

# Inhalt

<b>Über die Autoren</b>	VI
<b>Vorwort zur deutschen Ausgabe</b>	VII
<b>Vorwort zur amerikanischen 6. Auflage</b>	X
<b>Danksagung</b>	XV
<b>Interviews mit Wissenschaftlern</b>	XXI
<b>1 Einführung: Zehn Leitthemen in der Erforschung des Lebens</b>	1
<b>Die Erforschung des Lebens auf seinen vielen Ebenen</b>	2
Jede biologische Organisationsebene weist emergente Eigenschaften auf	3
Zellen sind die Basiseinheiten der Struktur und Funktion eines Lebewesens	6
Die Kontinuität des Lebens beruht auf vererbbarer Information in Form von DNA	7
Struktur und Funktion sind auf allen biologischen Organisationsebenen miteinander gekoppelt	7
Organismen sind offene Systeme, die kontinuierlich mit ihrer Umwelt in Wechselbeziehung stehen	8
Regulationsmechanismen sorgen in lebenden Systemen für ein dynamisches Gleichgewicht	9
<b>Evolution, Einheitlichkeit und Vielfalt der Organismen</b>	10
Vielfalt und Einheitlichkeit sind die zwei Seiten des Lebens auf der Erde	11
Die Evolution ist das zentrale Thema der Biologie	12
<b>Naturwissenschaftliche Forschung</b>	16
Naturwissenschaftliche Forschung ist ein Erkenntnisprozess aus wiederholbaren Beobachtungen und überprüfbaren Hypothesen	16
Naturwissenschaft und Technik sind tragende Säulen unserer Gesellschaft	23
<b>Zehn Leitthemen, die alle Konzepte der Biologie verbinden: Eine Übersicht</b>	25

# Teil I: Die Chemie des Lebens

<b>2 Der chemische Rahmen des Lebens</b>	31
<b>Chemische Elemente und Verbindungen</b>	32
Materie besteht aus chemischen Elementen, die in Reinform oder als Verbindungen vorliegen	32
Leben erfordert rund 25 chemische Elemente	32
<b>Atome und Moleküle</b>	34
Das Verhalten eines Elements wird vom Aufbau seiner Atome bestimmt	34
Atome vereinigen sich über starke chemische Bindungen zu Molekülen	39
Schwache chemische Bindungen spielen in der Chemie des Lebens eine wichtige Rolle	42
Die biologische Funktion eines Moleküls ist mit seiner Struktur verknüpft	43
Chemische Reaktionen bilden und lösen chemische Bindungen	44
<b>3 Wasser und die Lebenstauglichkeit der Umwelt</b>	49
<b>Effekte der Polarität von Wasser</b>	50
Die Polarität der Wassermoleküle führt zur Ausbildung von Wasserstoffbrücken	50
Organismen sind auf die Kohäsion (gegenseitige Anziehung) von Wassermolekülen angewiesen	50
Wasser gleicht Temperaturen auf der Erde aus	51
Ozeane und Seen gefrieren nicht vollständig, da Eis oben schwimmt	53
Wasser ist das Lösungsmittel des Lebens	54
<b>Die Dissoziation von Wassermolekülen</b>	56
Organismen reagieren empfindlich auf Änderungen des pH-Werts	56
Säureniederschlag gefährdet die Lebenstauglichkeit der Umwelt	58

<b>4 Kohlenstoff und die molekulare Vielfalt des Lebens</b>	63
<b>Die Bedeutung des Kohlenstoffs</b>	63
Die Organische Chemie ist die Lehre von den Kohlenstoffverbindungen	64
Kohlenstoffatome sind die vielseitigsten Bausteine von Molekülen	65
Die Vielfalt organischer Moleküle beruht auf der Variation des Kohlenstoffgerüsts	66
<b>Funktionelle Gruppen</b>	68
Funktionelle Gruppen steigern die molekulare Vielfalt des Lebens	68
Die chemischen Elemente des Lebens: <i>Eine Übersicht</i>	71
<b>5 Die Struktur und Funktion biologischer Makromoleküle</b>	75
<b>Polymerprinzipien</b>	76
Die meisten Makromoleküle sind Polymere	76
Eine immense Vielfalt von Polymeren kann aus einem kleinen Satz Monomere gebildet werden	77
<b>Kohlenhydrate – Betriebsstoffe und Baustoffe</b>	77
Zucker, die kleinsten Kohlenhydrate, dienen als Betriebsstoff und Kohlenstoffquelle	77
Polysaccharide, die Polymere von Zuckern, dienen als Energiespeicher und Baumaterial	79
<b>Lipide – verschiedenartige hydrophobe Moleküle</b>	81
Fette speichern große Energiemengen	82
Phospholipide sind Hauptbestandteile von Zellmembranen	84
Steroide umfassen Cholesterin und bestimmte Hormone	85
<b>Proteine – viele Strukturen, viele Funktionen</b>	85
Ein Polypeptid ist ein Polymer aus Aminosäuren, die in bestimmter Reihenfolge miteinander verknüpft sind	86
Die Funktion eines Proteins hängt von seiner spezifischen Konformation ab	88
<b>Nucleinsäuren – informationsreiche Polymere</b>	97
Nucleinsäuren speichern und übertragen die Erbinformation	97
Ein Nucleinsäurestrang ist ein Polymer aus Nucleotiden	97

Die Vererbung beruht auf der Replikation der DNA-Doppelhelix	99
DNA und Proteine können als Maßband der Evolution dienen	100
<b>6 Einführung in den Stoffwechsel</b>	<b>103</b>
<b>Stoffwechsel, Energie und Leben</b>	<b>104</b>
Die Chemie des Lebens ist in Stoffwechselwegen organisiert	104
Organismen wandeln Energie um	104
Die Energieumwandlungen der Lebensprozesse gehorchen zwei Gesetzen der Thermodynamik	105
Organismen leben von freier Energie, die sie ihrer Umgebung entziehen	107
ATP treibt die zelluläre Arbeit an, indem es exergonische an endergonische Teilreaktionen koppelt	111
<b>Enzyme</b>	<b>113</b>
Enzyme beschleunigen Stoffwechselreaktionen, indem sie Energiebarrieren herabsetzen	113
Enzyme sind substratspezifisch und reaktions-spezifisch	115
Das aktive Zentrum ist die katalytisch wirksame Region eines Enzyms	116
Das chemische und physikalische Milieu einer Zelle beeinflusst die Enzymaktivität	117
<b>Die Kontrolle des Stoffwechsels</b>	<b>119</b>
Stoffwechselkontrolle beruht oft auf allosterischer Regulation	119
Die spezifische Verteilung von Enzymen in einer Zelle ordnet den Stoffwechsel	121
Die Moleküle des Lebens besitzen emergente Eigenschaften: <i>Ein Rückblick</i>	121

## Teil II: Die Zelle

<b>7 Ein Rundgang durch die Zelle</b>	<b>129</b>
<b>Wie man Zellen untersucht</b>	<b>130</b>
Mikroskope eröffnen Einblicke in das Innenleben der Zellen	130
Die Zellbiologen können Organellen isolieren und ihre Funktionen untersuchen	132
<b>Die Zelle: Ein Panoramablick</b>	<b>133</b>

Pro- und Eukaryotenzellen unterscheiden sich in Größe und Komplexität	133
Innere Membranen grenzen die Funktionen einer Eukaryotenzelle gegeneinander ab	135
<b>Zellkern und Ribosomen</b>	136
Der Zellkern enthält die genetische Bibliothek der Zelle	136
Ribosomen bauen die Proteinmoleküle einer Zelle auf	139
<b>Das innere Membransystem</b>	140
Das endoplasmatische Reticulum stellt Membranen her und erfüllt auch viele andere Biosynthesefunktionen	140
Der Golgi-Apparat stellt viele Zellprodukte fertig, sortiert sie und liefert sie an ihren Bestimmungsort	141
Lysosomen verdauen Makromoleküle	143
Vakuolen erfüllen im Haushalt der Zelle vielfältige Funktionen	144
<b>Andere membranumhüllte Organellen</b>	146
Mitochondrien und Chloroplasten sind die hauptsächlichen Energiewandler der Zellen	146
Peroxisomen bauen in vielfältigen Stoffwechselfunktionen $H_2O_2$ auf und ab	147
Das Cytoskelett	148
Das Cytoskelett dient als Stützstruktur und wirkt an den Bewegungen der Zelle mit	148
<b>Zelloberfläche und Zellverbindungen</b>	154
Pflanzenzellen sind von einer festen Zellwand umschlossen	154
Die extrazelluläre Matrix der Tiere beeinflusst Form, Beweglichkeit, Aktivität und Entwicklung der Zellen	155
Zellverbindungen verknüpfen Zellen zu höheren Struktur- und Funktionseinheiten	156
Die Zelle ist als lebendiges Ganzes mehr als die Summe ihrer Einzelteile	157
<b>8 Membranen: Struktur und Funktion</b>	163
<b>Struktur biologischer Membranen</b>	164
Membranmodelle entwickelten sich aufgrund neuer Befunde weiter	164
Biomembranen sind flüssig	165
Biomembranen sind ein strukturelles und funktionelles Mosaik	167

Membrangebundene Kohlenhydrate sind wichtig für die Zell-Zell-Erkennung	168
<b>Stofftransport durch biologische Membranen</b>	170
Der molekulare Aufbau einer Biomembran führt zu selektiver Permeabilität	170
Passiver Transport ist Diffusion von Teilchen durch eine Membran	170
Osmose ist der passive Transport von Wassermolekülen	172
Das Überleben der Zelle hängt von einem ausgeglichenen Wasserhaushalt ab	172
Spezifische Proteine erleichtern den passiven Transport von Wasser und ausgewählter gelöster Substanzen: <i>Eine nähere Betrachtung</i>	174
Aktiver Transport ist das Pumpen eines gelösten Stoffes entgegen seinem Konzentrationsgefälle	174
Manche Ionenpumpen erzeugen an der Membran ein elektrisches Potenzial	175
Beim Cotransport koppelt ein Membranprotein den Transport zweier gelöster Stoffe	177
Makromoleküle passieren die Plasmamembran durch Exocytose und Endocytose	177

## **9 Zellatmung: Gewinnung chemischer Energie** 183

### **Prinzipien der Energiegewinnung** 185

Zellatmung und Gärung sind katabole (Energie liefernde) Stoffwechselwege 185

Die Zellen müssen das ATP regenerieren, das sie bei ihren Aktivitäten verbrauchen 186

Redoxreaktionen liefern Energie, indem Elektronen auf elektronegativere Atome übergehen 186

In der Zellatmung fließen Elektronen von organischen Molekülen zum Sauerstoff 187

Der Elektronenfluss bei der Zellatmung verläuft kaskadenartig über  $\text{NAD}^+$  und eine Elektronentransportkette 188

### **Ablauf der Zellatmung** 190

Zellatmung ist der Funktionskomplex aus Glykolyse, Citratzyklus und Atmungskette: *Eine Übersicht* 190

In der Glykolyse wird Energie durch die Oxidation von Glucose zu Pyruvat freigesetzt: *Eine nähere Betrachtung* 191

Der Citratzyklus vervollständigt die Energie liefernde Oxidation organischer Moleküle: *Eine nähere Betrachtung* 194

Die innere Mitochondrienmembran koppelt Elektronentransport und ATP-Synthese: <i>Eine nähere Betrachtung</i>	195
Durch die Zellatmung werden für jedes oxidierte Glucosemolekül zahlreiche ATP-Moleküle gebildet: <i>Eine Übersicht</i>	199
<b>Verwandte Stoffwechselprozesse</b>	201
Durch Gärung können manche Zellen auch ohne Sauerstoff ATP bilden	201
Glykolyse und Citratzyklus sind mit vielen anderen Stoffwechselwegen verknüpft	203
Die Zellatmung wird durch Rückkopplungsmechanismen gesteuert	204
<b>10 Photosynthese</b>	209
<b>Die Photosynthese im Gesamtbild der Natur</b>	210
Pflanzen und andere autotrophe Organismen sind die Primärproduzenten der Biosphäre	210
Chloroplasten sind bei Pflanzen die Orte der Photosynthese	212
<b>Die Reaktionswege der Photosynthese</b>	212
Nachdem man wusste, dass Chloroplasten Wassermoleküle spalten, konnte man Atome durch die Photosynthese verfolgen	212
Die Lichtreaktionen und der Calvin-Zyklus wirken zusammen und setzen Lichtenergie in die chemische Energie der Nährstoffe um: <i>Eine Übersicht</i>	213
Die Lichtreaktionen verwandeln Sonnenenergie in die chemische Energie von ATP und NADPH: <i>Eine nähere Betrachtung</i>	215
Im Calvin-Zyklus dienen ATP und NADPH dazu, Zucker aus CO <sub>2</sub> herzustellen: <i>Eine nähere Betrachtung</i>	222
In heißen und trockenen Lebensräumen haben sich alternative Mechanismen der Kohlenstoff-Fixierung entwickelt	225
Die Photosynthese ist die Stoffwechselgrundlage der Biosphäre: <i>Eine Übersicht</i>	227
<b>11 Zelluläre Kommunikation</b>	233
<b>Signalaustausch zwischen Zellen:</b> <i>Eine Übersicht</i>	234
Der Signalaustausch zwischen Zellen entwickelte sich in der Geschichte des Lebens schon früh	234
Kommunizierende Zellen können eng benachbart oder weit voneinander entfernt sein	235

Die drei Phasen der Signalverarbeitung sind Erkennung, Übertragung und Antwort	236
<b>Signalerkennung und Übertragungsbeginn</b>	237
Das Signalmolekül bindet an ein Rezeptorprotein und veranlasst es zu einer Konformationsänderung	237
Die meisten Signalrezeptorproteine liegen in der Plasmamembran	238
<b>Signalübertragungswege</b>	242
Signalübertragungswege führen vom Rezeptor zur Zellantwort	242
Die Signalübertragung geschieht oft durch Phosphorylierung von Proteinen, ein viel verwendeter zellulärer Regulationsprozess	242
Bestimmte kleine Moleküle und Ionen nehmen als sekundäre Botenstoffe eine Schlüsselstellung in Signalübertragungswegen ein	244
<b>Antworten der Zelle auf äußere Signale</b>	247
Die Zelle antwortet auf Signale, indem sie Abläufe im Cytoplasma oder die Transkription im Zellkern gezielt ändert	247
Die Antworten der Zelle werden durch die komplexen Signalübertragungswege festgelegt und verstärkt	248
<b>12 Der Zellzyklus</b>	253
<b>Die Schlüsselfunktionen der Zellteilung</b>	254
Die Zellteilung dient zu Vermehrung, Wachstum und Regeneration	254
Durch die Zellteilung werden gleichartige Chromosomensätze auf die Tochterzellen verteilt	254
<b>Zellzyklus und Mitose</b>	257
Im Zellzyklus wechseln Mitosephase und Interphase ab: <i>Eine Übersicht</i>	257
Die Mitosespindel verteilt die Chromosomen auf die Tochterzellen: <i>Eine nähere Betrachtung</i>	258
In der Cytokinese teilt sich das Cytoplasma: <i>Eine nähere Betrachtung</i>	261
Die Mitose der Eukaryoten hat sich vermutlich aus der Zweiteilung der Bakterien entwickelt	261
<b>Die Kontrolle des Zellzyklus</b>	263
Ein molekulares Kontrollsystem treibt den Zellzyklus an	263
Zur Regulation des Zellzyklus tragen innere und äußere Signale bei	266
Krebszellen haben sich von der Kontrolle des Zellzyklus befreit	268

## Teil III: Die Gene

<b>13 Meiose und sexuelle Entwicklungszyklen</b>	277
<b>Eine Einführung in die Vererbung</b>	278
Die Nachkommen erhalten ihre Gene von den Eltern, indem sie deren Chromosomen erben	278
Ganz die Mutter? Der Unterschied zwischen asexueller und sexueller Fortpflanzung	278
<b>Die Rolle der Meiose in sexuellen Entwicklungszyklen</b>	279
Befruchtung und Meiose alternieren bei sexuellen Entwicklungszyklen	279
In der Meiose wird der diploide Chromosomensatz zum haploiden Status reduziert: <i>Eine nähere Betrachtung</i>	282
<b>Ursprünge genetischer Variabilität</b>	287
Sexuelle Entwicklungszyklen bewirken eine genetische Variabilität der Nachkommen	287
Evolutionäre Anpassung beruht auf der genetischen Variabilität einer Population	289
<b>14 Mendel und der Genbegriff</b>	293
<b>Gregor Mendels Entdeckungen</b>	294
Mendel führte das Experiment und die quantitative Auswertung in die Genetik ein	294
Nach der „Spaltungsregel“ gelangen die beiden Allele für ein bestimmtes Merkmal in getrennte Gameten	295
Nach der „Unabhängigkeitsregel“ segregiert jedes Allelpaar unabhängig in die Gameten	299
Die Mendel-Genetik beruht auf den Gesetzen der Wahrscheinlichkeit	300
Wie Mendel entdeckte, verhalten sich Erbmerkmale wie diskrete Teilchen: <i>Eine Übersicht</i>	302
<b>Erweiterung der Mendel-Genetik</b>	303
Die Beziehung zwischen Genotyp und Phänotyp ist selten einfach	303
<b>Mendel-Genetik beim Menschen</b>	307
Stammbaumanalysen bestätigen Mendelsche Erbgänge beim Menschen	308
Viele menschliche Erbkrankheiten folgen den Mendelschen Regeln der Vererbung	309
Die Gentechnik entwickelt neue Methoden für genetische Tests und Familienberatung	312

<b>15 Die chromosomale Grundlage der Vererbung</b>	319
<b>Mendel-Genetik und Chromosomen</b>	320
Die strukturelle Grundlage der Mendel-Genetik ist das Verhalten der Chromosomen während des sexuellen Entwicklungszyklus	320
Morgan lokalisierte Gene auf Chromosomen	320
Gekoppelte Gene werden in der Regel gemeinsam vererbt, weil sie auf demselben Chromosom liegen	322
Die unabhängige Segregation von Chromosomen und das Crossing-over führen zur Rekombination von Genen	323
Genetiker nutzen Rekombinationsdaten, um Genkarten von Chromosomen zu erstellen	324
<b>Geschlechtschromosomen</b>	327
Die chromosomale Basis der Geschlechtsbestimmung ist bei den Organismen unterschiedlich	327
Geschlechtsgebundene Gene zeigen besondere Erbgänge	328
<b>Fehler bei und Ausnahmen von der chromosomalen Vererbung</b>	330
Manche Erbkrankheiten beruhen auf einer Abänderung (Aberration) der Chromosomenzahl oder Chromosomenstruktur	330
Die phänotypische Ausprägung einiger Gene hängt davon ab, ob sie von der Mutter oder vom Vater geerbt wurden (Imprinting)	333
Extrachromosomale Gene zeigen ein von den Mendelschen Regeln abweichendes Vererbungsmuster	335
<b>16 Die molekulare Grundlage der Vererbung</b>	339
<b>DNA als genetisches Material</b>	340
Die Suche nach dem genetischen Material führte zur DNA	340
Watson und Crick entdeckten die Doppelhelix, indem sie DNA-Modelle bauten, die zu den Röntgenbeugungsdaten passten	342
<b>Replikation und Reparatur der DNA</b>	345
Bei der DNA-Replikation dienen vorhandene DNA-Stränge durch Basenpaarung als Matrizen für neue komplementäre Stränge	345
Ein Apparat aus Enzymen und anderen Proteinen führt die DNA-Replikation durch	347

Enzyme lesen an replizierter DNA Korrektur und reparieren Schäden	351
Die Enden von DNA-Molekülen werden durch einen speziellen Mechanismus repliziert	352
<b>17 Vom Gen zum Protein</b>	<b>357</b>
<b>Die Verbindung zwischen Genen und Proteinen</b>	<b>358</b>
Die Untersuchung von Stoffwechseldefekten lieferte den Beweis, dass Proteine durch Gene codiert werden	358
Transkription und Translation sind die beiden entscheidenden Schritte vom Gen zum Protein: <i>Eine Übersicht</i>	360
Im genetischen Code steht ein bestimmtes Triplet von Nucleotiden für eine bestimmte Aminosäure	361
Der genetische Code muss sich sehr früh in der Geschichte des Lebens entwickelt haben	363
<b>Synthese und Prozessierung der RNA</b>	<b>363</b>
Transkription ist die DNA-gesteuerte Synthese von RNA: <i>Eine nähere Betrachtung</i>	363
Eukaryotische Zellen prozessieren ihre RNA nach der Transkription	366
<b>Die Proteinbiosynthese</b>	<b>368</b>
Translation ist die RNA-gesteuerte Synthese eines Polypeptids: <i>Eine nähere Betrachtung</i>	368
Signalpeptide dirigieren bei den Eukaryoten bestimmte Polypeptide zu ihren Bestimmungsorten in der Zelle	375
RNA spielt in der Zelle viele verschiedene Rollen: <i>Eine Übersicht</i>	375
Vergleich der Proteinsynthese bei Prokaryoten und Eukaryoten: <i>Eine Übersicht</i>	376
Genmutationen können die Struktur und Funktion eines Proteins verändern	377
Was ist ein Gen? <i>Neu gefragt</i>	379
<b>18 Mikroben als Modellsysteme: Die Genetik der Viren und Bakterien</b>	<b>385</b>
<b>Die Genetik der Viren</b>	<b>386</b>
Beim Studium einer Pflanzenkrankheit entdeckten Forscher die Viren	386
Ein Virus ist ein Genom in einer schützenden Proteinhülle	386
Viren können sich nur in einer Wirtszelle vermehren: <i>Eine Übersicht</i>	388

Phagen vermehren sich durch lytische oder lysogene Zyklen	389
Tierische Viren zeigen vielfältige Infektions- und Replikationsmechanismen	390
Pflanzenviren verursachen große Schäden in der Landwirtschaft	396
Viroide und Prionen sind infektiöse Partikel und noch einfacher gebaut als Viren	397
Viren haben sich wahrscheinlich aus anderen mobilen genetischen Elementen entwickelt	397
<b>Die Genetik der Bakterien</b>	398
Die kurze Generationszeit der Bakterien erleichtert ihre evolutionäre Anpassung an wechselnde Umweltbedingungen	398
Genetische Rekombination bringt neue Bakterienstämme hervor	399
Die Kontrolle der Genexpression erlaubt es individuellen Bakterien, ihren Stoffwechsel an Milieuveränderungen anzupassen	406
<b>19 Organisation und Kontrolle eukaryotischer Genome</b>	415
<b>Die Chromatinstruktur der Eukaryoten</b>	416
Im Chromatin ist die DNA in mehreren verschachtelten Ebenen verpackt	416
<b>Genomorganisation auf DNA-Ebene</b>	418
Repetitive DNA und andere nichtcodierende Sequenzen machen einen großen Teil des eukaryotischen Genoms aus	418
Genfamilien haben sich durch Duplikation von Vorläufer-Genen entwickelt	419
Amplifikation, Verlust oder Umordnung von Genen können das Genom einer Zelle während der Lebensspanne eines Organismus verändern	421
<b>Die Kontrolle der Genexpression</b>	424
Jede Zelle eines vielzelligen Eukaryoten exprimiert nur einen kleinen Teil ihrer Gene	424
Die Kontrolle der Genexpression kann bei jedem Schritt auf dem Wege vom Gen zum funktionellen Protein stattfinden: <i>Eine Übersicht</i>	425
Chromatin-Modifikationen beeinflussen die Verfügbarkeit der Gene für die Transkription	425
Die Initiation der Transkription wird durch Proteine kontrolliert, die mit der DNA und untereinander wechselwirken	426
Posttranskriptionelle Mechanismen unterstützen die Kontrolle der Genexpression	429

<b>Molekulare Tumorbilogie</b>	431
Krebs ist die Folge genetischer Veränderungen, die den Zellzyklus beeinflussen	431
Onkogene Proteine und fehlerhafte Tumorsuppressor-Proteine stören die normalen Signalübertragungswege	432
Multiple Mutationen führen zur Entartung von Zellen und sind die Basis für Krebs	434
<b>20 Gentechnik und Genomics</b>	439
<b>DNA-Klonierung</b>	440
Die Gentechnik ermöglicht es, Gene für die Grundlagenforschung und industrielle Anwendungen zu klonieren: <i>Eine Übersicht</i>	440
Mit Restriktionsenzymen kann rekombinante DNA hergestellt werden	440
Gene können in rekombinanten DNA-Vektoren kloniert werden: <i>Eine nähere Betrachtung</i>	442
Klonierte Gene werden in DNA-Bibliotheken gespeichert	446
Die Polymerase-Kettenreaktion (PCR) kloniert DNA ausschließlich <i>in vitro</i>	447
<b>DNA-Analyse und Genomics</b>	448
In der Restriktionsfragment-Analyse zeigt jedes DNA-Molekül aufgrund seiner Restriktions-Schnittstellen ein typisches Muster	448
Ganze Genome können auf der DNA-Ebene kartiert werden	450
Genomprojekte eröffnen den Zugang zu grundlegenden biologischen Fragen	455
<b>Praktische Anwendungen der Gentechnik</b>	459
Die Gentechnik revolutioniert die Medizin und die pharmazeutische Industrie	459
Die Gentechnik eröffnet neue Wege in Gerichtsmedizin, Umweltschutz und Landwirtschaft	462
Die Gentechnik wirft grundlegende Fragen der Sicherheit und Ethik auf	465
<b>21 Die genetischen Grundlagen der Entwicklung</b>	471
<b>Vom einzelligen zum vielzelligen Organismus</b>	472
Die Embryonalentwicklung umfasst Zellteilung, Zelldifferenzierung und Morphogenese	472

Wissenschaftler untersuchen die Entwicklung anhand von Modellorganismen, um so allgemeine Prinzipien zu erkennen	474
<b>Differenzielle Genexpression</b>	476
Unterschiedliche Zelltypen eines Organismus weisen die gleiche DNA auf	476
Unterschiedliche Zelltypen produzieren unterschiedliche Proteine, wobei meist die Transkription reguliert wird	480
Die transkriptionelle Regulation wird durch maternale (mütterliche) Moleküle im Cytoplasma und Signale von anderen Zellen gesteuert	482
<b>Genetische und zelluläre Mechanismen der Musterbildung</b>	483
Genetische Untersuchungen an <i>Drosophila</i> bringen ans Licht, wie Gene die Entwicklung steuern: <i>Eine Übersicht</i>	483
Gradienten maternaler Moleküle steuern die Achsenbildung in frühen Embryonalstadien	485
Das Muster der Segmentierung bei <i>Drosophila</i> wird durch eine hierarchische Kaskade von Genaktivierungen gesteuert: <i>Eine nähere Betrachtung</i>	487
Homöotische Gene steuern die Identität von Körperteilen	488
Homöobox-Gene blieben im Laufe der Evolution weitgehend unverändert erhalten	489
Benachbarte Zellen instruieren andere Zellen, bestimmte Strukturen zu bilden: Signalaustausch zwischen Zellen und Induktion bei Nematoden	490
Die Entwicklung von Pflanzen beruht auf Signalaustausch zwischen Zellen und Transkriptionsregulation	493

## Teil IV: Die Mechanismen der Evolution

Die Abstammung der Menschen Die darwinistische Welt des Lebens	503
<b>Der historische Kontext der Evolutionstheorie</b>	504
Die westliche Kultur widersetzte sich evolutionären Sichtweisen des Lebens	504
Das Konzept des geologischen Gradualismus ebnete der Abstammungslehre den Weg	506
Lamarck brachte die Fossilien in einen evolutionären Zusammenhang	507
<b>Die darwinistische Revolution</b>	507

Feldforschungen brachten Darwin darauf, seine Sicht des Lebens zu entwickeln	508
Darwins Werk <i>Die Entstehung der Arten</i> behandelt zweierlei: Die Evolution als historisches Ereignis und die natürliche Selektion als ihr Mechanismus	510
Beispiele für natürliche Selektion liefern Hinweise auf eine Evolution	513
Überall in der Biologie finden sich weitere Belege für die Evolution	515
Was ist theoretisch an der Evolutionstheorie?	519
	523
<b>Populationsgenetik</b>	524
Die Synthetische Evolutionstheorie vereinigte Darwins Selektionstheorie und Mendels Genetik	524
Der Genpool einer Population ist durch die Häufigkeit ihrer Allele definiert	525
Das Hardy-Weinberg-Gesetz beschreibt eine nicht evolvierende Population	526
<b>Ursachen der Mikroevolution</b>	528
Mikroevolution ist ein Wandel in den Allelfrequenzen einer Population von Generation zu Generation	528
Die beiden Hauptursachen für Mikroevolution sind genetische Drift und natürliche Selektion	528
<b>Genetische Variabilität: die Grundlage für die natürliche Selektion</b>	531
Genetische Variabilität tritt innerhalb und zwischen Populationen auf	531
Mutationen und sexuelle Rekombination erzeugen genetische Variabilität	533
Diploidie und balancierte Polymorphismen erhalten die Variabilität	535
<b>Eine nähere Betrachtung der natürlichen Selektion als Mechanismus der adaptiven Evolution</b>	537
Die evolutionäre Fitness ist der relative Beitrag eines Individuums zum Genpool der nächsten Generation	537
Die Selektion kann sich gerichtet, disruptiv oder stabilisierend auf ein variierendes Merkmal auswirken	538
Die natürliche Selektion begünstigt die sexuelle Fortpflanzung	539
Sexuelle Selektion kann zu auffälligen sekundären Geschlechtsunterschieden führen	540

Die natürliche Selektion kann keine perfekten Organismen hervorbringen	541
	545
<b>Was ist eine Art?</b>	546
Der biologische Artbegriff betont die reproduktive Isolation	546
Präzygotische und postzygotische Fortpflanzungsbarrieren isolieren die Genpools biologischer Arten	546
Der biologische Artbegriff hat einige gravierende Beschränkungen	549
Evolutionenbiologen haben mehrere alternative Artbegriffe entwickelt	550
<b>Möglichkeiten der Artbildung</b>	550
Allopatrische Artbildung: Geographische Barrieren können zur Entstehung von Arten führen	551
Sympatrische Artbildung: Eine neue Art kann inmitten des geographischen Verbreitungsgebiets ihrer Ausgangsart entstehen	555
Das Modell des Punktualismus regte Forschungen über die Geschwindigkeit der Artbildung an	558
<b>Von der Artbildung zur Makroevolution</b>	559
Die meisten evolutionären Neuerungen sind abgeänderte Versionen älterer Strukturen	560
„Evo-Devo“-Forschung: Gene, welche die Entwicklung steuern, spielen auch in der Evolution eine wichtige Rolle	561
Reicht die Synthetische Theorie zur Erklärung der Makroevolution?	563
Ein Evolutionstrend bedeutet nicht, dass die Evolution zielgerichtet verläuft	565
	571
<b>Fossilbelege und geologische Zeit</b>	572
Sedimentgesteine sind die reichhaltigsten Quellen für Fossilien	572
Paläontologen verfügen über eine Vielzahl von Methoden, um Fossilien zu datieren	572
Die Fossilbelege stellen eine wesentliche, aber unvollständige Chronik der Stammesgeschichte dar	576
Die Phylogenie hat eine biogeographische Triebfeder in der Kontinentaldrift	576
Die Geschichte des Lebens ist geprägt durch wiederholte Massenaussterben	578

<b>Systematik: die Verbindung von Klassifizierung und Phylogenie</b>	581
Die Taxonomie wendet ein hierarchisches Klassifizierungssystem an	581
Die moderne phylogenetische Systematik beruht auf kladistischen Analysen	583
Die Systematiker können die Phylogenie aus molekularen Daten ableiten	587
Das Prinzip der Parsimonie hilft den Systematikern, die Phylogenie zu rekonstruieren	588
Stammbäume sind hypothetisch	592
Mithilfe molekularer Uhren lässt sich die Evolutionszeit verfolgen	593
Die moderne Systematik unterliegt einer lebhaften Diskussion	594

## **Teil V: Die Stammesgeschichte der biologischen Diversität**

<b>26 Die junge Erde und die Entstehung des Lebens</b>	607
<b>Einführung in die Geschichte des Lebens</b>	608
Vor 3,5 bis 4 Milliarden Jahren entstand das Leben auf der Erde	608
Prokaryoten bestimmten die Evolutionsgeschichte von Beginn an für etwa 1,5 Milliarden Jahre allein	608
Sauerstoff begann sich in der Atmosphäre vor 2,7 Milliarden Jahren anzureichern	610
Eukaryotisches Leben bildete sich vor 2,1 Milliarden Jahren	611
Vielzellige Eukaryoten erschienen vor 1,2 Milliarden Jahren	612
Die Vielfalt der Tiere vergrößerte sich explosionsartig während des frühen Kambrium	612
Pflanzen, Pilze und Tiere eroberten das Festland vor etwa 500 Millionen Jahren	613
<b>Der Ursprung des Lebens</b>	613
Die ersten Zellen könnten durch chemische Evolution auf der jungen Erde entstanden sein: <i>Eine Übersicht</i>	614
Die spontane abiotische Entstehung von Biomonomeren ist eine überprüfbare Hypothese	614
Bei experimenteller Simulation der Bedingungen auf der Ur-Erde kondensieren Biomonomere zu Makromolekülen	616

Das erste genetische Material war vermutlich nicht DNA, sondern RNA	617
Protobionten konnten sich durch Selbstassemblierung bilden, wie Simulationsexperimente zeigen	618
Mit Erbinformation ausgestattete Protobionten wurden durch die natürliche Selektion angepasst	618
Die Diskussion über die Entstehung des Lebens geht weiter	619
<b>Die Hauptlinien des Lebens</b>	620
Das Fünf-Reiche-System spiegelte das zunehmende Wissen über die Diversität des Lebens wider	621
Das Einteilen der Organismen in Reiche ist noch nicht abgeschlossen	621
<b>27 Prokaryoten und die Entstehung der Stoffwechselvielfalt</b>	627
<b>Die Welt der Prokaryoten</b>	628
Prokaryoten gibt es (fast) überall: <i>Eine Übersicht des prokaryotischen Lebens</i>	628
Bacteria und Archaea bilden die beiden Hauptzweige der prokaryotischen Evolution	628
<b>Bau, Funktion und Fortpflanzung der Prokaryoten</b>	629
Fast alle Prokaryoten besitzen eine Zellwand außerhalb ihrer Plasmamembran	630
Viele Prokaryoten können sich gerichtet fortbewegen	631
In Zellaufbau und Genomorganisation unterscheiden sich die Prokaryoten fundamental von den Eukaryoten	632
Populationen von Prokaryoten wachsen und adaptieren sich sehr schnell	633
<b>Diversität der Ernährung und des Stoffwechsels</b>	634
Prokaryoten können nach der Art ihrer Kohlenstoff- und Energiequellen in vier Kategorien eingeteilt werden	634
Die Photosynthese entstand in der Stammesgeschichte der Prokaryoten schon früh	636
<b>Eine Übersicht der prokaryotischen Vielfalt</b>	637
Die molekulare Systematik führt zu einer phylogenetischen Klassifizierung der Prokaryoten	637
Wissenschaftler finden eine große Vielfalt von Archaea in extremen Lebensräumen und in den Ozeanen	639

Die meisten bekannten Prokaryoten gehören zu den Bacteria	642
<b>Die ökologische Bedeutung der Prokaryoten</b>	642
Prokaryoten sind unentbehrlich für das Recycling chemischer Elemente in Ökosystemen	643
Viele Prokaryoten leben mit anderen Organismen eng zusammen	643
Pathogene Prokaryoten verursachen viele menschliche Krankheiten	644
Menschen nutzen Prokaryoten in Forschung und Biotechnologie	645
<b>28 Protisten: Die Basis der eukaryotischen Vielfalt</b>	651
<b>Einführung in die Welt der Protisten</b>	652
Die Systematiker spalten die Protisten in immer mehr Reiche auf	652
Protisten zeigen unter den Eukaryoten die größte Diversität	653
<b>Ursprung und frühe Diversifizierung der Eukaryoten</b>	655
Die Bildung innerer Membranen trug zur Entwicklung größerer und komplexerer Zellen bei	655
Mitochondrien und Plastiden stammen von endosymbiontischen Bakterien ab	656
Die eukaryotische Zelle ist eine Chimäre aus prokaryotischen Vorfahren	657
Sekundäre Endosymbionten erhöhten die Vielfalt der Algen	657
Die Erforschung der Verwandtschaftsverhältnisse zwischen den drei Domänen erhellt die ältesten Verzweigungen im Stammbaum des Lebens	659
Die Entstehung der Eukaryoten startete eine zweite große Welle der Diversifizierung	660
<b>Wichtige Großgruppen der Protisten</b>	660
Diplomonadida und Trichomonadida: Ihnen fehlen Mitochondrien	660
Euglenozoa: Zu ihnen gehören sowohl photosynthetisierende als auch heterotrophe Flagellaten	662
Alveolata: Diese einzelligen Protisten besitzen kleine Bläschen (Alveoli) unter ihrer Zelloberfläche	663
Heterokontobionta: Dieser Zweig umfasst die Cellulosepilze und die heterokonten Algen	667

Strukturelle und biochemische Anpassungen ermöglichen es den Tangen, in den Küstengewässern der Meere zu leben und sich dort zu vermehren	670
Manche Algen haben Entwicklungszyklen mit sich abwechselnden vielzelligen haploiden und diploiden Generationen	671
Rhodobionta: Rotalgen besitzen keine Geißeln	671
Chlorobionta: Grünalgen und Landpflanzen entwickelten sich aus einem gemeinsamen Vorfahren	673
Eine Vielfalt von Protozoen benutzt Pseudopodien zur Fortbewegung und Nahrungsaufnahme	674
Myxobionta: Schleimpilze haben strukturelle Anpassungen und Entwicklungszyklen, die ihre ökologische Bedeutung als Saprophyten verstärken	677
Vielzelligkeit entstand mehrmals unabhängig voneinander	680
<b>29 Diversität der Pflanzen I: Wie Pflanzen das Festland eroberten</b>	685
<b>Die Evolution der Landpflanzen im Überblick</b>	686
Anpassungen an die terrestrische Lebensweise kennzeichnen die vier Hauptgruppen der Landpflanzen	686
Charophyceen (Armleuchteralgen) sind die mit den Landpflanzen am engsten verwandten Grünalgen	688
Verschiedene terrestrische Anpassungen unterscheiden die Landpflanzen von den Charophyceen	689
<b>Der Ursprung der Landpflanzen</b>	693
Landpflanzen entstanden vor etwa 500 Millionen Jahren aus Charophyceen	693
Der Generationswechsel der Pflanzen könnte sich durch verzögerte Meiose entwickelt haben	694
Anpassungen an das Flachwasser präadaptierten Pflanzen für das Leben an Land	694
Systematiker sind dabei, die Grenzen des Pflanzenreichs zu verschieben	695
Die Landpflanzen sind eine monophyletische Gruppe	695
<b>Moospflanzen (Unterabteilung Bryophytina)</b>	696
Die drei Klassen der Moospflanzen umfassen Lebermoose, Hornmoose und Laubmoose	696
Der Gametophyt ist die dominante Generation im Entwicklungszyklus der Moospflanzen	696

Die Sporophyten der Moospflanzen verbreiten immense Sporenmengen	698
Moose haben eine beträchtliche ökologische und ökonomische Bedeutung	699
<b>Der Ursprung der Gefäßpflanzen</b>	700
Durch zusätzliche Anpassungen an das Landleben entwickelten sich die Gefäßpflanzen aus moosähnlichen Vorfahren	700
Eine Vielzahl von Gefäßpflanzen entstand vor rund 400 Millionen Jahren	700
<b>Farne und andere samenlose Gefäßpflanzen (Unterabteilung Pteridophytina)</b>	701
Die Pteridophyten trugen wesentlich zur Evolution von Wurzeln und Blättern bei	701
Bei den Pteridophyten evolvierte ein Entwicklungszyklus mit dominantem Sporophyt	703
Bärlappgewächse, Gabelblattgewächse, Schachtelhalme und Farne bilden die vier rezenten Klassen der Pteridophyten	703
Samenlose Gefäßpflanzen bildeten im Karbon riesige Steinkohlewälder	705
<b>30 Diversität der Pflanzen II:</b>	
<b>Die Evolution der Samenpflanzen</b>	709
<b>Die Evolution der Samenpflanzen im Überblick</b>	710
Im Zuge der Evolution der Samenpflanzen erfolgte eine weitere Reduktion des Gametophyten	710
Samen wurden zu einem wichtigen Mittel für die Verbreitung von Nachkommen	710
Durch Pollen war die Befruchtung nicht länger auf Wasser als flüssiges Milieu angewiesen	712
Gymnospermen und Angiospermen sind die beiden Hauptgruppen der Samenpflanzen	712
<b>Die Gymnospermen</b>	714
Das Mesozoikum war das Zeitalter der Gymnospermen	714
Die vier Klassen der heutigen Gymnospermen sind die Ginkgogewächse, Palmfarne, Gnetumgewächse und Nadelbäume	714
Der Entwicklungszyklus einer Kiefer zeigt exemplarisch die Schlüsselanpassungen bei der Fortpflanzung der Samenpflanzen	716
<b>Die Angiospermen (Blütenpflanzen)</b>	719
Systematiker identifizieren derzeit die monophyletischen Angiospermengruppen	719

Die wichtigste reproduktive Anpassung der Angiospermen ist die Blüte	721
Früchte helfen bei der Samenverbreitung der Angiospermen	722
Der Entwicklungszyklus der Angiospermen ist eine stark abgeleitete Version des bei allen Pflanzen vorhandenen Generationswechsels	723
Die Radiation der Angiospermen markiert den Übergang vom Mesozoikum zum Känozoikum	725
Angiospermen und Tiere haben sich in ihrer Evolution gegenseitig beeinflusst	725
<b>Pflanzen und das Wohlergehen des Menschen</b>	726
Fast alle landwirtschaftlichen Nutzpflanzen sind Angiospermen	726
Die Vielfalt der Pflanzen ist eine unersetzliche Ressource	727
<b>31 Die Chitinpilze</b>	731
<b>Einführung in das Reich der Chitinpilze</b>	732
Chitinpilze ernähren sich durch Absorption und können daher als Zersetzer, Parasiten oder Symbionten leben	732
Durch ihre große Oberfläche und das rasche Wachstum sind Chitinpilze bestens an eine absorptive Lebensweise angepasst	733
Chitinpilze vermehren und verbreiten sich durch Freisetzung von geschlechtlich oder ungeschlechtlich erzeugten Sporen	734
Viele Chitinpilze weisen ein heterokaryotisches Stadium auf	734
<b>Die Vielfalt der Chitinpilze</b>	735
Abteilung Chytridiomycota: Flagellatpilze liefern möglicherweise Anhaltspunkte für die Entstehung der Chitinpilze	735
Abteilung Zygomycota: Jochpilze bilden bei der sexuellen Fortpflanzung widerstandsfähige Strukturen	736
Abteilung Ascomycota: Schlauchpilze produzieren ihre Sporen in schlauchähnlichen Asci	736
Abteilung Basidiomycota: Ständerpilze zeichnen sich durch ein langlebiges, dikaryotisches Mycel aus	738
Schimmelpilze, Hefen, Flechten und Mykorrhiza repräsentieren spezialisierte Lebensweisen, die sich unabhängig in mehreren Abteilungen der Chitinpilze entwickelt haben	740
<b>Die ökologische Bedeutung der Chitinpilze</b>	745

Ökosysteme sind auf Chitinpilze als Destruenten und Symbionten angewiesen	745
Einige Chitinpilze sind Krankheitserreger	745
Chitinpilze haben kommerzielle Bedeutung	747
<b>Die Evolution der Chitinpilze</b>	747
Chitinpilze besiedelten zusammen mit den Pflanzen das Festland	747
Chitinpilze und Tiere entwickelten sich aus einem gemeinsamen protistischen Vorfahren	748
<b>32 Einführung in die Evolution der Tiere</b>	751
<b>Was ist ein Tier?</b>	752
Tiere sind durch ihren Bau, ihre Ernährung und ihren Entwicklungszyklus definiert	752
Das Tierreich entstand vermutlich aus einem koloniebildenden, begeißelten Protisten	753
<b>Die Diversität der Tiere aus zwei Blickwinkeln</b>	754
Die Umgestaltung phylogenetischer Bäume veranschaulicht den naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozess	754
Der traditionelle Stammbaum der Tiere beruht hauptsächlich auf dem Organisationsgrad des Körperbauplans	754
Die molekulare Systematik ist dabei, einige Hauptäste am Stammbaum der Tiere zu verschieben	759
<b>Die Ursprünge der Vielfalt des Tierreichs</b>	763
Die meisten Tierstämme entstanden in einer relativ kurzen geologischen Zeitspanne	763
Die „Evo-Devo“-Forschung könnte zu einem besseren Verständnis der Radiation im Kambrium beitragen	764
<b>33 Wirbellose Tiere</b>	767
<b>Parazoa</b>	768
Stamm Porifera: Schwämme sind sessile Tiere mit porösem Körper und Kragengeißelzellen	769
<b>Radiata</b>	770
Stamm Cnidaria: Nesseltiere sind radärsymmetrisch, besitzen ein Gastrovaskularsystem und Nesselzellen	770
Stamm Ctenophora: Rippenquallen besitzen in Reihen angeordnete, bewimperte Ruderplättchen und Klebzellen	774
<b>Protostomia: Lophotrochozoa</b>	774

Stamm Plathelminthes: Plattwürmer sind Acoelomaten mit Gastrovaskularsystem	774
Stamm Rotatoria: Rädertiere sind Pseudocoelomaten mit Kiefern, Räderorgan und vollständigem Verdauungstrakt	778
Die Stämme der Tentaculata: Bryozoen, Phoroniden und Brachiopoden sind Eucoelomaten, deren Mund von einer bewimperten Tentakelkrone umgeben ist	778
Stamm Nemertini: Schnurwürmer besitzen einen rüsselartigen Beutefangapparat	779
Stamm Mollusca: Die vier Körperteile der Weichtiere sind Kopf, Fuß, Eingeweidesack und Mantel	780
Stamm Annelida: Ringelwürmer sind segmentierte Eucoelomaten	784
<b>Protostomia: Ecdysozoa</b>	787
Stamm Nematoda: Fadenwürmer sind unsegmentierte Pseudocoelomaten mit einer festen Cuticula	787
Stamm Arthropoda: Gliedertiere sind segmentierte Eucoelomaten mit Exoskelett und gegliederten Extremitäten	788
<b>Deuterostomia</b>	801
Stamm Echinodermata: Stachelhäuter besitzen ein Ambulakralsystem und sind sekundär radiärsymmetrisch	802
Stamm Hemichordata: Die Hemichordaten vereinen Echinodermen- und Chordatenmerkmale	806
Stamm Chordata: Die Chordaten umfassen zwei wirbellose Unterstämme und sämtliche Wirbeltiere	806
<b>34 Evolution und Diversität der Wirbeltiere</b>	811
<b>Wirbellose Chordaten und der Ursprung der Wirbeltiere</b>	812
Der Stamm Chordata ist durch vier morphologische Merkmale gekennzeichnet	812
Wirbellose Chordaten liefern Hinweise auf den Ursprung der Wirbeltiere	812
<b>Einführung in die Vertebraten</b>	816
Der Unterstamm Vertebrata ist durch eine Neuralleiste, eine ausgeprägte Cephalisation, eine Wirbelsäule und ein geschlossenes Kreislaufsystem charakterisiert	816
Die Diversität der Vertebraten im Überblick	819
<b>Kieferlose Wirbeltiere</b>	819
Klasse Myxini: Schleimaale sind die primitivsten rezenten „Wirbeltiere“	819

Klasse Petromyzonta: Neunaugen liefern Hinweise auf die Evolution der Wirbelsäule	820
Einige ausgestorbene kieferlose Vertebraten besaßen verknöcherte Zähne und einen Knochenpanzer	820
<b>Fische und Amphibien</b>	821
Der Kiefer der Wirbeltiere entwickelte sich aus den Skelettelementen des Kiemendarms	821
Klasse Chondrichthyes: Knorpelfische wie Haie und Rochen sind durch ein Knorpelskelett gekennzeichnet	822
Osteichthyes: Die rezenten Klassen der Knochenfische sind die Strahlenflosser, die Quastenflosser und die Lungenfische	824
Tetrapoden entstanden aus spezialisierten Fischen, die im Flachwasser lebten	826
Klasse Amphibia: Schwanzlurche, Froschlurche und Blindwühlen bilden die drei rezenten Ordnungen der Amphibien	827
<b>Amnioten</b>	829
Die Evolution des amniotischen Eies verbesserte entscheidend den Erfolg der Wirbeltiere an Land	829
Die Klassifizierung der Amnioten wird derzeit von Wirbeltiersystematikern überarbeitet	830
Die Abstammung aller Amnioten von den Reptilien ist offenkundig	832
Vögel stammen von gefiederten Reptilien ab	835
Die Aussterbewelle am Ende der Kreidezeit führte zu einer adaptiven Radiation der Säugetiere	838
<b>Primaten und die Evolution von Homo sapiens</b>	845
Die Stammesgeschichte der Primaten liefert den Kontext, um den Ursprung des Menschen zu verstehen	845
Die Menschheit ist ein sehr junger Zweig am Stammbaum der Wirbeltiere	847

## **Teil VI: Form und Funktion der Pflanzen**

<b>35 Struktur und Wachstum der Blütenpflanzen</b>	863
<b>Der angiosperme Pflanzenkörper</b>	864
Die Struktur der Pflanze wird sowohl durch die Gene als auch durch die Umwelt geprägt	864
Blütenpflanzen besitzen drei Hauptorgane: Wurzeln, Sprossachse und Blätter	865

Blütenpflanzen bestehen aus drei Gewebesystemen: Abschlussgewebe, Leitgewebe und Grundgewebe	868
Gewebe von Blütenpflanzen bestehen aus drei Grundtypen von Zellen: Parenchymzellen, Collenchymzellen und Sclerenchymzellen	870
<b>Der Verlauf von Wachstum und Entwicklung bei Blütenpflanzen</b>	872
Meristeme erzeugen die Zellen für neue Pflanzenorgane und bleiben lebenslang aktiv: <i>Das Pflanzenwachstum im Überblick</i>	872
Primärwachstum: Apikalmeristeme verlängern Wurzeln und Sprosse und erzeugen so den primären Pflanzenkörper	874
Sekundäres Dickenwachstum: Laterale Meristeme erweitern den Umfang des Pflanzenkörpers, indem sie sekundäres Leitgewebe und Periderm bilden	879
<b>Mechanismen von Wachstum und Entwicklung bei Blütenpflanzen</b>	883
Die Molekularbiologie revolutioniert die Botanik	883
Der Pflanzenkörper ist das Produkt aus Wachstum, Morphogenese und Differenzierung	884
Wachstum umfasst sowohl Zellteilung als auch Zellstreckung	884
Die Morphogenese ist von Musterbildung abhängig	887
Die Zelldifferenzierung ist von der Kontrolle der Genexpression abhängig	888
Wie die klonale Analyse des Spross-Scheitels bestätigt, ist die Lokalisation einer Zelle für ihre weitere Entwicklung entscheidend	889
Phasenwechsel markieren wichtige Übergänge in der Entwicklung	889
Gene, welche die Transkription kontrollieren, spielen Schlüsselrollen beim Wechsel des Meristems vom vegetativen Zustand zu einer Blühphase	890
<b>36 Transportvorgänge in Blütenpflanzen</b>	895
<b>Pflanzliche Transportmechanismen im Überblick</b>	896
Stofftransport auf zellulärer Ebene ist abhängig von der selektiven Permeabilität von Membranen	896
Protonenpumpen spielen eine zentrale Rolle beim Transport durch pflanzliche Membranen	897
Der Wassertransport bei Pflanzenzellen wird durch Unterschiede im Wasserpotenzial angetrieben	898
Aquaporine steuern die Rate des Wasseraustauschs an Biomembranen	900

Pflanzenzellen mit Vakuolen haben drei Hauptkompartimente	901
Symplast und Apoplast sind am Transport innerhalb von Geweben und Organen beteiligt	902
Massenstrom ist beim Ferntransport von Bedeutung	902
<b>Absorption von Wasser und Mineralstoffen durch die Wurzel</b>	903
Die Absorption von Wasser und Mineralstoffen wird durch Wurzelhaare, Mykorrhizen und die große Gesamtoberfläche der Wurzelrindenzellen erhöht	903
Die Endodermis arbeitet als selektive Schranke zwischen Wurzelrinde und Leitgewebe	904
<b>Transport des Xylemsaftes</b>	905
Der Aufstieg des Xylemsaftes ist hauptsächlich von der Transpiration und den physikalischen Eigenschaften des Wassers abhängig	905
Xylemsaft steigt durch einen mit Sonnenergie getriebenen Massenstrom auf: <i>Ein Rückblick</i>	907
<b>Die Regulation der Transpiration</b>	908
Schließzellen regeln den Photosynthese-Transpirations-Kompromiss	908
Xerophyten sind evolutiv an niedrige Transpirationsraten angepasst	911
<b>Ferntransport des Phloemsaftes</b>	912
Das Phloem leitet den Saft von Zuckerquellen zu Zuckersenken	912
Druckstrom ist das Transportprinzip im Phloem der Blütenpflanzen	913
<b>37 Ernährung der Pflanzen</b>	919
<b>Nährstoffbedarf von Pflanzen</b>	920
Die chemische Zusammensetzung von Pflanzen gibt Hinweise auf ihren Nährstoffbedarf	920
Pflanzen benötigen neun Makronährstoffe und mindestens acht Mikronährstoffe	921
Die Symptome eines Mineralstoffmangels hängen von der Funktion und Mobilität des betreffenden Elements ab	921
<b>Die Rolle des Bodens in der Pflanzenernährung</b>	923
Bodeneigenschaften sind Schlüsselfaktoren in terrestrischen Ökosystemen	923
Bodenerhaltung ist ein Schritt in Richtung nachhaltiger Landwirtschaft	924

<b>Der Spezialfall von Stickstoff als Pflanzennährstoff</b>	927
Der Metabolismus von Bodenbakterien macht Stickstoff für Pflanzen verfügbar	927
Die Verbesserung des Proteinetrags von Nutzpflanzen ist ein Hauptziel der Agrarforschung	928
<b>Symbiose von Pflanzen mit Bodenmikroorganismen</b>	929
Die symbiotische Stickstoff-Fixierung beruht auf komplexen Interaktionen zwischen Wurzeln und Bakterien	929
Mykorrhizen sind symbiotische Assoziationen von Wurzeln und Pilzen und verbessern die Ernährung der Pflanze	932
Mykorrhizen und Wurzelknöllchen sind möglicherweise stammesgeschichtlich verwandt	933
<b>Sonderanpassungen: Parasitische und tierfangende Pflanzen</b>	934
Parasitische Pflanzen entnehmen Nährstoffe aus anderen Pflanzen	934
Carnivore Pflanzen ergänzen ihren Mineralbedarf, indem sie Tiere fangen und verdauen	935
<b>38 Fortpflanzung und Biotechnologie der Blütenpflanzen</b>	939
<b>Sexuelle Fortpflanzung</b>	940
Sporophyt und Gametophyt sind alternierende Generationen im Entwicklungszyklus der Pflanzen: <i>Eine Übersicht</i>	940
Blüten sind spezialisierte Sprosse des Angiospermen-Sporophyten und tragen die Fortpflanzungsorgane	940
Männliche und weibliche Gametophyten entwickeln sich in Antheren beziehungsweise Fruchtknoten und kommen durch die Bestäubung zusammen	943
Pflanzen verfügen über mehrere Mechanismen, um eine Selbstbefruchtung zu verhindern	943
Eine doppelte Befruchtung führt zur Bildung der Zygote und des Endosperms	946
Die Samenanlage entwickelt sich zum Samen mit dem sporophytischen Embryo und einem Nährstoffvorrat	947
Der Fruchtknoten entwickelt sich zu einer der Samenverbreitung dienenden Frucht	949
Evolutionäre Anpassungen im Keimungsprozess erhöhen die Überlebenschancen des Keimlings	949
<b>Asexuelle Fortpflanzung</b>	951

Viele Pflanzen können sich selbst durch asexuelle (vegetative) Fortpflanzung klonen	951
Sexuelle und asexuelle Fortpflanzung ergänzen sich im Entwicklungszyklus vieler Pflanzen	952
Die asexuelle Vermehrung von Pflanzen ist in der Landwirtschaft weit verbreitet	953
<b>Biotechnologie der Pflanzen</b>	954
Die Menschen der Jungsteinzeit züchteten durch künstliche Auslese neue Pflanzensorten	955
Grüne Biotechnologie verändert die Landwirtschaft	955
Die grüne Biotechnologie hat eine breite öffentliche Debatte ausgelöst	956
<b>39 Antworten der Pflanze auf innere und äußere Signale</b>	961
<b>Signalübertragung und Antworten der Pflanze</b>	962
Signalübertragungswege verbinden innere und äußere Signale mit zellulären Antworten	962
<b>Das Ansprechen der Pflanze auf Hormone</b>	965
Forschungen darüber, wie Pflanzen zum Licht wachsen, führten zur Entdeckung der Phytohormone	965
Phytohormone koordinieren Wachstum, Entwicklung und Reaktionen der Pflanze auf Reize aus der Umgebung	967
<b>Das Ansprechen der Pflanze auf Licht</b>	977
Blaulicht-Photorezeptoren sind eine heterogene Pigmentgruppe	978
Phytochrome wirken bei vielen Antworten der Pflanze auf Licht als Photorezeptoren	978
Physiologische Uhren steuern in Pflanzen und anderen Eukaryoten die circadianen Rhythmen	980
Der Tag/Nacht-Wechsel synchronisiert die physiologische Uhr mit der Umwelt	981
Der Photoperiodismus synchronisiert die Aktivitäten der Pflanze mit dem Wechsel der Jahreszeiten	982
<b>Das Ansprechen der Pflanze auf andere Umweltreize als Licht</b>	984
Umweltreize veranlassen die Pflanze zu einer kombinierten Antwort ihrer Physiologie und Entwicklung	984
<b>Die Verteidigung der Pflanze gegen Herbivoren und Pathogene</b>	989
Die Pflanze wehrt sich gegen Herbivoren mit strukturellen und chemischen Barrieren	989
Die Pflanze verfügt gegen Pathogene über mehrere Verteidigungslinien	990

## Teil VII: Form und Funktion der Tiere

<b>40 Eine Einführung in die Struktur und Funktion der Tiere</b>	999
<b>Funktionelle Morphologie: Eine Übersicht</b>	1000
Struktur und Funktion der Tiere spiegeln die Leitthemen der Biologie wider	1000
In tierischen Geweben ist die Funktion eng mit der Struktur verknüpft	1000
Die Organsysteme eines Tieres sind voneinander abhängig	1004
<b>Bauplan und Umwelt</b>	1006
Physikalische Gesetze schränken die Körperform ein	1006
Größe und Körperbau beeinflussen den Energie- und Stoffaustausch mit der Umwelt	1007
<b>Regulation des inneren Milieus</b>	1008
Mechanismen der Homöostase regulieren das interne Milieu eines Tieres	1008
Homöostase beruht auf Regelkreisen	1009
<b>Einführung in die Bioenergetik der Tiere</b>	1010
Tiere sind heterotrophe Organismen, die ihre Energie aus von ihnen aufgenommener organischer Nahrung beziehen	1010
Die Stoffwechselrate liefert Hinweise auf die bioenergetische „Strategie“ eines Tieres	1011
Die Stoffwechselrate pro Gramm steht bei ähnlichen Tieren in umgekehrter Beziehung zum Körpergewicht	1012
Tiere passen ihre Stoffwechselraten an veränderte Umweltbedingungen an	1012
Der Energiehaushalt zeigt, wie Tiere Energie und Nährstoffe verwenden	1014
<b>41 Ernährung bei Tieren</b>	1019
<b>Was muss Ernährung leisten?</b>	1020
Tiere sind heterotroph und benötigen Nahrung, um ihren Körper mit Betriebsstoffen, Kohlenstoffgerüsten und essenziellen Nährstoffen zu versorgen: <i>Eine Übersicht</i>	1020
Homöostatische Mechanismen regeln den Energiehaushalt eines Tieres	1020
Die Nahrung eines Tieres muss essenzielle Nährstoffe und Kohlenstoffgerüste für die Biosynthese liefern	1022

<b>Nahrungstypen und Ernährungsmechanismen</b>	1026
Die meisten Tiere sind bei der Nahrungsaufnahme Opportunisten	1026
Tiere haben ganz unterschiedliche Mechanismen zur Nahrungsaufnahme entwickelt	1027
<b>Nahrungsverarbeitung: Eine Übersicht</b>	1028
Tiere verwerten ihre Nahrung in vier Schritten: Aufnahme, Verdauung, Resorption und Ausscheidung	1028
Verdauung findet in speziellen Funktionsräumen statt	1029
<b>Das Verdauungssystem der Säuger</b>	1031
Mundhöhle, Schlund und Speiseröhre beginnen mit der Verarbeitung der Nahrung	1032
Der Magen speichert Nahrung und führt eine Vorverdauung durch	1032
Verdauung und Resorption finden hauptsächlich im Dünndarm statt	1034
Hormone tragen zur Regulation der Verdauung bei	1038
Wasserrückresorption ist eine Hauptfunktion des Dickdarms	1038
<b>Evolutive Anpassungen von Verdauungssystemen der Wirbeltiere</b>	1039
Strukturelle Anpassungen von Verdauungssystemen hängen oft mit der Ernährungsweise zusammen	1039
Symbiotische Mikroorganismen helfen vielen Wirbeltieren, sich zu ernähren	1040
<b>42 Kreislauf und Gasaustausch</b>	1045
<b>Kreislaufsysteme bei Tieren</b>	1046
Transportsysteme verbinden die Körperzellen funktionell mit den Austauschorganen: <i>Eine Übersicht</i>	1046
Die meisten Invertebraten besitzen für den internen Transport ein Gastrovaskularsystem oder ein Kreislaufsystem	1046
Die Stammesgeschichte der Wirbeltiere spiegelt sich in den Anpassungen des Herz-Kreislaufsystems wider	1048
Der doppelte Kreislauf bei Säugern hängt von der Anatomie und dem Pumpzyklus des Herzens ab	1049

Arterien, Venen und Kapillaren unterscheiden sich aufgrund ihrer unterschiedlichen Funktion im Bau	1053
Physikalische Strömungsgesetze für starre Röhrensysteme beeinflussen den Blutstrom und den Blutdruck	1054
Ein Stoffaustausch zwischen Blut und interstitieller Flüssigkeit erfolgt durch die dünnen Wände der Kapillaren	1056
Das Lymphsystem führt interstitielle Flüssigkeit in das Blut zurück und unterstützt die Abwehrmechanismen des Körpers	1057
Blut ist ein flüssiges Bindegewebe aus Plasma und darin verteilten Zellen	1058
Herz-Kreislauferkrankungen sind in Deutschland und vielen anderen Industrieländern die häufigste Todesursache	1061
<b>Gasaustausch bei Tieren</b>	1063
Der Gasaustausch liefert Sauerstoff für die Zellatmung und beseitigt Kohlendioxid: <i>Eine Übersicht</i>	1063
Die Atemorgane der meisten Wassertiere sind Kiemen	1064
Tracheensysteme und Lungen sind respiratorische Anpassungen landlebender Tiere	1066
Kontrollzentren im Gehirn regeln Frequenz und Tiefe der Atmung	1070
Gase diffundieren in den Lungen und in anderen Organen entlang ihres Partialdruckgefälles	1071
Respiratorische Proteine transportieren Atemgase und helfen bei der Pufferung des Blutes	1072
Tieftauchende Luftatmer speichern viel Sauerstoff und verbrauchen ihn sehr langsam	1074
<b>43 Die Abwehrsysteme des Körpers</b>	1081
<b>Unspezifische Abwehrmechanismen gegen Infektionen</b>	1082
Haut und Schleimhäute bilden die ersten Barrieren gegen Infektionen	1082
Phagocytotische Zellen, Entzündungsprozesse und antimikrobielle Proteine kommen bei Infektionen früh ins Spiel	1083
<b>Wie spezifische Immunität entsteht</b>	1086
Lymphocyten sind für die Spezifität und Vielfalt der Immunantwort verantwortlich	1086
Antigene treten mit spezifischen Lymphocyten in Wechselwirkung und induzieren Immunreaktionen sowie ein immunologisches Gedächtnis	1087

Differenzierung der Lymphocyten führt zu einem Immunsystem, das zwischen Selbst und Fremd unterscheiden kann	1088
<b>Immunantworten</b>	1090
T-Helferzellen spielen sowohl bei der humoralen als auch bei der zellvermittelten Immunantwort eine Rolle: <i>Eine Übersicht</i>	1091
Bei der zellvermittelten Immunantwort bekämpfen cytotoxische T-Zellen intrazelluläre Krankheitserreger: <i>Eine nähere Betrachtung</i>	1092
Bei der humoralen Immunantwort stellen B-Zellen Antikörper gegen extrazelluläre Krankheitserreger her: <i>Eine nähere Betrachtung</i>	1094
Wirbellose Tiere besitzen ein primitives Immunsystem	1099
<b>Die Rolle des Immunsystems bei Gesundheit und Krankheit</b>	1099
Immunität lässt sich auf natürlichem oder auf künstlichem Wege erreichen	1100
Die Fähigkeit des Immunsystems, zwischen Selbst und Fremd zu unterscheiden, ist ein Problem bei Bluttransfusionen und Gewebetransplantationen	1100
Fehlfunktionen des Immunsystems führen zu Krankheiten	1101
Aids ist eine Immunschwäche, die von einem Virus hervorgerufen wird	1103
<b>44 Die Kontrolle des inneren Milieus</b>	1111
<b>Homöostase im Überblick</b>	1112
Konformer machen Umweltveränderungen mit, Regulierer stemmen sich dagegen	1112
Die Homöostase eines Tieres balanciert Gewinn und Verlust von Energie und Materie aus	1113
<b>Thermoregulation – Die Regulation der Körpertemperatur</b>	1113
Vier physikalische Prozesse sind für Gewinn und Verlust von Wärme verantwortlich	1114
Die Körpertemperatur von Ektothermen ist nahe der Umgebungstemperatur, Endotherme können sie durch Stoffwechselenergie über dieser halten	1115
Zur Thermoregulation gehören Anpassungen von Physiologie und Verhalten, die Gewinn und Verlust von Wärme ausgleichen	1116
Die meisten Tiere sind ektotherm, doch Endothermie ist ebenfalls weit verbreitet	1117
Winterschlaf, Sommerschlaf und täglicher Torpor sparen bei extremen Umweltbedingungen Energie	1123

<b>Wasserhaushalt und Harnbildung</b>	1124
Osmoregulation und Exkretion beruhen auf den Eigenschaften von Transportepithelien	1125
Die Art der stickstoffhaltigen Ausscheidungsprodukte eines Tieres hängt von seiner Stammesgeschichte und seinem Lebensraum ab	1125
In Zellen muss ein Gleichgewicht zwischen osmotisch bedingtem Einstrom und Ausstrom von Wasser herrschen	1127
Osmoregulierer verbrauchen Stoffwechselenergie, um ihre interne Osmolarität zu kontrollieren, Osmokonformer sind mit ihrer Umgebung isoosmotisch	1128
<b>Exkretionssysteme</b>	1131
Die meisten Exkretionssysteme erzeugen Harn, indem sie ein aus Körperflüssigkeiten stammendes Ultrafiltrat weiterverarbeiten: <i>Eine Übersicht</i>	1131
Verschiedene Exkretionssysteme sind Spielarten tubulärer Systeme	1132
Nephronen und die sie begleitenden Blutgefäße bilden die funktionelle Einheit der Säugerniere	1134
Die Fähigkeit der Säugerniere zum Konservieren von Wasser ist eine entscheidende Anpassung an die terrestrische Lebensweise	1138
Die Wirbeltierniere ist an den jeweiligen Lebensraum ihres Besitzers angepasst	1142
Zahlreiche Regulationssysteme kooperieren beim Erhalt der Homöostase	1143
<b>45 Chemische Signale bei Tieren</b>	1147
<b>Einführung in die Steuersysteme des Körpers</b>	1148
Endokrines System und Nervensystem sind strukturell, chemisch und funktionell verbunden	1148
Bei regulatorischen Systemen von Invertebraten ist die Wechselwirkung von Hormon- und Nervensystem besonders auffällig	1149
<b>Chemische Signale und ihre Wirkweise</b>	1150
Eine Vielzahl lokaler Regulatoren beeinflusst benachbarte Zielzellen	1150
Die meisten chemischen Signalmoleküle binden an Proteine der Plasmamembran und initiieren damit Signalübertragungswege	1151
Steroidhormone, Schilddrüsenhormone und einige lokale Regulatoren dringen in Zielzellen ein und binden an intrazelluläre Rezeptoren	1152
<b>Das endokrine System der Vertebraten</b>	1153

Hypothalamus und Hypophyse steuern zahlreiche Funktionen im endokrinen System der Wirbeltiere	1155
Die Epiphyse (Zirbeldrüse) ist am Biorhythmus beteiligt	1158
Schilddrüsenhormone spielen eine Rolle bei Entwicklung, Energiestoffwechsel und Homöostase	1158
Parathyrin und Calcitonin regulieren den Calciumspiegel im Blut	1159
Das endokrine Gewebe der Bauchspeicheldrüse (Pankreas) sezerniert Insulin und Glucagon, zwei antagonistische Hormone, die den Blutzuckerspiegel regulieren	1161
Nebennierenmark und Nebennierenrinde helfen dem Körper bei der Stressbewältigung	1162
Die Geschlechtshormone der Gonaden regulieren Wachstum, Entwicklung, Fortpflanzungszyklus und Sexualverhalten	1165
<b>46 Fortpflanzung der Tiere</b>	1169
<b>Die Fortpflanzung der Tiere im Überblick</b>	1170
Im Tierreich gibt es sexuelle und asexuelle Fortpflanzungsstrategien	1170
Verschiedene asexuelle Fortpflanzungsmechanismen versetzen Tiere in die Lage, rasch identische Nachkommen zu erzeugen	1170
Zyklen und Muster der Fortpflanzung unterscheiden sich im Tierreich beträchtlich	1171
<b>Mechanismen der sexuellen Fortpflanzung</b>	1172
Innere wie äußere Befruchtung hängen von Mechanismen ab, die sicherstellen, dass reife Spermien mit fertilen Eizellen derselben Art zusammentreffen	1173
Arten mit innerer Befruchtung produzieren im Allgemeinen weniger Zygoten, investieren aber mehr in Brutpflege als Arten mit äußerer Befruchtung	1173
Komplexe Geschlechtsapparate haben sich in zahlreichen Tierstämmen entwickelt	1174
<b>Fortpflanzung bei Säugern</b>	1175
Zur menschlichen Fortpflanzung gehören ein aufwändiger Geschlechtsapparat und komplexe Verhaltensweisen	1175
Spermatogenese und Oogenese beinhalten beide eine Meiose, unterscheiden sich aber in drei grundlegenden Aspekten	1179

Eine komplexe Wechselwirkung von Hormonen reguliert die Fortpflanzung	1182
Embryonale und fötale Entwicklung des Menschen und anderer placentaler Säuger finden im Uterus statt	1186
Neue Verfahren helfen bei Störungen der Fortpflanzung	1192
<b>47 Entwicklung der Tiere</b>	1197
<b>Die Frühstadien der Embryonalentwicklung</b>	1198
Bei der Entwicklung vom Ei zum Organismus erhält das Tier schrittweise seine Gestalt: <i>Das Konzept der Epigenese</i>	1198
Die Besamung aktiviert das Ei und ermöglicht das Verschmelzen von männlichem und weiblichem Vorkern	1198
Die Furchung unterteilt die Zygote in viele kleinere Zellen	1202
Die Gastrulation reorganisiert die Blastula, wodurch der Embryo dreischichtig wird und ein Urdarm entsteht	1204
Während der Organogenese entstehen aus den drei embryonalen Keimblättern die Organe des Tieres	1207
Die Embryonen der Amnioten entwickeln sich im beschalteten Ei oder im Uterus in einer flüssigkeitsgefüllten Blase	1208
<b>Die zelluläre und molekulare Basis von Morphogenese und Differenzierung bei Tieren</b>	1211
Die tierische Morphogenese führt zu spezifischen Veränderungen von Zellform, Zellposition und Zelladhäsion	1211
Das Entwicklungsschicksal einer Zelle ist abhängig von Cytoplasmafaktoren und Zell-Zell-Induktion: <i>Eine Übersicht</i>	1214
Ein Anlagenplan kann bei Chordatenembryonen Zellgenealogien aufzeigen	1214
Die Eier der meisten Vertebraten enthalten cytoplasmatische Determinanten, die dazu beitragen, beim frühen Embryo die Körperachsen sowie Unterschiede zwischen Zellen zu etablieren	1215
Induktive Signale treiben die Differenzierung und die Musterbildung bei Wirbeltieren voran	1216
<b>48 Nervensysteme</b>	1223
<b>Nervensysteme im Überblick</b>	1224
Sensorischer Eingang, Integration der Information und motorischer Ausgang sind die drei überlappenden Hauptaufgaben von Nervensystemen	1224

Netzwerke von Neuronen mit komplizierten Verbindungen bilden Nervensysteme	1225
<b>Die Natur von Nervensignalen</b>	1228
Jede Zelle hat eine Spannung – das Membranpotenzial – über ihrer Plasmamembran	1228
Veränderungen des Membranpotenzials eines Neurons führen zu Nervenimpulsen	1230
Nervenimpulse werden entlang eines Axons fortgeleitet	1233
Chemische und elektrische Signalübertragung zwischen Nervenzellen findet an Synapsen statt	1235
Neurale Integration findet auf zellulärem Niveau statt	1237
Der gleiche Neurotransmitter kann je nach Zelltyp unterschiedliche Effekte bewirken	1239
<b>Evolution und Diversität der Nervensysteme</b>	1241
Die Fähigkeit von Zellen auf die Umgebung zu reagieren, entwickelte sich über Milliarden von Jahren	1241
Nervensysteme existieren in vielen Organisationsformen	1241
<b>Die Nervensysteme der Wirbeltiere</b>	1243
Die Nervensysteme der Wirbeltiere haben zentrale und periphere Anteile	1243
Verschiedene Anteile des peripheren Nervensystems interagieren, um die Homöostase zu erhalten	1243
Die Embryonalentwicklung des Wirbeltiergehirns spiegelt seine evolutive Entstehung aus drei vorderen Bläschen des Neuralrohrs wider	1245
Evolutiv alte Strukturen des Wirbeltiergehirns regulieren grundlegende automatische und integrative Funktionen	1246
Das Großhirn stellt die am höchsten entwickelte Struktur des Säugergehirns dar	1250
Die einzelnen Regionen des Großhirns sind auf unterschiedliche Funktionen spezialisiert	1251
Die Forschung zur Neuronenentwicklung und an neuralen Stammzellen kann zu neuen Ansätzen für die Behandlung von Verletzungen und Erkrankungen des ZNS führen	1255
<b>49 Mechanismen der Sensorik und Motorik</b>	1263
<b>Wahrnehmung, Verhalten und Gehirn</b>	1264
Die Verarbeitung von sensorischem Eingang und motorischem Ausgang im Gehirn erfolgt nicht linear, sondern zyklisch	1264

<b>Einführung in die sensorische Rezeption</b>	1265
Sensorische Rezeptoren (Sinneszellen) wandeln die Energie eines Reizes um (Transduktion) und leiten Signale an das Nervensystem weiter	1265
Sensorische Rezeptoren werden nach der von ihnen umgewandelten Energieform eingeteilt	1267
<b>Photorezeptoren und Sehen</b>	1270
Eine Vielfalt an Lichtsinnesorganen entstand in der Evolution der Wirbellosen	1270
Wirbeltiere besitzen Einzellinsenaugen	1271
Das Licht absorbierende Pigment Rhodopsin löst einen Signalübertragungsweg aus	1273
Die Retina unterstützt die Großhirnrinde bei der Verarbeitung visueller Information	1275
<b>Hören und Gleichgewichtssinn</b>	1276
Das Hörorgan der Säuger ist im Innenohr lokalisiert	1277
Das Innenohr birgt auch die Organe des Gleichgewichtssinns	1279
Das Seitenlinienorgan und das Innenohr nehmen bei den meisten Fischen und aquatisch lebenden Amphibien Druckwellen wahr	1280
Viele Wirbellose haben Schweresinnesorgane und nehmen Schall wahr	1281
<b>Chemorezeption – Schmecken und Riechen</b>	1282
Die Wahrnehmungen von Geruch und Geschmack sind normalerweise eng verknüpft	1282
<b>Bewegung und Lokomotion</b>	1284
Lokomotion erfordert Energie, um Trägheit, Reibung und Schwerkraft zu überwinden	1284
Skelette stützen und schützen den Körper der Tiere und sind für die Bewegung unverzichtbar	1286
Körpergröße, Proportionen und Körperhaltung bestimmen die Beweglichkeit von Landtieren	1289
Durch Kontraktion von Muskeln werden Teile des Skeletts gegeneinander bewegt	1290
Wechselwirkungen zwischen Myosin und Actin erzeugen während der Muskelkontraktion Kraft	1291
Calciumionen und regulatorische Proteine kontrollieren die Muskelkontraktion	1292
Die Vielfalt an Körperbewegungen erfordert eine hochgradig variable Muskelaktivität	1293

## Teil VIII: Ökologie und Verhalten

<b>50 Eine Einführung in die Ökologie und die Biosphäre</b>	1307
<b>Was ist Ökologie?</b>	1308
Die Wechselbeziehungen zwischen Organismen und ihrer Umwelt bestimmen ihre Verbreitung und Häufigkeit (Abundanz)	1308
Ökologie und Evolutionsbiologie sind eng miteinander verflochten	1309
Ökologische Forschung reicht von der Anpassung einzelner Organismen bis hin zur Dynamik der Biosphäre	1309
Die Ökologie liefert einen wissenschaftlichen Rahmen zur Bewertung umweltrelevanter Fragestellungen	1310
<b>Faktoren, welche die Verbreitung von Organismenarten beeinflussen</b>	1311
Die Verteilungsmöglichkeiten von Arten tragen zu ihrer Verbreitung bei	1311
Verhalten und Habitatselektion beeinflussen die Verbreitung von Organismenarten	1314
Biotische Faktoren beeinflussen die Verbreitung von Organismenarten	1315
Abiotische Faktoren beeinflussen die Verbreitung von Organismenarten	1315
Temperatur und Wasser sind die wichtigsten klimatischen Faktoren für die Verbreitung von Organismenarten	1316
<b>Aquatische und terrestrische Biome</b>	1322
Aquatische Biome nehmen den größten Teil der Biosphäre ein	1322
Die geographische Verteilung terrestrischer Biome basiert im Wesentlichen auf regionalen Klimaunterschieden	1329
<b>Der räumliche Maßstab der Verbreitung von Organismenarten</b>	1335
Die Verbreitung einer Art wird je nach geographischem Maßstab durch andere Faktoren beeinflusst	1335
Die meisten Arten haben kleine Verbreitungsgebiete	1335
<b>51 Verhaltensbiologie</b>	1339
<b>Einführung in das Verhalten und die Verhaltensökologie</b>	1340
Verhalten ist, was ein Tier tut und wie es dies tut	1340

Jede Verhaltensweise hat sowohl ultimate als auch proximate Ursachen	1340
Verhalten resultiert aus genetischen und Umweltfaktoren	1341
Angeborenes Verhalten ist durch die Entwicklung fixiert	1341
Die klassische Ethologie deutete bereits eine evolutionsbiologische Komponente der Verhaltensbiologie an	1342
In der Verhaltensökologie stehen evolutionsbiologische Hypothesen im Vordergrund	1345
<b>Lernen</b>	1348
Lernen ist auf Erfahrung basierende Modifikation von Verhalten	1348
Als Prägung bezeichnet man auf eine sensible Phase begrenztes Lernen	1349
Der Vogelgesang kann als Modellsystem für die Entwicklung von Verhalten dienen	1350
Viele Tiere können lernen, einen Reiz mit einem anderen zu assoziieren	1352
Das Sammeln praktischer Erfahrungen und Training könnten die ultimativen Ursachen von Spielverhalten sein	1352
<b>Kognitive Fähigkeiten von Tieren</b>	1353
Das Studium der Kognition verbindet die Funktionsweise des Nervensystems mit dem Verhalten	1354
Zur Fortbewegung im Raum bedienen sich Tiere verschiedener kognitiver Mechanismen	1354
Die Erforschung des Bewusstseins stellt für Wissenschaftler eine immense Herausforderung dar	1357
<b>Sozialverhalten und Soziobiologie</b>	1358
Die Soziobiologie untersucht Sozialverhalten im evolutionsbiologischen Kontext	1358
Beim konkurrierenden Sozialverhalten geht es oft um die Verteilung von Ressourcen	1358
Die natürliche Selektion begünstigt ein Paarungsverhalten, das die Zahl oder die Qualität der Geschlechtspartner maximiert	1361
Bei sozialen Interaktionen werden unterschiedliche Kommunikationsweisen eingesetzt	1364
Die meisten altruistischen Verhaltensweisen lassen sich durch den Begriff der Gesamtfitness erklären	1366
Die Soziobiologie verbindet die Evolutionstheorie mit der menschlichen Kultur	1370

<b>52 Populationsökologie</b>	1375
<b>Was Populationen kennzeichnet</b>	1376
Zwei wichtige Merkmale jeder Population sind ihre Dichte (Abundanz) und die räumliche Verteilung (Dispersion) ihrer Mitglieder	1376
Demographie ist die Untersuchung der Faktoren, die Zu- und Abnahme der Populationsdichten beeinflussen	1377
<b>Lebenszyklen</b>	1380
Lebenszyklen sind äußerst divers, zeigen aber Muster in ihrer Variabilität	1381
Begrenzte Ressourcen erfordern Kompromisse zwischen Reproduktionsaufwand und Überleben	1381
<b>Populationswachstum</b>	1383
Das exponentielle Wachstumsmodell beschreibt eine idealisierte Population in einem unbegrenzten Lebensraum	1384
Das logistische Modell des Populationswachstums berücksichtigt das Konzept der Umweltkapazität	1386
<b>Beschränkung des Populationswachstums</b>	1389
Negative Rückkopplung verhindert ein unbeschränktes Populationswachstum	1390
Die Dynamik von Populationen spiegelt komplexe Wechselwirkungen zwischen biotischen und abiotischen Einflüssen wider	1391
Einige Populationen zeigen regelmäßige <i>Boom-and-Burst-Zyklen</i>	1393
<b>Das menschliche Bevölkerungswachstum</b>	1394
Auch das dreihundertjährige fast exponentielle Wachstum der Menschheit hat seine Grenzen	1394
Es ist schwierig, die Umweltkapazität unserer Erde abzuschätzen	1396
<b>53 Ökologie der Biozöosen</b>	1403
<b>Was ist eine Biozönose?</b>	1404
Die individualistische und die interaktive Hypothese betrachten Biozöosen aus gegensätzlichen Blickwinkeln	1404
Die kontroverse Debatte wird durch das Nieten-Modell und das Redundanz-Modell fortgesetzt	1405
<b>Interspezifische Wechselwirkungen und die Struktur von Biozöosen</b>	1405
Einzelne Populationen können durch Konkurrenz, Prädation, Symbiose und Karpose miteinander verknüpft sein	1405

Die trophische Struktur ist ein Schlüsselfaktor für die Dynamik von Biozönosen	1411
Dominante Arten und Schlüsselarten kontrollieren maßgeblich die Struktur von Biozönosen	1414
Biozönotische Strukturen können durch Nährstoffe <i>bottom-up</i> oder durch Räuber <i>top-down</i> kontrolliert sein	1416
<b>Störungen und die Struktur von Lebensgemeinschaften</b>	1417
Die meisten Biozönosen sind aufgrund von Störungen im Ungleichgewicht	1417
Menschen sind die häufigsten Störfaktoren	1419
Ökologische Sukzession ist die Abfolge biozönotischer Veränderungen nach einer Störung	1419
<b>Der Einfluss biogeographischer Faktoren auf die Diversität von Lebensgemeinschaften</b>	1422
Biodiversität umfasst nicht nur die Anzahl der Arten in einer Gemeinschaft, sondern auch deren relative Abundanzen	1422
Der Artenreichtum nimmt prinzipiell vom Äquator zu den Polen ab	1423
Der Artenreichtum korreliert mit der geographischen Ausdehnung der Lebensgemeinschaft	1424
Der Artenreichtum auf Inseln hängt von ihrer Größe und von der Entfernung zum Festland ab	1425
<b>54 Ökosysteme</b>	1431
<b>Das Ökosystem-Konzept in der Ökologie</b>	1432
Der Weg des Energieflusses und die Art der Stoffkreisläufe in einem Ökosystem hängen von dessen Trophiestruktur ab	1432
Das Destruentensystem verbindet alle trophischen Ebenen	1433
Ökosysteme gehorchen den thermodynamischen Grundgesetzen	1433
<b>Die Primärproduktion in Ökosystemen</b>	1434
Der Energiehaushalt eines Ökosystems ist von der Primärproduktion abhängig	1434
In aquatischen Ökosystemen wird die Primärproduktion durch Licht und Nährstoffe limitiert	1436
Für die Primärproduktion in terrestrischen Ökosystemen sind Temperatur, Feuchtigkeit und Nährstoffe die limitierenden Faktoren	1439
<b>Die Sekundärproduktion in Ökosystemen</b>	1439

Die Effizienz des Energietransfers von einer Trophiestufe zur nächsten liegt in der Regel unter 20 %	1439
Herbivoren konsumieren nur einen geringen Teil der Primärproduktion: Die „Grüne-Welt-Hypothese“	1441
<b>Der Kreislauf chemischer Elemente in Ökosystemen</b>	1442
Biologische und geologische Prozesse verschieben die Nährstoffe zwischen organischen und anorganischen Reservoirien	1443
Die Geschwindigkeit von Nährstoffkreisläufen wird vor allem durch die Zersetzungsrates bestimmt	1447
Nährstoffkreisläufe werden stark durch die Vegetation beeinflusst	1447
<b>Anthropogene Beeinflussung von Ökosystemen und der Biosphäre</b>	1449
Der Mensch greift in der gesamten Biosphäre in Stoffkreisläufe ein	1449
Die Verbrennung fossiler Energieträger ist die Hauptursache des sauren Regens	1451
Giftstoffe reichern sich in aufeinander folgenden Trophiestufen der Nahrungsnetze an	1451
Der anthropogen verursachte Anstieg der atmosphärischen Kohlendioxidkonzentration kann zu globalen Klimaveränderungen führen	1454
Die Zerstörung der Ozonschicht durch den Menschen hat weit reichende Konsequenzen	1455
<b>55 Naturschutzbiologie</b>	1461
<b>Die Biodiversitätskrise</b>	1462
Die drei Ebenen der Biodiversität bilden die genetische Variabilität, der Artenreichtum und die Ökosystemvielfalt	1462
Auf allen drei Ebenen ist Biodiversität wichtig für das Wohlergehen des Menschen	1464
Die vier größten Bedrohungen für die Biodiversität sind die Zerstörung von Lebensräumen, eingeführte Arten, die Übernutzung und die Unterbrechung von Nahrungsketten	1466

<b>Naturschutz auf Populations- und Artenebene</b>	1470
Schutzstrategie für kleine Populationen: Geringe Größe kann eine Population in einen Aussterbestrudel ziehen	1470
Schutzstrategien für zurückgehende Populationen: den Rückgang von Populationen feststellen, die Ursachen dafür herausfinden und ihn aufhalten	1474
Beim Artenschutz sind widersprüchliche Bedürfnisse gegeneinander abzuwägen	1476
<b>Naturschutz auf der Ebene von Lebensgemein- schaften, Ökosystemen und Landschaften</b>	1477
Saumbiotope und Biotopkorridore können sich enorm auf die biologische Vielfalt einer Landschaft auswirken	1477
Naturschutzbiologen müssen bei der Einrichtung von Schutzgebieten viele Probleme lösen	1479
Naturreservate müssen funktionelle Bestandteile von Landschaften sein	1480
Die Restauration geschädigter Gebiete wird im Naturschutz zu einer immer wichtigeren Aufgabe	1482
Das Ziel einer nachhaltigen Entwicklung ist eine Neuorientierung ökologischer Forschung und eine Herausforderung an uns alle, unsere Wertvor- stellungen neu zu überdenken	1484
Die Zukunft der Biosphäre könnte von unserer Biophilie abhängen, der Liebe zur Natur	1485
<b>Anhang 1: Das metrische System</b>	1489
<b>Anhang 2: Klassifizierung der Organismen</b>	1490
<b>Anhang 3: Die Evolution der Tiere aus Sicht der Konstruktionsmorphologie</b>	1492
<b>Anhang 4: Ein Vergleich von Lichtmikroskop und Elektronenmikroskop</b>	1494
<b>Glossar</b>	1495
<b>Weiterführende Literatur</b>	1545
<b>Bildnachweise</b>	1553
<b>Sachindex</b>	1563
<b>Namensindex</b>	1605