Sichtbarmachen von Zellen und deren Inhalt 103
 Zellen sind von einer Plasmamembran umgeben 106
 Es gibt prokaryotische und eukaryotische Zellen 106
5.2 Welche Merkmale kennzeichnen prokaryotische Zellen? 107
 Prokaryotische Zellen weisen bestimmte gemeinsame Merkmale auf. 107
 Prokaryotische Zellen unterscheiden sich in speziellen Merkmalen. 108
5.3 Welche Merkmale kennzeichnen eukaryotische Zellen? 110
 Die Kompartimentierung ist für die eukaryotische Zellfunktion unentbehrlich 110
 Organellen können mikroskopisch untersucht oder für biochemische Analysen isoliert werden 111
 Ribosomen sind die Orte der Proteinsynthese . 111
 Der Zellkern enthält den Großteil der genetischen Information 114
 Das Endomembransystem ist eine Gruppe von miteinander verbundenen Organellen 116

Bestimmte Organellen wandeln Energie um . . 119
 Weitere von Membranen umschlossene Organellen 123
 Das Cytoskelett ist für die Form und Bewegung der Zelle wichtig 124
5.4 Welche Funktionen haben extrazelluläre Strukturen? 129
 Die pflanzliche Zellwand ist eine extrazelluläre Struktur 130
 In Tierzellen unterstützt die extrazelluläre Matrix Zusammenhalt und Funktion des Gewebes 130
5.5 Wie sind eukaryotische Zellen entstanden? 131
 Endomembransystem und Kernhülle stammen wahrscheinlich von der Plasmamembran ab . . 132
 Einige Organellen sind durch Endosymbiose entstanden 133
6 Zelluläre Membranen 138
6.1 Welche Struktur haben Biomembranen? 139
 Lipide bilden den hydrophoben Kern der Biomembran 140
 Membranproteine sind asymmetrisch verteilt . 142
 Membranen unterliegen einer stetigen Veränderung 144

Der erste Hauptsatz der Thermodynamik: Energie kann weder erzeugt noch vernichtet werden	197		
Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik: Die Unordnung strebt einem Maximum zu	197		
Chemische Reaktionen setzen Energie frei oder verbrauchen sie	199		
Chemisches Gleichgewicht und freie Energie sind eng miteinander verknüpft	200		
8.2 Welche Rolle spielt ATP bei der biochemischen Energieübertragung?	201		
Die Hydrolyse von ATP setzt Energie frei	201		
ATP koppelt exergonische und endergonische Reaktionen	202		
8.3 Was sind Enzyme?	204		
Damit eine Reaktion ablaufen kann, muss eine Energieschwelle überwunden werden	204		
Enzyme binden in ihrem aktiven Zentrum spezifisch Reaktanden	205		
Enzyme erniedrigen die Energieschwelle, beeinflussen aber nicht das chemische Gleichgewicht.	206		
8.4 Wie funktionieren Enzyme?	207		
Enzyme richten Substrate korrekt aus	207		
Enzyme setzen Substrate unter Spannung	208		
Enzyme fügen dem Substrat zeitweilig chemische Gruppen hinzu	208		
Die Molekülstruktur bestimmt die Enzymfunktion	208		
Viele Enzyme benötigen für ihre Funktion weitere Komponenten	209		
Die Substratkonzentration beeinflusst die Reaktionsgeschwindigkeit	210		
8.5 Wie wird die Enzymaktivität reguliert?	210		
Die Enzymaktivität wird durch Inhibitoren reguliert	211		
Allosterische Enzyme kontrollieren ihre Aktivität durch eine Veränderung der Konformation	213		
Allosterische Effekte regulieren den Stoffwechsel	214		
Enzyme werden durch ihre Umgebung beeinflusst	214		
9 Stoffwechselwege zur Gewinnung chemischer Energie.	220		
9.1 Wie wird bei der Oxidation von Glucose Energie freigesetzt?	221		
Während des Glucoseabbaus speichern Zellen freie Energie	222		
Redoxreaktionen übertragen Elektronen und Energie	223		
			Das Coenzym NAD ⁺ spielt eine Schlüsselrolle bei der Elektronenübertragung in Redoxreaktionen
			223
			Die Freisetzung von Energie aus Glucose im Überblick
			224
9.2 Welches sind die aeroben Stoffwechselwege des Glucoseabbaus?	225		
Energieinvestitionsphase: Die Reaktionen 1 bis 5 der Glykolyse benötigen ATP	227		
Energiegewinnungsphase: Die Reaktionen 6 bis 10 der Glykolyse liefern NADH und ATP	227		
Die Pyruvatoxidation verbindet Glykolyse und Citratzyklus	229		
Der Citratzyklus vollendet die Oxidation der Glucose zu CO ₂	229		
Der Citratzyklus wird durch die Konzentrationen der Ausgangssubstanzen reguliert	231		
9.3 Wie entsteht durch oxidative Phosphorylierung ATP?	231		
Die Atmungskette transportiert Elektronen und setzt Energie frei	232		
Die Protonendiffusion wird mit der ATP-Synthese gekoppelt	233		
9.4 Wie läuft die anaerobe Energiegewinnung aus Glucose ab?	237		
Die Zellatmung liefert wesentlich mehr ATP als die Gärung	238		
Der Ertrag an ATP wird durch die Undurchlässigkeit mancher Mitochondrienmembranen für NADH reduziert	239		
9.5 Wie sind Stoffwechselwege miteinander verknüpft und wie werden sie reguliert?	239		
Katabolismus und Anabolismus sind miteinander verknüpft	239		
Katabolismus und Anabolismus sind eng miteinander verzahnt	241		
Stoffwechselwege werden reguliert	241		
10 Photosynthese: Energie aus dem Sonnenlicht.	246		
10.1 Was ist Photosynthese?	247		
Wie Experimente mit Isotopen zeigten, stammt das in der Photosynthese gebildete O ₂ aus dem H ₂ O	248		
Die Photosynthese lässt sich in zwei Abschnitte teilen	249		
10.2 Wie wird in der Photosynthese Lichtenergie in chemische Energie umgewandelt?	250		

		10.4 Wie kompensieren Pflanzen die funktionellen Defizite der Photosynthese?	262
		Die Rubisco katalysiert die Reaktion von RuBP sowohl mit O ₂ als auch mit CO ₂	263
		In C ₃ -Pflanzen findet Photorespiration statt, in C ₄ -Pflanzen nicht.	264
		Auch CAM-Pflanzen verwenden die PEP-Carboxylase	266
		10.5 Wie tritt die Photosynthese mit anderen Stoffwechselwegen in Wechselwirkung?	267
		Teil IV	
		Gene und Vererbung	
		11 Zellzyklus und Zellteilung	274
		11.1 Wie teilen sich prokaryotische und eukaryotische Zellen?	275
		Prokaryoten teilen sich durch binäre Spaltung	276
		Eukaryotische Zellen teilen sich durch Mitose oder Meiose, an die sich die Cytokinese anschließt.	277
		11.2 Wie wird die Zellteilung bei den Eukaryoten kontrolliert?	278
		Spezifische Signale lösen die Ereignisse des Zellzyklus aus.	279
		Wachstumsfaktoren können Zellen zur Teilung stimulieren	281
		11.3 Was geschieht bei der Mitose?	282
		Vor der Mitose wird die eukaryotische DNA in sehr kompakte Chromosomen verpackt	282
		Überblick: Die Mitose trennt Kopien der genetischen Information	284
		Die Centrosomen bestimmen die Zellteilungsebene	284
		Die Spindelbildung beginnt bereits in der Prophase	284
		Die Trennung der Chromosomen und ihre Bewegung sind hochgradig organisiert.	285
		Die Cytokinese ist die Teilung des Cytoplasmas	286
		11.4 Welche Funktion besitzt die Zellteilung bei einem geschlechtlichen Lebenszyklus?	288
		Die ungeschlechtliche Fortpflanzung durch die Mitose führt zu genetischer Unveränderlichkeit	289
	Licht verhält sich gleichzeitig als Partikel und Welle	250	
	Moleküle werden angeregt, wenn sie Photonen absorbieren	250	
	Absorbierte Wellenlängen korrelieren mit biologischer Aktivität	251	
	Die Photosynthese nutzt die von zahlreichen Pigmenten absorbierte Energie	252	
	Die Lichtabsorption führt zu photochemischen Veränderungen	253	
	Die angeregten Chlorophyllmoleküle im Reaktionszentrum wirken als Elektronendonatoren.	254	
	Die Reduktion führt zum Elektronentransport	254	
	Im nicht-zyklischen Elektronentransport werden ATP und NADPH gebildet.	254	
	Beim zyklischen Elektronentransport wird ATP, aber kein NADPH gebildet	256	
	Chemiosmose führt zur ATP-Bildung durch Photophosphorylierung	257	
10.3	Wie werden mithilfe chemischer Energie Kohlenhydrate gebildet?	258	
	Die Schritte des Calvin-Zyklus wurden durch Isotopenmarkierung aufgeklärt.	259	
	Der Calvin-Zyklus besteht aus drei Abschnitten	260	
	Der Calvin-Zyklus wird durch Licht stimuliert.	262	

	Die geschlechtliche Fortpflanzung über die Meiose führt zu genetischer Vielfalt	289			
	Die Anzahl, Formen und Größen der Metaphase-chromosomen machen den Karyotyp aus	291			
11.5	Was geschieht während der Meiose?	292	12.2	Welche Wechselwirkungen gibt es zwischen den Allelen?	322
	Durch die meiotische Teilung verringert sich die Anzahl der Chromosomen	292		Neue Allele entstehen durch Mutation	323
	Durch den Austausch zwischen den Chromatiden in der Meiose I wird genetische Vielfalt erzeugt	293		Bei vielen Genen gibt es mehrere Allele	323
	Während der Meiose trennen sich die homologen Chromosomen durch unabhängige Verteilung	293		Dominanz ist nicht immer vollständig	323
	Fehler bei der Meiose führen zu Anomalien in Struktur und Anzahl der Chromosomen	296		Bei der Codominanz werden beide Allele eines Genorts exprimiert	324
	Polyploide Organismen besitzen mehr als zwei vollständige Chromosomensätze	298	12.3	Welche Wechselwirkungen gibt es zwischen den Genen?	326
11.6	Wie können in einem lebenden Organismus Zellen sterben?	299		Die Stärke von Hybriden entsteht durch neue Kombinationen und Wechselwirkungen von Genen	326
11.7	Wie führt eine nicht regulierte Zellteilung zu Krebs?	300		Die Umgebung beeinflusst die Genaktivität	327
	Krebszellen unterscheiden sich von normalen Zellen	300		Die meisten komplexen Phänotypen werden durch mehrere Gene und die Umgebung bestimmt	328
	Krebszellen verlieren die Kontrolle über den Zellzyklus und die Apoptose	301	12.4	Welche Beziehung besteht zwischen Genen und Chromosomen?	329
	Behandlungsmethoden gegen Krebs zielen auf den Zellzyklus ab	302		Gene auf demselben Chromosom sind gekoppelt	329
12	Vererbung, Gene und Chromosomen	308		Gene können zwischen den Chromatiden ausgetauscht werden	330
12.1	Wie lauten die Mendel'schen Vererbungsregeln?	309		Genetiker können Chromosomenkarten erstellen	331
	Mendel führte in die Versuche zur Vererbung neue Methoden ein	310		Geschlechtsbestimmung und geschlechtsgekoppelte Vererbung	331
	Mendel entwickelte einen sorgfältigen Experimentierplan	311		Die Gene auf den Geschlechtschromosomen werden auf besondere Weise vererbt	334
	Mendel führte in seinen ersten Experimenten Monohybridenkreuzungen durch	312	12.5	Welche Auswirkungen haben die Gene außerhalb des Zellkerns?	337
	Allele sind verschiedene Formen eines Gens	314	12.6	Wie werden Gene bei Prokaryoten übertragen?	338
	Nach Mendels erster Regel sind im monohybriden Erbgang die Individuen der F ₁ -Generation gleich (Uniformitätsregel)	315		Bakterien tauschen Gene durch Konjugation aus	338
	Nach Mendels zweiter Regel trennen sich die beiden Allele eines Gens in der F ₂ -Generation in einem bestimmten Zahlenverhältnis auf (Spaltungsregel)	315		Plasmide übertragen Gene zwischen Bakterien	339
	Mendel verifizierte seine Hypothese, indem er eine Rückkreuzung durchführte	316	13	DNA und ihre Funktion bei der Vererbung	346
	Nach Mendels dritter Regel verteilen sich Allele von verschiedenen Genen unabhängig voneinander (Unabhängigkeitsregel)	317	13.1	Wie lässt sich nachweisen, dass Gene aus DNA bestehen?	347
				Punnett-Quadrat oder Wahrscheinlichkeitsrechnung: Was geht schneller?	318
				Mendels Regeln lassen sich in menschlichen Stammbäumen beobachten	321

	Bakterielle DNA kann ein anderes Bakterium genetisch transformieren	348			
	Das transformierende Prinzip ist DNA	349			
	Replikationsexperimente mit Viren bestätigten die DNA als das genetische Material	350			
	Auch eukaryotische Zellen können durch DNA genetisch transformiert werden	352			
13.2	Welche Struktur hat die DNA?	353			
	Die chemische Zusammensetzung der DNA war bekannt	353			
	Watson und Crick haben die Doppelhelix beschrieben	354			
	Vier grundlegende Eigenschaften bestimmen die DNA-Struktur	355			
	Die Doppelhelixstruktur der DNA ist für ihre Funktion essenziell	357			
13.3	Wie wird die DNA repliziert?	357			
	Für die DNA-Replikation gab es drei denkbare Mechanismen	357			
	Ein gut durchdachtes Experiment zeigte: Die DNA-Replikation erfolgt semikonservativ	358			
	Die DNA-Replikation erfolgt in zwei Schritten	360			
	DNA-Polymerasen hängen die Nucleotide an die wachsende Kette	361			
	An der DNA-Replikation wirken zahlreiche weitere Proteine mit	362			
	Die Telomere werden nicht vollständig repliziert und unterliegen bestimmten Reparaturmechanismen	366			
13.4	Wie werden Fehler in der DNA repariert?	368			
13.5	Wie lässt sich mit der Polymerasekettenreaktion (PCR) DNA vervielfältigen?	369			
	Die Polymerasekettenreaktion (PCR) erzeugt zahlreiche Kopien von DNA-Sequenzen	369			
			14	Von der DNA zum Protein: Genexpression.	376
			14.1	Wie fand man heraus, dass Gene Proteine codieren?	377
				Untersuchungen beim Menschen führten zu der Hypothese, dass Gene über Enzyme bestimmen	377
				Experimente mit Schimmelpilzen zeigten: Enzyme werden durch Gene bestimmt	378
				Ein Gen bestimmt ein Polypeptid	380
			14.2	Wie fließt die Information von den Genen zu den Proteinen?	381
				RNA unterscheidet sich von DNA und spielt bei der Genexpression eine entscheidende Rolle	381
				Um den Informationsfluss von der DNA zum Protein zu erklären, wurden zwei Hypothesen formuliert	381
				RNA-Viren bilden eine Ausnahme des zentralen Dogmas	382
			14.3	Wie wird der Informationsgehalt in der DNA zu RNA transkribiert?	383
				RNA-Polymerasen besitzen gemeinsame Merkmale	383
				Die Transkription erfolgt in drei Schritten	384
				Die Information für die Proteinsynthese liegt im genetischen Code	384
			14.4	Wie wird eukaryotische DNA transkribiert, und wie wird die RNA prozessiert?	388
				Eukaryotische Gene enthalten nicht-codierende Sequenzen	388
				Eukaryotische Gentranskripte werden vor der Translation prozessiert	391
			14.5	Wie wird RNA zu Proteinen translatiert?	393
				Die Transfer-RNAs tragen spezifische Aminosäuren und binden an spezifische Codons	393
				Die Aktivierungsenzyme koppeln die richtigen tRNAs und Aminosäuren miteinander	394
				Das Ribosom ist die Werkbank der Translation	394
				Die Translation erfolgt in drei Schritten	396
				Die Bildung von Polysomen erhöht die Proteinsyntheserate	398
			14.6	Was geschieht mit den Polypeptiden nach der Translation?	400
				Signalsequenzen in den Proteinen lenken sie zu ihren Bestimmungsorten	400
				Zahlreiche Proteine werden nach der Translation modifiziert	402

15	Genmutationen und molekulare Medizin	408			
15.1	Was sind Mutationen?	409			
	Mutationen haben unterschiedliche phänotypische Effekte	410			
	Punktmutationen verändern einzelne Nucleotide	411			
	Chromosomenmutationen sind umfangreiche Veränderungen des genetischen Materials	413			
	Mutationen können spontan oder induziert entstehen	414			
	Einige Basenpaare sind gegenüber Mutationen empfindlicher als andere	415			
	Mutagene können einen natürlichen oder künstlichen Ursprung haben	416			
	Mutationen bringen sowohl Vorteile als auch Nachteile mit sich.	416			
15.2	Wie werden DNA-Moleküle und Mutationen analysiert?	417			
	Restriktionsenzyme spalten die DNA an spezifischen Sequenzen.	417			
	DNA-Fragmente lassen sich mit der Gelelektrophorese auftrennen	418			
	Genetische Fingerabdrücke basieren auf einer Restriktionsanalyse mit Elektrophorese.	420			
	Das DNA-Barcoding-Projekt zielt darauf ab, alle Organismen auf der Erde zu identifizieren	421			
15.3	Wie können defekte Proteine Krankheiten verursachen?	422			
	Genmutationen führen oft zur Funktionslosigkeit von Proteinen	423			
	Prionkrankheiten beruhen auf Störungen der Proteinkonformation	424			
	Die meisten Krankheiten werden von mehreren Genen und durch Umwelteinflüsse verursacht.	426			
15.4	Welche DNA-Veränderungen führen zu genetisch bedingten Krankheiten?	426			
	Genetische Marker können den Weg zu wichtigen Genen weisen	427			
	Mutationen, die Krankheiten hervorrufen, können eine beliebige Anzahl von Basenpaaren umfassen	429			
	Sich ausdehnende Tripletwiederholungen markieren Bruchstellen in einigen menschlichen Genen	430			
15.5	Wie setzt man genetische Reihentests ein, um Krankheiten zu erkennen?	431			
	Bei Reihenuntersuchungen auf Phänotypen von Krankheiten werden Proteine analysiert	431			
					DNA-Tests sind die beste Methode, um anormale Gene festzustellen 432
15.6	Wie lassen sich genetisch bedingte Krankheiten behandeln?	434			
	Genetisch bedingte Krankheiten können durch Veränderung des Phänotyps behandelt werden	435			
	Eine Gentherapie kann eine spezifische Behandlung ermöglichen	436			
16	Regulation der Genexpression.	442			
16.1	Wie regulieren Viren ihre Genexpression?	443			
	Bakteriophagen durchlaufen einen lytischen Zyklus.	444			
	Einige Bakteriophagen können bakterielle Gene von einer Zelle zur nächsten tragen	445			
	Manche Bakteriophagen können einen lyso-genen Zyklus durchlaufen	445			
	Eukaryotische Viren verfügen über komplexe Regulationsmechanismen.	447			
16.2	Wie wird bei Prokaryoten die Genexpression reguliert?	449			
	Die Regulation der Transkription von Genen spart Energie	450			
	Operons sind Einheiten der Transkriptionsregulation bei Prokaryoten	451			
	Wechselwirkungen zwischen Operator und Repressor kontrollieren die Transkription des <i>lac</i> - und des <i>trp</i> -Operons	452			
	Die Proteinsynthese kann durch Erhöhung der Promotoreffizienz reguliert werden.	453			
16.3	Wie wird die eukaryotische Gentranskription reguliert?	454			
	Transkriptionsfaktoren wirken auf eukaryotische Promotoren	454			
	Weitere Proteine können DNA-Sequenzen erkennen und daran binden und so die Transkription regulieren.	456			
	Die Bindung erfolgt aufgrund spezifischer Wechselwirkungen zwischen Protein und DNA	456			
	Die Expression von Gengruppen kann durch Transkriptionsfaktoren koordiniert werden	458			
16.4	Wie regulieren epigenetische Veränderungen die Genexpression?	459			
	Die DNA-Methylierung tritt bei Promotoren auf und schaltet die Transkription ab	459			
	Die Modifikation der Histonproteine beeinflusst die Transkription	460			

Epigenetische Veränderungen, die durch die Umgebung ausgelöst wurden, können vererbt werden 460

Die DNA-Methylierung kann zu einer genomischen Prägung führen 461

Bei umfassenden Veränderungen der Chromosomen spielt die DNA-Methylierung eine Rolle. 462

16.5 Wie wird die eukaryotische Genexpression nach der Transkription reguliert? 464

Durch alternatives Spleißen können von demselben Gen verschiedene mRNAs entstehen 464

Mikro-RNAs sind wichtige Regulatoren der Genexpression 464

Die Translation der mRNA kann reguliert werden 465

Teil V Genome

17 Genome. 472

17.1 Wie werden Genome sequenziert? . . . 473

Die Sequenzierung des menschlichen Genoms wurde mit zwei Verfahren durchgeführt 473

Die Nucleotidsequenz der DNA lässt sich bestimmen 475

Für große Genome hat man Sequenzierungsverfahren mit hohem Durchsatz entwickelt. . . 477

Genomsequenzen liefern mehrere Arten von Information 479

17.2 Welche Erkenntnisse haben wir durch die Sequenzierung prokaryotischer Genome gewonnen? 480

Die Sequenzierung von prokaryotischen Genomen führte zum neuen Wissenschaftsgebiet Genomik 480

Einige DNA-Sequenzen können sich durch das Genom bewegen 481

Die Sequenzierung prokaryotischer und viraler Genome ist potenziell von großem Nutzen. . . 482

Durch die Metagenomik ist es möglich, neue Organismen und Ökosysteme zu beschreiben . 482

Lässt sich durch die Identifizierung der lebensnotwendigen Gene künstliches Leben erzeugen?. 483

17.3 Welche Erkenntnisse haben wir durch die Sequenzierung eukaryotischer Genome gewonnen? 485

An Modellorganismen lassen sich viele Merkmale eukaryotischer Genome aufzeigen 485

Bei den Eukaryoten gibt es Genfamilien 488

Eukaryotische Genome enthalten zahlreiche Wiederholungssequenzen. 489

17.4 Welche besonderen Merkmale besitzt das menschliche Genom? 492

Die Sequenz des menschlichen Genoms enthielt einige Überraschungen 492

Die Genomik des Menschen bringt potenziellen medizinischen Nutzen mit sich 493

17.5 Welche Erkenntnisse können Transkriptomik, Proteomik und Metabolomik liefern? 495

Das Transkriptom zeigt, welche Gene zurzeit aktiv sind 495

Das Proteom ist komplexer als das Genom. . . 495

Metabolomik ist die Untersuchung des chemischen Phänotyps 496

18 Rekombinante DNA und Gentechnik. 500

18.1 Was ist rekombinante DNA? 501

18.2 Wie werden neue Gene in Zellen eingeschleust? 503

Gene können in prokaryotische oder eukaryotische Zellen eingeschleust werden . . 503

Die rekombinante DNA kann auf verschiedene Weise in Wirtszellen gelangen 504

Reportergene dienen dazu, Wirtszellen zu identifizieren, die rekombinante DNA enthalten 505

18.3	Welche DNA-Quellen werden für eine Klonierung verwendet?	507			
	Genbibliotheken enthalten Sammlungen von DNA-Fragmenten	507			
	cDNA-Bibliotheken werden aus mRNA-Transkripten hergestellt.	508			
	Künstliche DNA kann durch PCR oder organisch-chemische Synthese hergestellt werden	508			
	DNA-Mutationen können im Labor erzeugt werden	509			
18.4	Welche weiteren Methoden eignen sich zur funktionellen Untersuchung der DNA?	509			
	Gene können durch homologe Rekombination inaktiviert werden	510			
	Komplementäre RNA kann die Expression spezifischer Gene verhindern	511			
	Mithilfe von DNA-Mikroarrays lassen sich RNA-Expressionsmuster ermitteln	512			
18.5	Was ist Biotechnologie?	514			
	Durch Expressionsvektoren verwandeln sich Zellen in Proteinfabriken	514			
18.6	Wie verändert die Biotechnologie die Medizin, die Landwirtschaft und die Umwelt?	515			
	Mithilfe der roten Biotechnologie können Proteine für medizinische Zwecke hergestellt werden	515			
	Die künstliche Manipulation von DNA verändert die Landwirtschaft	516			
	Die Biotechnologie kann dazu genutzt werden, Umweltverschmutzungen zu beseitigen	521			
	Es gibt in der Öffentlichkeit erhebliche Bedenken gegen die grüne Biotechnologie	521			
19	Differenzielle Genexpression in der Entwicklung	526			
19.1	Welche Prozesse laufen bei der Entwicklung ab?	527			
	Entwicklung besteht aus abgegrenzten, sich jedoch überlappenden Prozessen	527			
	Mit fortschreitender Entwicklung wird das Schicksal einer Zelle immer stärker festgelegt	529			
19.2	Ist die Differenzierung von Zellen irreversibel?	530			
	Pflanzenzellen können totipotent sein	530			
	Transplantation des Zellkerns ermöglicht das Klonen von Tieren.	530			
	Multipotente Stammzellen differenzieren sich als Reaktion auf Signale aus der Umgebung.	532			
					Pluripotente Stammzellen lassen sich auf zwei Wegen gewinnen 533
19.3	Welche Rolle spielt die Genexpression für die Differenzierung der Zelle?	535			
	Die differenzielle Genexpression ist ein Kennzeichen der Zelldifferenzierung	535			
19.4	Wie wird das Schicksal einer Zelle festgelegt?	536			
	Die asymmetrische Verteilung von Faktoren kann die Polarität und das Zellschicksal festlegen	537			
	Zwischen Zellen ausgetauschte Induktoren bestimmen das Zellschicksal	538			
19.5	Wie bestimmt die Genexpression die Musterbildung?	541			
	Durch die Expression einer Reihe von Genen wird während der Entwicklung das Ausmaß des programmierten Zelltods festgelegt	541			
	Pflanzen haben Organidentitätsgene.	542			
	Morphogengradienten liefern Positions-information	544			
	Eine Kaskade von Genaktivierungen ist für die Körpersegmentierung der Tauffliege verantwortlich	544			
	Homöobox-enhaltende Gene codieren Transkriptionsfaktoren	548			
20	Entwicklung und evolutionärer Wandel	554			
20.1	Was ist Evo-Devo?	555			
	Entwicklungssteuernde Gene ähneln sich, auch wenn die Organismen nur entfernt miteinander verwandt sind	556			
20.2	Warum wirken sich Mutationen nur auf einen bestimmten Körperteil aus?	557			
	Genetische Schalter steuern die Verwendung des entwicklungs-genetischen Werkzeugkastens	558			
	Durch Modularität sind Veränderungen des zeitlichen und räumlichen Ablaufs der Gen-expression möglich	558			
20.3	Wie können sich Unterschiede zwischen verschiedenen Arten entwickeln?	561			
20.4	Wie modulieren Umwelteinflüsse die Entwicklung?	562			
	Die Temperatur kann das Geschlecht bestimmen	563			
	Organismen nutzen Informationen, die zukünftige Lebensbedingungen ankündigen	565			
	Eine Vielzahl von Umweltsignalen beeinflusst die Entwicklung.	565			

20.5	Inwiefern begrenzen Entwicklungsgene die Evolution?	567			
	Die Evolution schreitet voran, indem bereits				
	Vorhandenes verändert wird	567			
	Konservierte Entwicklungsgene können zu einer				
	parallelen Evolution führen.	568			
Teil VI					
Prozesse und Muster					
der Evolution					
21	Belege für die Evolution und ihre Mechanismen	574			
21.1	Welche Fakten bilden die Grundlage für unser Verständnis der Evolution?	575			
	Charles Darwin formulierte das Prinzip der				
	natürlichen Selektion	576			
	Anpassung hat zwei Bedeutungen	579			
	Die Populationsgenetik untermauert Darwins				
	Theorie	579			
	Die meisten Populationen sind genetisch				
	variabel	580			
	Evolutionäre Veränderungen lassen sich anhand				
	von Allel- und Genotypfrequenzen messen. . .	581			
	Die genetische Struktur einer Population				
	verändert sich im Laufe der Zeit, sofern nicht				
	bestimmte einschränkende Bedingungen				
	herrschen	582			
	Abweichungen vom Hardy-Weinberg-Gleich-				
	gewicht zeigen: Es findet eine Evolution statt .	584			
21.2	Welche Mechanismen bewirken evolutionäre Veränderungen?	585			
	Mutationen erzeugen genetische Variabilität. .	585			
	Genfluss kann Allelfrequenzen ändern	585			
	Genetische Drift kann in kleinen Populationen				
	große Veränderungen hervorrufen	586			
	Durch nicht-zufällige Paarungen kann sich die				
	Häufigkeit von Genotypen ändern	588			
21.3	Wie führt die natürliche Selektion zu Evolution?	589			
	Die natürliche Selektion kann verändernd oder				
	stabilisierend auf Populationen einwirken . . .	589			
	Sexuelle Selektion beeinflusst den				
	Fortpflanzungserfolg	592			
21.4	Wie wird in Populationen die genetische Variabilität aufrechterhalten? . .	595			
	Neutrale Mutationen sammeln sich mit der				
	Zeit in Populationen an	595			
	Sexuelle Rekombination erhöht die Zahl				
	möglicher Genotypen.	595			
	Durch häufigkeitsabhängige Selektion wird				
	die genetische Variabilität innerhalb von				
	Populationen aufrechterhalten	596			
	Durch den Heterozygotenvorteil bleiben				
	polymorphe Loci erhalten.	597			
	Ein Großteil der genetischen Variabilität von				
	Arten bleibt in geographisch getrennten				
	Populationen erhalten	598			
21.5	Welchen Beschränkungen unterliegt die Evolution?	599			
	Entwicklungsprozesse schränken die Evolution				
	ein	599			
	Kompromisse (<i>trade-offs</i>) schränken die				
	Evolution ein	600			
	Evolution über kurze und lange Zeiträume führt				
	bisweilen zu unterschiedlichen Ergebnissen . .	600			
22	Die Rekonstruktion der Phylogenie und ihre Anwendungsmöglichkeiten	606			
22.1	Was ist Phylogenie?	607			
	Sämtliche Organismen sind durch ihre				
	Stammesgeschichte miteinander verbunden . .	609			

	Vergleiche zwischen Arten müssen aus evolutionärer Sicht gezogen werden	610		Postzygotische Fortpflanzungsbarrieren können Arten nach der Befruchtung isolieren	643
22.2	Wie werden phylogenetische Bäume erstellt?	611		Bei unvollständiger reproduktiver Isolation können sich Hybridzonen bilden	643
	Das Parsimonie-Prinzip liefert die einfachste Erklärung für phylogenetische Daten	612	23.4	Warum gibt es unterschiedliche Artbildungsraten?	645
	Zur Rekonstruktion von Phylogenien werden Daten aus vielerlei Quellen herangezogen . . .	613			
	Mathematische Modelle erweitern die Möglichkeiten bei der Rekonstruktion von Stammbäumen	616	24	Die Evolution von Genen und Genomen.	652
	Die Exaktheit phylogenetischer Methoden lässt sich überprüfen	616	24.1	Wie kann man Evolution anhand von Genomen erforschen?	653
22.3	Wie verwenden Biologen phylogenetische Bäume?	618		Durch die Evolution von Genomen entsteht biologische Vielfalt	654
	Mit Phylogenien lässt sich die Vergangenheit rekonstruieren	618		Der Vergleich von Genen und Proteinen erfolgt durch Sequenzalignment	654
	Mithilfe von Phylogenien lassen sich lebende Organismen vergleichen und gegenüberstellen	620		Mithilfe von Modellen zur Evolution von Sequenzen lässt sich die stammesgeschichtliche Divergenz berechnen	656
	Ursprüngliche Zustände lassen sich rekonstruieren	620		Mit Laborexperimenten lässt sich die molekulare Evolution direkt beobachten	657
	Mithilfe molekularer Uhren lassen sich evolutionäre Ereignisse datieren	621	24.2	Was lässt sich an Genomen über Evolutionsprozesse ablesen?	659
22.4	Wie stehen Phylogenie und Taxonomie miteinander in Zusammenhang?	623		Evolution verläuft größtenteils neutral	661
	Die Stammesgeschichte bildet die Grundlage für die moderne Klassifizierung der Organismen . .	624		Positive und stabilisierende Selektion lassen sich im Genom nachweisen	662
	Die Vergabe wissenschaftlicher Namen unterliegt mehreren Regeln für die biologische Nomenklatur	625		Größe und Organisation des Genoms evolvieren ebenfalls	664
23	Arten und ihre Entstehung	630	24.3	Wie erlangen Genome neue Funktionen und wie erhalten sie Funktionen aufrecht?	666
23.1	Was sind Arten?	631		Horizontaler Gentransfer kann zum Erwerb neuer Funktionen führen	666
	Viele Arten kann man an ihrem Aussehen erkennen	631		Die meisten neuen Funktionen entstehen durch Genduplikation	666
	Arten sind reproduktiv isolierte Zweige am Stammbaum des Lebens	632		Einige Genfamilien evolvieren durch konzertierte Evolution	668
23.2	Wie entstehen neue Arten?	633	24.4	Wie lassen sich die Prinzipien der molekularen Evolution praktisch anwenden?	670
	Inkompatibilität von Genen kann zur reproduktiven Isolation zweier Tochterarten führen .	634		Mithilfe von Sequenzdaten lässt sich die Evolution von Genen aufklären.	670
	Reproduktive Isolation entsteht mit zunehmender genetischer Divergenz	635		Anhand der Evolution von Genen kann man die Proteinfunktion analysieren.	671
	Geographische Barrieren bewirken eine allopatrische Artbildung	636		Durch <i>in vitro</i> -Evolution werden neue Makromoleküle hergestellt	672
	Sympatrische Artbildung erfolgt ohne physikalische Barrieren	637		Die molekulare Evolution macht man sich auch für die Erforschung und Bekämpfung von Krankheiten zunutze	672
23.3	Was passiert, wenn neu entstandene Arten aufeinandertreffen?	640			
	Präzygotische Barrieren verhindern die Befruchtung	640			

25	Die Geschichte des Lebens auf der Erde	678
25.1	Wie datieren Wissenschaftler Ereignisse in der Vergangenheit?	679
	Radioaktive Isotope bieten eine Möglichkeit, Gesteine zu datieren	680
	Die Methoden der radiometrischen Datierung wurden erweitert und verbessert	680
25.2	Wie haben sich die Kontinente und die klimatischen Verhältnisse auf der Erde im Laufe der Zeit verändert?	681
	Der Sauerstoffgehalt der Erdatmosphäre war im Laufe der Zeit Veränderungen unterworfen. . .	683
	Das Klima auf der Erde schwankte zwischen feucht-heiß und trocken-kalt	686
	Gelegentlich haben Vulkane die Geschichte des Lebens verändert.	687
	Ereignisse von außen haben ebenfalls Veränderungen auf der Erde ausgelöst.	688
25.3	Welches waren die bedeutendsten Ereignisse in der Geschichte des Lebens?	689
	Mehrere Prozesse tragen dazu bei, dass die Fossilbelege lückenhaft sind	689
	Im Präkambrium waren die Lebewesen klein und lebten im Wasser.	690
	Im Kambrium entwickelte sich das Leben rasch weiter.	690
	Viele Organismengruppen, die im Kambrium auftauchen, machten später eine Radiation durch.	691
	Während des Mesozoikums verstärkten sich die geographischen Unterschiede	696
	Die modernen Biota entwickelten sich im Känozoikum.	697
	Der Stammbaum des Lebens dient dazu, Ereignisse der Evolutionsgeschichte zu rekonstruieren	698

Teil VII

Die Evolution der biologischen Vielfalt

26	Bacteria und Archaea: die prokaryotischen Domänen.	702
26.1	Wie begann die Diversifizierung der Organismen?	703
	Die drei Domänen weisen signifikante Unterschiede auf	704
26.2	Welche Eigenschaften waren entscheidend für den Erfolg der Prokaryoten?	706
	Prokaryoten bilden meist komplexe Lebensgemeinschaften	706
	Prokaryoten besitzen charakteristische Zellwände.	708
	Bei Prokaryoten gibt es charakteristische Fortbewegungsweisen	709
	Prokaryoten pflanzen sich asexuell fort, doch auch genetische Rekombination kommt vor . .	710
	Prokaryoten können kommunizieren	710
	Bei Prokaryoten findet sich eine erstaunliche Vielfalt an Stoffwechselwegen	710
26.3	Wie lässt sich die Phylogenie der Prokaryoten entschlüsseln?	713
	Die geringe Größe von Prokaryoten hat die Erforschung ihrer Phylogenie erschwert	713
	Die Nucleotidsequenzen von Prokaryoten bringen ihre evolutionären Verwandtschaftsbeziehungen ans Licht	713
	Durch horizontalen Gentransfer kann es zu widersprüchlichen Genstammbäumen kommen	714
	Die große Mehrzahl der Prokaryotenarten wurde noch gar nicht erforscht.	715
26.4	In welche Großgruppen werden die Prokaryoten unterteilt?	716
	Spirochäten bewegen sich mithilfe von Axialfilamenten fort	716
	Chlamydien sind extrem kleine Parasiten. . . .	717
	Einige grampositive Bakterien mit hohem GC-Gehalt sind wertvolle Quellen für Antibiotika .	717
	Cyanobakterien sind wichtige Photoautotrophe	718
	Unter den grampositiven Bakterien mit niedrigem GC-Gehalt finden sich die kleinsten zellulären Organismen.	718

Die Proteobakterien bilden eine große und vielfältige Gruppe.	720	Protisten weisen ganz unterschiedliche Zelloberflächen auf	744
Archaeen unterscheiden sich in vielen wichtigen Aspekten von den Bakterien	721	27.3 Wie wirken sich Protisten auf ihre Umwelt aus?	745
Die meisten Crenarchaeota leben in heißen und/oder sauren Habitaten	723	Einige Protisten leben als Endosymbionten. . .	745
Die Euryarchaeota findet man an vielen erstaunlichen Stellen	723	Von manchen mikrobiellen Protisten geht eine tödliche Gefahr aus.	746
Über die Korarchaeota und Nanoarchaeota ist weniger bekannt	724	Wir sind nach wie vor auf die Produkte längst abgestorbener mariner Protisten angewiesen .	748
26.5 Wie wirken sich Prokaryoten auf ihre Umwelt aus?	724	27.4 Wie pflanzen sich Protisten fort?	749
Prokaryoten spielen eine wichtige Rolle im Kreislauf der Elemente	725	Manche Protisten vermehren sich asexuell und haben Sex, ohne sich zu vermehren	750
Prokaryoten leben auf und in anderen Organismen.	725	Viele Protisten haben Entwicklungszyklen mit einem Generationswechsel	750
Eine kleine Minderheit von Bakterien sind Krankheitserreger.	726	Bei den Chlorophyta finden sich Beispiele für unterschiedliche Entwicklungszyklen	751
26.6 Wie lassen sich Viren in den Stammbaum der Organismen einordnen? . . .	727	Einige Protisten benötigen für ihren Entwicklungszyklus mehr als eine Wirtsart . . .	753
Viele RNA-Viren stellen wahrscheinlich frei gewordene Bestandteile von Genomen dar . .	727	27.5 Welche evolutionären Verwandtschaftsbeziehungen bestehen innerhalb der Eukaryoten?	753
Einige DNA-Viren könnten aus reduzierten zellulären Organismen hervorgegangen sein .	729	Alveolata besitzen unter ihrer Plasmamembran kleine Aussackungen	754
27 Die Entstehung und Diversifikation der Eukaryoten.	734	Heterokonta besitzen zwei ungleich lange Geißeln, von denen eine behaart ist	756
27.1 Wie entstand die eukaryotische Zelle?	735	Rotalgen besitzen ein charakteristisches akzessorisches Photosynthesepigment	759
Die Diversität der Protisten spiegelt sich sowohl in ihrer Morphologie als auch in ihrer Phylogenie wider	735	Grünalgen und Landpflanzen enthalten Chlorophyll <i>a</i> und <i>b</i>	760
Zelluläre Eigenschaften stützen die Monophylie der Eukaryoten	736	Diplomonadida und Parabasalia sind Excavata ohne Mitochondrien	761
Die moderne eukaryotische Zelle entstand in mehreren Schritten	736	Bei den Heterolobosea erfolgt ein Wechsel zwischen amöboiden und begeißelten Formen .	762
Chloroplasten sind ein Paradebeispiel einer Endosymbiose.	740	Euglenoiden und Kinetoplastiden besitzen charakteristische Mitochondrien und Geißeln .	762
Durch horizontalen Gentransfer lässt sich das Vorhandensein einiger prokaryotischer Gene bei Eukaryoten erklären	741	Foraminiferen haben gewaltige Kalkablagerungen gebildet	764
27.2 Welche Merkmale sind der Grund für die Vielfalt der Protisten?	741	Radiolarien besitzen dünne, steife Pseudopodien.	764
Protisten nehmen viele verschiedene ökologische Nischen ein	742	Die Amoebozoa bewegen sich mithilfe von lappenförmigen Pseudopodien fort.	765
Protisten zeigen unterschiedliche Fortbewegungsweisen	742	28 Samenlose Pflanzen: Übergang vom Wasser ans Land	772
Protisten machen sich auf unterschiedliche Weise Vakuolen zunutze	743	28.1 Wie entstanden die Landpflanzen? . . .	773
		Es gibt unterschiedliche Großgruppen von Landpflanzen	775
		Die Landpflanzen gingen aus einem Monophylum der Grünalgen hervor	775

28.2	Wie gelang es den Pflanzen, das Land zu besiedeln und dort zu gedeihen? . . .	776	29	Die Evolution der Samenpflanzen	798
	Anpassungen an ein Leben an Land unterscheiden die Landpflanzen von den Grünalgen.	776	29.1	Wie haben sich die Samenpflanzen zum dominanten Vegetationselement der Gegenwart entwickelt?	799
	Moose leben in Gebieten, in denen eine ausreichende Versorgung mit Wasser gewährleistet ist	777		Der Entwicklungszyklus der Samenpflanzen ist durch geschützte Gameten und Embryonen gekennzeichnet	800
	Die Entwicklungszyklen der Landpflanzen sind durch einen Generationswechsel gekennzeichnet	777		Der Samen ist ein komplexes, gut geschütztes Paket	802
	Die Sporophyten der Moose sind von den Gametophyten abhängig	779		Durch eine anatomische Veränderung konnten die Samenpflanzen erstaunlich in die Höhe wachsen	802
28.3	Welche charakteristischen Merkmale sind kennzeichnend für die Gefäßpflanzen?	780	29.2	Welche Gruppen umfassen die Gymnospermen?	804
	Leitgewebe transportieren Wasser und gelöste Stoffe	780		Koniferen bilden Zapfen, aber keine frei beweglichen Gameten	805
	Die Evolution der Gefäßpflanzen begann vor fast einer halben Milliarde Jahren	781	29.3	Welche Merkmale trugen zum Erfolg der Angiospermen bei?	808
	Die ersten Gefäßpflanzen besaßen weder Wurzeln noch Blätter	782		Die Geschlechtsorgane der Angiospermen sind die Blüten	809
	Die Gefäßpflanzen spalteten sich auf.	783		Der Blütenbau hat sich im Verlauf der Evolution weiterentwickelt	810
	Wurzeln könnten aus Ästen hervorgegangen sein	783		Zwischen Angiospermen und Tieren hat eine Koevolution stattgefunden	812
	Farnartige und Samenpflanzen besitzen echte Blätter	783		Kennzeichnend für den Entwicklungszyklus der Angiospermen ist eine doppelte Befruchtung	813
	Bei den Gefäßpflanzen entwickelte sich eine Heterosporie	784		Angiospermen bilden Früchte.	814
28.4	Welche großen monophyletischen Gruppen haben die samenlosen Pflanzen hervorgebracht?	786		Bei neueren Analysen kam die älteste Aufspaltung innerhalb der Angiospermen ans Licht	815
	Lebermoose sind wahrscheinlich das älteste Monophylum der Landpflanzen, das bis heute überlebt hat.	786	29.4	Welchen Nutzen zieht der Mensch aus Pflanzen?	816
	Bei den Laubmoosen entstanden erstmals Mechanismen zum Transport von Wasser und Kohlenhydraten	787		Samenpflanzen bilden unsere primären Nahrungsquellen	817
	Hornmoose zeichnen sich durch charakteristische Chloroplasten und ungestielte Sporophyten aus	788		Schon seit alters her sind Samenpflanzen wichtige Lieferanten von medizinischen Wirkstoffen	818
	Manche Gefäßpflanzen besitzen zwar Leitgewebe, bilden aber keine Samen aus	789	30	Chitinpilze: Zersetzer, Parasiten, Symbionten und Pathogene.	822
	Die Bärlappgewächse bilden die Schwestergruppe der übrigen Gefäßpflanzen	789	30.1	Was ist ein Chitinpilz?	823
	Schachtelhalme, Gabelblattgewächse und Echte Farne bilden eine monophyletische Gruppe	790		Einzellige Chitinpilze nennt man Hefen.	824
				Der Körper eines vielzelligen Chitinpilzes besteht aus Hyphen.	825
				Pilze stehen in engem Kontakt mit ihrer Umgebung	826
				Chitinpilze pflanzen sich sowohl asexuell als auch sexuell fort	827

30.2	Wie stehen Chitinpilze mit anderen Organismen in Wechselbeziehung? . . .	828		
	Saprobiontische Pilze sind von wesentlicher Bedeutung für den Kohlenstoffkreislauf der Erde.	828		
	Pilze können als Parasiten und sogar als Räuber auftreten	829		
	Manche Pilze gehen für beide Partner vorteilhafte Lebensgemeinschaften ein.	831		
	Endophytische Pilze schützen manche Pflanzen vor Pathogenen, Herbivoren und Stress.	834		
30.3	Wie unterscheiden sich die Entwicklungszyklen der Chitinpilze? . .	834		
	Einige aquatische Flagellatenpilze weisen einen Generationswechsel auf	835		
	Bei terrestrischen Pilzen erfolgen Plasmogamie und Karyogamie zeitlich getrennt	835		
	Der dikaryotische Zustand ist eine Synapomorphie von Schlauchpilzen und Ständerpilzen	835		
30.4	Wie entwickelte sich die Vielfalt der Chitinpilze?	838		
	Mikrosporidien sind stark reduzierte parasitische Pilze	838		
	Flagellatenpilze sind die einzigen Chitinpilze mit begeißeltem Stadium.	839		
	Jochpilze leben terrestrisch als Saprobionten, Parasiten oder Symbionten	840		
	Arbuskuläre Mykorrhizapilze bilden Symbiosen mit Pflanzen	840		
	Die sexuelle Fortpflanzungsstruktur der Schlauchpilze ist der Ascus	840		
	Die sexuelle Fortpflanzungsstruktur der Ständerpilze ist das Basidium.	843		
31	Die Entstehung der Tiere und die Evolution ihrer Körperbaupläne.	848		
31.1	Welche Merkmale sind kennzeichnend für Tiere?	849		
	Die Monophylie der Tiere wird durch Gensequenzen und morphologische Merkmale gestützt.	850		
	Die großen Tiergruppen unterscheiden sich durch einige wenige grundlegende Entwicklungsmuster	850		
31.2	Welche Merkmale kennzeichnen die Körperbaupläne von Tieren?	853		
	Die meisten Tiere weisen eine Symmetrie auf	853		
	Der Bau der Leibeshöhle hat Einfluss auf die Art der Fortbewegung	854		
				Segmentierung des Körpers ermöglicht eine bessere Kontrolle der Bewegungen.
				Körperanhänge erfüllen viele verschiedene Funktionen
				31.3 Wie erlangen Tiere ihre Nahrung? . . .
				Filtrierer filtern Nahrung aus dem Wasser . . .
				Herbivoren ernähren sich von Pflanzen.
				Carnivoren erbeuten und überwältigen kleine und große Beutetiere
				Parasiten leben in oder auf anderen Organismen.
				Detritivoren leben von den Überresten anderer Organismen.
				31.4 Welche Unterschiede bestehen zwischen den verschiedenen Entwicklungszyklen von Tieren?
				In den meisten Entwicklungszyklen von Tieren gibt es mindestens ein Ausbreitungsstadium. . .
				Kein Entwicklungszyklus kann sämtliche Vorteile maximieren
				Die Entwicklungszyklen von Parasiten sind daran angepasst, die Nachkommen zu verbreiten und die Abwehr des Wirts zu überwinden.
				Koloniebildende Organismen bestehen aus genetisch identischen, physiologisch aufeinander abgestimmten Individuen.
				31.5 Welche großen Tiergruppen gibt es? . .
				Schwämme sind Tiere mit lockerer Organisation
				Placozoen sind häufig, werden aber nur selten beobachtet
				Rippenquallen sind biradialsymmetrisch und diploblastisch
				Nesseltiere sind radiärsymmetrische Angler . . .
32	Protostomier	878		

32.1 Was ist ein Protostomier?	879	Hemichordaten sind wurmförmige marine Deuterostomier	920
Bei den Lophotrochozoa haben sich Lophophore (Tentakelträger) und Trochophora-Larven entwickelt.	881	33.3 Welche neuen Merkmale entwickelten sich bei den Chordaten?	921
Ecdysozoa müssen ihre Cuticula abstoßen . . .	882	Die Adulten der meisten Cephalochordaten und Tunicaten leben sessil	922
Bei Pfeilwürmern sind einige ursprüngliche Entwicklungsmerkmale erhalten geblieben. . .	884	Bei den Wirbeltieren wird die Chorda durch eine andere dorsale Stützstruktur ersetzt. . . .	923
32.2 In welchen Merkmalen unterscheiden sich die Großgruppen der Lophotrochozoa?	884	Der Körperbauplan der Wirbeltiere ermöglicht die Entwicklung großer, aktiver Tiere	925
Moostierchen leben in Kolonien	885	Flossen und eine Schwimmblase sorgten für mehr Stabilität und eine bessere Steuerung der Fortbewegung	925
Plattwürmer und Rädertiere sind Verwandte mit unterschiedlichem Körperbau.	885	33.4 Wie eroberten die Wirbeltiere das Festland?	929
Schnurwürmer besitzen ein langes, ausstülpbares Organ zur Nahrungsaufnahme.	887	Durch gelenkige Flossen verbesserte sich die Stützfunktion	929
Hufeisenwürmer und Armfüßer filtern mithilfe ihres Lophophors Nahrung aus dem Wasser . .	888	Die Amphibien haben sich an ein Leben an Land angepasst.	930
Ringelwürmer haben einen segmentierten Körper.	889	Amnioten besiedelten trockene Lebensräume .	932
Weichtiere haben eine bemerkenswerte Radiation durchgemacht	892	Sauropsiden haben sich an ein Leben in vielen unterschiedlichen Lebensräumen angepasst . .	934
32.3 Durch welche Merkmale sind die Großgruppen der Ecdysozoa gekennzeichnet?	895	Krokodile, Vögel und Dinosaurier haben einen gemeinsamen Vorfahren	935
Mehrere marine Großgruppen enthalten nur relativ wenige Arten	895	Die Evolution von Federn ermöglichte es den Vögeln zu fliegen	936
Fadenwürmer und ihre Verwandten zeichnen sich durch einen hohen Individuen- und Artenreichtum aus	897	Nach dem Aussterben der Dinosaurier machten die Säugetiere eine adaptive Radiation durch .	938
32.4 Warum entwickelten die Gliederfüßer eine so große Artenvielfalt?	898	Die meisten Säugetiere sind Vertreter der Theria	939
Einige Verwandte der Gliederfüßer haben ungliederte, fleischige Extremitäten	899	33.5 Welche Merkmale charakterisieren die Primaten?	942
Bei den Trilobiten traten erstmals gegliederte Beine auf	899	Bei den Vorfahren des Menschen evolvierte der bipede Gang	942
Tausendfüßer haben viele Beine	900	Mit der Verkleinerung der Kiefer vergrößerte sich das Gehirn der Hominiden	944
Die meisten Cheliceraten besitzen vier Beinpaare.	901	Die Menschen entwickelten Sprache und Kultur	946
Die Krebstiere sind eine artenreiche, weit verbreitete Gruppe	903		
Insekten sind heute die vorherrschenden terrestrischen Arthropoden	905		
Ein Überblick über die Evolution der Protostomier.	910		
33 Deuterostomier	914		
33.1 Was ist ein Deuterostomier?.	915		
33.2 Welche Großgruppen umfassen die Stachelhäuter und Hemichordaten? . .	917		
Echinodermen sind durch einzigartige Baupläne gekennzeichnet	917		
		Teil VIII	
		Blütenpflanzen:	
		Form und Funktion	
		34 Der Pflanzenkörper	952
		34.1 Was ist der Grundbauplan des Pflanzenkörpers?	953

	Das Wurzelsystem verankert die Pflanze und nimmt Wasser und gelöste Mineralstoffe auf.	954			
	Die Sprossachse trägt Blätter und Blüten.	955			
	Blätter sind der Hauptort der Photosynthese.	956			
34.2	Wie unterstützt die Zellwand Wachstum und Gestalt der Pflanze?	957			
	Auch Zellwand und Vakuolen beeinflussen die Festlegung der Pflanzengestalt.	957			
	Die Struktur der Zellwand ermöglicht das Wachstum der Pflanze	957			
34.3	Wie entstehen pflanzliche Gewebe und Organe?	960			
	Der Pflanzenkörper wird aus drei Gewebesystemen gebildet	960			
	Xylemzellen transportieren Wasser und gelöste Mineralstoffe	963			
	Phloemzellen transportieren die Photosyntheseprodukte.	964			
34.4	Wie erzeugen Meristeme einen kontinuierlich wachsenden Pflanzenkörper?	964			
	Pflanzen vergrößern sich durch primäres und sekundäres Wachstum	964			
	Der Pflanzenkörper wird durch eine Hierarchie von Meristemen erzeugt	965			
	Das unbegrenzte primäre Wachstum nimmt seinen Ausgang in Apikalmeristemen.	966			
	Aus dem Wurzelapikalmeristem entstehen die Wurzelhaube und die Primärmeristeme.	966			
	Die Produkte der primären Wurzelmeristeme werden zu den Wurzelgeweben	967			
	Die Produkte der primären Sprossmeristeme werden zu Sprossgeweben	968			
	Blätter sind Organe mit determiniertem Wachstum, die vom Sprossapikalmeristem gebildet werden	968			
	Sprossachse und Wurzel von Eudikotylen weisen häufig ein sekundäres Dickenwachstum auf	970			
34.5	Wie hat die Domestikation die Gestalt des Pflanzenkörpers verändert?	973			
35	Transport in Pflanzen.	978			
35.1	Wie nehmen Pflanzen Wasser und gelöste Stoffe auf?	979			
	Unterschiede im Wasserpotenzial bestimmen die Richtung der Wasserbewegung.	979			
	Aquaporine erleichtern die Bewegung von Wasser durch Membranen	982			
	Zur Aufnahme von Mineralionen werden Membran-Transportproteine benötigt	982			
	Wasser und Ionen passieren auf ihrem Weg ins Xylem den Apoplasten und den Symplasten	983			
35.2	Wie werden Wasser und Mineralionen im Xylem transportiert?	985			
	Der Aufstieg des Xylemsafts erfordert keine lebenden Zellen.	985			
	Xylemtransport ist nur durch Wurzeldruck nicht zu bewerkstelligen	985			
	Für den Xylemtransport sind Transpiration und Kohäsion verantwortlich	986			
	Die Saugspannung im Xylemsaft wird mit der Druckkammer gemessen	988			
35.3	Wie kontrollieren die Spaltöffnungen den Wasserverlust und die CO₂-Aufnahme?	988			
	Die Schließzellen kontrollieren den Öffnungszustand der Spaltöffnung.	989			
35.4	Wie erfolgt der Substanztransport im Phloem?	991			
	Die Druckstromtheorie liefert eine Erklärung für den Phloemtransport	993			
	Die Druckstromtheorie wurde experimentell untersucht	993			
36	Pflanzenernährung	998			
36.1	Wie erfolgt der Nährstoffwerb bei Pflanzen?	999			
	Wie gelangt ein sessiler Organismus an seine Nährstoffe?	999			
36.2	Welche mineralischen Nährelemente benötigt die Pflanze?	1000			
	Mangelercheinungen zeigen eine ungenügende Ernährung an	1000			
	Die essenziellen Nährelemente wurden mithilfe von Hydrokulturrexperimenten bestimmt	1002			

36.3	Wie wirkt sich die Bodenstruktur auf Pflanzen aus?	1003			
	Böden haben eine komplexe Struktur	1003			
	Boden bildet sich durch die Verwitterung von Gestein	1004			
	Böden sind die Basis der Pflanzenernährung	1005			
	In der Landwirtschaft werden Dünger und Kalk eingesetzt	1005			
	Der Einfluss von Pflanzen auf Bodenfruchtbarkeit und pH-Wert	1006			
36.4	Wie verbessern Pilze und Bakterien die Nährstoffaufnahme durch Pflanzenwurzeln?	1007			
	Mykorrhizen vergrößern das Wurzelsystem von Pflanzen	1007			
	Ohne Bodenbakterien kann Luftstickstoff nicht seinen Weg in Pflanzenzellen finden	1008			
	Kein Leben ohne Stickstoff fixierende Bakterien	1009			
	Die Nitrogenase katalysiert die Stickstofffixierung	1009			
	Einige Pflanzen und Bakterien arbeiten zusammen, um Stickstoff zu fixieren	1009			
	Leguminosen und Rhizobien kommunizieren mithilfe von Signalstoffen	1010			
	Die biologische Stickstofffixierung entspricht nicht immer dem landwirtschaftlichen Bedarf	1011			
	Pflanzen und Bakterien nehmen am globalen Stickstoffkreislauf teil	1012			
36.5	Wie erreichen carnivore und parasitische Pflanzen eine ausgeglichene Ernährung?	1013			
	Tierfangende (carnivore) Pflanzen ergänzen ihre Mineralstoffernährung	1013			
	Parasitische Pflanzen machen sich andere Pflanzen zunutze	1014			
	Die Beziehung Pflanze–Parasit ähnelt der Assoziation Pflanze–Pilz beziehungsweise Pflanze–Bakterium	1015			
37	Regulation des Pflanzenwachstums	1020			
37.1	Wie verläuft die pflanzliche Entwicklung?	1021			
	Am Beginn der Entwicklung stehen die Samenkeimung und der wachsende Keimling	1022			
	Umweltsignale können die Samenkeimung auslösen	1022			
	Die Keimruhe bietet adaptive Vorteile	1022			
	Samenkeimung beginnt mit Wasseraufnahme	1023			
	Der Embryo muss seine Reserven mobilisieren	1024			
	Verschiedene Phytohormone und Photorezeptoren regulieren das Pflanzenwachstum	1024			
	Signaltransduktionswege spielen bei allen Stadien der pflanzlichen Entwicklung eine Rolle	1025			
	Durch Untersuchungen an <i>Arabidopsis thaliana</i> verstehen wir die Signaltransduktion bei Pflanzen jetzt besser	1026			
37.2	Wie wirken Gibberelline?	1027			
	Gibberelline sind Phytohormone	1027			
	Gibberelline beeinflussen Wachstum und Entwicklung von Pflanzen auf vielfältige Weise	1028			
	Gibberelline induzieren den Abbau von Transkriptionsrepressoren	1029			
37.3	Wie wirkt Auxin?	1030			
	Der Auxintransport ist gerichtet und erfordert Carrierproteine	1032			
	Der Auxintransport vermittelt die Antworten der Pflanze auf Licht und Schwerkraft	1033			
	Auxin beeinflusst das Pflanzenwachstum auf verschiedene Weise	1034			
	Auxin und Gibberelline wirken auf molekularer Ebene ähnlich	1035			
37.4	Wie wirken Cytokinine, Ethylen und Brassinosteroide?	1037			
	Cytokinine sind vom Samen bis zur Seneszenz aktiv	1037			
	Ethylen ist ein Phytohormon, das Blattseneszenz und Fruchtreife beschleunigt	1038			
	Brassinosteroide sind pflanzliche Steroidhormone	1040			
37.5	Welche Rolle spielen Photorezeptoren bei der Regulation des Pflanzenwachstums?	1041			
	Phototropine, Cryptochrome und Zeaxanthin sind Blaulichtrezeptoren	1042			
	Phytochrome vermitteln die Rot- und Dunkelrotlichteffekte	1042			
	Phytochrom stimuliert die Gentranskription	1044			
	Circadiane Rhythmen werden durch die Lichtrezeption synchronisiert	1045			
38	Fortpflanzung bei Blütenpflanzen	1050			
38.1	Wie verläuft die sexuelle Fortpflanzung bei Angiospermen?	1051			
	Die Blüte ist die Struktur, die bei Angiospermen der sexuellen Fortpflanzung dient	1051			
	Die Gametophyten der Blütenpflanzen sind mikroskopisch klein	1053			

Die Bestäubung in Abwesenheit von Wasser ist eine evolutionsbiologische Anpassung	1053	Die Rezeptor-Elicitor-Bindung führt zur hypersensitiven Reaktion	1080
Blütenpflanzen verhindern Inzucht	1055	Die systemisch erworbene Resistenz ist eine Form von „Langzeit-Immunität“	1081
Ein Pollenschlauch bringt Spermazellen zum Embryosack	1056	Pflanzen entwickeln eine spezifische Immunität gegen RNA-Viren	1081
Die Angiospermen führen eine doppelte Befruchtung durch	1056	39.2 Wie werden Pflanzen mit Herbivoren fertig?	1082
Embryonen entwickeln sich innerhalb von Samen	1057	Herbivorie erhöht bei manchen Pflanzen das Wachstum	1082
Die Samenkeimung wird hormonell kontrolliert	1059	Mechanische Abwehrmethoden gegen Herbivoren sind verbreitet	1083
Früchte unterstützen die Samen- ausbreitung	1059	Pflanzen bilden chemische Abwehrstoffe gegen Herbivoren	1083
38.2 Wodurch wird der Übergang vom vegetativen zum blühenden Stadium reguliert?	1060	Einige Sekundärmetaboliten haben multiple Funktionen	1084
Apikalmeristeme können sich in Infloreszenz- meristeme umwandeln	1061	Pflanzen reagieren mit (induzierter) fakultativer Abwehr auf Herbivoren	1085
Eine Kaskade von Genexpressionen führt zur Blüte	1062	Warum vergiften Pflanzen sich nicht selbst?	1086
Photoperiodische Signale können die Blüte induzieren	1062	Die Pflanze gewinnt nicht immer	1087
Pflanzen reagieren unterschiedlich auf photoperiodische Signale	1063	39.3 Wie werden Pflanzen mit Klima- extremen fertig?	1088
Die Länge der Nacht legt fest, ob eine photoperiodische Pflanze blühen wird	1063	Wüstenpflanzen sind speziell an trockene Lebensräume angepasst	1088
Der Blühstimulus entsteht in einem Blatt	1064	Sauerstoff ist in staunassen Böden Mangelware	1090
Florigen ist ein kleines Protein	1066	Pflanzen können sich an Trockenstress akklimatisieren	1091
Der Blühvorgang kann durch Temperatur oder Gibberelline induziert werden	1067	Pflanzen haben Mittel und Wege, um mit Temperaturextremen fertig zu werden	1092
Manche Pflanzenarten benötigen kein Umwelt- signal zur Blühinduktion	1068	39.4 Wie werden Pflanzen mit Salz und Schwermetallen fertig?	1093
38.3 Wie erfolgt die asexuelle Fortpflanzung von Angiospermen?	1068	Die meisten Halophyten reichern Salz an	1093
Es existieren viele Formen von asexueller Fortpflanzung	1069	Einige Pflanzen können Schwermetalle tolerieren	1094
Vegetative Fortpflanzung hat auch Nachteile	1071		
Die vegetative Fortpflanzung ist für Land- wirtschaft und Gartenbau von Bedeutung	1071		
39 Reaktionen der Pflanze auf Umweltstress.	1076		
39.1 Wie werden Pflanzen mit Pathogenen fertig?	1077		
Zur mechanischen Verteidigung gehören auch physische Barrieren	1078		
Pflanzen können infizierte Teile zur Schadensbegrenzung abriegeln	1078		
Die Antwort von Pflanzen auf Pathogene kann genetisch gesteuert sein	1079		

Teil IX

Die Physiologie der Tiere

	Fieber hilft dem Körper bei der Bekämpfung von Infektionen	1119
	Der Thermostat kann heruntergedreht werden .	1120
40	Physiologie, Homöostase und Temperaturregulation	1100
40.1	Wie erfüllen Tiere als Vielzeller die Bedürfnisse ihrer Zellen?	1101
	Ein inneres Milieu ermöglicht die Existenz komplexer vielzelliger Tiere	1101
	Physiologische Systeme halten die Homöostase aufrecht	1102
	Zellen, Gewebe, Organe und Organsysteme sind darauf spezialisiert, homöostatische Bedürfnisse zu erfüllen	1104
	Organe bestehen aus mehreren Geweben . . .	1106
40.2	Wie beeinflusst die Temperatur lebende Systeme?	1108
	Der Q_{10} -Wert ist ein Maß für die Temperaturabhängigkeit	1108
	Tiere passen sich an den jahreszeitlichen Wechsel der Temperaturen an	1109
40.3	Wie beeinflussen Tiere ihren Temperaturexaustausch mit der Umgebung? . . .	1109
	Endotherme erzeugen Stoffwechselwärme . . .	1109
	Ektotherme und Endotherme reagieren unterschiedlich auf Temperaturveränderungen .	1110
	Energiebudgets spiegeln Anpassungen zur Regulierung der Körpertemperatur wider. . . .	1111
	Sowohl Ektotherme als auch Endotherme kontrollieren ihre Hautdurchblutung	1112
	Einige Fische erhöhen regional ihre Körpertemperatur durch Wärmerückgewinnung. . . .	1113
	Einige Ektotherme regulieren ihre Wärmeproduktion	1115
40.4	Wie regulieren Säuger ihre Körpertemperatur?	1115
	Der Grundumsatz von Endothermen ist mit der Körpergröße und der Umgebungstemperatur korreliert	1116
	Endotherme reagieren auf Kälte mit Wärmeproduktion und vermindern als Anpassung an die Kälte ihren Wärmeverlust.	1117
	Wasserverdunstung bringt Kühlung, hat aber ihren Preis	1118
	Der Thermostat von Säugern arbeitet mit Feedback-Information.	1118
41	Hormone der Tiere	1124
41.1	Was sind Hormone und wie wirken sie?	1125
	Chemische Signale können lokal oder über Distanzen wirken	1126
	Hormonelle Kommunikation hat eine lange evolutionäre Geschichte	1127
	Hormone lassen sich in drei chemische Gruppen einteilen.	1130
	Hormonrezeptoren befinden sich auf der Zelloberfläche oder im Zellinneren	1130
	Die Hormonwirkung hängt vom Typ der Zielzelle und deren Rezeptoren ab	1131
41.2	Wie interagieren Nerven- und Hormonsystem?	1132
	Die Hypophyse verbindet Nervensystem und Hormonsystem	1132
	Die Adenohypophyse wird von hypothalamischen Neurohormonen kontrolliert.	1135
	Negative Rückkopplungsschleifen kontrollieren die Hormonsekretion	1136
41.3	Die wichtigsten Hormondrüsen und Hormone der Säuger.	1136
	Die Schilddrüse sezerniert Thyroxin	1137
	Drei Hormone regulieren die Calciumkonzentration im Blut.	1138
	Parathyrin senkt die Phosphatkonzentration im Blut	1140
	Insulin und Glucagon regulieren den Zuckerspiegel im Blut	1140
	Die Nebenniere ist ein Verbund zweier Hormondrüsen	1141
	Die Sexualhormone werden von den Geschlechtsorganen produziert.	1143
	Melatonin spielt bei biologischen Rhythmen und Photoperiodismus eine Rolle.	1145
	Viele chemische Verbindungen können als Hormone wirken	1145
41.4	Wie untersucht man die Wirkweise von Hormonen?	1146
	Hormone lassen sich mithilfe von Immunoassays auffinden und messen.	1146
	Ein Hormon kann durch viele Rezeptoren wirken	1146

42 Immunologie: Abwehrsysteme der Tiere	1152		
42.1 Welche wichtigen Abwehrsysteme gibt es bei Tieren?	1153		
Das Blut und die lymphatischen Gewebe spielen bei den Abwehrsystemen eine wichtige Rolle .	1154		
Weißer Blutkörperchen übernehmen viele Abwehrfunktionen	1155		
Proteine des Immunsystems binden an Krankheitserreger oder übermitteln Signale an andere Zellen	1155		
42.2 Welche Eigenschaften besitzt die angeborene unspezifische Immunabwehr?	1157		
Barrieren und lokale Faktoren verteidigen den Körper gegen Eindringlinge.	1157		
Andere unspezifische Abwehrsysteme umfassen spezialisierte Proteine und zelluläre Vorgänge	1158		
Eine Entzündung ist eine koordinierte Reaktion auf eine Infektion oder Verletzung	1159		
Eine Entzündung kann medizinische Probleme hervorrufen	1159		
Zelluläre Signalwege stimulieren die Abwehrreaktionen des Körpers.	1160		
42.3 Wie entwickelt sich die erworbene Immunität?	1161		
Die adaptive Immunität besitzt vier entscheidende Merkmale	1162		
Wie spezifische humorale und zelluläre Immunantworten interagieren: ein Überblick	1163		
Genetische Veränderungen und die klonale Selektion bringen die spezifische Immunantwort hervor.	1164		
Immunität und immunologisches Gedächtnis sind das Ergebnis der klonalen Selektion.	1165		
Impfstoffe sind eine Anwendung des immunologischen Gedächtnisses	1165		
Tiere unterscheiden zwischen körpereigenen und körperfremd und tolerieren ihre eigenen Antigene	1166		
42.4 Was ist die humorale Immunantwort?	1166		
Manche B-Zellen entwickeln sich zu Plasmazellen	1166		
Die verschiedenen Antikörper besitzen eine gemeinsame Struktur	1167		
Es gibt fünf Klassen von Immunglobulinmolekülen	1169		
Für monoklonale Antikörper gibt es zahlreiche Anwendungsmöglichkeiten	1169		
42.5 Was ist die zelluläre Immunantwort?	1171		
T-Zell-Rezeptoren binden an Antigene auf Zelloberflächen	1171		
MHC-Proteine präsentieren den T-Zellen die Antigene	1171		
T-Helferzellen und MHC-Klasse-II-Proteine tragen zur humoralen Immunantwort bei	1172		
An der zellulären Immunantwort sind cytotoxische T-Zellen und MHC-Klasse-I-Proteine beteiligt.	1173		
Regulatorische T-Zellen unterdrücken die humorale und die zelluläre Immunantwort.	1173		
MHC-Proteine sind bei Gewebetransplantationen von großer Bedeutung	1175		
42.6 Wie können Tiere so viele verschiedene Antikörper hervorbringen?	1176		
Die konstante Region spielt beim Klassenwechsel der Immunglobuline eine Rolle	1178		
42.7 Was geschieht bei einer Fehlfunktion des Immunsystems?	1179		
Allergische Reaktionen sind das Ergebnis einer Hypersensitivität.	1179		
Autoimmunkrankheiten werden durch Reaktionen gegen körpereigene Antigene ausgelöst	1180		
Aids ist eine Immunschwächekrankheit	1181		
43 Fortpflanzung der Tiere	1186		
43.1 Wie vermehren sich Tiere ohne Sex?	1187		
Knospung und Regeneration erzeugen neue Individuen durch Mitosen.	1188		
Unter Parthenogenese versteht man die Entwicklung unbefruchteter Eier	1188		
43.2 Wie pflanzen sich Tiere sexuell fort?	1189		
Eizellen und Spermazellen entstehen durch Gametogenese	1190		

	Besamung ist die Fusion der beiden Gameten, Befruchtung die Fusion ihrer Kerne	1192		
	Wie Eier und Spermien zusammenkommen	1195		
	Manchmal kann dasselbe Individuum als Männchen und als Weibchen fungieren	1197		
	Die Evolution des Fortpflanzungssystems der Wirbeltiere verlief parallel zur Eroberung des Festlands	1197		
	Tiere mit innerer Befruchtung unterscheiden sich je nachdem, wo sich der Embryo entwickelt	1198		
43.3	Wie funktioniert das menschliche Fortpflanzungssystem?	1199		
	Die männlichen Sexualorgane produzieren Samen und geben ihn ab	1199		
	Die männliche Sexualfunktion wird von Hormonen kontrolliert	1202		
	Die weiblichen Geschlechtsorgane produzieren Eizellen, nehmen Spermien auf und ernähren den Embryo	1203		
	Der Ovarialzyklus erzeugt eine reife Eizelle	1204		
	Der Menstruationszyklus bereitet eine geeignete Umgebung für die befruchtete Eizelle vor	1206		
	Hormone steuern und koordinieren Ovarial- und Menstruationszyklus	1207		
	In der Schwangerschaft übernehmen Hormone aus den extraembryonalen Membranen die Kontrolle	1208		
	Die Geburt wird von hormonellen Signalen und mechanischen Reizen ausgelöst	1208		
43.4	Wie lässt sich die menschliche Fruchtbarkeit kontrollieren?	1210		
	Der sexuelle Reaktionszyklus des Menschen weist vier Phasen auf	1210		
	Menschen nutzen eine ganze Reihe von Techniken, um ihre Fruchtbarkeit zu kontrollieren	1211		
	Reproduktionstechnologien helfen bei der Lösung von Fertilitätsproblemen	1214		
44	Entwicklung der Tiere	1220		
44.1	Wie aktivieren Besamung und Befruchtung die Entwicklung?	1221		
	Spermium und Eizelle liefern unterschiedliche Beiträge zur Zygote	1222		
	Die Reorganisation des Ooplasmas schafft die Voraussetzungen für die Determination	1222		
	Furchung: Das Cytoplasma wird neu verpackt	1223		
	Die Furchung bei Säugern ist einzigartig	1225		
	Bestimmte Blastomeren generieren bestimmte Gewebe und Organe	1226		
44.2	Wie erzeugt die Gastrulation mehr- fache Gewebelagen?	1228		
	Die Gastrulation beim Seeigel ist durch die Invagination des vegetativen Pols charakterisiert	1228		
	Die Gastrulation beginnt beim Frosch am grauen Halbmond	1229		
	Die dorsale Urmundlippe organisiert die Bildung des Embryos	1230		
	Die Wirkungen des Organisators basieren auf Transkriptionsfaktoren	1232		
	Während sich der Organisator von der dorsalen Urmundlippe wegbewegt, verändert er seine Aktivität	1232		
	Die Gastrulation von Reptilien und Vögeln ist eine Anpassung an dotterreiche Eier	1233		
	Placentale Säuger besitzen ein Gastrulations- muster wie Sauropsiden, obwohl ihren Eiern der Dotter fehlt	1235		
44.3	Wie entwickeln sich Organe und Organsysteme?	1236		
	Die dorsale Urmundlippe hat den Boden für die Organogenese bereitet	1236		
	Die Körpersegmentierung entwickelt sich im Verlauf der Neurulation	1237		
	Hox-Gene kontrollieren die Entwicklung längs der anterior-posterioren Achse	1237		
44.4	Wie wird der heranwachsende Embryo versorgt?	1239		
	An der Bildung der extraembryonalen Membran- en sind alle drei Keimblätter beteiligt	1239		
	Bei Säugern bilden die extraembryonalen Membranen die Placenta	1240		
44.5	Welche Stadien durchläuft die menschliche Entwicklung?	1241		
	Die Organentwicklung beginnt im ersten Trimester	1241		
	Im Laufe des zweiten und dritten Trimesters wachsen und reifen die Organsysteme heran	1242		

Entwicklungsprozesse setzen sich das ganze Leben fort.	1243	Die Wirkung eines Neurotransmitters hängt von dem Rezeptor ab, an der er bindet.	1269
45 Nervenzellen und Nervensysteme	1248	Vermutlich spielen Glutamatrezeptoren für Lernen und Gedächtnis eine Rolle	1269
45.1 Welche Zellen kommen nur im Nervensystem vor?	1249	Um die synaptische Reaktion abzustellen, muss der Neurotransmitter wieder von der Synapse entfernt werden.	1270
Neuronale Netze unterscheiden sich in ihrer Komplexität.	1250	Die Vielfalt der Rezeptoren ermöglicht eine spezifische Wirkung von Medikamenten	1271
Neuronen sind die funktionellen Einheiten des Nervensystems	1251	46 Sensorische Systeme	1276
Auch Gliazellen sind wichtige Bestandteile des Nervensystems	1252	46.1 Wie wandeln Sinneszellen Reize in Aktionspotenziale um?	1277
45.2 Wie erzeugen Neuronen elektrische Signale und leiten sie weiter?	1254	Sensorische Rezeptorproteine wirken auf Ionenkanäle ein.	1277
Der Nervenfunktion liegen einfache elektrische Vorgänge zugrunde.	1254	Bei der sensorischen Transduktion kommt es zu Veränderungen des Membranpotenzials	1278
Membranpotenziale lassen sich mit Elektroden messen	1254	Sinnesempfindungen hängen davon ab, welche Neuronen Aktionspotenziale von Sinneszellen empfangen	1279
Ionentransporter und Ionenkanäle erzeugen das Membranpotenzial	1255	Viele Rezeptoren adaptieren bei wiederholter Reizung	1280
Ionenkanäle und ihre Eigenschaften lassen sich nun direkt untersuchen	1258	46.2 Wie nehmen sensorische Systeme chemische Reize wahr?	1280
Ionenkanäle können das Membranpotenzial verändern.	1258	Arthropoden eignen sich gut zur Untersuchung der Chemorezeption	1280
Graduierte Veränderungen des Membranpotenzials können Information integrieren	1259	Der Geruchssinn	1281
Plötzliche Veränderungen in Ionenkanälen lösen Aktionspotenziale aus	1260	Das Vomeronasalorgan nimmt Pheromone wahr	1282
Aktionspotenziale werden ohne Signalabschwächung am Axon fortgeleitet	1261	Der Geschmackssinn	1283
Aktionspotenziale können an Axonen entlang springen	1264	46.3 Wie nehmen sensorische Systeme mechanische Kräfte wahr?	1285
45.3 Wie kommunizieren Neuronen mit anderen Zellen?	1264	Viele verschiedene Sinneszellen reagieren auf Berührung und Druck.	1285
Die motorische Endplatte ist eine klassische chemische Synapse	1265	Dehnungsrezeptoren findet man in Muskeln, Sehnen und Bändern	1286
Das Eintreffen eines Aktionspotenzials führt zur Freisetzung von Neurotransmitter	1265	Gehörsysteme verwenden Haarzellen zur Wahrnehmung von Schallwellen	1286
An synaptischen Funktionen sind viele Proteine beteiligt	1265	Haarzellen reagieren empfindlich auf Abbiegen	1289
Die postsynaptische Membran reagiert auf Neurotransmitter	1265	Haarzellen nehmen die Richtung der Schwerkraft und Drehbeschleunigungen wahr.	1290
Synapsen zwischen Neuronen können erregend oder hemmend wirken	1267	Haarzellen sind in der Evolution konserviert worden	1291
Die postsynaptische Zelle summiert erregende und hemmende Eingangssignale	1267	46.4 Wie nehmen sensorische Systeme Licht wahr?	1292
Synapsen können schnell oder langsam sein	1268	Rhodopsine sind für die Lichtempfindlichkeit verantwortlich	1292
Elektrische Synapsen sind sehr schnell, zur Integration von Information aber kaum geeignet	1268	Stäbchen reagieren auf Licht	1293
		Bei Wirbellosen gibt es eine Vielzahl visueller Systeme.	1295

	Bei Wirbeltieren und Cephalopoden haben sich unabhängig voneinander scharf abbildende Linsenaugen entwickelt.	1295			
	Die Wirbeltierretina empfängt und verarbeitet visuelle Information.	1297			
47	Das Nervensystem von Säugern: Struktur und höhere Funktionen	1304			
47.1	Wie ist das Nervensystem von Säugern organisiert?	1305			
	Eine funktionelle Organisation des Nervensystems basiert auf Informationsfluss und Informationstyp.	1305			
	Das ZNS von Wirbeltieren entwickelt sich aus dem embryonalen Neuralrohr	1306			
	Das Rückenmark leitet Information weiter und verarbeitet sie.	1307			
	Das retikuläre System aktiviert das Endhirn . .	1309			
	Das limbische System im Zentrum des Vorderhirns kontrolliert physiologische Triebe, Instinkte und Emotionen	1309			
	Großhirnregionen wechselwirken miteinander, um Bewusstsein zu erzeugen und das Verhalten zu kontrollieren	1310			
	Das menschliche Gehirn fällt aus dem Rahmen	1313			
47.2	Wie wird Information in neuronalen Netzwerken verarbeitet?	1314			
	Das autonome Nervensystem kontrolliert unwillkürliche physiologische Funktionen . . .	1314			
	Lichtmuster, die auf die Netzhaut fallen, werden von der Sehrinde integriert	1316			
	Zellen im visuellen Cortex empfangen Input von beiden Augen	1318			
47.3	Wie lassen sich höhere Gehirnfunktionen auf Zellniveau verstehen? .	1321			
	Schlafen und Träumen produziert elektrische Muster im Gehirn.	1321			
	Sprachliche Fähigkeiten sind in der linken Großhirnhemisphäre lokalisiert.	1322			
	Lernen und Gedächtnis lassen sich zum Teil in bestimmten Gehirnarealen lokalisieren.	1324			
	Die Frage „Was ist Bewusstsein?“ können wir noch immer nicht beantworten.	1325			
48	Muskeln und Skelette	1330			
48.1	Wie kontrahieren sich Muskeln?	1331			
	Gleitende Filamente bewirken, dass sich die Skelettmuskulatur kontrahiert	1331			
	Wechselwirkungen zwischen Actin und Myosin bewirken das Gleiten der Filamente	1334			
	Die Wechselwirkung zwischen Actin und Myosin wird von Calciumionen kontrolliert.	1334			
	Die Herzmuskulatur ist der Skelettmuskulatur ähnlich, mit einigen wesentlichen Unterschieden	1337			
	Die glatte Muskulatur bewirkt langsame Kontraktionen vieler innerer Organe	1337			
	Einzelne Skelettmuskelzuckungen summieren sich zu abgestuften Kontraktionen	1340			
48.2	Was bestimmt die Muskelleistung? . .	1341			
	Die Muskelfasertypen bestimmen Ausdauer und Kontraktionskraft.	1341			
	Die Kontraktionskraft eines Muskels hängt von seiner Vordehnung ab	1342			
	Training erhöht Muskelkraft und Ausdauer . . .	1342			
	Der ATP-Vorrat begrenzt die Leistungsfähigkeit des Muskels.	1343			
	Insektenmuskeln erreichen die höchsten Kontraktionsfrequenzen	1344			
48.3	Wie arbeiten Skelettsysteme und Muskeln zusammen?	1345			
	Ein Hydroskelett besteht aus Flüssigkeit in einem von Muskeln umgebenen Hohlraum. . .	1345			
	Exoskelette sind feste Außenstrukturen.	1345			
	Das Endoskelett der Wirbeltiere besteht aus Knorpel und Knochen.	1346			
	Knochen entwickelt sich aus Bindegewebe oder aus Knorpel	1348			
	Knochen, die ein gemeinsames Gelenk haben, können als Hebel wirken	1349			
49	Gasaustausch bei Tieren	1354			
49.1	Welche physikalischen Faktoren bestimmen den Atemgasaustausch? . .	1355			
	Die Diffusion wird von Konzentrationsunterschieden angetrieben	1355			
	Das Diffusionsgesetz gilt für alle gasaustauschenden Systeme.	1356			
	Luft ist ein besseres Atemmedium als Wasser .	1356			
	Hohe Temperaturen bringen Atemprobleme für Wassertiere mit sich.	1357			
	Mit zunehmender Höhe sinkt der Sauerstoffpartialdruck der Luft	1358			
	CO ₂ geht durch Diffusion verloren	1358			
49.2	Welche Anpassungen verbessern den Atemgasaustausch?	1359			
	Atemorgane haben eine große Oberfläche . . .	1359			
	Gastransport zu und von den Austauschflächen erhöht die Partialdruckgefälle	1359			

Der Körper von Insekten ist von Luftwegen durchzogen	1360	und vom linken Ventrikel in den übrigen Körper gepumpt	1387
Fischkiemen nutzen das Gegenstromprinzip, um den Gasaustausch zu maximieren	1360	Der Herzschlag wird im Herzmuskel generiert	1390
Vögel nutzen eine unidirektionale Ventilation, um den Gasaustausch zu maximieren	1361	Ein Erregungsleitungssystem koordiniert die Kontraktion des Herzmuskels	1391
Die bidirektionale Ventilation führt zu Totraum, der die Effizienz des Gasaustauschs mindert	1363	Die elektrischen Eigenschaften der Ventrikelmuskulatur erhalten die Herzkontraktion aufrecht	1392
49.3 Wie funktioniert die menschliche Lunge?	1365	Das EKG registriert die elektrische Aktivität des Herzens.	1393
Sekrete im Atmungsstrakt unterstützen die Ventilation	1365	50.4 Wodurch zeichnen sich Blut und Blutgefäße aus?	1394
Die Lunge wird durch Druckänderungen in der Brusthöhle ventiliert	1367	Erythrocyten transportieren die Atemgase	1394
49.4 Wie transportiert das Blut Atemgase?	1369	Blutplättchen spielen bei der Blutgerinnung eine Schlüsselrolle	1395
Hämoglobin kann Sauerstoff reversibel binden	1369	Blut zirkuliert in einem System von Adern durch den Körper	1396
Myoglobin hält eine Sauerstoffreserve bereit	1371	Der Materialaustausch in Kapillarbetten erfolgt durch Druckfiltration, Osmose und Diffusion	1397
Die Sauerstoffaffinität von Hämoglobin ist variabel	1371	Blut fließt durch Venen zurück zum Herzen	1399
Kohlenstoffdioxid wird von Hydrogencarbonationen im Blut transportiert	1372	Lymphgefäße führen interstitielle Flüssigkeit in den Blutkreislauf zurück	1400
49.5 Wie wird die Atmung reguliert?	1373	Gefäßerkrankungen sind Killer	1400
Die Atmung wird vom Hirnstamm kontrolliert	1373	50.5 Wie wird das Kreislaufsystem kontrolliert und reguliert?	1401
Zur Regulation der Atmung ist Feedback-Information nötig	1374	Durch Autoregulation wird die lokale Durchblutung den lokalen Bedürfnissen angepasst	1402
50 Kreislaufsysteme	1380	Der arterielle Blutdruck wird von hormonellen und neuronalen Mechanismen kontrolliert und reguliert	1403
50.1 Warum brauchen Tiere ein Kreislaufsystem?	1381	51 Ernährung, Verdauung und Resorption	1410
Manche Tiere kommen ohne Kreislaufsystem aus	1381	51.1 Was muss die Nahrung Tieren liefern?	1411
Kreislaufsysteme können offen oder geschlossen sein	1382	Energiebedarf und Energieausgaben lassen sich messen.	1411
Offene Kreislaufsysteme bewegen extrazelluläre Flüssigkeit	1382		
Geschlossene Kreislaufsysteme lassen Blut durch Gewebe zirkulieren.	1382		
50.2 Wie haben sich die Kreislaufsysteme von Wirbeltieren im Laufe der Evolution entwickelt?	1384		
Fische haben ein zweikammeriges Herz	1384		
Amphibien haben ein dreikammeriges Herz	1385		
Sauropsiden können Lungen- und Körperkreislauf ausgezeichnet kontrollieren.	1386		
Bei Vögeln und Säugern sind Lungen- und Körperkreislauf vollständig getrennt	1386		
50.3 Wie funktioniert das Säugerherz?	1387		
Blut wird vom rechten Ventrikel in die Lunge			

Energiereserven können im Körper gespeichert werden	1412	52	Salzhaushalt, Wasserhaushalt und Stickstoffausscheidung . . .	1442
Nahrung liefert die Kohlenstoffgerüste für die Biosynthese	1414	52.1	Wie erhalten Exkretionssysteme die Homöostase aufrecht?	1443
Für zahlreiche Funktionen brauchen Tiere Mineralstoffe	1415		Wasser gelangt durch Osmose in Zellen hinein und aus Zellen heraus	1443
Tiere müssen Vitamine mit der Nahrung aufnehmen	1417		Exkretionsorgane kontrollieren die Osmolarität der Gewebeflüssigkeit durch Druckfiltration, Sekretion und Reabsorption	1444
51.2	Wie nehmen Tiere Nahrung auf und verdauen sie?	1419	Tiere können Osmokonformer oder Osmoregulierer sein.	1444
	Die Nahrung von Herbivoren ist häufig energiearm und schwer verdaulich	1419	Tiere können Ionenkonformer oder Ionenregulierer sein	1445
	Carnivoren müssen Beute entdecken, fangen und töten	1420	52.2	Wie scheiden Tiere Stickstoff aus? . . .
	Wirbeltierarten haben unterschiedliche Zähne .	1420		Tiere scheiden Stickstoff in unterschiedlicher Form aus
	Die Verdauung findet gewöhnlich in einer nach außen offenen Körperhöhle statt	1421		Die meisten Arten erzeugen mehr als nur ein einziges stickstoffhaltiges Abfallprodukt
	Ein durchgehender Verdauungstrakt ist an beiden Enden offen	1421	52.3	Wie funktionieren die Exkretionssysteme von Wirbellosen?
	Verdauungsenzyme bauen komplexe Nahrungsmoleküle ab	1422		Die Protonephridien von Plattwürmern scheiden Wasser aus und konservieren Salze.
51.3	Wie funktioniert der Verdauungstrakt von Wirbeltieren?	1423		Die Metanephridien von Ringelwürmern verarbeiten Coelomflüssigkeit
	Der Wirbeltierdarm besteht aus konzentrischen Gewebsschichten	1424		Die Malpighi-Gefäße von Insekten arbeiten mit aktivem Transport.
	Mechanische Aktivität bewegt die Nahrung durch den Darm und unterstützt die Verdauung	1425	52.4	Wie erhalten Wirbeltiere ihren Salz- und Wasserhaushalt aufrecht?
	Die chemische Verdauung beginnt in Mund und Magen	1426		Marine Fische müssen Wasser sparen
	Magengeschwüre können von einem Bakterium hervorgerufen werden	1426		Landlebende Amphibien und Reptilien müssen Austrocknung vermeiden
	Der Magen lässt seinen Inhalt nach und nach in den Dünndarm übertreten	1428		Säuger können einen hoch konzentrierten Harn produzieren.
	Der größte Teil der Verdauung findet im Dünndarm statt	1428		Das Nephron ist die funktionelle Einheit der Wirbeltierniere
	Nährstoffe werden im Dünndarm resorbiert . .	1430		Blut wird in die Bowman-Kapsel gefiltert . . .
	Resorbierte Nährstoffe werden zur Leber transportiert	1431		Die Nierentubuli wandeln das glomeruläre Ultrafiltrat in Harn um
	Wasser und Ionen werden im Dickdarm resorbiert	1432	52.5	Wie erzeugt die Säugerniere einen konzentrierten Harn?
	Pflanzenfresser verlassen sich bei der Celluloseverdauung auf Mikroorganismen	1432		Die Nieren produzieren Harn, der in der Harnblase gespeichert wird.
51.4	Wie wird der Nährstofffluss kontrolliert und reguliert?	1433		Die Nephronen sind in der Niere regelmäßig angeordnet
	Viele Verdauungsfunktionen werden von Hormonen kontrolliert	1433		Der größte Teil des glomerulären Ultrafiltrats wird in den proximalen Tubuli zurückgewonnen.
	Die Leber reguliert den Umsatz energiereicher Moleküle	1434		Die Henle-Schleife erzeugt im Nierenmark einen Konzentrationsgradienten
	Die Regulation der Nahrungsaufnahme ist wichtig	1436		Die Wasserpermeabilität der Nierentubuli hängt von Wasserkanälen ab
	Die Leber entgiftet den Körper	1437		

Der distale Tubulus ist für die Feinzusammensetzung des Harns verantwortlich 1458
 Harn wird im Sammelrohr konzentriert 1459
 Die Nieren unterstützen die Regulation des Säure-Basen-Gleichgewichts 1459
 Nierenversagen wird mit einer Dialyse behandelt 1461

52.6 Wie wird die Nierenfunktion reguliert? 1462
 Die glomeruläre Filtrationsrate wird reguliert . 1462
 Blutosmolarität und Blutdruck werden von ADH reguliert 1463
 Das Herz produziert ein Hormon, das zur Senkung des Blutdrucks beiträgt 1465

53 Verhalten von Tieren. 1470

53.1 Auf welchen Ursprüngen basiert die Verhaltensbiologie? 1471
 Im Zentrum des Behaviorismus stand Konditionierung 1471
 Die Ethologen konzentrierten sich auf fixierte Handlungsmuster 1472
 Ethologen fragen nach den Ursachen von Verhalten 1474

53.2 Wie können Gene das Verhalten beeinflussen? 1475
 Kreuzungsexperimente können zeigen, ob Verhaltensphänotypen genetisch determiniert sind 1475
 Knock-out-Experimente können die Rolle spezifischer Gene enthüllen. 1475
 Verhalten werden von Genkaskaden kontrolliert 1477

53.3 Wie entwickelt sich Verhalten? 1478
 Hormone können Möglichkeit und Zeitpunkt eines Verhaltens bestimmen 1478
 Einige Verhaltensweisen können nur zu bestimmten Zeiten erworben werden 1478

Das Erlernen des Vogelgesangs beruht auf Vererbung, Prägung und hormonell gesteuerter Zeitwahl 1480
 Zeitwahl und Expression des Vogelgesangs stehen unter hormoneller Kontrolle. 1481

53.4 Wie evolviert Verhalten? 1482
 Tiere müssen wählen, wie sie sich verhalten . . 1482
 Eine Kosten-Nutzen-Analyse lässt sich auf den Nahrungserwerb anwenden 1485

53.5 Welche physiologischen Mechanismen liegen dem Verhalten zugrunde? 1487
 Biologische Rhythmen koordinieren Verhalten mit Umweltzyklen 1488
 Tiere finden sich in ihrer Umwelt zurecht. . . . 1489
 Tiere setzen zahlreiche Sinnesmodalitäten zur Kommunikation ein 1493

53.6 Wie hat sich soziales Verhalten entwickelt? 1495
 Paarungssysteme maximieren die Fitness beider Partner 1496
 Fitness kann mehr als die Produktion von Nachwuchs umfassen. 1497
 Eusozialität ist das Ergebnis extremer Verwandtenselektion 1498
 Gruppenleben bringt Vor- und Nachteile mit sich 1499

Teil X Ökologie

54 Ökologie und die Verbreitung der Organismen 1506

54.1 Was ist Ökologie? 1507
 Ökologie ist nicht gleich Ökologismus 1508
 Ökologen erforschen sowohl die biotischen als auch die abiotischen Bestandteile von Ökosystemen 1508

54.2 Warum variieren die klimatischen Bedingungen je nach geographischer Breite? 1508
 Treibende Kraft für das weltweite Klima ist die Zufuhr an Sonnenenergie 1509
 Die Zufuhr an Sonnenenergie bestimmt die Zirkulationsmuster in der Atmosphäre 1509
 Die Windströmungen bilden die treibende Kraft für die globale ozeanische Zirkulation . . 1510

	Organismen passen sich an klimatische Herausforderungen an	1511			
54.3	Was ist ein Biom?	1513			
	Tundra findet sich in hohen Breiten und in großen Höhen.	1515			
	In den borealen Wäldern dominieren immergrüne Bäume.	1516			
	Die sommergrünen Wälder der gemäßigten Zone verändern sich mit den Jahreszeiten . . .	1517			
	Grasländer der gemäßigten Zonen sind weit verbreitet	1518			
	Hitzewüsten bilden sich im Bereich des 30. Breitengrads	1519			
	Die trockenen Kältewüsten finden sich in größeren Höhen	1520			
	In der Hartlaubzone sind die Sommer heiß und trocken, die Winter kühl und feucht	1521			
	In Dornwäldern und Savannen herrscht ein ähnliches Klima	1522			
	Laubabwerfende tropische Wälder kommen in heißen Tiefländern vor	1523			
	Immergrüne tropische Wälder sind sehr artenreich.	1524			
	Die Verteilung der Biome wird nicht nur von der Temperatur bestimmt.	1525			
54.4	Was versteht man unter einer biogeographischen Region?	1525			
	Die Erdgeschichte hat sich auf die Verbreitung von Organismen ausgewirkt	1525			
	Zwei wissenschaftliche Fortschritte veränderten das Gebiet der Biogeographie	1527			
	Nach der Vereinigung von Landmassen kommt es zu einem Austausch von Fauna und Flora . .	1529			
	Vikarianzen beeinflussen die Verbreitungsmuster	1529			
	Der Mensch übt einen mächtigen Einfluss auf biogeographische Verbreitungsmuster aus . . .	1531			
54.5	Wie sind Organismen in aquatischen Lebensräumen verbreitet?	1532			
	Die Ozeane können in mehrere Lebenszonen unterteilt werden	1532			
	Limnische Lebensräume können sehr artenreich sein	1534			
	Ästuare weisen Merkmale limnischer und mariner Lebensräume auf.	1534			
55	Populationsökologie	1538			
55.1	Wie erforschen Ökologen Populationen?	1539			
	Ökologen wenden verschiedene Methoden zum Identifizieren und Zählen von Individuen an . .	1540			
				Die Populationsdichte lässt sich anhand von Stichproben abschätzen	1540
				Populationen weisen eine bestimmte Altersstruktur und ein charakteristisches Verteilungsmuster auf	1541
				Durch wiederholte Ermittlung der Populationsdichte lassen sich Veränderungen der Populationsgröße abschätzen.	1542
				Mit Lebensstafeln lassen sich demographische Ereignisse aufzeichnen	1543
55.2	Wie wirken sich die Umweltbedingungen auf Lebenszyklen aus?	1546			
	Überlebenswahrscheinlichkeit und Fruchtbarkeit bestimmen die intrinsische Wachstumsrate einer Population	1546			
	Lebenszyklusmerkmale variieren mit den Umweltbedingungen	1546			
	Lebenszyklusmerkmale werden durch interspezifische Wechselbeziehungen beeinflusst . .	1547			
55.3	Welche Faktoren begrenzen die Populationsdichte?	1548			
	Alle Populationen haben das Potenzial für ein exponentielles Wachstum.	1548			
	Logistisches Wachstum tritt auf, wenn eine Population ihre Umweltkapazität erreicht . . .	1549			
	Das Populationswachstum kann durch dichteabhängige oder dichteunabhängige Faktoren begrenzt werden	1550			
	Unterschiedliche Regulationsfaktoren führen zur Entstehung verschiedener Lebenszyklen . .	1550			

	Mehrere Faktoren erklären, warum einige Arten eine höhere Populationsdichte erreichen als andere	1550			
	Die Häufigkeit von Arten lässt sich durch ihre Evolutionsgeschichte erklären	1552			
55.4	Wie wirken sich Habitatvariationen auf die Populationsdynamik aus?	1553			
	Viele Populationen leben in isolierten Habitatinseln	1553			
	Korridore können den Fortbestand von Subpopulationen ermöglichen	1554			
55.5	Wie lässt sich ein wissenschaftlich abgesichertes Populationsmanagement durchführen?	1555			
	Pläne für ein Populationsmanagement müssen Lebenszyklusstrategien berücksichtigen	1555			
	Die Prinzipien der Populationsdynamik müssen die Richtschnur für Maßnahmen zum Populationsmanagement bilden	1555			
	Der Anstieg der menschlichen Bevölkerung verlief exponentiell	1557			
56	Wechselbeziehungen zwischen Arten und Koevolution	1562			
56.1	Welche Formen von Wechselbeziehungen erforschen Ökologen?	1563			
	Die Wechselbeziehungen zwischen Arten lassen sich in mehrere Kategorien einordnen	1563			
	Manche Formen von Wechselbeziehungen bewirken eine Koevolution	1566			
56.2	Wie evolvieren antagonistische Wechselbeziehungen?	1566			
	Interaktionen zwischen Räuber und Beute führen zu vielfältigen Anpassungen	1567			
	Herbivorie ist eine sehr verbreitete Wechselbeziehung.	1570			
	Interaktionen zwischen Mikroparasiten und ihren Wirten können pathogen sein	1572			
	Die meisten Ektoparasiten verfügen über Anpassungen, mit denen sie sich an ihren Wirten Halt verschaffen.	1572			
56.3	Wie evolvieren symbiotische Wechselbeziehungen?	1573			
	Zwischen Pflanzen und Bestäubern erfolgt ein Austausch von Nahrung für die Übertragung von Pollen.	1574			
	Zwischen Pflanzen und Fruchtfressern findet ein Tausch von Nahrung gegen den Transport von Samen statt	1576			
	Manche Symbiosepartner tauschen Nahrung gegen Fürsorge oder Transport	1577			
	Manche Symbiosepartner bieten Nahrung als Austausch gegen Behausung und Schutz.	1577			
56.4	Wozu kann interspezifische Konkurrenz führen?	1579			
	Konkurrenz ist weit verbreitet, weil alle Arten sich Ressourcen teilen	1579			
	Interferenzkonkurrenz kann die Habitatnutzung einschränken	1580			
	Ausbeutungskonkurrenz kann zu einer Koexistenz führen.	1580			
	Arten können auch indirekt um eine Ressource konkurrieren	1581			
	Konsumenten können den Ausgang einer Konkurrenzsituation beeinflussen.	1581			
	Konkurrenz kann die Nische einer Art festlegen	1581			
57	Ökologie von Biozöosen	1586			
57.1	Was sind Biozöosen?	1587			
	Energie gelangt durch die Primärproduzenten in Biozöosen.	1588			
	Konsumenten nutzen unterschiedliche Energiequellen	1588			
	Auf höheren trophischen Ebenen können weniger Individuen ernährt und weniger Biomasse produziert werden	1589			
	Produktivität und Artenreichtum sind miteinander verknüpft	1590			
57.2	Wie wirken sich interspezifische Wechselbeziehungen auf die Struktur einer Biozönose aus?	1592			
	Durch interspezifische Wechselbeziehungen können trophische Kaskaden entstehen	1592			

	Schlüsselarten haben weitreichende Auswirkungen	1593		Anthropogene Einflüsse verändern den Energiefluss	1618
57.3	Welche Muster der Artenvielfalt haben Ökologen beobachtet?	1594	58.3	Wie gehen die Stoffkreisläufe durch das globale Ökosystem vonstatten? . .	1619
	Der Diversitätsindex ist ein Maß für die Biodiversität einer Lebensgemeinschaft	1595		Durch Wasser werden Stoffe zwischen den Kompartimenten übertragen	1620
	In beiden Hemisphären sind Breitengradabhängige Diversitätsgradienten zu beobachten	1596		Feuer ist eine wesentliche Antriebskraft für die Kreisläufe der Elemente.	1620
	Nach der Theorie der Inselbiogeographie erreicht der Artenreichtum irgendwann ein Gleichgewicht	1597		Der Kohlenstoffkreislauf wurde durch menschliche Aktivitäten verändert	1621
57.4	Wie wirken sich Störungen auf Biozönosen aus?	1600		Störungen des Stickstoffkreislaufs haben sich in jüngerer Zeit nachteilig auf Ökosysteme ausgewirkt	1625
	Eine ökologische Sukzession ist ein vorhersehbarer Ablauf von Veränderungen in einer Biozönose nach einer Störung	1600		Die Verbrennung fossiler Brennstoffe wirkt sich auf den Schwefelkreislauf aus	1627
	Die Sukzession wird durch Förderung und Hemmung beeinflusst.	1602		Dem globalen Phosphorkreislauf fehlt eine nennenswerte atmosphärische Komponente . .	1628
	Eine zyklische Sukzession erfordert eine Anpassung an periodische Störungen	1602		Auch andere biogeochemische Kreisläufe sind von Bedeutung	1630
	Heterotrophe Sukzession erzeugt charakteristische Biozönosen	1603	58.4	Welche Dienstleistungen liefern Ökosysteme?	1632
57.5	Wie wirkt sich der Artenreichtum auf die Stabilität von Biozönosen aus? . .	1604	58.5	Welche Möglichkeiten für ein nachhaltiges Management von Ökosystemen gibt es?	1633
	In artenreichen Biozönosen werden die Ressourcen effizienter genutzt	1604			
	Natürliche und vom Menschen beeinflusste Biozönosen unterscheiden sich in ihrer Diversität, Produktivität und Stabilität	1604			
58	Ökosysteme und globale Ökologie.	1610	59	Naturschutzbiologie	1640
58.1	Aus welchen Kompartimenten besteht das globale Ökosystem?	1611	59.1	Was ist Naturschutzbiologie?	1641
	In Ökosystemen finden Energiefluss und Stoffkreisläufe statt	1611		Naturschutzbiologie hat zum Ziel, die biologische Vielfalt durch entsprechende Managementmaßnahmen zu bewahren	1642
	Die Atmosphäre reguliert die Temperatur an der Erdoberfläche.	1613		Die biologische Vielfalt ist für die menschliche Gesellschaft von hohem Wert.	1643
	Die Meere erhalten Stoffe aus den anderen Kompartimenten	1615	59.2	Wie prognostizieren Biologen Veränderungen der biologischen Vielfalt? . .	1643
	Durch Seen und Flüsse erfolgt ein rascher Durchfluss des Wassers	1615		Unser Wissen über die biologische Vielfalt ist noch sehr unvollständig	1644
	Etwa ein Viertel der Erdoberfläche ist von Land bedeckt	1617		Die Auswirkungen menschlicher Aktivitäten auf die Biodiversität lassen sich vorhersagen .	1644
58.2	Wie erfolgt der Energiefluss durch das globale Ökosystem?	1617	59.3	Welche Faktoren bedrohen die Existenz von Arten?	1646
	Der Energiefluss ist geographisch ungleichmäßig verteilt.	1617		Arten geraten durch Degradation, Zerstörung und Fragmentierung ihrer Habitate in Gefahr, auszusterben	1646
				Viele Arten wurden durch Übernutzung ausgerottet	1648
				Zahlreiche Arten sind durch invasive Räuber, Konkurrenten und Krankheitserreger bedroht .	1649

	Ein rapider Klimawandel kann das Aussterben von Arten bewirken	1650
59.4	Mit welchen Strategien versuchen Biologen die Biodiversität zu bewahren?	1651
	Schutzgebiete bewahren Habitate und verhindern eine Übernutzung.	1651
	Vom Menschen veränderte Ökosysteme können wieder restauriert werden	1652
	Bisweilen müssen auch Störungsmuster wiederhergestellt werden.	1654
	Für die Erhaltung mancher Arten ist ein Handelsverbot unabdingbar	1654
	Invasionen gebietsfremder Arten müssen kontrolliert oder verhindert werden	1656
	Biodiversität kann einen Marktwert besitzen .	1657
	Schon einfache Veränderungen können zu einer Erhaltung der Biodiversität beitragen . .	1659
	Manche Arten können auch durch	

	Erhaltungszuchtprogramme vor dem Aussterben bewahrt werden	1660
	Das Vermächtnis von Samuel Plimsoll	1661

Anhang A

	Der Stammbaum des Lebens	1665
--	---	------

Anhang B

	Einige in der Biologie gebräuchliche Einheiten	1683
--	---	------

	Glossar	1685
--	--------------------------	------

	Bildnachweise	1779
--	--------------------------------	------

	Index	1791
--	------------------------	------