

# 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

<b>1</b>	<b>Die Erforschung des Lebens. . . .</b>	<b>2</b>		
<b>1.1</b>	<b>Was ist Biologie? . . . . .</b>	<b>3</b>		
	Zellen sind die Grundeinheiten des Lebens. . .	5		
	Alle Lebewesen haben eine gemeinsame Stammesgeschichte . . . . .	6	<b>1.3</b>	<b>Wie erforschen Biologen das Leben? .</b>
	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
<b>1.2</b>	<b>Wie sind die Lebewesen der Erde miteinander verwandt? . . . . .</b>	<b>11</b>		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	<b>1.4</b>	<b>Wie beeinflusst die Biologie politisches Handeln? . . . . .</b>
	Biologen können den Stammbaum des Lebens rekonstruieren . . . . .	15		22
	Der Stammbaum des Lebens erlaubt Vorhersagen . . . . .	16	<b>2</b>	<b>Leben und Chemie: kleine Moleküle . . . . .</b>
				26
			<b>2.1</b>	<b>Wie beeinflusst der atomare Aufbau die Eigenschaften der Materie? . . . . .</b>
				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
<b>2.2</b>	<b>Wie verbinden sich Atome zu Molekülen?</b> . . . . .	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	<b>3.3</b>	<b>Welche chemische Struktur besitzen Kohlenhydrate und was können sie?</b> . . . . .	65
	Polare und unpolare Substanzen interagieren am besten mit ihresgleichen . . . . .	37		Monosaccharide sind strukturell sehr vielfältig. Glykosidische Bindungen verknüpfen Monosaccharide . . . . .	66
<b>2.3</b>	<b>Wie läuft der Partnerwechsel bei Atomen in chemischen Reaktionen ab?</b> . . . . .	38		Polysaccharide dienen als Energiespeicher oder Strukturmaterial . . . . .	68
<b>2.4</b>	<b>Weshalb hat Wasser für das Leben eine so große Bedeutung?</b> . . . . .	40	<b>3.4</b>	<b>Welche chemische Struktur besitzen Lipide und warum sind sie biologisch wichtig?</b> . . . . .	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			
<b>3</b>	<b>Proteine, Kohlenhydrate und Lipide</b> . . . . .	50	<b>4</b>	<b>Nucleinsäuren und die Entstehung des Lebens</b> . . . . .	78
<b>3.1</b>	<b>Welche Makromoleküle kommen in Lebewesen vor?</b> . . . . .	51	<b>4.1</b>	<b>Welche chemische Struktur haben Nucleinsäuren und wie speichern sie Information?</b> . . . . .	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
<b>3.2</b>	<b>Welche chemische Struktur besitzen Proteine und wie funktionieren sie?</b> . . . . .	55	<b>4.2</b>	<b>Wie und wo entstanden die Bausteine des Lebens, die Biomonomere?</b> . . . . .	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	<b>4.3</b>	<b>Wie entstanden die für das Leben typischen Makromoleküle?</b> . . . . .	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

	Kohlenhydrate der Plasmamembran dienen der Erkennung . . . . .	144			
<b>6.2</b>	<b>Wie ist die Plasmamembran an der gegenseitigen Erkennung und der Adhäsion von Zellen beteiligt?</b> . . . . .	145			
	An Zell-Zell-Erkennung und Zell-Zell-Adhäsion sind Proteine auf der Zelloberfläche beteiligt .	145			
	Drei Typen von Zell-Zell-Verbindungen verbinden benachbarte Tierzellen . . . . .	146			
	Plasmamembranen sind mit der extrazellulären Matrix verbunden. . . . .	148			
<b>6.3</b>	<b>Welches sind die Wege des passiven Membrantransports?</b> . . . . .	149			
	Diffusion ist die zufällige ungerichtete Bewegung von Teilchen und führt zu einem Gleichgewichtszustand . . . . .	149			
	Einfache Diffusion erfolgt durch die Lipiddoppelschicht der Membran . . . . .	150			
	Osmose ist die Diffusion von Wasser durch Membranen. . . . .	151			
	Die Diffusion kann durch Kanalproteine erleichtert werden . . . . .	152			
	Transportproteine fördern die Diffusion durch Substanzbindung . . . . .	155			
<b>6.4</b>	<b>Welches sind die Wege des aktiven Membrantransports?</b> . . . . .	157			
	Aktiver Transport ist gerichtet . . . . .	157			
	Primär aktiver Transport und sekundär aktiver Transport unterscheiden sich in ihren Energiequellen . . . . .	158			
<b>6.5</b>	<b>Wie gelangen Makromoleküle in die Zelle hinein oder aus ihr heraus?</b> . . . . .	159			
	Makromoleküle und noch größere Partikel gelangen durch Endocytose in die Zelle . . . . .	160			
	Rezeptorvermittelte Endocytose ist hochspezifisch . . . . .	160			
	Exocytose befördert Material aus der Zelle hinaus . . . . .	161			
<b>6.6</b>	<b>Welche weiteren Funktionen haben Biomembranen?</b> . . . . .	162			
<b>7</b>	<b>Signalübertragung und Kommunikation zwischen Zellen</b> . . . . .	168			
<b>7.1</b>	<b>Welche Signale gibt es und wie reagieren Zellen darauf?</b> . . . . .	169			
	Zellen empfangen physikalische Reize und chemische Signale aus ihrer Umwelt . . . . .	169			
	Ein Signalübertragungsweg besteht aus einem Signal, einem Rezeptor und Reaktionen . . . . .	170			
<b>7.2</b>	<b>Wie lösen Rezeptoren chemischer Signale eine zelluläre Reaktion aus?</b> . . . . .	173			
	Rezeptoren haben spezifische Bindungsstellen für ihr Signalmolekül . . . . .	173			
	Rezeptoren chemischer Signale können nach Lokalisation und Funktion eingeteilt werden . . . . .	174			
<b>7.3</b>	<b>Wie wird die Reaktion auf ein Signal in die Zelle übertragen?</b> . . . . .	178			
	Eine Proteinkinasenkaskade verstärkt die Reaktion auf die Bindung eines Liganden . . . . .	178			
	Sekundäre Messenger können Proteinkinasenkaskaden auslösen . . . . .	180			
	Sekundäre Messenger können sich aus Lipiden ableiten . . . . .	181			
	Bei zahlreichen Signaltransduktionswegen sind Calciumionen beteiligt . . . . .	182			
	Stickstoffmonoxid kann bei der Signalübertragung mitwirken . . . . .	182			
	Die Signalübertragung ist hochgradig reguliert . . . . .	183			
<b>7.4</b>	<b>Wie verändern sich Zellen als Reaktion auf Signale?</b> . . . . .	185			
	Das Öffnen von Ionenkanälen als Reaktion auf ein Signal . . . . .	185			
	Als Reaktion auf Signale ändert sich die Aktivität von Enzymen . . . . .	185			
	Signale können die Transkription von DNA auslösen . . . . .	186			
<b>7.5</b>	<b>Wie kommunizieren Zellen direkt miteinander?</b> . . . . .	187			
	Tierzellen kommunizieren direkt über Gap Junctions. . . . .	188			
	Pflanzenzellen kommunizieren über Plasmodesmen . . . . .	188			
			<b>Teil III</b>		
			<b>Zellen und Energie</b>		
<b>8</b>	<b>Energie, Enzyme und Stoffwechsel</b> . . . . .	194			
<b>8.1</b>	<b>Welche physikalischen Prinzipien liegen der biologischen Energieumwandlung zugrunde?</b> . . . . .	195			
	Es gibt zwei grundlegende Formen der Energie und zwei Arten von Stoffwechselreaktionen . . . . .	196			

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		
<b>8.2 Welche Rolle spielt ATP bei der biochemischen Energieübertragung?</b> . . . . .	201		
Die Hydrolyse von ATP setzt Energie frei . . . . .	201		
ATP koppelt exergonische und endergonische Reaktionen . . . . .	202		
<b>8.3 Was sind Enzyme?</b> . . . . .	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		
<b>8.4 Wie funktionieren Enzyme?</b> . . . . .	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		
<b>8.5 Wie wird die Enzymaktivität reguliert?</b> . . . . .	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		
<b>9 Stoffwechselwege zur Gewinnung chemischer Energie.</b> . . . . .	220		
<b>9.1 Wie wird bei der Oxidation von Glucose Energie freigesetzt?</b> . . . . .	221		
Während des Glucoseabbaus speichern Zellen freie Energie . . . . .	222		
Redoxreaktionen übertragen Elektronen und Energie . . . . .	223		
		Das Coenzym NAD <sup>+</sup> spielt eine Schlüsselrolle bei der Elektronenübertragung in Redoxreaktionen . . . . .	223
		Die Freisetzung von Energie aus Glucose im Überblick . . . . .	224
	<b>9.2</b>	<b>Welches sind die aeroben Stoffwechselwege des Glucoseabbaus?</b> . . . . .	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 <sub>2</sub> . . . . .	229
		Der Citratzyklus wird durch die Konzentrationen der Ausgangssubstanzen reguliert . . . . .	231
	<b>9.3</b>	<b>Wie entsteht durch oxidative Phosphorylierung ATP?</b> . . . . .	231
		Die Atmungskette transportiert Elektronen und setzt Energie frei . . . . .	232
		Die Protonendiffusion wird mit der ATP-Synthese gekoppelt . . . . .	233
	<b>9.4</b>	<b>Wie läuft die anaerobe Energiegewinnung aus Glucose ab?</b> . . . . .	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
	<b>9.5</b>	<b>Wie sind Stoffwechselwege miteinander verknüpft und wie werden sie reguliert?</b> . . . . .	239
		Katabolismus und Anabolismus sind miteinander verknüpft . . . . .	239
		Katabolismus und Anabolismus sind eng miteinander verzahnt . . . . .	241
		Stoffwechselwege werden reguliert . . . . .	241
	<b>10</b>	<b>Photosynthese: Energie aus dem Sonnenlicht</b> . . . . .	246
	<b>10.1</b>	<b>Was ist Photosynthese?</b> . . . . .	247
		Wie Experimente mit Isotopen zeigten, stammt das in der Photosynthese gebildete O <sub>2</sub> aus dem H <sub>2</sub> O . . . . .	248
		Die Photosynthese lässt sich in zwei Abschnitte teilen . . . . .	249
	<b>10.2</b>	<b>Wie wird in der Photosynthese Lichtenergie in chemische Energie umgewandelt?</b> . . . . .	250

		<b>10.4 Wie kompensieren Pflanzen die funktionellen Defizite der Photosynthese?</b> . . . . .	262
		Die Rubisco katalysiert die Reaktion von RuBP sowohl mit O <sub>2</sub> als auch mit CO <sub>2</sub> . . . . .	263
		In C <sub>3</sub> -Pflanzen findet Photorespiration statt, in C <sub>4</sub> -Pflanzen nicht. . . . .	264
		Auch CAM-Pflanzen verwenden die PEP-Carboxylase . . . . .	266
		<b>10.5 Wie tritt die Photosynthese mit anderen Stoffwechselwegen in Wechselwirkung?</b> . . . . .	267
		<b>Teil IV</b>	
		<b>Gene und Vererbung</b>	
		<b>11 Zellzyklus und Zellteilung</b> . . . . .	274
		<b>11.1 Wie teilen sich prokaryotische und eukaryotische Zellen?</b> . . . . .	275
		Prokaryoten teilen sich durch binäre Spaltung . . . . .	276
		Eukaryotische Zellen teilen sich durch Mitose oder Meiose, an die sich die Cytokinese anschließt. . . . .	277
		<b>11.2 Wie wird die Zellteilung bei den Eukaryoten kontrolliert?</b> . . . . .	278
		Spezifische Signale lösen die Ereignisse des Zellzyklus aus. . . . .	279
		Wachstumsfaktoren können Zellen zur Teilung stimulieren . . . . .	281
		<b>11.3 Was geschieht bei der Mitose?</b> . . . . .	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
		<b>11.4 Welche Funktion besitzt die Zellteilung bei einem geschlechtlichen Lebenszyklus?</b> . . . . .	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	
<b>10.3</b>	<b>Wie werden mithilfe chemischer Energie Kohlenhydrate gebildet?</b> . . . . .	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		
<b>11.5 Was geschieht während der Meiose?</b> . . . . .	292	<b>12.2 Welche Wechselwirkungen gibt es zwischen den Allelen?</b> . . . . .	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	Einige Allele zeigen mehrere phänotypische Effekte . . . . .	325
<b>11.6 Wie können in einem lebenden Organismus Zellen sterben?</b> . . . . .	299	<b>12.3 Welche Wechselwirkungen gibt es zwischen den Genen?</b> . . . . .	326
<b>11.7 Wie führt eine nicht regulierte Zellteilung zu Krebs?</b> . . . . .	300	Die Stärke von Hybriden entsteht durch neue Kombinationen und Wechselwirkungen von Genen . . . . .	326
Krebszellen unterscheiden sich von normalen Zellen . . . . .	300	Die Umgebung beeinflusst die Genaktivität . . . . .	327
Krebszellen verlieren die Kontrolle über den Zellzyklus und die Apoptose . . . . .	301	Die meisten komplexen Phänotypen werden durch mehrere Gene und die Umgebung bestimmt . . . . .	328
Behandlungsmethoden gegen Krebs zielen auf den Zellzyklus ab . . . . .	302	<b>12.4 Welche Beziehung besteht zwischen Genen und Chromosomen?</b> . . . . .	329
<b>12 Vererbung, Gene und Chromosomen</b> . . . . .	308	Gene auf demselben Chromosom sind gekoppelt . . . . .	329
<b>12.1 Wie lauten die Mendel'schen Vererbungsregeln?</b> . . . . .	309	Gene können zwischen den Chromatiden ausgetauscht werden . . . . .	330
Mendel führte in die Versuche zur Vererbung neue Methoden ein . . . . .	310	Genetiker können Chromosomenkarten erstellen . . . . .	331
Mendel entwickelte einen sorgfältigen Experimentierplan . . . . .	311	Geschlechtsbestimmung und geschlechtsgekoppelte Vererbung . . . . .	331
Mendel führte in seinen ersten Experimenten Monohybridenkreuzungen durch . . . . .	312	Die Gene auf den Geschlechtschromosomen werden auf besondere Weise vererbt . . . . .	334
Allele sind verschiedene Formen eines Gens . . . . .	314	Beim Menschen gibt es zahlreiche geschlechtsgekoppelte Merkmale . . . . .	336
Nach Mendels erster Regel sind im monohybriden Erbgang die Individuen der F <sub>1</sub> -Generation gleich (Uniformitätsregel) . . . . .	315	<b>12.5 Welche Auswirkungen haben die Gene außerhalb des Zellkerns?</b> . . . . .	337
Nach Mendels zweiter Regel trennen sich die beiden Allele eines Gens in der F <sub>2</sub> -Generation in einem bestimmten Zahlenverhältnis auf (Spaltungsregel) . . . . .	315	<b>12.6 Wie werden Gene bei Prokaryoten übertragen?</b> . . . . .	338
Mendel verifizierte seine Hypothese, indem er eine Rückkreuzung durchführte . . . . .	316	Bakterien tauschen Gene durch Konjugation aus . . . . .	338
Nach Mendels dritter Regel verteilen sich Allele von verschiedenen Genen unabhängig voneinander (Unabhängigkeitsregel) . . . . .	317	Plasmide übertragen Gene zwischen Bakterien . . . . .	339
		<b>13 DNA und ihre Funktion bei der Vererbung</b> . . . . .	346
		<b>13.1 Wie lässt sich nachweisen, dass Gene aus DNA bestehen?</b> . . . . .	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			
<b>13.2</b>	<b>Welche Struktur hat die DNA?</b> . . . . .	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			
<b>13.3</b>	<b>Wie wird die DNA repliziert?</b> . . . . .	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			
<b>13.4</b>	<b>Wie werden Fehler in der DNA repariert?</b> . . . . .	368			
<b>13.5</b>	<b>Wie lässt sich mit der Polymerasekettenreaktion (PCR) DNA vervielfältigen?</b> . . . . .	369			
	Die Polymerasekettenreaktion (PCR) erzeugt zahlreiche Kopien von DNA-Sequenzen . . . . .	369			
			<b>14</b>	<b>Von der DNA zum Protein: Genexpression.</b> . . . . .	376
			<b>14.1</b>	<b>Wie fand man heraus, dass Gene Proteine codieren?</b> . . . . .	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
			<b>14.2</b>	<b>Wie fließt die Information von den Genen zu den Proteinen?</b> . . . . .	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
			<b>14.3</b>	<b>Wie wird der Informationsgehalt in der DNA zu RNA transkribiert?</b> . . . . .	383
				RNA-Polymerasen besitzen gemeinsame Merkmale . . . . .	383
				Die Transkription erfolgt in drei Schritten . . . . .	384
				Die Information für die Proteinsynthese liegt im genetischen Code . . . . .	384
			<b>14.4</b>	<b>Wie wird eukaryotische DNA transkribiert, und wie wird die RNA prozessiert?</b> . . . . .	388
				Eukaryotische Gene enthalten nicht-codierende Sequenzen . . . . .	388
				Eukaryotische Gentranskripte werden vor der Translation prozessiert . . . . .	391
			<b>14.5</b>	<b>Wie wird RNA zu Proteinen translatiert?</b> . . . . .	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
			<b>14.6</b>	<b>Was geschieht mit den Polypeptiden nach der Translation?</b> . . . . .	400
				Signalsequenzen in den Proteinen lenken sie zu ihren Bestimmungsorten . . . . .	400
				Zahlreiche Proteine werden nach der Translation modifiziert . . . . .	402

<b>15</b>	<b>Genmutationen und molekulare Medizin</b> . . . . .	408			
<b>15.1</b>	<b>Was sind Mutationen?</b> . . . . .	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			
<b>15.2</b>	<b>Wie werden DNA-Moleküle und Mutationen analysiert?</b> . . . . .	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			
<b>15.3</b>	<b>Wie können defekte Proteine Krankheiten verursachen?</b> . . . . .	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			
<b>15.4</b>	<b>Welche DNA-Veränderungen führen zu genetisch bedingten Krankheiten?</b> . . . . .	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			
<b>15.5</b>	<b>Wie setzt man genetische Reihentests ein, um Krankheiten zu erkennen?</b> . . . . .	431			
	Bei Reihenuntersuchungen auf Phänotypen von Krankheiten werden Proteine analysiert . . . . .	431			
					DNA-Tests sind die beste Methode, um anormale Gene festzustellen . . . . . 432
<b>15.6</b>	<b>Wie lassen sich genetisch bedingte Krankheiten behandeln?</b> . . . . .	434			
	Genetisch bedingte Krankheiten können durch Veränderung des Phänotyps behandelt werden . . . . .	435			
	Eine Gentherapie kann eine spezifische Behandlung ermöglichen . . . . .	436			
<b>16</b>	<b>Regulation der Genexpression.</b> . . . . .	442			
<b>16.1</b>	<b>Wie regulieren Viren ihre Genexpression?</b> . . . . .	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			
<b>16.2</b>	<b>Wie wird bei Prokaryoten die Genexpression reguliert?</b> . . . . .	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			
<b>16.3</b>	<b>Wie wird die eukaryotische Gentranskription reguliert?</b> . . . . .	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			
<b>16.4</b>	<b>Wie regulieren epigenetische Veränderungen die Genexpression?</b> . . . . .	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

<b>18.3</b>	<b>Welche DNA-Quellen werden für eine Klonierung verwendet?</b> . . . . .	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			
<b>18.4</b>	<b>Welche weiteren Methoden eignen sich zur funktionellen Untersuchung der DNA?</b> . . . . .	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			
<b>18.5</b>	<b>Was ist Biotechnologie?</b> . . . . .	514			
	Durch Expressionsvektoren verwandeln sich Zellen in Proteinfabriken . . . . .	514			
<b>18.6</b>	<b>Wie verändert die Biotechnologie die Medizin, die Landwirtschaft und die Umwelt?</b> . . . . .	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			
<b>19</b>	<b>Differenzielle Genexpression in der Entwicklung</b> . . . . .	526			
<b>19.1</b>	<b>Welche Prozesse laufen bei der Entwicklung ab?</b> . . . . .	527			
	Entwicklung besteht aus abgegrenzten, sich jedoch überlappenden Prozessen . . . . .	527			
	Mit fortschreitender Entwicklung wird das Schicksal einer Zelle immer stärker festgelegt . . . . .	529			
<b>19.2</b>	<b>Ist die Differenzierung von Zellen irreversibel?</b> . . . . .	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			
<b>19.3</b>	<b>Welche Rolle spielt die Genexpression für die Differenzierung der Zelle?</b> . . . . .	535			
	Die differenzielle Genexpression ist ein Kennzeichen der Zelldifferenzierung . . . . .	535			
<b>19.4</b>	<b>Wie wird das Schicksal einer Zelle festgelegt?</b> . . . . .	536			
	Die asymmetrische Verteilung von Faktoren kann die Polarität und das Zellschicksal festlegen . . . . .	537			
	Zwischen Zellen ausgetauschte Induktoren bestimmen das Zellschicksal . . . . .	538			
<b>19.5</b>	<b>Wie bestimmt die Genexpression die Musterbildung?</b> . . . . .	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			
<b>20</b>	<b>Entwicklung und evolutionärer Wandel</b> . . . . .	554			
<b>20.1</b>	<b>Was ist Evo-Devo?</b> . . . . .	555			
	Entwicklungssteuernde Gene ähneln sich, auch wenn die Organismen nur entfernt miteinander verwandt sind . . . . .	556			
<b>20.2</b>	<b>Warum wirken sich Mutationen nur auf einen bestimmten Körperteil aus?</b> . . . . .	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			
<b>20.3</b>	<b>Wie können sich Unterschiede zwischen verschiedenen Arten entwickeln?</b> . . . . .	561			
<b>20.4</b>	<b>Wie modulieren Umwelteinflüsse die Entwicklung?</b> . . . . .	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	<b>Inwiefern begrenzen Entwicklungsgene die Evolution?</b> . . . . .	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	<b>Belege für die Evolution und ihre Mechanismen</b> . . . . .	574
21.1	<b>Welche Fakten bilden die Grundlage für unser Verständnis der Evolution?</b> . . . . .	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-Gleichgewicht zeigen: Es findet eine Evolution statt . . . . .	584
21.2	<b>Welche Mechanismen bewirken evolutionäre Veränderungen?</b> . . . . .	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	<b>Wie führt die natürliche Selektion zu Evolution?</b> . . . . .	589
	Die natürliche Selektion kann verändernd oder stabilisierend auf Populationen einwirken . . . . .	589
	Sexuelle Selektion beeinflusst den Fortpflanzungserfolg . . . . .	592
21.4	<b>Wie wird in Populationen die genetische Variabilität aufrechterhalten?</b> . . . . .	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	<b>Welchen Beschränkungen unterliegt die Evolution?</b> . . . . .	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	<b>Die Rekonstruktion der Phylogenie und ihre Anwendungsmöglichkeiten</b> . . . . .	606
22.1	<b>Was ist Phylogenie?</b> . . . . .	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
<b>22.2</b>	<b>Wie werden phylogenetische Bäume erstellt?</b> . . . . .	611		Bei unvollständiger reproduktiver Isolation können sich Hybridzonen bilden . . . . .	643
	Das Parsimonie-Prinzip liefert die einfachste Erklärung für phylogenetische Daten . . . . .	612	<b>23.4</b>	<b>Warum gibt es unterschiedliche Artbildungsraten?</b> . . . . .	645
	Zur Rekonstruktion von Phylogenien werden Daten aus vielerlei Quellen herangezogen . . .	613			
	Mathematische Modelle erweitern die Möglichkeiten bei der Rekonstruktion von Stammbäumen . . . . .	616	<b>24</b>	<b>Die Evolution von Genen und Genomen.</b> . . . . .	652
	Die Exaktheit phylogenetischer Methoden lässt sich überprüfen . . . . .	616	<b>24.1</b>	<b>Wie kann man Evolution anhand von Genomen erforschen?</b> . . . . .	653
<b>22.3</b>	<b>Wie verwenden Biologen phylogenetische Bäume?</b> . . . . .	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	<b>24.2</b>	<b>Was lässt sich an Genomen über Evolutionsprozesse ablesen?</b> . . . . .	659
<b>22.4</b>	<b>Wie stehen Phylogenie und Taxonomie miteinander in Zusammenhang?</b> . . . . .	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
<b>23</b>	<b>Arten und ihre Entstehung</b> . . . . .	630	<b>24.3</b>	<b>Wie erlangen Genome neue Funktionen und wie erhalten sie Funktionen aufrecht?</b> . . . . .	666
<b>23.1</b>	<b>Was sind Arten?</b> . . . . .	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
<b>23.2</b>	<b>Wie entstehen neue Arten?</b> . . . . .	633	<b>24.4</b>	<b>Wie lassen sich die Prinzipien der molekularen Evolution praktisch anwenden?</b> . . . . .	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
<b>23.3</b>	<b>Was passiert, wenn neu entstandene Arten aufeinandertreffen?</b> . . . . .	640			
	Präzygotische Barrieren verhindern die Befruchtung . . . . .	640			

<b>25</b>	<b>Die Geschichte des Lebens auf der Erde</b> . . . . .	678
<b>25.1</b>	<b>Wie datieren Wissenschaftler Ereignisse in der Vergangenheit?</b> . . . . .	679
	Radioaktive Isotope bieten eine Möglichkeit, Gesteine zu datieren . . . . .	680
	Die Methoden der radiometrischen Datierung wurden erweitert und verbessert . . . . .	680
<b>25.2</b>	<b>Wie haben sich die Kontinente und die klimatischen Verhältnisse auf der Erde im Laufe der Zeit verändert?</b> . . . . .	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
<b>25.3</b>	<b>Welches waren die bedeutendsten Ereignisse in der Geschichte des Lebens?</b> . . . . .	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

<b>26</b>	<b>Bacteria und Archaea: die prokaryotischen Domänen.</b> . . . .	702
<b>26.1</b>	<b>Wie begann die Diversifizierung der Organismen?</b> . . . . .	703
	Die drei Domänen weisen signifikante Unterschiede auf . . . . .	704
<b>26.2</b>	<b>Welche Eigenschaften waren entscheidend für den Erfolg der Prokaryoten?</b> . . . . .	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
<b>26.3</b>	<b>Wie lässt sich die Phylogenie der Prokaryoten entschlüsseln?</b> . . . . .	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
<b>26.4</b>	<b>In welche Großgruppen werden die Prokaryoten unterteilt?</b> . . . . .	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	<b>27.3 Wie wirken sich Protisten auf ihre Umwelt aus?</b> . . . . .	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
<b>26.5 Wie wirken sich Prokaryoten auf ihre Umwelt aus?</b> . . . . .	724	<b>27.4 Wie pflanzen sich Protisten fort?</b> . . . .	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
<b>26.6 Wie lassen sich Viren in den Stammbaum der Organismen einordnen?</b> . . .	727	Einige Protisten benötigen für ihren Entwicklungszyklus mehr als eine Wirtsart . . .	753
Viele RNA-Viren stellen wahrscheinlich frei gewordene Bestandteile von Genomen dar . .	727	<b>27.5 Welche evolutionären Verwandtschaftsbeziehungen bestehen innerhalb der Eukaryoten?</b> . . . . .	753
Einige DNA-Viren könnten aus reduzierten zellulären Organismen hervorgegangen sein .	729	Alveolata besitzen unter ihrer Plasmamembran kleine Aussackungen . . . . .	754
<b>27 Die Entstehung und Diversifikation der Eukaryoten.</b> . . . . .	734	Heterokonta besitzen zwei ungleich lange Geißeln, von denen eine behaart ist . . . . .	756
<b>27.1 Wie entstand die eukaryotische Zelle?</b> . . . . .	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
<b>27.2 Welche Merkmale sind der Grund für die Vielfalt der Protisten?</b> . . . . .	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	<b>28 Samenlose Pflanzen: Übergang vom Wasser ans Land</b> . . . . .	772
Protisten machen sich auf unterschiedliche Weise Vakuolen zunutze . . . . .	743	<b>28.1 Wie entstanden die Landpflanzen?</b> . . .	773
		Es gibt unterschiedliche Großgruppen von Landpflanzen . . . . .	775
		Die Landpflanzen gingen aus einem Monophylum der Grünalgen hervor . . . . .	775

<b>28.2</b>	<b>Wie gelang es den Pflanzen, das Land zu besiedeln und dort zu gedeihen? . . .</b>	<b>776</b>	<b>29</b>	<b>Die Evolution der Samenpflanzen . . . . .</b>	<b>798</b>
	Anpassungen an ein Leben an Land unterscheiden die Landpflanzen von den Grünalgen. . . . .	776	<b>29.1</b>	<b>Wie haben sich die Samenpflanzen zum dominanten Vegetationselement der Gegenwart entwickelt? . . . . .</b>	<b>799</b>
	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
<b>28.3</b>	<b>Welche charakteristischen Merkmale sind kennzeichnend für die Gefäßpflanzen? . . . . .</b>	<b>780</b>	<b>29.2</b>	<b>Welche Gruppen umfassen die Gymnospermen? . . . . .</b>	<b>804</b>
	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	<b>29.3</b>	<b>Welche Merkmale trugen zum Erfolg der Angiospermen bei? . . . . .</b>	<b>808</b>
	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
<b>28.4</b>	<b>Welche großen monophyletischen Gruppen haben die samenlosen Pflanzen hervorgebracht? . . . . .</b>	<b>786</b>		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	<b>29.4</b>	<b>Welchen Nutzen zieht der Mensch aus Pflanzen? . . . . .</b>	<b>816</b>
	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	<b>30</b>	<b>Chitinpilze: Zersetzer, Parasiten, Symbionten und Pathogene. . . . .</b>	<b>822</b>
	Die Bärlappgewächse bilden die Schwestergruppe der übrigen Gefäßpflanzen . . . . .	789	<b>30.1</b>	<b>Was ist ein Chitinpilz? . . . . .</b>	<b>823</b>
	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

<b>30.2</b>	<b>Wie stehen Chitinpilze mit anderen Organismen in Wechselbeziehung?</b> . . .	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			
<b>30.3</b>	<b>Wie unterscheiden sich die Entwicklungszyklen der Chitinpilze?</b> . .	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			
<b>30.4</b>	<b>Wie entwickelte sich die Vielfalt der Chitinpilze?</b> . . . . .	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			
<b>31</b>	<b>Die Entstehung der Tiere und die Evolution ihrer Körperbaupläne.</b> . . . . .	848			
<b>31.1</b>	<b>Welche Merkmale sind kennzeichnend für Tiere?</b> . . . . .	849			
	Die Monophylie der Tiere wird durch Gensequenzen und morphologische Merkmale gestützt. . . . .	850			
	Die großen Tiergruppen unterscheiden sich durch einige wenige grundlegende Entwicklungsmuster . . . . .	850			
<b>31.2</b>	<b>Welche Merkmale kennzeichnen die Körperbaupläne von Tieren?</b> . . . . .	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. . . . .	855
				Körperanhänge erfüllen viele verschiedene Funktionen . . . . .	856
<b>31.3</b>	<b>Wie erlangen Tiere ihre Nahrung?</b> . . .	857			
	Filterierer filtern Nahrung aus dem Wasser . . .	857			
	Herbivoren ernähren sich von Pflanzen. . . . .	857			
	Carnivoren erbeuten und überwältigen kleine und große Beutetiere . . . . .	859			
	Parasiten leben in oder auf anderen Organismen. . . . .	860			
	Detritivoren leben von den Überresten anderer Organismen. . . . .	860			
<b>31.4</b>	<b>Welche Unterschiede bestehen zwischen den verschiedenen Entwicklungszyklen von Tieren?</b> . . . . .	861			
	In den meisten Entwicklungszyklen von Tieren gibt es mindestens ein Ausbreitungsstadium. . .	862			
	Kein Entwicklungszyklus kann sämtliche Vorteile maximieren . . . . .	862			
	Die Entwicklungszyklen von Parasiten sind daran angepasst, die Nachkommen zu verbreiten und die Abwehr des Wirts zu überwinden. . . . .	864			
	Koloniebildende Organismen bestehen aus genetisch identischen, physiologisch aufeinander abgestimmten Individuen. . . . .	865			
<b>31.5</b>	<b>Welche großen Tiergruppen gibt es?</b> . .	865			
	Schwämme sind Tiere mit lockerer Organisation . . . . .	867			
	Placozoen sind häufig, werden aber nur selten beobachtet . . . . .	868			
	Rippenquallen sind biradialsymmetrisch und diploblastisch . . . . .	869			
	Nesseltiere sind radiärsymmetrische Angler . .	869			
<b>32</b>	<b>Protostomier</b> . . . . .	878			

<b>32.1 Was ist ein Protostomier?</b> . . . . .	879	Hemichordaten sind wurmförmige marine Deuterostomier . . . . .	920
Bei den Lophotrochozoa haben sich Lophophore (Tentakelträger) und Trochophora-Larven entwickelt. . . . .	881	<b>33.3 Welche neuen Merkmale entwickelten sich bei den Chordaten?</b> . . . . .	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
<b>32.2 In welchen Merkmalen unterscheiden sich die Großgruppen der Lophotrochozoa?</b> . . . . .	884	Der Körperbauplan der Wirbeltiere ermöglicht die Entwicklung großer, aktiver Tiere . . . . .	925
Moostierchen leben in Kolonien . . . . .	885	Flossen und eine Schwimmblase sorgen für mehr Stabilität und eine bessere Steuerung der Fortbewegung . . . . .	925
Plattwürmer und Rädertiere sind Verwandte mit unterschiedlichem Körperbau. . . . .	885	<b>33.4 Wie eroberten die Wirbeltiere das Festland?</b> . . . . .	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
<b>32.3 Durch welche Merkmale sind die Großgruppen der Ecdysozoa gekennzeichnet?</b> . . . . .	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
<b>32.4 Warum entwickelten die Gliederfüßer eine so große Artenvielfalt?</b> . . . . .	898	Die meisten Säugetiere sind Vertreter der Theria . . . . .	939
Einige Verwandte der Gliederfüßer haben ungliederte, fleischige Extremitäten . . . . .	899	<b>33.5 Welche Merkmale charakterisieren die Primaten?</b> . . . . .	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	<b>Teil VIII</b>	
<b>Ein Überblick über die Evolution der Protostomier.</b> . . . . .	910	<b>Blütenpflanzen: Form und Funktion</b>	
<b>33 Deuterostomier</b> . . . . .	914		
<b>33.1 Was ist ein Deuterostomier?</b> . . . . .	915	<b>34 Der Pflanzenkörper</b> . . . . .	952
<b>33.2 Welche Großgruppen umfassen die Stachelhäuter und Hemichordaten?</b> . .	917	<b>34.1 Was ist der Grundbauplan des Pflanzenkörpers?</b> . . . . .	953
Echinodermen sind durch einzigartige Baupläne gekennzeichnet . . . . .	917		

	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			
<b>34.2</b>	<b>Wie unterstützt die Zellwand Wachstum und Gestalt der Pflanze?</b> . . . . .	957			
	Auch Zellwand und Vakuolen beeinflussen die Festlegung der Pflanzengestalt. . . . .	957			
	Die Struktur der Zellwand ermöglicht das Wachstum der Pflanze . . . . .	957			
<b>34.3</b>	<b>Wie entstehen pflanzliche Gewebe und Organe?</b> . . . . .	960			
	Der Pflanzenkörper wird aus drei Gewebesystemen gebildet . . . . .	960			
	Xylemzellen transportieren Wasser und gelöste Mineralstoffe . . . . .	963			
	Phloemzellen transportieren die Photosyntheseprodukte. . . . .	964			
<b>34.4</b>	<b>Wie erzeugen Meristeme einen kontinuierlich wachsenden Pflanzenkörper?</b> . . . . .	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			
<b>34.5</b>	<b>Wie hat die Domestikation die Gestalt des Pflanzenkörpers verändert?</b> . . . . .	973			
<b>35</b>	<b>Transport in Pflanzen.</b> . . . . .	978			
<b>35.1</b>	<b>Wie nehmen Pflanzen Wasser und gelöste Stoffe auf?</b> . . . . .	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			
<b>35.2</b>	<b>Wie werden Wasser und Mineralionen im Xylem transportiert?</b> . . . . .	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			
<b>35.3</b>	<b>Wie kontrollieren die Spaltöffnungen den Wasserverlust und die CO<sub>2</sub>-Aufnahme?</b> . . . . .	988			
	Die Schließzellen kontrollieren den Öffnungszustand der Spaltöffnung. . . . .	989			
<b>35.4</b>	<b>Wie erfolgt der Substanztransport im Phloem?</b> . . . . .	991			
	Die Druckstromtheorie liefert eine Erklärung für den Phloemtransport . . . . .	993			
	Die Druckstromtheorie wurde experimentell untersucht . . . . .	993			
<b>36</b>	<b>Pflanzenernährung</b> . . . . .	998			
<b>36.1</b>	<b>Wie erfolgt der Nährstoffwerb bei Pflanzen?</b> . . . . .	999			
	Wie gelangt ein sessiler Organismus an seine Nährstoffe? . . . . .	999			
<b>36.2</b>	<b>Welche mineralischen Nährelemente benötigt die Pflanze?</b> . . . . .	1000			
	Mangelercheinungen zeigen eine ungenügende Ernährung an . . . . .	1000			
	Die essenziellen Nährelemente wurden mithilfe von Hydrokulturrexperimenten bestimmt . . . . .	1002			

<b>36.3</b>	<b>Wie wirkt sich die Bodenstruktur auf Pflanzen aus?</b> . . . . .	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			
<b>36.4</b>	<b>Wie verbessern Pilze und Bakterien die Nährstoffaufnahme durch Pflanzenwurzeln?</b> . . . . .	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			
<b>36.5</b>	<b>Wie erreichen carnivore und parasitische Pflanzen eine ausgeglichene Ernährung?</b> . . . . .	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			
<b>37</b>	<b>Regulation des Pflanzenwachstums</b> . . . . .	1020			
<b>37.1</b>	<b>Wie verläuft die pflanzliche Entwicklung?</b> . . . . .	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			
<b>37.2</b>	<b>Wie wirken Gibberelline?</b> . . . . .	1027			
	Gibberelline sind Phytohormone . . . . .	1027			
	Gibberelline beeinflussen Wachstum und Entwicklung von Pflanzen auf vielfältige Weise . . . . .	1028			
	Gibberelline induzieren den Abbau von Transkriptionsrepressoren . . . . .	1029			
<b>37.3</b>	<b>Wie wirkt Auxin?</b> . . . . .	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			
<b>37.4</b>	<b>Wie wirken Cytokinine, Ethylen und Brassinosteroide?</b> . . . . .	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			
<b>37.5</b>	<b>Welche Rolle spielen Photorezeptoren bei der Regulation des Pflanzenwachstums?</b> . . . . .	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			
<b>38</b>	<b>Fortpflanzung bei Blütenpflanzen</b> . . . . .	1050			
<b>38.1</b>	<b>Wie verläuft die sexuelle Fortpflanzung bei Angiospermen?</b> . . . . .	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	<b>39.2 Wie werden Pflanzen mit Herbivoren fertig?</b> . . . . .	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
<b>38.2 Wodurch wird der Übergang vom vegetativen zum blühenden Stadium reguliert?</b> . . . . .	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	<b>39.3 Wie werden Pflanzen mit Klima- extremen fertig?</b> . . . . .	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	<b>39.4 Wie werden Pflanzen mit Salz und Schwermetallen fertig?</b> . . . . .	1093
<b>38.3 Wie erfolgt die asexuelle Fortpflanzung von Angiospermen?</b> . . . . .	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		
<b>39 Reaktionen der Pflanze auf Umweltstress.</b> . . . . .	1076		
<b>39.1 Wie werden Pflanzen mit Pathogenen fertig?</b> . . . . .	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

- 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
- Fieber hilft dem Körper bei der Bekämpfung von Infektionen . . . . . 1119  
 Der Thermostat kann heruntergedreht werden . 1120
- 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



<b>42 Immunologie: Abwehrsysteme der Tiere</b> . . . . .	1152		
<b>42.1 Welche wichtigen Abwehrsysteme gibt es bei Tieren?</b> . . . . .	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		
<b>42.2 Welche Eigenschaften besitzt die angeborene unspezifische Immunabwehr?</b> . . . . .	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		
<b>42.3 Wie entwickelt sich die erworbene Immunität?</b> . . . . .	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		
<b>42.4 Was ist die humorale Immunantwort?</b> . . . . .	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		
<b>42.5 Was ist die zelluläre Immunantwort?</b> . . . . .	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		
<b>42.6 Wie können Tiere so viele verschiedene Antikörper hervorbringen?</b> . . . . .	1176		
Die konstante Region spielt beim Klassenwechsel der Immunglobuline eine Rolle . . . . .	1178		
<b>42.7 Was geschieht bei einer Fehlfunktion des Immunsystems?</b> . . . . .	1179		
Allergische Reaktionen sind das Ergebnis einer Hypersensitivität. . . . .	1179		
Autoimmunkrankheiten werden durch Reaktionen gegen körpereigene Antigene ausgelöst . . . . .	1180		
Aids ist eine Immunschwächekrankheit . . . . .	1181		
<b>43 Fortpflanzung der Tiere</b> . . . . .	1186		
<b>43.1 Wie vermehren sich Tiere ohne Sex?</b> . . . . .	1187		
Knospung und Regeneration erzeugen neue Individuen durch Mitosen. . . . .	1188		
Unter Parthenogenese versteht man die Entwicklung unbefruchteter Eier . . . . .	1188		
<b>43.2 Wie pflanzen sich Tiere sexuell fort?</b> . . . . .	1189		
Eizellen und Samenzellen 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		
<b>43.3</b>	<b>Wie funktioniert das menschliche Fortpflanzungssystem?</b> . . . . .	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		
<b>43.4</b>	<b>Wie lässt sich die menschliche Fruchtbarkeit kontrollieren?</b> . . . . .	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		
<b>44</b>	<b>Entwicklung der Tiere</b> . . . . .	1220		
<b>44.1</b>	<b>Wie aktivieren Besamung und Befruchtung die Entwicklung?</b> . . . . .	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		
<b>44.2</b>	<b>Wie erzeugt die Gastrulation mehr- fache Gewebelagen?</b> . . . . .	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		
<b>44.3</b>	<b>Wie entwickeln sich Organe und Organsysteme?</b> . . . . .	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		
<b>44.4</b>	<b>Wie wird der heranwachsende Embryo versorgt?</b> . . . . .	1239		
	An der Bildung der extraembryonalen Membran- en sind alle drei Keimblätter beteiligt. . . . .	1239		
	Bei Säugern bilden die extraembryonalen Membranen die Placenta . . . . .	1240		
<b>44.5</b>	<b>Welche Stadien durchläuft die menschliche Entwicklung?</b> . . . . .	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
<b>45 Nervenzellen und Nervensysteme . . . . .</b>	<b>1248</b>	Vermutlich spielen Glutamatrezeptoren für Lernen und Gedächtnis eine Rolle . . . . .	1269
<b>45.1 Welche Zellen kommen nur im Nervensystem vor? . . . . .</b>	<b>1249</b>	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	<b>46 Sensorische Systeme . . . . .</b>	<b>1276</b>
Auch Gliazellen sind wichtige Bestandteile des Nervensystems . . . . .	1252	<b>46.1 Wie wandeln Sinneszellen Reize in Aktionspotenziale um? . . . . .</b>	<b>1277</b>
<b>45.2 Wie erzeugen Neuronen elektrische Signale und leiten sie weiter? . . . . .</b>	<b>1254</b>	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	<b>46.2 Wie nehmen sensorische Systeme chemische Reize wahr? . . . . .</b>	<b>1280</b>
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	<b>46.3 Wie nehmen sensorische Systeme mechanische Kräfte wahr? . . . . .</b>	<b>1285</b>
<b>45.3 Wie kommunizieren Neuronen mit anderen Zellen? . . . . .</b>	<b>1264</b>	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	<b>46.4 Wie nehmen sensorische Systeme Licht wahr? . . . . .</b>	<b>1292</b>
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			
<b>47</b>	<b>Das Nervensystem von Säugern: Struktur und höhere Funktionen . . . . .</b>	<b>1304</b>			
<b>47.1</b>	<b>Wie ist das Nervensystem von Säugern organisiert? . . . . .</b>	<b>1305</b>			
	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			
<b>47.2</b>	<b>Wie wird Information in neuronalen Netzwerken verarbeitet? . . . . .</b>	<b>1314</b>			
	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			
<b>47.3</b>	<b>Wie lassen sich höhere Gehirnfunktionen auf Zellniveau verstehen? .</b>	<b>1321</b>			
	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			
<b>48</b>	<b>Muskeln und Skelette . . . . .</b>	<b>1330</b>			
<b>48.1</b>	<b>Wie kontrahieren sich Muskeln? . . . .</b>	<b>1331</b>			
	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			
<b>48.2</b>	<b>Was bestimmt die Muskelleistung? . .</b>	<b>1341</b>			
	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			
<b>48.3</b>	<b>Wie arbeiten Skelettsysteme und Muskeln zusammen? . . . . .</b>	<b>1345</b>			
	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			
<b>49</b>	<b>Gasaustausch bei Tieren . . . . .</b>	<b>1354</b>			
<b>49.1</b>	<b>Welche physikalischen Faktoren bestimmen den Atemgasaustausch? . .</b>	<b>1355</b>			
	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 <sub>2</sub> geht durch Diffusion verloren . . . . .	1358			
<b>49.2</b>	<b>Welche Anpassungen verbessern den Atemgasaustausch? . . . . .</b>	<b>1359</b>			
	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
<b>49.3 Wie funktioniert die menschliche Lunge?</b> . . . . .	1365	Das EKG registriert die elektrische Aktivität des Herzens. . . . .	1393
Sekrete im Atmungsstrakt unterstützen die Ventilation . . . . .	1365	<b>50.4 Wodurch zeichnen sich Blut und Blutgefäße aus?</b> . . . . .	1394
Die Lunge wird durch Druckänderungen in der Brusthöhle ventiliert . . . . .	1367	Erythrocyten transportieren die Atemgase . . . . .	1394
<b>49.4 Wie transportiert das Blut Atemgase?</b> . . . . .	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
<b>49.5 Wie wird die Atmung reguliert?</b> . . . . .	1373	Gefäßerkrankungen sind Killer . . . . .	1400
Die Atmung wird vom Hirnstamm kontrolliert . . . . .	1373	<b>50.5 Wie wird das Kreislaufsystem kontrolliert und reguliert?</b> . . . . .	1401
Zur Regulation der Atmung ist Feedback-Information nötig . . . . .	1374	Durch Autoregulation wird die lokale Durchblutung den lokalen Bedürfnissen angepasst . . . . .	1402
<b>50 Kreislaufsysteme</b> . . . . .	1380	Der arterielle Blutdruck wird von hormonellen und neuronalen Mechanismen kontrolliert und reguliert . . . . .	1403
<b>50.1 Warum brauchen Tiere ein Kreislaufsystem?</b> . . . . .	1381	<b>51 Ernährung, Verdauung und Resorption</b> . . . . .	1410
Manche Tiere kommen ohne Kreislaufsystem aus . . . . .	1381	<b>51.1 Was muss die Nahrung Tieren liefern?</b> . . . . .	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		
<b>50.2 Wie haben sich die Kreislaufsysteme von Wirbeltieren im Laufe der Evolution entwickelt?</b> . . . . .	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		
<b>50.3 Wie funktioniert das Säugerherz?</b> . . . . .	1387		
Blut wird vom rechten Ventrikel in die Lunge			

Energiereserven können im Körper gespeichert werden . . . . .	1412		
Nahrung liefert die Kohlenstoffgerüste für die Biosynthese . . . . .	1414		
Für zahlreiche Funktionen brauchen Tiere Mineralstoffe . . . . .	1415		
Tiere müssen Vitamine mit der Nahrung aufnehmen . . . . .	1417		
Nährstoffmängel führen zu Erkrankungen . . . . .	1418		
<b>51.2 Wie nehmen Tiere Nahrung auf und verdauen sie?</b> . . . . .	1419		
Die Nahrung von Herbivoren ist häufig energiearm und schwer verdaulich . . . . .	1419		
Carnivoren müssen Beute entdecken, fangen und töten . . . . .	1420		
Wirbeltierarten haben unterschiedliche Zähne . . . . .	1420		
Die Verdauung findet gewöhnlich in einer nach außen offenen Körperhöhle statt . . . . .	1421		
Ein durchgehender Verdauungstrakt ist an beiden Enden offen . . . . .	1421		
Verdauungsenzyme bauen komplexe Nahrungsmoleküle ab . . . . .	1422		
<b>51.3 Wie funktioniert der Verdauungstrakt von Wirbeltieren?</b> . . . . .	1423		
Der Wirbeltierdarm besteht aus konzentrischen Gewebsschichten . . . . .	1424		
Mechanische Aktivität bewegt die Nahrung durch den Darm und unterstützt die Verdauung . . . . .	1425		
Die chemische Verdauung beginnt in Mund und Magen . . . . .	1426		
Magengeschwüre können von einem Bakterium hervorgerufen werden . . . . .	1426		
Der Magen lässt seinen Inhalt nach und nach in den Dünndarm übertreten . . . . .	1428		
Der größte Teil der Verdauung findet im Dünndarm statt . . . . .	1428		
Nährstoffe werden im Dünndarm resorbiert . . . . .	1430		
Resorbierte Nährstoffe werden zur Leber transportiert . . . . .	1431		
Wasser und Ionen werden im Dickdarm resorbiert . . . . .	1432		
Pflanzenfresser verlassen sich bei der Celluloseverdauung auf Mikroorganismen . . . . .	1432		
<b>51.4 Wie wird der Nährstofffluss kontrolliert und reguliert?</b> . . . . .	1433		
Viele Verdauungsfunktionen werden von Hormonen kontrolliert . . . . .	1433		
Die Leber reguliert den Umsatz energiereicher Moleküle . . . . .	1434		
Die Regulation der Nahrungsaufnahme ist wichtig . . . . .	1436		
Die Leber entgiftet den Körper . . . . .	1437		
		<b>52</b>	<b>Salzhaushalt, Wasserhaushalt und Stickstoffausscheidung . . . . .</b>
			1442
		<b>52.1</b>	<b>Wie erhalten Exkretionssysteme die Homöostase aufrecht?</b> . . . . .
			1443
			Wasser gelangt durch Osmose in Zellen hinein und aus Zellen heraus . . . . .
			1443
			Exkretionsorgane kontrollieren die Osmolarität der Gewebeflüssigkeit durch Druckfiltration, Sekretion und Reabsorption . . . . .
			1444
			Tiere können Osmokonformer oder Osmoregulierer sein . . . . .
			1444
			Tiere können Ionenkonformer oder Ionenregulierer sein . . . . .
			1445
		<b>52.2</b>	<b>Wie scheiden Tiere Stickstoff aus?</b> . . . . .
			1446
			Tiere scheiden Stickstoff in unterschiedlicher Form aus . . . . .
			1446
			Die meisten Arten erzeugen mehr als nur ein einziges stickstoffhaltiges Abfallprodukt . . . . .
			1447
		<b>52.3</b>	<b>Wie funktionieren die Exkretionssysteme von Wirbellosen?</b> . . . . .
			1448
			Die Protonephridien von Plattwürmern scheiden Wasser aus und konservieren Salze . . . . .
			1448
			Die Metanephridien von Ringelwürmern verarbeiten Coelomflüssigkeit . . . . .
			1448
			Die Malpighi-Gefäße von Insekten arbeiten mit aktivem Transport . . . . .
			1449
		<b>52.4</b>	<b>Wie erhalten Wirbeltiere ihren Salz- und Wasserhaushalt aufrecht?</b> . . . . .
			1450
			Marine Fische müssen Wasser sparen . . . . .
			1451
			Landlebende Amphibien und Reptilien müssen Austrocknung vermeiden . . . . .
			1451
			Säuger können einen hoch konzentrierten Harn produzieren . . . . .
			1452
			Das Nephron ist die funktionelle Einheit der Wirbeltierniere . . . . .
			1452
			Blut wird in die Bowman-Kapsel gefiltert . . . . .
			1452
			Die Nierentubuli wandeln das glomeruläre Ultrafiltrat in Harn um . . . . .
			1453
		<b>52.5</b>	<b>Wie erzeugt die Säugerniere einen konzentrierten Harn?</b> . . . . .
			1454
			Die Nieren produzieren Harn, der in der Harnblase gespeichert wird . . . . .
			1454
			Die Nephronen sind in der Niere regelmäßig angeordnet . . . . .
			1454
			Der größte Teil des glomerulären Ultrafiltrats wird in den proximalen Tubuli zurückgewonnen . . . . .
			1456
			Die Henle-Schleife erzeugt im Nierenmark einen Konzentrationsgradienten . . . . .
			1456
			Die Wasserpermeabilität der Nierentubuli hängt von Wasserkanälen ab . . . . .
			1458

Der distale Tubulus ist für die Feinzusammen-	
setzung 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
<b>52.6 Wie wird die Nierenfunktion</b>	
<b>reguliert?</b> . . . . .	1462
Die glomeruläre Filtrationsrate wird reguliert .	1462
Blutsmolarität und Blutdruck werden von	
ADH reguliert . . . . .	1463
Das Herz produziert ein Hormon, das zur	
Senkung des Blutdrucks beiträgt . . . . .	1465
<b>53 Verhalten von Tieren.</b> . . . . .	1470
<b>53.1 Auf welchen Ursprüngen basiert die</b>	
<b>Verhaltensbiologie?</b> . . . . .	1471
Im Zentrum des Behaviorismus stand	
Konditionierung . . . . .	1471
Die Ethologen konzentrierten sich auf fixierte	
Handlungsmuster . . . . .	1472
Ethologen fragen nach den Ursachen von	
Verhalten . . . . .	1474
<b>53.2 Wie können Gene das Verhalten</b>	
<b>beeinflussen?</b> . . . . .	1475
Kreuzungsexperimente können zeigen, ob Ver-	
haltensphänotypen genetisch determiniert sind	1475
Knock-out-Experimente können die Rolle	
spezifischer Gene enthüllen. . . . .	1475
Verhalten werden von Genkaskaden	
kontrolliert . . . . .	1477
<b>53.3 Wie entwickelt sich Verhalten?</b> . . . . .	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
<b>53.4 Wie evolviert Verhalten?</b> . . . . .	1482
Tiere müssen wählen, wie sie sich verhalten . .	1482
Eine Kosten-Nutzen-Analyse lässt sich auf den	
Nahrungserwerb anwenden . . . . .	1485
<b>53.5 Welche physiologischen Mechanismen</b>	
<b>liegen dem Verhalten zugrunde?</b> . . . . .	1487
Biologische Rhythmen koordinieren Verhalten	
mit Umweltzyklen . . . . .	1488
Tiere finden sich in ihrer Umwelt zurecht. . . .	1489
Tiere setzen zahlreiche Sinnesmodalitäten	
zur Kommunikation ein . . . . .	1493
<b>53.6 Wie hat sich soziales Verhalten</b>	
<b>entwickelt?</b> . . . . .	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

<b>54 Ökologie und die Verbreitung</b>	
<b>der Organismen</b> . . . . .	1506
<b>54.1 Was ist Ökologie?</b> . . . . .	1507
Ökologie ist nicht gleich Ökologismus . . . . .	1508
Ökologen erforschen sowohl die biotischen	
als auch die abiotischen Bestandteile von	
Ökosystemen . . . . .	1508
<b>54.2 Warum variieren die klimatischen</b>	
<b>Bedingungen je nach geographischer</b>	
<b>Breite?</b> . . . . .	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		
<b>54.3</b>	<b>Was ist ein Biom? . . . . .</b>	<b>1513</b>		
	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		
<b>54.4</b>	<b>Was versteht man unter einer biogeographischen Region? . . . . .</b>	<b>1525</b>		
	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		
<b>54.5</b>	<b>Wie sind Organismen in aquatischen Lebensräumen verbreitet? . . . . .</b>	<b>1532</b>		
	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		
<b>55</b>	<b>Populationsökologie . . . . .</b>	<b>1538</b>		
<b>55.1</b>	<b>Wie erforschen Ökologen Populationen? . . . . .</b>	<b>1539</b>		
	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
<b>55.2</b>	<b>Wie wirken sich die Umweltbedingungen auf Lebenszyklen aus? . . . . .</b>	<b>1546</b>		
	Überlebenswahrscheinlichkeit und Fruchtbarkeit bestimmen die intrinsische Wachstumsrate einer Population . . . . .	1546		
	Lebenszyklusmerkmale variieren mit den Umweltbedingungen . . . . .	1546		
	Lebenszyklusmerkmale werden durch interspezifische Wechselbeziehungen beeinflusst . .	1547		
<b>55.3</b>	<b>Welche Faktoren begrenzen die Populationsdichte? . . . . .</b>	<b>1548</b>		
	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			
<b>55.4</b>	<b>Wie wirken sich Habitatvariationen auf die Populationsdynamik aus?</b> . . . . .	1553			
	Viele Populationen leben in isolierten Habitatinseln . . . . .	1553			
	Korridore können den Fortbestand von Subpopulationen ermöglichen . . . . .	1554			
<b>55.5</b>	<b>Wie lässt sich ein wissenschaftlich abgesichertes Populationsmanagement durchführen?</b> . . . . .	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			
<b>56</b>	<b>Wechselbeziehungen zwischen Arten und Koevolution</b> . . . . .	1562			
<b>56.1</b>	<b>Welche Formen von Wechselbeziehungen erforschen Ökologen?</b> . . . . .	1563			
	Die Wechselbeziehungen zwischen Arten lassen sich in mehrere Kategorien einordnen . . . . .	1563			
	Manche Formen von Wechselbeziehungen bewirken eine Koevolution . . . . .	1566			
<b>56.2</b>	<b>Wie evolvieren antagonistische Wechselbeziehungen?</b> . . . . .	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			
<b>56.3</b>	<b>Wie evolvieren symbiotische Wechselbeziehungen?</b> . . . . .	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			
<b>56.4</b>	<b>Wozu kann interspezifische Konkurrenz führen?</b> . . . . .	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			
<b>57</b>	<b>Ökologie von Biozöosen</b> . . . . .	1586			
<b>57.1</b>	<b>Was sind Biozöosen?</b> . . . . .	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			
<b>57.2</b>	<b>Wie wirken sich interspezifische Wechselbeziehungen auf die Struktur einer Biozönose aus?</b> . . . . .	1592			
	Durch interspezifische Wechselbeziehungen können trophische Kaskaden entstehen . . . . .	1592			

	Schlüsselarten haben weitreichende Auswirkungen . . . . .	1593		Anthropogene Einflüsse verändern den Energiefluss . . . . .	1618
<b>57.3</b>	<b>Welche Muster der Artenvielfalt haben Ökologen beobachtet?</b> . . . . .	1594	<b>58.3</b>	<b>Wie gehen die Stoffkreisläufe durch das globale Ökosystem vonstatten?</b> . .	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
<b>57.4</b>	<b>Wie wirken sich Störungen auf Biozönosen aus?</b> . . . . .	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	<b>58.4</b>	<b>Welche Dienstleistungen liefern Ökosysteme?</b> . . . . .	1632
<b>57.5</b>	<b>Wie wirkt sich der Artenreichtum auf die Stabilität von Biozönosen aus?</b> . .	1604	<b>58.5</b>	<b>Welche Möglichkeiten für ein nachhaltiges Management von Ökosystemen gibt es?</b> . . . . .	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			
<b>58</b>	<b>Ökosysteme und globale Ökologie.</b> . . . . .	1610	<b>59</b>	<b>Naturschutzbiologie</b> . . . . .	1640
<b>58.1</b>	<b>Aus welchen Kompartimenten besteht das globale Ökosystem?</b> . . . . .	1611	<b>59.1</b>	<b>Was ist Naturschutzbiologie?</b> . . . . .	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	<b>59.2</b>	<b>Wie prognostizieren Biologen Veränderungen der biologischen Vielfalt?</b> . .	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
<b>58.2</b>	<b>Wie erfolgt der Energiefluss durch das globale Ökosystem?</b> . . . . .	1617	<b>59.3</b>	<b>Welche Faktoren bedrohen die Existenz von Arten?</b> . . . . .	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
<b>59.4</b>	<b>Mit welchen Strategien versuchen Biologen die Biodiversität zu bewahren?</b> . . . . .	<b>1651</b>
	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**

	<b>Der Stammbaum des Lebens</b> . . . . .	1665
--	---	------

## **Anhang B**

	<b>Einige in der Biologie gebräuchliche Einheiten</b> . . . . .	1683
--	---	------

	<b>Glossar</b> . . . . .	1685
--	--------------------------	------

	<b>Bildnachweise</b> . . . . .	1779
--	--------------------------------	------

	<b>Index</b> . . . . .	1791
--	------------------------	------