

Kurzhalt

Teil I

Die Biowissenschaften und ihre chemischen Grundlagen

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

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

Teil III

Zellen und Energie

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

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

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

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

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**

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**

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	Salzhaushalt, Wasserhaushalt und Stickstoff- ausscheidung	1442
53	Verhalten von Tieren	1470

Teil X**Ökologie**

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

Inhaltsverzeichnis

Teil I Die Biowissenschaften und ihre chemischen Grundlagen

1	Die Erforschung des Lebens. . . .	2
1.1	Was ist Biologie?	3
	Zellen sind die Grundeinheiten des Lebens. . .	5
	Alle Lebewesen haben eine gemeinsame Stammesgeschichte	6
	Die biologische Information ist in einer genetischen Sprache verschlüsselt, die alle Organismen verstehen	7
	Zellen nutzen Nährstoffe zur Energieversorgung und zum Aufbau neuer Strukturen	8
	Lebewesen regulieren ihr inneres Milieu	9
	Lebewesen stehen miteinander in Wechselbeziehung	9
	Biologische Erkenntnisse lassen sich oft übertragen	11
1.2	Wie sind die Lebewesen der Erde miteinander verwandt?	11
	Leben entstand durch chemische Evolution aus abiotischem Material.	12
	Der gemeinsame Vorfahre aller Lebewesen entwickelte eine zelluläre Struktur	12
	Die Photosynthese veränderte den Verlauf der Evolution	13
	Aus Prokaryoten entstanden eukaryotische Zellen	14
	Mit der Entstehung der Vielzelligkeit kam es zu einer Spezialisierung der Zellen	15
	Biologen können den Stammbaum des Lebens rekonstruieren	15
	Der Stammbaum des Lebens erlaubt Vorhersagen	16



1.3	Wie erforschen Biologen das Leben? .	17
	Beobachten und Messen sind ganz wesentliche Komponenten	17
	Naturwissenschaftliches Arbeiten ist eine Kombination aus Beobachten, Experimentieren und Schlussfolgern	18
	Mit den richtigen Experimenten lassen sich Hypothesen widerlegen.	19
	Statistische Methoden sind für die Biowissen- schaften grundlegend wichtig	20
	Nicht alle Fragestellungen sind naturwissen- schaftlich	20
1.4	Wie beeinflusst die Biologie politisches Handeln?	22
2	Leben und Chemie: kleine Moleküle	26
2.1	Wie beeinflusst der atomare Aufbau die Eigenschaften der Materie?	27
	Ein chemisches Element besteht nur aus einem einzigem 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			
2.2	Wie verbinden sich Atome zu Molekülen?	32			
	Kovalente Bindungen bestehen aus gemeinsamen Elektronenpaaren	32			
	Ionenbindungen bilden sich durch elektrische Anziehung	36			
	Wasserstoffbrücken können sich innerhalb oder zwischen Molekülen mit polaren kovalenten Bindungen ausbilden	37			
	Polare und unpolare Substanzen interagieren am besten mit ihresgleichen	37			
2.3	Wie läuft der Partnerwechsel bei Atomen in chemischen Reaktionen ab?	38			
2.4	Weshalb hat Wasser für das Leben eine so große Bedeutung?	40			
	Wasser besitzt eine einzigartige Struktur und spezielle Eigenschaften	40			
	Wasser ist ein exzellentes Lösungsmittel – das Medium des Lebens	41			
	Wässrige Lösungen können sauer oder basisch sein.	42			
3	Proteine, Kohlenhydrate und Lipide	50			
3.1	Welche Makromoleküle kommen in Lebewesen vor?	51			
	Funktionelle Gruppen verleihen Biomolekülen spezifische Eigenschaften.	52			
	Isomere weisen eine unterschiedliche Anordnung der gleichen Atome auf	52			
	Die Strukturen der Makromoleküle spiegeln ihre Funktionen wider	53			
	Die meisten Makromoleküle bilden sich durch Kondensation und werden durch Hydrolyse gespalten	54			
3.2	Welche chemische Struktur besitzen Proteine und wie funktionieren sie?	55			
	Aminosäuren sind die Grundbausteine von Proteinen	56			
	Peptidbindungen bilden das Rückgrat eines Proteins	58			
	Die Primärstruktur eines Proteins legt alle seine Eigenschaften fest	58			
	Die Sekundärstruktur eines Proteins beruht auf Wasserstoffbrücken	60			
	Die Tertiärstruktur eines Proteins entsteht durch Biegung und Faltung	60			
	In der Quartärstruktur eines Proteins können die Untereinheiten kooperieren.	61			
	Raumstruktur und Oberflächenchemie tragen zur Proteinfunktion bei	62			
	Das umgebende Milieu beeinflusst die Raumstruktur von Proteinen	63			
	Molekulare Chaperone helfen mit, Proteine korrekt zu falten	64	3.3	Welche chemische Struktur besitzen Kohlenhydrate und was können sie?	65
	Monosaccharide sind strukturell sehr vielfältig. Glykosidische Bindungen verknüpfen Monosaccharide	66			
	Polysaccharide dienen als Energiespeicher oder Strukturmaterial	68			
	Chemisch modifizierte Kohlenhydrate enthalten weitere funktionelle Gruppen.	68	3.4	Welche chemische Struktur besitzen Lipide und warum sind sie biologisch wichtig?	70
	Fette und Öle sind hydrophob	71			
	Phospholipide bilden biologische Membranen . Lipide dienen auch als Lichtsammler, Botenstoffe und Schutzschicht	72			
			4	Nucleinsäuren und die Entstehung des Lebens	78
			4.1	Welche chemische Struktur haben Nucleinsäuren und wie speichern sie Information?	79
				Nucleotide sind die Bausteine der Nucleinsäuren	79
				Sowohl in DNA als auch in RNA findet eine Basenpaarung statt.	80
				DNA speichert Information in Form der Gene, RNA ist die Abschrift eines Gens	82
				Die DNA-Sequenz als Schlüssel zu evolutionären Verwandtschaftsbeziehungen.	83
				Nucleotide spielen weitere wichtige Rollen	84
			4.2	Wie und wo entstanden die Bausteine des Lebens, die Biomonomere?	84
				Experimente widerlegten die Urzeugung	84
				Das Leben entstand im Wasser	86
				Das Leben könnte von außerirdischen Systemen stammen	86
				Experimente zur präbiotischen Synthese von Molekülen stellen die Bedingungen auf der frühen Erde nach	88
			4.3	Wie entstanden die für das Leben typischen Makromoleküle?	90

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

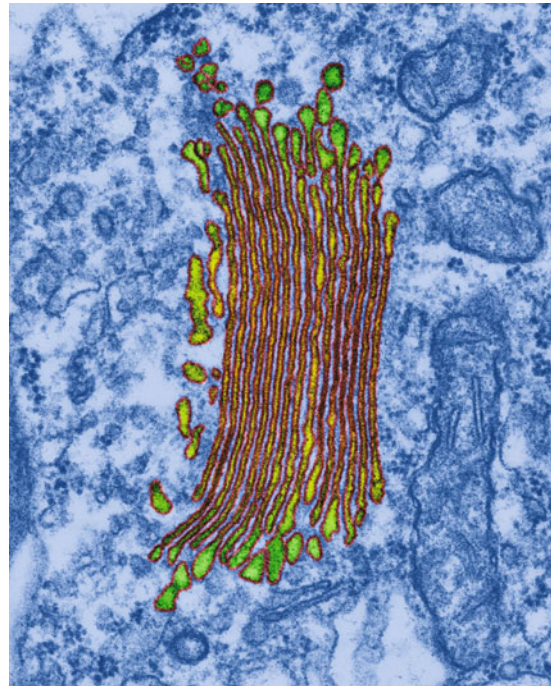
Teil II Zellen

5 Zellen: die kleinsten Einheiten des Lebens 100

5.1 Welche Eigenschaften machen Zellen zu den Grundeinheiten des Lebens? 101
 Die Zellgröße wird durch das Oberfläche/ Volumen-Verhältnis begrenzt 102
 Das Mikroskop dient zum Sichtbarmachen von Zellen und deren Inhalt 103
 Zellen sind von einer Plasmamembran umgeben 106
 Es gibt prokaryotische und eukaryotische Zellen 106

5.2 Welche Merkmale kennzeichnen prokaryotische Zellen? 107
 Prokaryotische Zellen weisen bestimmte gemeinsame Merkmale auf 107
 Prokaryotische Zellen unterscheiden sich in speziellen Merkmalen 108

5.3 Welche Merkmale kennzeichnen eukaryotische Zellen? 110
 Die Kompartimentierung ist für die eukaryotische Zellfunktion unentbehrlich 110
 Organellen können mikroskopisch untersucht oder für biochemische Analysen isoliert werden 111
 Ribosomen sind die Orte der Proteinsynthese 111
 Der Zellkern enthält den Großteil der genetischen Information 114
 Das Endomembransystem ist eine Gruppe von miteinander verbundenen Organellen 116



Bestimmte Organellen wandeln Energie um 119
 Weitere von Membranen umschlossene Organellen 123
 Das Cytoskelett ist für die Form und Bewegung der Zelle wichtig 124

5.4 Welche Funktionen haben extrazelluläre Strukturen? 129
 Die pflanzliche Zellwand ist eine extrazelluläre Struktur 130
 In Tierzellen unterstützt die extrazelluläre Matrix Zusammenhalt und Funktion des Gewebes 130

5.5 Wie sind eukaryotische Zellen entstanden? 131
 Endomembransystem und Kernhülle stammen wahrscheinlich von der Plasmamembran ab 132
 Einige Organellen sind durch Endosymbiose entstanden 133

6 Zelluläre Membranen 138

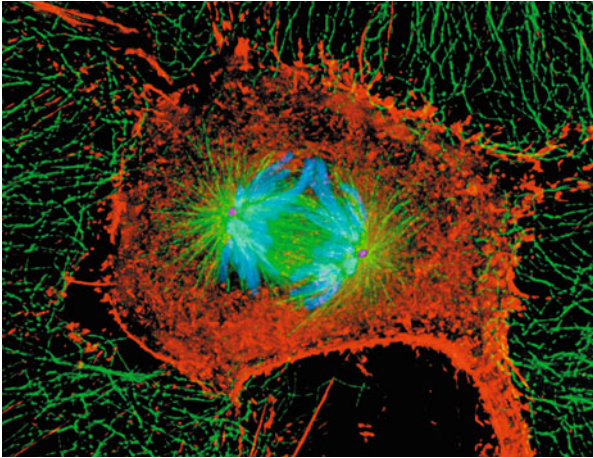
6.1 Welche Struktur haben Biomembranen? 139
 Lipide bilden den hydrophoben Kern der Biomembran 140
 Membranproteine sind asymmetrisch verteilt 142
 Membranen unterliegen einer stetigen Veränderung 144

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



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

Die geschlechtliche Fortpflanzung über die Meiose führt zu genetischer Vielfalt	289	Punnett-Quadrat oder Wahrscheinlichkeitsrechnung: Was geht schneller?	318
Die Anzahl, Formen und Größen der Metaphasechromosomen machen den Karyotyp aus	291	Mendels Regeln lassen sich in menschlichen Stammbäumen beobachten	321
11.5 Was geschieht während der Meiose?	292	12.2 Welche Wechselwirkungen gibt es zwischen den Allelen?	322
Durch die meiotische Teilung verringert sich die Anzahl der Chromosomen	292	Neue Allele entstehen durch Mutation	323
Durch den Austausch zwischen den Chromatiden in der Meiose I wird genetische Vielfalt erzeugt	293	Bei vielen Genen gibt es mehrere Allele	323
Während der Meiose trennen sich die homologen Chromosomen durch unabhängige Verteilung	293	Dominanz ist nicht immer vollständig	323
Fehler bei der Meiose führen zu Anomalien in Struktur und Anzahl der Chromosomen	296	Bei der Codominanz werden beide Allele eines Genorts exprimiert	324
Polyploide Organismen besitzen mehr als zwei vollständige Chromosomensätze	298	Einige Allele zeigen mehrere phänotypische Effekte	325
11.6 Wie können in einem lebenden Organismus Zellen sterben?	299	12.3 Welche Wechselwirkungen gibt es zwischen den Genen?	326
11.7 Wie führt eine nicht regulierte Zellteilung zu Krebs?	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	12.4 Welche Beziehung besteht zwischen Genen und Chromosomen?	329
12 Vererbung, Gene und Chromosomen	308	Gene auf demselben Chromosom sind gekoppelt	329
12.1 Wie lauten die Mendel'schen Vererbungsregeln?	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 ₁ -Generation gleich (Uniformitätsregel)	315	12.5 Welche Auswirkungen haben die Gene außerhalb des Zellkerns?	337
Nach Mendels zweiter Regel trennen sich die beiden Allele eines Gens in der F ₂ -Generation in einem bestimmten Zahlenverhältnis auf (Spaltungsregel)	315	12.6 Wie werden Gene bei Prokaryoten übertragen?	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
		13 DNA und ihre Funktion bei der Vererbung	346
		13.1 Wie lässt sich nachweisen, dass Gene aus DNA bestehen?	347



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

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

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

Die DNA-Methylierung kann zu einer genomischen Prägung führen 461

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

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

Durch alternatives Spleißen können von demselben Gen verschiedene mRNAs entstehen 464

Mikro-RNAs sind wichtige Regulatoren der Genexpression 464

Die Translation der mRNA kann reguliert werden 465

Teil V Genome

17 Genome. 472

17.1 Wie werden Genome sequenziert? 473

Die Sequenzierung des menschlichen Genoms wurde mit zwei Verfahren durchgeführt 473

Die Nucleotidsequenz der DNA lässt sich bestimmen 475

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

Genomsequenzen liefern mehrere Arten von Information 479

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

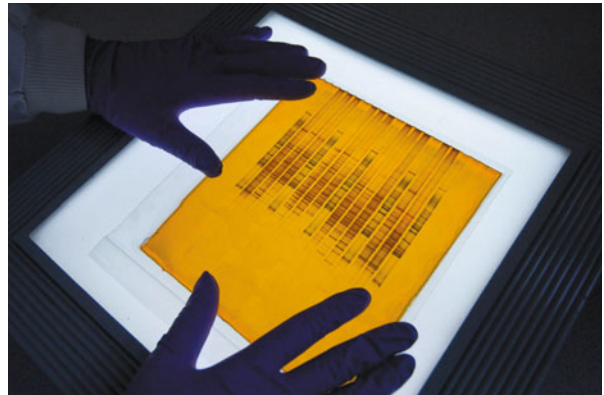
Die Sequenzierung von prokaryotischen Genomen führte zum neuen Wissenschaftsgebiet Genomik 480

Einige DNA-Sequenzen können sich durch das Genom bewegen 481

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

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

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



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

An Modellorganismen lassen sich viele Merkmale eukaryotischer Genome aufzeigen 485

Bei den Eukaryoten gibt es Genfamilien 488

Eukaryotische Genome enthalten zahlreiche Wiederholungssequenzen. 489

17.4 Welche besonderen Merkmale besitzt das menschliche Genom? 492

Die Sequenz des menschlichen Genoms enthält einige Überraschungen 492

Die Genomik des Menschen bringt potenziellen medizinischen Nutzen mit sich 493

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

Das Transkriptom zeigt, welche Gene zurzeit aktiv sind 495

Das Proteom ist komplexer als das Genom. 495

Metabolomik ist die Untersuchung des chemischen Phänotyps 496

18 Rekombinante DNA und Gentechnik. 500

18.1 Was ist rekombinante DNA? 501

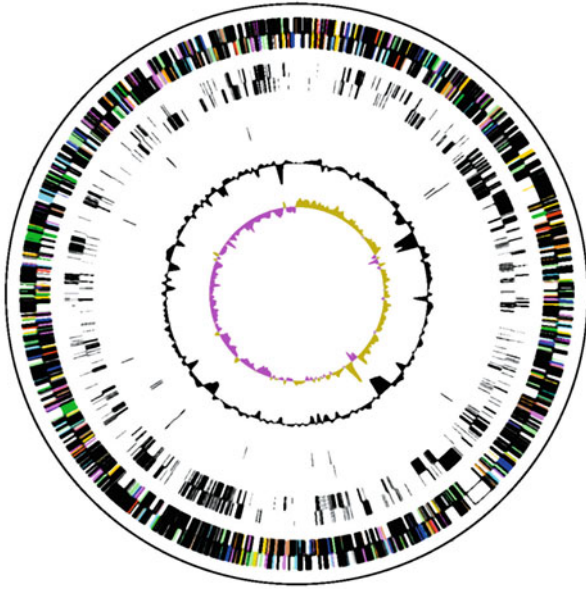
18.2 Wie werden neue Gene in Zellen eingeschleust? 503

Gene können in prokaryotische oder eukaryotische Zellen eingeschleust werden 503

Die rekombinante DNA kann auf verschiedene Weise in Wirtszellen gelangen 504

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

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



20.5	Inwiefern begrenzen Entwicklungsgene die Evolution?	567
	Die Evolution schreitet voran, indem bereits Vorhandenes verändert wird	567
	Konservierte Entwicklungsgene können zu einer parallelen Evolution führen	568

Teil VI

Prozesse und Muster der Evolution

21 Belege für die Evolution und ihre Mechanismen 574

21.1	Welche Fakten bilden die Grundlage für unser Verständnis der Evolution?	575
	Charles Darwin formulierte das Prinzip der natürlichen Selektion	576
	Anpassung hat zwei Bedeutungen	579
	Die Populationsgenetik untermauert Darwins Theorie	579
	Die meisten Populationen sind genetisch variabel	580
	Evolutionäre Veränderungen lassen sich anhand von Allel- und Genotypfrequenzen messen . .	581

	Die genetische Struktur einer Population verändert sich im Laufe der Zeit, sofern nicht bestimmte einschränkende Bedingungen herrschen	582
	Abweichungen vom Hardy-Weinberg-Gleichgewicht zeigen: Es findet eine Evolution statt .	584
21.2	Welche Mechanismen bewirken evolutionäre Veränderungen?	585
	Mutationen erzeugen genetische Variabilität. .	585
	Genfluss kann Allelfrequenzen ändern	585
	Genetische Drift kann in kleinen Populationen große Veränderungen hervorrufen	586
	Durch nicht-zufällige Paarungen kann sich die Häufigkeit von Genotypen ändern	588
21.3	Wie führt die natürliche Selektion zu Evolution?	589
	Die natürliche Selektion kann verändernd oder stabilisierend auf Populationen einwirken . . .	589
	Sexuelle Selektion beeinflusst den Fortpflanzungserfolg	592
21.4	Wie wird in Populationen die genetische Variabilität aufrechterhalten? . .	595
	Neutrale Mutationen sammeln sich mit der Zeit in Populationen an	595
	Sexuelle Rekombination erhöht die Zahl möglicher Genotypen	595
	Durch häufigkeitsabhängige Selektion wird die genetische Variabilität innerhalb von Populationen aufrechterhalten	596
	Durch den Heterozygotenvorteil bleiben polymorphe Loci erhalten	597
	Ein Großteil der genetischen Variabilität von Arten bleibt in geographisch getrennten Populationen erhalten	598
21.5	Welchen Beschränkungen unterliegt die Evolution?	599
	Entwicklungsprozesse schränken die Evolution ein	599
	Kompromisse (<i>trade-offs</i>) schränken die Evolution ein	600
	Evolution über kurze und lange Zeiträume führt bisweilen zu unterschiedlichen Ergebnissen . .	600

22 Die Rekonstruktion der Phylogenie und ihre Anwendungsmöglichkeiten 606

22.1	Was ist Phylogenie?	607
	Sämtliche Organismen sind durch ihre Stammesgeschichte miteinander verbunden . .	609

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

25 Die Geschichte des Lebens auf der Erde 678

25.1 Wie datieren Wissenschaftler Ereignisse in der Vergangenheit? 679
 Radioaktive Isotope bieten eine Möglichkeit, Gesteine zu datieren 680
 Die Methoden der radiometrischen Datierung wurden erweitert und verbessert 680

25.2 Wie haben sich die Kontinente und die klimatischen Verhältnisse auf der Erde im Laufe der Zeit verändert? 681
 Der Sauerstoffgehalt der Erdatmosphäre war im Laufe der Zeit Veränderungen unterworfen. . . 683
 Das Klima auf der Erde schwankte zwischen feucht-heiß und trocken-kalt 686
 Gelegentlich haben Vulkane die Geschichte des Lebens verändert 687
 Ereignisse von außen haben ebenfalls Veränderungen auf der Erde ausgelöst. 688

25.3 Welches waren die bedeutendsten Ereignisse in der Geschichte des Lebens? 689
 Mehrere Prozesse tragen dazu bei, dass die Fossilbelege lückenhaft sind 689
 Im Präkambrium waren die Lebewesen klein und lebten im Wasser. 690
 Im Kambrium entwickelte sich das Leben rasch weiter. 690
 Viele Organismengruppen, die im Kambrium auftauchen, machten später eine Radiation durch. 691
 Während des Mesozoikums verstärkten sich die geographischen Unterschiede 696
 Die modernen Biota entwickelten sich im Känozoikum. 697
 Der Stammbaum des Lebens dient dazu, Ereignisse der Evolutionsgeschichte zu rekonstruieren 698



Teil VII Die Evolution der biologischen Vielfalt

26 Bacteria und Archaea: die prokaryotischen Domänen. 702

26.1 Wie begann die Diversifizierung der Organismen? 703
 Die drei Domänen weisen signifikante Unterschiede auf 704

26.2 Welche Eigenschaften waren entscheidend für den Erfolg der Prokaryoten? 706
 Prokaryoten bilden meist komplexe Lebensgemeinschaften 706
 Prokaryoten besitzen charakteristische Zellwände. 708
 Bei Prokaryoten gibt es charakteristische Fortbewegungsweisen 709
 Prokaryoten pflanzen sich asexuell fort, doch auch genetische Rekombination kommt vor . . 710
 Prokaryoten können kommunizieren 710
 Bei Prokaryoten findet sich eine erstaunliche Vielfalt an Stoffwechselwegen 710

26.3 Wie lässt sich die Phylogenie der Prokaryoten entschlüsseln? 713
 Die geringe Größe von Prokaryoten hat die Erforschung ihrer Phylogenie erschwert 713
 Die Nucleotidsequenzen von Prokaryoten bringen ihre evolutionären Verwandtschaftsbeziehungen ans Licht 713
 Durch horizontalen Gentransfer kann es zu widersprüchlichen Genstammbäumen kommen 714
 Die große Mehrzahl der Prokaryotenarten wurde noch gar nicht erforscht. 715

26.4 In welche Großgruppen werden die Prokaryoten unterteilt? 716
 Spirochäten bewegen sich mithilfe von Axialfilamenten fort 716
 Chlamydien sind extrem kleine Parasiten. . . . 717
 Einige grampositive Bakterien mit hohem GC-Gehalt sind wertvolle Quellen für Antibiotika . 717
 Cyanobakterien sind wichtige Photoautotrophe 718
 Unter den grampositiven Bakterien mit niedrigem GC-Gehalt finden sich die kleinsten zellulären Organismen 718

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

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

30.2 Wie stehen Chitinpilze mit anderen Organismen in Wechselbeziehung? . . . 828
 Saprobiontische Pilze sind von wesentlicher Bedeutung für den Kohlenstoffkreislauf der Erde. 828
 Pilze können als Parasiten und sogar als Räuber auftreten 829
 Manche Pilze gehen für beide Partner vorteilhafte Lebensgemeinschaften ein. 831
 Endophytische Pilze schützen manche Pflanzen vor Pathogenen, Herbivoren und Stress. 834

30.3 Wie unterscheiden sich die Entwicklungszyklen der Chitinpilze? . . 834
 Einige aquatische Flagellatenpilze weisen einen Generationswechsel auf 835
 Bei terrestrischen Pilzen erfolgen Plasmogamie und Karyogamie zeitlich getrennt 835
 Der dikaryotische Zustand ist eine Synapomorphie von Schlauchpilzen und Ständerpilzen 835

30.4 Wie entwickelte sich die Vielfalt der Chitinpilze? 838
 Mikrosporidien sind stark reduzierte parasitische Pilze 838
 Flagellatenpilze sind die einzigen Chitinpilze mit begeißeltem Stadium 839
 Jochpilze leben terrestrisch als Saprobionten, Parasiten oder Symbionten 840
 Arbuskuläre Mykorrhizapilze bilden Symbiosen mit Pflanzen 840
 Die sexuelle Fortpflanzungsstruktur der Schlauchpilze ist der Ascus 840
 Die sexuelle Fortpflanzungsstruktur der Ständerpilze ist das Basidium. 843

31 Die Entstehung der Tiere und die Evolution ihrer Körperbaupläne 848

31.1 Welche Merkmale sind kennzeichnend für Tiere? 849
 Die Monophylie der Tiere wird durch Gensequenzen und morphologische Merkmale gestützt 850
 Die großen Tiergruppen unterscheiden sich durch einige wenige grundlegende Entwicklungsmuster 850

31.2 Welche Merkmale kennzeichnen die Körperbaupläne von Tieren? 853
 Die meisten Tiere weisen eine Symmetrie auf 853
 Der Bau der Leibeshöhle hat Einfluss auf die Art der Fortbewegung 854



Segmentierung des Körpers ermöglicht eine bessere Kontrolle der Bewegungen. 855
 Körperanhänge erfüllen viele verschiedene Funktionen 856

31.3 Wie erlangen Tiere ihre Nahrung? . . . 857
 Filtrierer 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

31.4 Welche Unterschiede bestehen zwischen den verschiedenen Entwicklungszyklen von Tieren? 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

31.5 Welche großen Tiergruppen gibt es? . . 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

32 Protostomier 878

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

Teil VIII Blütenpflanzen: Form und Funktion

34 Der Pflanzenkörper	952
34.1 Was ist der Grundbauplan des Pflanzenkörpers?	953

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



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

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



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

42 Immunologie: Abwehrsysteme der Tiere 1152

42.1 Welche wichtigen Abwehrsysteme gibt es bei Tieren? 1153
 Das Blut und die lymphatischen Gewebe spielen bei den Abwehrsystemen eine wichtige Rolle . 1154
 Weiße Blutzellen übernehmen viele Abwehrfunktionen 1155
 Proteine des Immunsystems binden an Krankheitserreger oder übermitteln Signale an andere Zellen 1155

42.2 Welche Eigenschaften besitzt die angeborene unspezifische Immunabwehr? 1157
 Barrieren und lokale Faktoren verteidigen den Körper gegen Eindringlinge 1157
 Andere unspezifische Abwehrsysteme umfassen spezialisierte Proteine und zelluläre Vorgänge 1158
 Eine Entzündung ist eine koordinierte Reaktion auf eine Infektion oder Verletzung 1159
 Eine Entzündung kann medizinische Probleme hervorrufen 1159
 Zelluläre Signalwege stimulieren die Abwehrreaktionen des Körpers 1160

42.3 Wie entwickelt sich die erworbene Immunität? 1161
 Die adaptive Immunität besitzt vier entscheidende Merkmale 1162
 Wie spezifische humorale und zelluläre Immunantworten interagieren: ein Überblick 1163
 Genetische Veränderungen und die klonale Selektion bringen die spezifische Immunantwort hervor 1164
 Immunität und immunologisches Gedächtnis sind das Ergebnis der klonalen Selektion 1165
 Impfstoffe sind eine Anwendung des immunologischen Gedächtnisses 1165
 Tiere unterscheiden zwischen körpereigen und körperfremd und tolerieren ihre eigenen Antigene 1166

42.4 Was ist die humorale Immunantwort? 1166
 Manche B-Zellen entwickeln sich zu Plasmazellen 1166
 Die verschiedenen Antikörper besitzen eine gemeinsame Struktur 1167
 Es gibt fünf Klassen von Immunglobulinmolekülen 1169
 Für monoklonale Antikörper gibt es zahlreiche Anwendungsmöglichkeiten 1169



42.5 Was ist die zelluläre Immunantwort? 1171
 T-Zell-Rezeptoren binden an Antigene auf Zelloberflächen 1171
 MHC-Proteine präsentieren den T-Zellen die Antigene 1171
 T-Helferzellen und MHC-Klasse-II-Proteine tragen zur humoralen Immunantwort bei . . . 1172
 An der zellulären Immunantwort sind cytotoxische T-Zellen und MHC-Klasse-I-Proteine beteiligt 1173
 Regulatorische T-Zellen unterdrücken die humorale und die zelluläre Immunantwort . . 1173
 MHC-Proteine sind bei Gewebetransplantationen von großer Bedeutung 1175

42.6 Wie können Tiere so viele verschiedene Antikörper hervorbringen? 1176
 Die konstante Region spielt beim Klassenwechsel der Immunglobuline eine Rolle 1178

42.7 Was geschieht bei einer Fehlfunktion des Immunsystems? 1179
 Allergische Reaktionen sind das Ergebnis einer Hypersensitivität 1179
 Autoimmunkrankheiten werden durch Reaktionen gegen körpereigene Antigene ausgelöst 1180
 Aids ist eine Immunschwächekrankheit 1181

43 Fortpflanzung der Tiere 1186

43.1 Wie vermehren sich Tiere ohne Sex? 1187
 Knospung und Regeneration erzeugen neue Individuen durch Mitosen 1188
 Unter Parthenogenese versteht man die Entwicklung unbefruchteter Eier 1188

43.2 Wie pflanzen sich Tiere sexuell fort? . 1189
 Eizellen und 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

**43.3 Wie funktioniert das menschliche
 Fortpflanzungssystem?** 1199
 Die männlichen Sexualorgane produzieren
 Samen und geben ihn ab 1199
 Die männliche Sexualfunktion wird von
 Hormonen kontrolliert 1202
 Die weiblichen Geschlechtsorgane produzieren
 Eizellen, nehmen Spermien auf und ernähren
 den Embryo. 1203
 Der Ovarialzyklus erzeugt eine reife Eizelle. . . 1204
 Der Menstruationszyklus bereitet eine
 geeignete Umgebung für die befruchtete
 Eizelle vor. 1206
 Hormone steuern und koordinieren Ovarial-
 und Menstruationszyklus 1207
 In der Schwangerschaft übernehmen Hormone
 aus den extraembryonalen Membranen die
 Kontrolle 1208
 Die Geburt wird von hormonellen Signalen
 und mechanischen Reizen ausgelöst 1208

**43.4 Wie lässt sich die menschliche
 Fruchtbarkeit kontrollieren?** 1210
 Der sexuelle Reaktionszyklus des Menschen
 weist vier Phasen auf. 1210
 Menschen nutzen eine ganze Reihe von
 Techniken, um ihre Fruchtbarkeit zu
 kontrollieren 1211
 Reproduktionstechnologien helfen bei der
 Lösung von Fertilitätsproblemen 1214

44 Entwicklung der Tiere. 1220

**44.1 Wie aktivieren Besamung und
 Befruchtung die Entwicklung?** 1221
 Spermium und Eizelle liefern unterschiedliche
 Beiträge zur Zygote. 1222
 Die Reorganisation des Ooplasmas schafft die
 Voraussetzungen für die Determination 1222
 Furchung: Das Cytoplasma wird neu verpackt . 1223
 Die Furchung bei Säugern ist einzigartig 1225



Bestimmte Blastomeren generieren bestimmte
 Gewebe und Organe 1226

**44.2 Wie erzeugt die Gastrulation mehr-
 fache Gewebelagen?** 1228
 Die Gastrulation beim Seeigel ist durch die
 Invagination des vegetativen Pols
 charakterisiert 1228
 Die Gastrulation beginnt beim Frosch am
 grauen Halbmond. 1229
 Die dorsale Urmundlippe organisiert die
 Bildung des Embryos 1230
 Die Wirkungen des Organisators basieren auf
 Transkriptionsfaktoren 1232
 Während sich der Organisator von der dorsalen
 Urmundlippe wegbewegt, verändert er seine
 Aktivität. 1232
 Die Gastrulation von Reptilien und Vögeln ist
 eine Anpassung an dotterreiche Eier 1233
 Placentale Säuger besitzen ein Gastrulations-
 muster wie Sauropsiden, obwohl ihren Eiern
 der Dotter fehlt 1235

**44.3 Wie entwickeln sich Organe und
 Organsysteme?** 1236
 Die dorsale Urmundlippe hat den Boden für
 die Organogenese bereitet 1236
 Die Körpersegmentierung entwickelt sich im
 Verlauf der Neurulation. 1237
 Hox-Gene kontrollieren die Entwicklung längs
 der anterior-posterioren Achse 1237

**44.4 Wie wird der heranwachsende Embryo
 versorgt?** 1239
 An der Bildung der extraembryonalen Membra-
 nen sind alle drei Keimblätter beteiligt 1239
 Bei Säugern bilden die extraembryonalen
 Membranen die Placenta 1240

**44.5 Welche Stadien durchläuft die
 menschliche Entwicklung?** 1241
 Die Organentwicklung beginnt im ersten
 Trimester 1241
 Im Laufe des zweiten und dritten Trimesters
 wachsen und reifen die Organsysteme heran . 1242

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

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

Der Körper von Insekten ist von Luftwegen durchzogen 1360
 Fischkiemen nutzen das Gegenstromprinzip, um den Gasaustausch zu maximieren 1360
 Vögel nutzen eine unidirektionale Ventilation, um den Gasaustausch zu maximieren 1361
 Die bidirektionale Ventilation führt zu Totraum, der die Effizienz des Gasaustauschs mindert. . . 1363

49.3 Wie funktioniert die menschliche Lunge? 1365
 Sekrete im Atmungstrakt unterstützen die Ventilation 1365
 Die Lunge wird durch Druckänderungen in der Brusthöhle ventiliert 1367

49.4 Wie transportiert das Blut Atemgase? 1369
 Hämoglobin kann Sauerstoff reversibel binden 1369
 Myoglobin hält eine Sauerstoffreserve bereit . . 1371
 Die Sauerstoffaffinität von Hämoglobin ist variabel 1371
 Kohlenstoffdioxid wird von Hydrogencarbonationen im Blut transportiert 1372

49.5 Wie wird die Atmung reguliert? 1373
 Die Atmung wird vom Hirnstamm kontrolliert . 1373
 Zur Regulation der Atmung ist Feedback-Information nötig. 1374

50 Kreislaufsysteme 1380

50.1 Warum brauchen Tiere ein Kreislaufsystem? 1381
 Manche Tiere kommen ohne Kreislaufsystem aus 1381
 Kreislaufsysteme können offen oder geschlossen sein 1382
 Offene Kreislaufsysteme bewegen extrazelluläre Flüssigkeit. 1382
 Geschlossene Kreislaufsysteme lassen Blut durch Gewebe zirkulieren. 1382

50.2 Wie haben sich die Kreislaufsysteme von Wirbeltieren im Laufe der Evolution entwickelt? 1384
 Fische haben ein zweikammeriges Herz 1384
 Amphibien haben ein dreikammeriges Herz . . 1385
 Sauropsiden können Lungen- und Körperkreislauf ausgezeichnet kontrollieren. 1386
 Bei Vögeln und Säugern sind Lungen- und Körperkreislauf vollständig getrennt 1386

50.3 Wie funktioniert das Säugerherz? . . . 1387
 Blut wird vom rechten Ventrikel in die Lunge

und vom linken Ventrikel in den übrigen Körper gepumpt 1387
 Der Herzschlag wird im Herzmuskel generiert . 1390
 Ein Erregungsleitungssystem koordiniert die Kontraktion des Herzmuskels 1391
 Die elektrischen Eigenschaften der Ventrikelmuskulatur erhalten die Herzkontraktion aufrecht. 1392
 Das EKG registriert die elektrische Aktivität des Herzens. 1393

50.4 Wodurch zeichnen sich Blut und Blutgefäße aus? 1394
 Erythrocyten transportieren die Atemgase . . . 1394
 Blutplättchen spielen bei der Blutgerinnung eine Schlüsselrolle 1395
 Blut zirkuliert in einem System von Adern durch den Körper 1396
 Der Materialaustausch in Kapillarbetten erfolgt durch Druckfiltration, Osmose und Diffusion . . 1397
 Blut fließt durch Venen zurück zum Herzen . . 1399
 Lymphgefäße führen interstitielle Flüssigkeit in den Blutkreislauf zurück 1400
 Gefäßerkrankungen sind Killer 1400

50.5 Wie wird das Kreislaufsystem kontrolliert und reguliert? 1401
 Durch Autoregulation wird die lokale Durchblutung den lokalen Bedürfnissen angepasst . 1402
 Der arterielle Blutdruck wird von hormonellen und neuronalen Mechanismen kontrolliert und reguliert 1403

51 Ernährung, Verdauung und Resorption 1410

51.1 Was muss die Nahrung Tieren liefern? 1411
 Energiebedarf und Energieausgaben lassen sich messen. 1411



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
51.2 Wie nehmen Tiere Nahrung auf und verdauen sie?	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
51.3 Wie funktioniert der Verdauungstrakt von Wirbeltieren?	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
51.4 Wie wird der Nährstofffluss kontrolliert und reguliert?	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
52 Salzhshaushalt, Wasserhaushalt und Stickstoffausscheidung	1442
52.1 Wie erhalten Exkretionssysteme die Homöostase aufrecht?	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
52.2 Wie scheiden Tiere Stickstoff aus?	1446
Tiere scheiden Stickstoff in unterschiedlicher Form aus	1446
Die meisten Arten erzeugen mehr als nur ein einziges stickstoffhaltiges Abfallprodukt	1447
52.3 Wie funktionieren die Exkretionssysteme von Wirbellosen?	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
52.4 Wie erhalten Wirbeltiere ihren Salz- und Wasserhaushalt aufrecht?	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
52.5 Wie erzeugt die Säugerniere einen konzentrierten Harn?	1454
Die Nieren produzieren Harn, der in der Harnblase gespeichert wird	1454
Die Nephrene 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

**52.6 Wie wird die Nierenfunktion
reguliert?** 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

53 Verhalten von Tieren 1470

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

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

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

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

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

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

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

Teil X Ökologie

**54 Ökologie und die Verbreitung
der Organismen 1506**

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

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



Mehrere Faktoren erklären, warum einige Arten eine höhere Populationsdichte erreichen als andere 1550
 Die Häufigkeit von Arten lässt sich durch ihre Evolutionsgeschichte erklären 1552

55.4 Wie wirken sich Habitatvariationen auf die Populationsdynamik aus? 1553
 Viele Populationen leben in isolierten Habitatsinseln 1553
 Korridore können den Fortbestand von Subpopulationen ermöglichen 1554

55.5 Wie lässt sich ein wissenschaftlich abgesichertes Populationsmanagement durchführen? 1555
 Pläne für ein Populationsmanagement müssen Lebenszyklusstrategien berücksichtigen 1555
 Die Prinzipien der Populationsdynamik müssen die Richtschnur für Maßnahmen zum Populationsmanagement bilden 1555
 Der Anstieg der menschlichen Bevölkerung verlief exponentiell 1557

56 Wechselbeziehungen zwischen Arten und Koevolution 1562

56.1 Welche Formen von Wechselbeziehungen erforschen Ökologen? 1563
 Die Wechselbeziehungen zwischen Arten lassen sich in mehrere Kategorien einordnen 1563
 Manche Formen von Wechselbeziehungen bewirken eine Koevolution 1566

56.2 Wie evolvieren antagonistische Wechselbeziehungen? 1566
 Interaktionen zwischen Räuber und Beute führen zu vielfältigen Anpassungen 1567
 Herbivorie ist eine sehr verbreitete Wechselbeziehung. 1570
 Interaktionen zwischen Mikroparasiten und ihren Wirten können pathogen sein 1572
 Die meisten Ektoparasiten verfügen über Anpassungen, mit denen sie sich an ihren Wirten Halt verschaffen. 1572

56.3 Wie evolvieren symbiotische Wechselbeziehungen? 1573
 Zwischen Pflanzen und Bestäubern erfolgt ein Austausch von Nahrung für die Übertragung von Pollen. 1574
 Zwischen Pflanzen und Fruchtfressern findet ein Tausch von Nahrung gegen den Transport von Samen statt 1576

Manche Symbiosepartner tauschen Nahrung gegen Fürsorge oder Transport 1577
 Manche Symbiosepartner bieten Nahrung als Austausch gegen Behausung und Schutz. . . . 1577

56.4 Wozu kann interspezifische Konkurrenz führen? 1579
 Konkurrenz ist weit verbreitet, weil alle Arten sich Ressourcen teilen 1579
 Interferenzkonkurrenz kann die Habitatnutzung einschränken 1580
 Ausbeutungskonkurrenz kann zu einer Koexistenz führen. 1580
 Arten können auch indirekt um eine Ressource konkurrieren 1581
 Konsumenten können den Ausgang einer Konkurrenzsituation beeinflussen. 1581
 Konkurrenz kann die Nische einer Art festlegen 1581

57 Ökologie von Biozöosen 1586

57.1 Was sind Biozöosen? 1587
 Energie gelangt durch die Primärproduzenten in Biozöosen. 1588
 Konsumenten nutzen unterschiedliche Energiequellen 1588
 Auf höheren trophischen Ebenen können weniger Individuen ernährt und weniger Biomasse produziert werden 1589
 Produktivität und Artenreichtum sind miteinander verknüpft 1590

57.2 Wie wirken sich interspezifische Wechselbeziehungen auf die Struktur einer Biozönose aus? 1592
 Durch interspezifische Wechselbeziehungen können trophische Kaskaden entstehen 1592



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

Ein rapider Klimawandel kann das Aussterben von Arten bewirken	1650	Erhaltungszuchtprogramme vor dem Aussterben bewahrt werden	1660
59.4 Mit welchen Strategien versuchen Biologen die Biodiversität zu bewahren?	1651	Das Vermächtnis von Samuel Plimsoll	1661
Schutzgebiete bewahren Habitate und verhindern eine Übernutzung.	1651	Anhang A	
Vom Menschen veränderte Ökosysteme können wieder restauriert werden	1652	Der Stammbaum des Lebens	1665
Bisweilen müssen auch Störungsmuster wiederhergestellt werden.	1654	Anhang B	
Für die Erhaltung mancher Arten ist ein Handelsverbot unabdingbar	1654	Einige in der Biologie gebräuchliche Einheiten	1683
Invasionen gebietsfremder Arten müssen kontrolliert oder verhindert werden	1656	Glossar	1685
Biodiversität kann einen Marktwert besitzen	1657	Bildnachweise	1779
Schon einfache Veränderungen können zu einer Erhaltung der Biodiversität beitragen	1659	Index	1791
Manche Arten können auch durch			