

Inhaltsverzeichnis

Kapitel 1 Zellen: Die Grundeinheiten des Lebens 1	
1.1 Einheit und Vielfalt von Zellen 2	
1.1.1 Zellen variieren enorm in ihrem Aussehen und ihren Funktionen 2	
1.1.2 Die grundlegende Chemie ist bei allen lebenden Zellen ähnlich 3	
1.1.3 Lebende Zellen sind eine sich selbst replizierende Ansammlung von Katalysatoren 4	
1.1.4 Alle heutigen Zellen stammen von derselben Urzelle ab 5	
1.1.5 Gene liefern die Anweisungen für die Gestalt, die Funktion und das Verhalten von Zellen und Organismen 6	
1.2 Zellen unter dem Mikroskop 6	
1.2.1 Die Erfindung des Lichtmikroskops führte zur Entdeckung von Zellen 7	
1.2.2 Lichtmikroskope zeigen einige Zellbestandteile 8	
1.2.3 Mithilfe der Elektronenmikroskopie lassen sich Feinstrukturen innerhalb der Zelle erkennen 10	
1.3 Die Prokaryotenzelle 15	
1.3.1 Prokaryoten sind die vielseitigsten und häufigsten Zellen auf der Erde 16	
1.3.2 Die Prokaryoten gliedern sich in zwei Domänen: Bakterien und Archaeen 18	
1.4 Die Eukaryotenzelle 18	
1.4.1 Der Zellkern ist der Informationsspeicher der Zelle 18	
1.4.2 Mitochondrien erzeugen nutzbare Energie aus Nahrungsmolekülen 20	
1.4.3 Chloroplasten fangen Energie aus Sonnenlicht ein 21	
1.4.4 Innere Membranen schaffen intrazelluläre Kompartimente mit unterschiedlichen Funktionen 22	
1.4.5 Das Cytosol ist ein konzentriertes wässriges Gel aus großen und kleinen Molekülen 25	
	1.4.6 Das Cytoskelett ermöglicht gerichtete Bewegungen der Zelle 26
	1.4.7 Das Cytosol ist keineswegs statisch 27
	1.4.8 Eukaryotenzellen könnten als Räuber entstanden sein 27
1.5 Modellorganismen 30	
	1.5.1 Molekularbiologen haben sich auf <i>E. coli</i> konzentriert 31
	1.5.2 Die Bierhefe ist eine einfache Eukaryotenzelle 31
	1.5.3 <i>Arabidopsis</i> wurde als Modellpflanze ausgewählt 31
	1.5.4 Tiermodelle umfassen Fliegen, Würmer, Fische und Mäuse 32
	1.5.5 Biologen forschen auch direkt an Menschen und ihren Zellen 35
	1.5.6 Der Vergleich von Genomsequenzen deckt das gemeinsame Erbe des Lebens auf 37
	1.5.7 Genome enthalten nicht nur Gene 39
Kapitel 2 Chemische Bestandteile der Zelle 43	
2.1 Chemische Bindungen 44	
2.1.1 Zellen sind aus relativ wenigen Atomsorten aufgebaut 44	
2.1.2 Die äußeren Elektronen bestimmen die Art der atomaren Wechselwirkung 45	
2.1.3 Kovalente Bindungen entstehen, indem sich Atome Elektronen teilen 48	
2.1.4 An einigen kovalenten Bindungen ist mehr als ein Elektronenpaar beteiligt 50	
2.1.5 Oft werden Elektronen in kovalenten Bindungen ungleich geteilt 50	
2.1.6 Kovalente Bindungen sind stark genug, um den Bedingungen innerhalb einer Zelle standzuhalten 50	
2.1.7 Ionenbindungen entstehen durch die Aufnahme oder Abgabe von Elektronen 51	

2.1.8	Wasserstoffbrückenbindungen sind wichtige nichtkovalente Bindungen in vielen biologischen Molekülen	52	3.2	Freie Enthalpie und Katalyse	98
2.1.9	Vier Arten von schwachen Wechselwirkungen helfen dabei, Moleküle in Zellen zusammenzubringen	53	3.2.1	Chemische Reaktionen laufen in der Richtung ab, in der die Freie Enthalpie abnimmt	98
2.1.10	Einige polare Moleküle bilden in Wasser Säuren und Basen	54	3.2.2	Enzyme erniedrigen die notwendige Energie, um spontane Reaktionen auszulösen	98
2.2	Kleine Moleküle in Zellen	56	3.2.3	Die Änderung der Freien Enthalpie einer Reaktion bestimmt, ob die Reaktion stattfindet	101
2.2.1	Eine Zelle wird aus Kohlenstoffverbindungen gebildet	56	3.2.4	Nähert sich eine Reaktion dem Gleichgewicht, ändert sich ΔG	102
2.2.2	Zellen enthalten vier Grundtypen kleiner organischer Moleküle	57	3.2.5	Die Änderung der Freien Standardenthalpie ΔG^0 macht es möglich, die Energetik verschiedener Reaktionen zu vergleichen	103
2.2.3	Zucker sind Energiequellen der Zellen und Bausteine von Polysacchariden	58	3.2.6	Die Gleichgewichtskonstante ist direkt proportional zu ΔG^0	103
2.2.4	Fettsäuren sind Bestandteile der Zellmembranen	60	3.2.7	Bei komplexen Reaktionen beinhaltet die Gleichgewichtskonstante die Konzentrationen aller Reaktanten und Produkte	104
2.2.5	Aminosäuren sind die Bausteine der Proteine	62	3.2.8	Die Gleichgewichtskonstante ist ein Maß für die Stärke der nichtkovalenten Bindungswechselwirkungen	105
2.2.6	Nukleotide sind die Bausteine von DNA und RNA	63	3.2.9	In aufeinanderfolgenden Reaktionen sind die ΔG^0 -Werte additiv	106
2.3	Makromoleküle in Zellen	65	3.2.10	Enzymkatalysierte Reaktionen hängen von schnellen molekularen Stößen ab	108
2.3.1	Jedes Makromolekül enthält eine spezifische Anordnung von Untereinheiten	80	3.2.11	Nichtkovalente Wechselwirkungen ermöglichen es Enzymen, spezifisch Moleküle zu binden	109
2.3.2	Nichtkovalente Bindungen bestimmen die genaue Gestalt eines Makromoleküls	83	3.3	Aktivierte Trägermoleküle und Biosynthese	109
2.3.3	Nichtkovalente Bindungen ermöglichen es einem Makromolekül, andere ausgewählte Moleküle zu binden	83	3.3.1	Die Bildung eines aktivierte Trägermoleküls ist an eine energetisch günstige Reaktion gekoppelt	113
Kapitel 3	Energie, Katalyse und Biosynthese	89	3.3.2	ATP ist das am häufigsten verwendete aktivierte Trägermolekül	114
3.1	Nutzung der Energie durch die Zellen	90	3.3.3	Die im ATP gespeicherte Energie wird oft für die Verknüpfung von Molekülen verwendet	118
3.1.1	Biologische Ordnung wird durch die Freisetzung von Wärme aus Zellen ermöglicht	91	3.3.4	NADH und NADPH sind aktivierte Elektronenüberträger	119
3.1.2	Zellen können Energie von einer Form in eine andere überführen	93	3.3.5	NADPH und NADH haben unterschiedliche Aufgaben in der Zelle	119
3.1.3	Photosynthetisch aktive Organismen nutzen Sonnenlicht zur Herstellung von organischen Molekülen	94	3.3.6	Zellen verwenden viele andere aktivierte Trägermoleküle	120
3.1.4	Zellen gewinnen Energie aus der Oxidation organischer Moleküle	94	3.3.7	Die Synthese von biologischen Polymeren benötigt eine Energiezufuhr	122
3.1.5	Oxidation und Reduktion ist mit der Übertragung von Elektronen verbunden	96			

Kapitel 4 Proteine – Struktur und Funktion 129

- 4.1 Die Gestalt und Struktur von Proteinen 130**
- 4.1.1 Die Form eines Proteins wird durch seine Aminosäuresequenz bestimmt 130
 - 4.1.2 Proteine falten sich in die Konformation mit der geringsten Energie 134
 - 4.1.3 Proteine kommen in einer Vielzahl komplizierter Formen vor 135
 - 4.1.4 α -Helix und β -Faltblatt sind häufige Faltungsmuster 137
 - 4.1.5 Helices bilden sich leicht in biologischen Strukturen 138
 - 4.1.6 β -Faltblätter bilden starre Strukturen im Innern vieler Proteine 141
 - 4.1.7 Falsch gefaltete Proteine können krankheitsauslösende Amyloidstrukturen bilden 141
 - 4.1.8 Proteine haben mehrere Organisationsstufen 141
 - 4.1.9 Proteinen enthalten auch unstrukturierte Bereiche 142
 - 4.1.10 Nur wenige der vielen möglichen Polypeptidketten sind brauchbar 144
 - 4.1.11 Proteine können in Familien eingeteilt werden 144
 - 4.1.12 Große Proteinkomplexe bestehen häufig aus mehr als einer Polypeptidkette 145
 - 4.1.13 Proteine können sich zu Filamenten, Schichten oder Kugeln zusammenlagern 147
 - 4.1.14 Manche Arten von Proteinen haben eine lange Faserform 147
 - 4.1.15 Extrazelluläre Proteine werden häufig durch kovalente Quervernetzung stabilisiert 149
- 4.2 Wie Proteine arbeiten 159**
- 4.2.1 Alle Proteine binden an andere Moleküle 159
 - 4.2.2 Im menschlichen Körper werden Milliarden verschiedener Antikörper hergestellt, die alle unterschiedliche Bindungsstellen besitzen 160
 - 4.2.3 Enzyme sind wirkungsvolle und hochspezifische Katalysatoren 162
 - 4.2.4 Enzyme beschleunigen chemische Reaktionen enorm 163
 - 4.2.5 Lysozym illustriert, wie ein Protein arbeitet 166
 - 4.2.6 Viele Arzneimittel hemmen Enzyme 168

- 4.2.7 Fest gebundene kleine Moleküle verleihen Proteinen zusätzliche Funktionen 169
- 4.3 Wie Proteine kontrolliert werden 170**
- 4.3.1 Die katalytische Aktivität von Enzymen wird häufig durch andere Moleküle reguliert 170
 - 4.3.2 Allosterische Enzyme haben zwei oder mehr Bindungsstellen, die sich gegenseitig beeinflussen 172
 - 4.3.3 Phosphorylierung kann durch Auslösung einer Konformationsänderung die Proteinaktivität kontrollieren 173
 - 4.3.4 Kovalente Modifikationen kontrollieren auch den Aufenthaltsort und das Zusammenspiel von Proteinen 174
 - 4.3.5 Regulatorische GTP-bindende Proteine werden durch die Aufnahme und Abgabe einer Phosphatgruppe an- und ausgeschaltet 175
 - 4.3.6 ATP-Hydrolyse ermöglicht es Motorproteinen, gerichtete Bewegungen in Zellen zu erzeugen 176
 - 4.3.7 Proteine bilden oft große Komplexe, die als Maschinen wirken 176
 - 4.3.8 Viele wechselwirkende Proteine werden durch Gerüstproteine zusammengebracht 178
 - 4.3.9 Schwache Wechselwirkungen zwischen Makromolekülen können große biochemische Subkompartimente in der Zelle schaffen 179
- 4.4 Wie Proteine untersucht werden 180**
- 4.4.1 Proteine können aus Zellen oder Geweben aufgereinigt werden 181
 - 4.4.2 Die Bestimmung der Proteinstruktur beginnt mit der Bestimmung der Aminosäuresequenz 183
 - 4.4.3 Gentechnik ermöglicht die Massenproduktion, das Design und die Analyse fast jedes beliebigen Proteins 184
 - 4.4.4 Die Verwandtschaft von Proteinen hilft bei der Vorhersage der Struktur und Funktion von Proteinen 185

Kapitel 5 DNA und Chromosomen 191

- 5.1 Die Struktur der DNA 192**
- 5.1.1 Ein DNA-Molekül besteht aus zwei komplementären Nukleotidketten 193

5.1.2	Die Struktur der DNA liefert einen Mechanismus zur Vererbung	194	6.1.10	Die Telomerlänge variiert bei verschiedenen Zellarten und mit dem Alter	234
5.2	Die Struktur eukaryotischer Chromosomen	196	6.2	DNA-Reparatur	235
5.2.1	Eukaryotische DNA ist in mehrere Chromosomen verpackt	197	6.2.1	DNA-Schäden treten fortwährend in der Zelle auf	236
5.2.2	Chromosomen organisieren und tragen genetische Informationen	198	6.2.2	Die Zelle besitzt eine Vielzahl von Reparaturmechanismen für DNA	238
5.2.3	Besondere DNA-Sequenzen werden für die Replikation der DNA und die Trennung der Chromosomen benötigt	199	6.2.3	Ein DNA-Fehlpaarungs-Korrektursystem entfernt Replikationsfehler, die dem Korrekturlesen entgehen	238
5.2.4	Interphasechromosomen sind nicht zufällig innerhalb des Zellkerns verteilt	201	6.2.4	DNA-Doppelstrangbrüche benötigen eine andere Reparaturstrategie	240
5.2.5	DNA in Chromosomen ist immer hoch kondensiert	203	6.2.5	Die homologe Rekombination kann Doppelstrangbrüche der DNA fehlerfrei reparieren	241
5.2.6	Nukleosomen sind die Grundeinheiten der eukaryotischen Chromosomenstruktur	203	6.2.6	Das Versagen der DNA-Schadensreparatur kann drastische Auswirkungen auf eine Zelle oder auf einen Organismus haben	243
5.2.7	Die Verpackung der Chromosomen geschieht auf mehreren Ebenen	205	6.2.7	Die Genauigkeit der DNA-Replikation und -Reparatur ist in unseren Genomsequenzen aufgezeichnet	244
5.3	Regulation der Chromosomenstruktur	205			
5.3.1	Änderungen in der Nukleosomenstruktur ermöglichen einen Zugang zur DNA	207			
5.3.2	Interphasechromosomen enthalten sowohl hoch kondensierte als auch lockeres Chromatin	208			

Kapitel 6 DNA-Replikation und Reparatur 219

6.1	DNA-Replikation	220
6.1.1	Basenpaarung ermöglicht DNA-Replikation	220
6.1.2	Die DNA-Synthese beginnt am Replikationsursprung	221
6.1.3	Zwei Replikationsgabeln bilden sich an jedem Replikationsstartpunkt	221
6.1.4	Die DNA-Polymerase synthetisiert DNA und benutzt dazu einen Elternstrang als Matrize	225
6.1.5	Die Replikationsgabel ist asymmetrisch	226
6.1.6	Die DNA-Polymerase korrigiert sich selbst	227
6.1.7	Kurze RNA-Stücke dienen als Primer für die DNA-Synthese	228
6.1.8	Die Proteine an der Replikationsgabel arbeiten in Form einer Replikationsmaschine zusammen	231
6.1.9	Eine Telomerase repliziert die Enden eukaryotischer Chromosomen	232

Kapitel 7 Von der DNA zum Protein: Wie Zellen das Genom lesen 249

7.1	Von der DNA zur RNA	250
7.1.1	Teile der DNA-Sequenz werden in RNA umgeschrieben	250
7.1.2	Die Transkription erzeugt RNA, die zu einem DNA-Strang komplementär ist	252
7.1.3	Zellen stellen verschiedene RNA-Arten her	254
7.1.4	Signale in der DNA-Sequenz teilen der RNA-Polymerase mit, wo sie die Transkription starten und beenden soll	255
7.1.5	Der Beginn der eukaryotischen Transkription ist ein komplexer Vorgang	258
7.1.6	Die eukaryotische RNA-Polymerase benötigt allgemeine Transkriptionsfaktoren	258
7.1.7	Eukaryotische mRNAs werden im Zellkern bearbeitet	260
7.1.8	In Eukaryoten werden proteincodierende Gene von nicht-codierenden Sequenzen unterbrochen, die man als Introns bezeichnet	262

7.1.9	Introns werden von der prä-mRNA durch RNA-Spleißen entfernt	263	8.1.3	Eine Zelle kann ihre Genexpression als Antwort auf externe Signale ändern	294
7.1.10	RNA-Synthese und -Prozessierung finden in „Fabriken“ im Zellkern statt	264	8.1.4	Genexpression kann auf unterschiedlichen Stufen auf dem Weg von der DNA über die RNA zum Protein reguliert werden	294
7.1.11	Reife eukaryotische mRNAs werden aus dem Zellkern exportiert	265	8.2	Wie die Transkription reguliert wird	295
7.1.12	mRNA-Moleküle werden schließlich im Cytosol wieder abgebaut	266	8.2.1	Transkriptionsregulatoren binden an regulatorische DNA-Sequenzen	295
7.2	Von der RNA zum Protein	267	8.2.2	Das An- und Ausschalten der Transkription ermöglicht den Zellen, auf Veränderungen in der Umgebung zu reagieren	297
7.2.1	Eine mRNA-Sequenz wird in Einheiten von drei Nukleotiden entschlüsselt	267	8.2.3	Repressoren schalten Gene aus, Aktivatoren schalten sie an	299
7.2.2	tRNA-Moleküle verbinden Aminosäuren mit den Codons der mRNA	271	8.2.4	Ein Aktivator und ein Repressor kontrollieren das <i>lac</i> -Operon	299
7.2.3	Spezifische Enzyme koppeln tRNAs an die richtige Aminosäure	272	8.2.5	Eukaryotische Transkriptionsregulatoren kontrollieren die Genexpression aus der Entfernung	300
7.2.4	Die Botschaft der mRNA wird an Ribosomen entschlüsselt	273	8.2.6	Eukaryotische Transkriptionsregulatoren helfen bei der Initiation der Transkription durch Heranziehen von chromatin modifizierenden Proteinen	301
7.2.5	Das Ribosom ist ein Ribozym	276	8.2.7	Die Anordnung der Chromosomen in Schlaufendomänen hält Verstärkerelemente in Schach	303
7.2.6	Bestimmte Codons in der mRNA signalisieren dem Ribosom, wo die Proteinsynthese starten und enden soll	277	8.3	Die Erzeugung spezialisierter Zellarten	303
7.2.7	Proteine werden an Polyribosomen hergestellt	278	8.3.1	Eukaryotische Gene werden durch Kombinationen von Transkriptionsregulatoren reguliert	304
7.2.8	Inhibitoren der prokaryotischen Proteinsynthese werden als Antibiotika eingesetzt	279	8.3.2	Die Expression verschiedener Gene kann von einem einzigen Protein koordiniert werden	304
7.2.9	Durch sorgfältig kontrollierten Proteinabbau kann die Menge jedes Proteins in der Zelle reguliert werden	280	8.3.3	Kombinatorische Kontrolle kann auch verschiedene Zellarten erzeugen	308
7.2.10	Zwischen DNA und Protein liegen viele Schritte	281	8.3.4	Die Bildung eines ganzen Organs kann durch einen einzigen Transkriptionsregulator ausgelöst werden	310
7.3	RNA und der Ursprung des Lebens	282	8.3.5	Transkriptionsregulatoren können verwendet werden, um experimentell die Bildung von spezifischen Zellarten in Kultur zu steuern	311
7.3.1	Leben erfordert Autokatalyse	282	8.3.6	Differenzierte Zellen bewahren ihre Identität	312
7.3.2	RNA kann Informationen speichern und chemische Reaktionen katalysieren	284	8.4	Posttranskriptionelle Kontrollen	315
7.3.3	RNA soll DNA in der Evolution zeitlich vorausgehen	285	8.4.1	mRNAs enthalten Sequenzen, die ihre Translation kontrollieren können	315
Kapitel 8	Kontrolle der Genexpression	291	8.4.2	Regulatorische RNAs kontrollieren die Expression von Tausenden von Genen	315
8.1	Ein Überblick über die Genexpression	292	8.4.3	MicroRNAs lenken gezielt den Abbau von mRNAs	316
8.1.1	Die verschiedenen Zellarten eines vielzelligen Organismus enthalten die gleiche DNA	292	8.4.4	Kleine interferierende RNAs schützen Zellen vor Infektionen	317
8.1.2	Verschiedene Zellarten produzieren verschiedene Spektren an Proteinen	292			

8.4.5	Auch Tausende lange nicht-codierende RNA-Moleküle können die Genaktivität bei Säugetieren regulieren	319
Kapitel 9 Wie sich Gene und Genome entwickeln 325		
9.1	Die Entwicklung genetischer Variation 326	
9.1.1	Bei Organismen, die sich sexuell vermehren, werden nur Veränderungen in der Keimbahn an die Nachkommen weitergegeben	327
9.1.2	Punktmutationen werden durch Pannen bei den regulären Mechanismen für das Kopieren und Reparieren der DNA erzeugt	329
9.1.3	Mutationen können die Regulation eines Gens verändern	330
9.1.4	DNA-Verdopplungen erzeugen Familien von verwandten Genen	331
9.1.5	Duplikation und Divergenz brachten die Globin-Genfamilie hervor	333
9.1.6	Duplikationen ganzer Genome haben die Evolutionsgeschichte vieler Arten geprägt	334
9.1.7	Neue Gene können durch Neukombination von Exons geschaffen werden	335
9.1.8	Die Evolution von Genomen wurde durch mobile genetische Elemente zutiefst beeinflusst	335
9.1.9	Gene können zwischen Organismen durch horizontalen Gentransfer ausgetauscht werden	337
9.2	Die Rekonstruktion des Stammbaums des Lebens 337	
9.2.1	Genetische Änderungen, die einen Selektionsvorteil bieten, bleiben wahrscheinlich erhalten	338
9.2.2	Genome eng verwandter Organismen ähneln sich sowohl in der Organisation als auch in der Sequenz	339
9.2.3	Funktionell wichtige Genombereiche erscheinen als Inseln konservierter DNA-Sequenzen	340
9.2.4	Genomvergleiche zeigen, dass die Genome von Wirbeltieren schnell DNA hinzugewinnen und verlieren	343
9.2.5	Wegen der Konservierung von Sequenzen können wir sogar die evolutionär entfernte Verwandtschaft aufspüren	343

9.3	Mobile genetische Elemente und Viren 344	
9.3.1	Mobile genetische Elemente codieren für die Komponenten, die sie für die Transposition benötigen	345
9.3.2	Das menschliche Genom enthält zwei wichtige Familien von transponierbaren Sequenzen	346
9.3.3	Viren können sich zwischen Zellen und Organismen bewegen	348
9.3.4	Retroviren drehen den üblichen Fluss genetischer Information um	349
9.4	Die Untersuchung des menschlichen Genoms 350	
9.4.1	Die Nukleotidsequenz des menschlichen Genoms zeigt, wie unsere Gene angeordnet sind	351
9.4.2	Unterschiede der Genregulation können dabei helfen, zu erklären, wie Tiere mit ähnlichen Genomen so unterschiedlich sein können	356
9.4.3	Das Genom des ausgestorbenen Neandertalers offenbart viel darüber, was uns zu Menschen macht	356
9.4.4	Genomvariation trägt zu unserer Individualität bei – aber wie?	357

Kapitel 10 Die Analyse der Struktur und Funktion von Genen 363

10.1	Isolierung und Klonierung von DNA-Molekülen 364	
10.1.1	Restriktionsenzyme schneiden DNA-Moleküle an bestimmten Stellen	365
10.1.2	Gelelektrophorese trennt DNA-Fragmente von unterschiedlicher Größe auf	366
10.1.3	DNA-Klonierung beginnt mit der Herstellung rekombinanter DNA	367
10.1.4	Rekombinante DNA kann in Bakterienzellen kopiert werden	367
10.1.5	Ganze Genome können in einer DNA-Bibliothek vertreten sein	369
10.1.6	Hybridisierung ist eine empfindliche Methode zum Nachweis bestimmter Nukleotidsequenzen	371
10.2	DNA-Klonierung mithilfe der PCR 372	
10.2.1	Die PCR benutzt DNA-Polymerase und spezifische DNA-Primer zur Vervielfältigung von DNA-Sequenzen in einem Reaktionsgefäß	373

10.2.2	Die PCR kann zu diagnostischen und rechtsmedizinischen Zwecken verwendet werden	375
10.3	DNA-Sequenzierung 376	
10.3.1	Didesoxysequenzierung basiert auf der Analyse von DNA-Ketten, die an jeder einzelnen Nukleotidposition abgebrochenen ist	378
10.3.2	Sequenzierungstechniken der nächsten Generation machen das Genomsequenzieren schneller und billiger	378
10.3.3	Vergleichende Genomanalyse kann Gene identifizieren und deren Funktion vorhersagen	382
10.4	Erforschung der Genfunktion 384	
10.4.1	Durch Analyse der mRNA erhält man eine Momentaufnahme der Genexpression	384
10.4.2	<i>In-situ</i> -Hybridisierung kann aufzeigen, wann und wo ein Gen exprimiert wird	384
10.4.3	Reportergene erlauben die Nachverfolgung spezifischer Proteine in lebenden Zellen	385
10.4.4	Die Untersuchung von Mutanten kann dabei helfen, die Funktion eines Gens aufzuklären	387
10.4.5	RNA-Interferenz (RNAi) hemmt die Aktivität von spezifischen Genen	388
10.4.6	Ein bekanntes Gen kann entfernt oder durch eine alternative Version ersetzt werden	389
10.4.7	Gene können unter Verwendung des bakteriellen CRISPR-Systems mit großer Genauigkeit editiert werden	392
10.4.8	Mutierte Organismen stellen hilfreiche Modelle für menschliche Krankheiten dar	392
10.4.9	Transgene Pflanzen sind für die Zellbiologie und für die Landwirtschaft wichtig	394
10.4.10	Sogar selten vorkommende Proteine können durch klonierte DNA in großen Mengen produziert werden	395

Kapitel 11 Membranstruktur 401

11.1	Die Lipiddoppelschicht 403	
11.1.1	Membranlipide bilden in Wasser Doppelschichten aus	404
11.1.2	Die Lipiddoppelschicht ist eine flexible zweidimensionale Flüssigkeit	407

11.1.3	Die Fluidität einer Lipiddoppelschicht hängt von ihrer Zusammensetzung ab	408
11.1.4	Der Membranaufbau beginnt im Endoplasmatischen Reticulum	410
11.1.5	Bestimmte Phospholipide sind auf eine Seite der Membran begrenzt	410
11.2	Membranproteine 411	
11.2.1	Membranproteine sind mit der Lipiddoppelschicht auf verschiedene Weise verbunden	412
11.2.2	Eine Polypeptidkette durchquert die Lipiddoppelschicht gewöhnlich in Form einer α -Helix	414
11.2.3	Membranproteine lassen sich mit Detergenzien in Lösung bringen	415
11.2.4	Die vollständige Struktur ist bei relativ wenigen Membranproteinen aufgeklärt	416
11.2.5	Die Plasmamembran wird durch den darunterliegenden Zellcortex verstärkt	417
11.2.6	Zellen können die Bewegung von Membranproteinen einschränken	418
11.2.7	Die Zelloberfläche ist mit Kohlenhydraten überzogen	420

Kapitel 12 Membrantransport 427

12.1	Grundsätze des Membrantransports 428	
12.1.1	Lipiddoppelschichten sind für Ionen und die meisten ungeladenen polaren Moleküle undurchlässig	428
12.1.2	Die Ionenkonzentrationen innerhalb und außerhalb einer Zelle unterscheiden sich erheblich voneinander	429
12.1.3	Unterschiedliche Konzentrationen anorganischer Ionen an einer Zellmembran erzeugen ein Membranpotenzial	429
12.1.4	Zellen enthalten zwei Klassen von Membrantransportproteinen: Transporter und Kanäle	430
12.1.5	Gelöste Stoffe durchqueren die Membran durch passiven oder aktiven Transport	430

12.1.6	Sowohl der Konzentrationsgradient als auch das Membranpotenzial beeinflussen den passiven Transport gelöster Stoffe	431	12.4	Ionenkanäle und Signalübertragung in Nervenzellen	452
12.1.7	Wasser wandert durch die Zellmembran entlang seines Konzentrationsgradienten – ein Vorgang, der als Osmose bezeichnet wird	433	12.4.1	Aktionspotenziale ermöglichen schnelle Kommunikation über weite Entfernung entlang von Axonen	453
12.2	Transporter und ihre Funktionen	434	12.4.2	Aktionspotenziale werden durch spannungsregulierte Kationenkanäle erzeugt	453
12.2.1	Passive Transporter bewegen einen gelösten Stoff in Richtung seines elektrochemischen Gradienten	435	12.4.3	Spannungsregulierte Ca^{2+} -Kanäle an den Nervenendigungen wandeln elektrische Signale in chemische Signale um	458
12.2.2	Pumpen transportieren gelöste Stoffe aktiv gegen ihren elektrochemischen Gradienten	436	12.4.4	Transmitterregulierte Kanäle in der postsynaptischen Membran wandeln chemische Signale wieder zurück in elektrische Signale	460
12.2.3	Na^+ -Pumpen tierischer Zellen benutzen die Energie der ATP-Hydrolyse, um Na^+ hinaus- und K^+ hineinzupumpen	437	12.4.5	Neurotransmitter können sowohl erregend als auch hemmend sein	461
12.2.4	Die Na^+ -Pumpe erzeugt einen steilen Na^+ -Konzentrationsgradienten über die Plasmamembran	438	12.4.6	Die meisten Psychopharmaka beeinflussen die synaptische Signalleitung, indem sie an Rezeptoren von Neurotransmittern binden	462
12.2.5	Ca^{2+} -Pumpen sorgen für eine niedrige cytosolische Ca^{2+} -Konzentration	438	12.4.7	Die Komplexität der synaptischen Signalweiterleitung befähigt uns zu denken, zu handeln, zu lernen und uns zu erinnern	462
12.2.6	Gradientengetriebene Pumpen nutzen Gradienten des gelösten Stoffes aus, um aktiven Transport zu ermöglichen	439	12.4.8	Lichtregulierte Ionenkanäle können dazu dienen, Nervenzellen in lebenden Tieren vorübergehend zu aktivieren oder zu inaktivieren	464
12.2.7	Der elektrochemische Na^+ -Gradient treibt den Glucosetransport durch die Plasmamembran tierischer Zellen an	440			
12.2.8	Pflanzen, Pilze und Bakterien setzen elektrochemische H^+ -Gradienten ein, um den Membrantransport anzutreiben	442			
12.3	Ionenkanäle und das Membranpotenzial	443			
12.3.1	Ionenkanäle sind ionenselektiv und werden reguliert	444			
12.3.2	Das Membranpotenzial wird durch die Permeabilität der Membran für bestimmte Ionen bestimmt	445	Kapitel 13	Wie Zellen Energie aus Nahrung gewinnen	469
12.3.3	Ionenkanäle pendeln zufällig zwischen offenem und geschlossenem Zustand	448	13.1	Der Abbau und die Nutzung von Zuckern und Fetten	470
12.3.4	Verschiedene Reizarten beeinflussen das Öffnen und Schließen der Ionenkanäle	449	13.1.1	Nahrungsmoleküle werden in drei Stufen abgebaut	471
12.3.5	Spannungsregulierte Ionenkanäle reagieren auf das Membranpotenzial	450	13.1.2	Die Glykolyse gewinnt Energie aus der Zuckerspaltung	473
			13.1.3	Die Glykolyse erzeugt sowohl ATP als auch NADH	473
			13.1.4	Bei der Gärung entsteht ATP in Abwesenheit von Sauerstoff	475
			13.1.5	Die Glykolyse koppelt die Oxidation an Energiespeicherung in aktivierten Trägermolekülen	476
			13.1.6	Mehrere Arten organischer Moleküle werden in der Mitochondrienmatrix zu Acetyl-CoA abgebaut	477

13.1.7	Der Zitronensäurezyklus erzeugt NADH durch die Oxidation von Acetylgruppen zu CO ₂	480	14.1.7	Die ATP-Synthase nutzt die im elektrochemischen Protonengradienten gespeicherte Energie zur ATP-Erzeugung	510
13.1.8	Viele Biosynthesewege beginnen mit der Glykolyse oder dem Zitronensäurezyklus	481	14.1.8	Der elektrochemische Protonengradient treibt auch den Transport über die innere Mitochondrienmembran an	513
13.1.9	In den meisten Zellen treibt der Elektronentransport die Synthese des Hauptteils von ATP an	486	14.1.9	Die schnelle Umwandlung von ADP in ATP in den Mitochondrien hält in den Zellen ein hohes ATP/ADP-Verhältnis aufrecht	514
13.2	Regulation des Stoffwechsels	490	14.1.10	Die Zellatmung ist erstaunlich effizient	514
13.2.1	Katabole und anabole Reaktionen werden durchgeführt und reguliert	491	14.2	Molekulare Mechanismen des Elektronentransports und der Protonenpumpen	515
13.2.2	Die Rückkopplungsregulation erlaubt es den Zellen, vom Glucoseabbau auf die Glucosebiosynthese umzuschalten	491	14.2.1	Protonen lassen sich leicht durch die Übertragung von Elektronen bewegen	516
13.2.3	Zellen lagern Nahrungsmoleküle in besonderen Speichern, um für Notzeiten vorzusorgen	493	14.2.2	Das Redoxpotenzial ist ein Maß für Elektronenaffinitäten	517
Kapitel 14	Energiegewinnung in Mitochondrien und Chloroplasten	499	14.2.3	Die Übertragung von Elektronen setzt große Energiemengen frei	518
14.0.1	Zellen gewinnen den größten Teil ihrer Energie durch einen membranbasierten Mechanismus	500	14.2.4	Metallatome, die fest an Proteine gebunden sind, sind vielseitige Elektronenüberträger	518
14.0.2	Chemiosmotische Kopplung ist ein alter Prozess, der in heutigen Zellen erhalten ist	501	14.2.5	Die Cytochrom-c-Oxidase katalysiert die Reduktion von molekularem Sauerstoff	520
14.1	Mitochondrien und oxidative Phosphorylierung	503	14.3	Chloroplasten und Photosynthese	524
14.1.1	Mitochondrien sind hinsichtlich Struktur, Lage und Anzahl dynamisch	504	14.3.1	Chloroplasten ähneln Mitochondrien, haben aber ein zusätzliches Kompartiment – das Thylakoid	525
14.1.2	Ein Mitochondrium enthält eine äußere Membran, eine innere Membran und zwei interne Kompartimente	505	14.3.2	Die Photosynthese erzeugt ATP und NADPH – und verbraucht sie dann	525
14.1.3	Der Zitronensäurezyklus erzeugt energiereiche Elektronen, die für die ATP-Bildung erforderlich sind	506	14.3.3	Chlorophyllmoleküle absorbieren die Sonnenenergie	528
14.1.4	Die Wanderung der Elektronen ist an das Pumpen von Protonen gekoppelt	507	14.3.4	Angeregte Chlorophyllmoleküle leiten die Energie in ein Reaktionszentrum	529
14.1.5	Die Elektronen gelangen durch drei große Enzymkomplexe in die innere Mitochondrienmembran	509	14.3.5	Ein Photosystempaar arbeitet zusammen, um sowohl ATP als auch NADPH zu erzeugen	530
14.1.6	Das Pumpen von Protonen führt zur Ausbildung eines steilen elektrochemischen Protonengradienten über die innere Mitochondrienmembran	510	14.3.6	Sauerstoff wird durch einen wasserspaltenden Komplex erzeugt, der mit dem Photosystem II assoziiert ist	531
			14.3.7	Das Spezialpaar im Photosystem I erhält seine Elektronen von Photosystem II	532
			14.3.8	Die Fixierung von Kohlenstoff braucht ATP und NADPH, um CO ₂ in Zucker umzuwandeln	533
			14.3.9	Die durch die Kohlenstofffixierung gebildeten Zucker können in Form von Stärke gespeichert oder sie können abgebaut werden, um ATP zu bilden	536
			14.4	Die Evolution energieerzeugender Systeme	537
			14.4.1	Die oxidative Phosphorylierung entwickelte sich in Stufen	537

- 14.4.2 Photosynthetisch aktive Bakterien hatten sogar noch geringere Ansprüche an ihre Umwelt 538
- 14.4.3 Die Lebensweise von *Methanococcus* legt nahe, dass die chemiosmotische Kopplung ein uralter Prozess ist 540

Kapitel 15 Intrazelluläre Kompartimente und Proteintransport 547

- 15.1 Membranumschlossene Organellen 548
 - 15.1.1 Eukaryotische Zellen besitzen eine Basisausstattung von membranumschlossenen Organellen 548
 - 15.1.2 Membranumschlossene Organellen sind auf verschiedenen Evolutionswegen entstanden 551
- 15.2 Proteinsortierung 552
 - 15.2.1 Proteine werden über drei Mechanismen in die Organellen transportiert 553
 - 15.2.2 Signalsequenzen lenken Proteine zum richtigen Kompartiment 554
 - 15.2.3 Proteine gelangen durch Kernporen in den Zellkern 555
 - 15.2.4 Proteine entfalten sich, um in Mitochondrien und Chloroplasten zu gelangen 558
 - 15.2.5 Proteine gelangen sowohl vom Cytosol als auch vom Endoplasmatischen Reticulum in die Peroxisomen 560
 - 15.2.6 Bereits während ihrer Synthese gelangen Proteine ins Endoplasmatische Reticulum 560
 - 15.2.7 Lösliche, auf dem ER synthetisierte Proteine werden ins ER-Lumen abgegeben 562
 - 15.2.8 Start- und Stopp-Signale bestimmen die Anordnung eines Transmembranproteins in der Lipiddoppelschicht 564
- 15.3 Vesikulärer Transport 565
 - 15.3.1 Transportvesikel befördern lösliche Proteine und Membransegmente zwischen den Kompartimenten 566
 - 15.3.2 Die Vesikelknospung wird durch die Zusammenlagerung der Proteinöhle angetrieben 567
 - 15.3.3 Das Andocken von Vesikeln ist von „Gurten“ und SNAREs abhängig 569

- 15.4 Sekretorische Wege 571
 - 15.4.1 Die meisten Proteine werden im ER kovalent modifiziert 571
 - 15.4.2 Beim Verlassen des ER findet eine Qualitätskontrolle für Proteine statt 572
 - 15.4.3 Die Größe des ER wird durch die Erfordernis der Proteinfaltung kontrolliert 573
 - 15.4.4 Im Golgi-Apparat werden Proteine weiter verändert und sortiert 574
 - 15.4.5 Sekretorische Proteine werden von der Zelle durch Exozytose nach außen abgegeben 577
- 15.5 Endozytosewege 578
 - 15.5.1 Spezialisierte Phagocyten nehmen große Partikel auf 578
 - 15.5.2 Flüssigkeit und Makromoleküle werden durch Pinocytose aufgenommen 580
 - 15.5.3 Die rezeptorvermittelte Endozytose ermöglicht einen spezifischen Zugang zu tierischen Zellen 580
 - 15.5.4 Über Endozytose aufgenommene Makromoleküle werden in Endosomen sortiert 582
 - 15.5.5 Zelluläre Abbauvorgänge finden hauptsächlich in den Lysosomen statt 582

Kapitel 16 Zelluläre Signalübertragung 589

- 16.1 Allgemeine Grundlagen der zellulären Signalübertragung 590
 - 16.1.1 Signale können über lange oder kurze Entfernungen wirken 590
 - 16.1.2 Ein eingeschränktes Sortiment an extrazellulären Signalen kann eine enorme Vielfalt an Zellverhalten hervorrufen 592
 - 16.1.3 Die Reaktion einer Zelle auf ein Signal kann schnell oder langsam erfolgen 594
 - 16.1.4 Zelloberflächen-Rezeptoren leiten extrazelluläre Signale über intrazelluläre Signalwege weiter 596
 - 16.1.5 Manche intrazellulären Signalübertragungsproteine wirken als molekulare Schalter 598
 - 16.1.6 Zelloberflächen-Rezeptoren lassen sich in drei Hauptklassen einteilen 599

16.1.7	Ionenkanalgekoppelte Rezeptoren verwandeln chemische Signale in elektrische	601
16.2	G-Protein-gekoppelte Rezeptoren	602
16.2.1	Stimulierung der GPCRs aktiviert G-Protein-Untereinheiten	602
16.2.2	Manche Bakteriengifte verursachen Krankheiten, indem sie die Aktivität von G-Proteinen verändern	604
16.2.3	Einige G-Proteine regulieren Ionenkanäle direkt	605
16.2.4	Viele G-Proteine aktivieren membrangebundene Enzyme, die kleine Botenmoleküle bilden	606
16.2.5	Cyclisches AMP kann Enzyme aktivieren und Gene anschalten	606
16.2.6	Der Inositolphospholipid-Weg löst den Anstieg von intrazellulärem Ca^{2+} aus	609
16.2.7	Ein Ca^{2+} -Signal löst viele biologische Vorgänge aus	610
16.2.8	Der GPCR-Signalweg erzeugt ein gelöstes Gas, das ein Signal zu benachbarten Zellen trägt	612
16.2.9	Durch GPCR ausgelöste intrazelluläre Signalkaskaden können eine erstaunliche Geschwindigkeit, Empfindlichkeit und Anpassungsfähigkeit erreichen	612
16.3	Enzymgekoppelte Rezeptoren	614
16.3.1	Aktivierte RTKs bilden mit intrazellulären Signalproteinen einen Komplex	615
16.3.2	Die meisten RTKs aktivieren die monomere GTPase Ras	616
16.3.3	RTKs aktivieren die PI 3-Kinase, um Lipidandockstellen in der Plasmamembran zu erzeugen	618
16.3.4	Einige Rezeptoren öffnen eine Überholspur zum Zellkern	620
16.3.5	Manche extrazellulären Signalmoleküle passieren die Plasmamembran und binden an intrazelluläre Rezeptoren	620
16.3.6	Pflanzen verwenden Rezeptoren und Signalstrategien, die sich von denen der Tiere unterscheiden	625
16.3.7	Netzwerke aus Proteinkinasen integrieren Informationen zur Steuerung komplexen Zellverhaltens	625

Kapitel 17 Das Cytoskelett 631

17.1	Intermediärfilamente	632
17.1.1	Intermediärfilamente sind widerstandsfähig und seilartig	633
17.1.2	Intermediärfilamente machen die Zellen gegenüber mechanischer Beanspruchung widerstandsfähig	635
17.1.3	Die Kernhülle wird durch ein Geflecht von Intermediärfilamenten unterstützt	636
17.1.4	Verbindungsproteine verbinden Filamente des Cytoskeletts und überbrücken die Kernhülle	637
17.2	Mikrotubuli	638
17.2.1	Mikrotubuli sind Hohlröhren mit strukturell unterschiedlichen Enden	639
17.2.2	Das Centrosom ist das wichtigste Organisationszentrum der Mikrotubuli in tierischen Zellen	640
17.2.3	Mikrotubuli zeigen eine dynamische Instabilität	641
17.2.4	Die dynamische Instabilität wird durch GTP-Hydrolyse angetrieben	642
17.2.5	Die Dynamik der Mikrotubuli kann durch Arzneistoffe modifiziert werden	643
17.2.6	Mikrotubuli organisieren das Zellinnere	644
17.2.7	Motorproteine treiben den intrazellulären Transport an	645
17.2.8	Mikrotubuli und Motorproteine positionieren Organellen im Cytoplasma	647
17.2.9	Cilien und Geißeln enthalten stabile Mikrotubuli, die durch Dynein bewegt werden	647
17.3	Aktinfilamente	653
17.3.1	Aktinfilamente sind dünn und beweglich	653
17.3.2	Aktin und Tubulin polymerisieren nach ähnlichen Mechanismen	654
17.3.3	Viele Proteine binden an Aktin und verändern seine Eigenschaften	655
17.3.4	In den meisten eukaryotischen Zellen befindet sich unterhalb der Plasmamembran eine aktinreiche Schicht (Zellcortex)	657
17.3.5	Die Kriechbewegung einer Zelle ist vom Aktin des Cortex abhängig	657

17.3.6	Aktinbindende Proteine beeinflussen den Typ der Vorwölbung, die sich am Leitsaum bildet	659		18.3	G₁-Phase	684
17.3.7	Extrazelluläre Signale können die Anordnung der Aktinfilamente verändern	660		18.3.1	In der G ₁ -Phase sind Cdks stabil inaktiviert	684
17.3.8	Aktin verbindet sich mit Myosin zu kontraktilen Strukturen	661		18.3.2	Mitogene fördern die Bildung von Cyclinen, die die Zellteilung anregen	684
17.4	Muskelkontraktion	661		18.3.3	Ein DNA-Schaden kann vorübergehend das Voranschreiten zur G ₁ -Phase stoppen	686
17.4.1	Die Muskelkontraktion beruht auf Aktin- und Myosinbündeln	662		18.3.4	Zellen können die Teilung über längere Zeitschnitte verzögern, indem sie sich in spezielle Zustände ohne Zellteilung begeben	687
17.4.2	Bei der Muskelkontraktion gleiten Aktin- und Myosinfilamente aneinander vorbei	663		18.4	S-Phase	687
17.4.3	Die Muskelkontraktion wird durch einen plötzlichen Anstieg der cytosolischen Ca ²⁺ -Konzentration ausgelöst	666		18.4.1	S-Cdk leitet die DNA-Replikation ein und blockiert eine erneute Replikation	687
17.4.4	Verschiedene Muskelzellarten verrichten unterschiedliche Aufgaben	668		18.4.2	Eine unvollständige Replikation kann den Zellzyklus in der G ₂ -Phase anhalten	689
Kapitel 18 Der Zellteilungszyklus				18.5	M-Phase	689
18.1	Überblick über den Zellzyklus	674		18.5.1	Die M-Cdk treibt den Eintritt in die Mitose	692
18.1.1	Der eukaryotische Zellzyklus umfasst in der Regel vier Phasen	675		18.5.2	Cohesine und Condensine helfen mit, die verdoppelten Chromosomen für die Trennung vorzubereiten	692
18.1.2	Ein Zellzyklus-Kontrollsystem steuert die wichtigsten Vorgänge des Zellzyklus	676		18.5.3	Verschiedene Bauteile des Cytoskeletts führen die Mitose und die Cytokinese durch	693
18.1.3	Die Zellzyklus-Kontrolle ist in allen Eukaryoten ähnlich	677		18.5.4	Die M-Phase vollzieht sich in Stadien	694
18.2	Das Zellzyklus-Kontrollsystem	677		18.6	Mitose	694
18.2.1	Das Zellzyklus-Kontrollsystem ist von zyklisch aktivierten Proteinkinasen (Cdks) abhängig	678		18.6.1	Die Centrosomen verdoppeln sich, um die beiden Pole der Mitosespindel zu bilden	695
18.2.2	Verschiedene Cyclin-Cdk-Komplexe lösen unterschiedliche Schritte im Zellzyklus aus	680		18.6.2	Der Aufbau der Mitosespindel beginnt in der Prophase	695
18.2.3	Die Cyclinkonzentrationen werden durch Transkription und Proteolyse reguliert	681		18.6.3	In der Prometaphase heften sich die Chromosomen an die Mitosespindel	696
18.2.4	Die Aktivität der Cyclin-Cdk-Komplexe hängt von der Phosphorylierung und Dephosphorylierung ab	682		18.6.4	Chromosomen helfen beim Aufbau der Mitosespindel	697
18.2.5	Die Cdk-Aktivität kann durch Cdk-Inhibitorproteine blockiert werden	682		18.6.5	Die Chromosomen ordnen sich in der Metaphase am Äquator der Spindel an	698
18.2.6	Das Zellzyklus-Kontrollsystem kann den Zellzyklus auf verschiedene Weisen pausieren lassen	683		18.6.6	Proteolyse treibt die Trennung der Schwesterchromatiden in der Anaphase	699
				18.6.7	Chromosomen trennen sich in der Anaphase	699
				18.6.8	Nicht angeheftete Chromosomen blockieren die Trennung der Schwesterchromatiden	701
				18.6.9	Die Kernhülle wird in der Telophase wiederhergestellt	701
				18.7	Cytokinese	701
				18.7.1	Die Mitosespindel bestimmt die Teilungsebene bei der Spaltung des Cytoplasmas	702
				18.7.2	Der kontraktile Ring tierischer Zellen besteht aus Aktin- und Myosinfilamenten	703

- 18.7.3 In Pflanzenzellen wird bei der Cytokinese eine neue Zellwand gebildet 704
- 18.7.4 Membranumhüllte Organellen müssen bei der Zellteilung auf die Tochterzellen verteilt werden 705
- 18.8 Kontrolle von Zellzahl und Zellgröße 706**
- 18.8.1 Apoptose hilft, die Zahl tierischer Zellen zu regulieren 706
- 18.8.2 Apoptose wird durch eine intrazelluläre Proteolysekaskade vermittelt 707
- 18.8.3 Die intrazellulären Proteine der Bcl2-Familie regulieren das intrinsische Todesprogramm 708
- 18.8.4 Apoptosesignale können auch von anderen Zellen kommen 709
- 18.8.5 Tierische Zellen benötigen extrazelluläre Signale zum Überleben, zum Wachstum und zur Teilung 710
- 18.8.6 Überlebensfaktoren unterdrücken die Apoptose 710
- 18.8.7 Mitogene regen die Zellteilung an, indem sie den Eintritt in die S-Phase fördern 711
- 18.8.8 Wachstumsfaktoren regen das Zellwachstum an 712
- 18.8.9 Einige extrazelluläre Signalproteine hemmen das Überleben, die Teilung oder das Wachstum von Zellen 712
- Kapitel 19 Sexuelle Vermehrung und Genetik 719**
- 19.1 Die Vorteile der Sexualität 719**
- 19.1.1 An der sexuellen Fortpflanzung sind sowohl diploide als auch haploide Zellen beteiligt 720
- 19.1.2 Die geschlechtliche Fortpflanzung erzeugt genetische Vielfalt 721
- 19.1.3 Die sexuelle Fortpflanzung verschafft Organismen einen Wettbewerbsvorteil in einer sich verändernden Umwelt 722
- 19.2 Die Meiose und die Befruchtung 722**
- 19.2.1 Die Meiose umfasst eine DNA-Replikationsrunde, gefolgt von zwei Kernteilungsrunden 723
- 19.2.2 Die duplizierten homologen Chromosomen paaren sich während der meiotischen Prophase 724
- 19.2.3 Zwischen den mütterlichen und den väterlichen Chromosomen in jedem Bivalent finden Crossing-over statt 726
- 19.2.4 Die Chromosomenpaarung und das Crossing-over stellen eine ordnungsgemäße Verteilung der Homologe sicher 729
- 19.2.5 Die zweite meiotische Teilung erzeugt haploide Tochterkerne 730
- 19.2.6 Die haploiden Gameten enthalten neu sortierte genetische Informationen 730
- 19.2.7 Die Meiose ist nicht fehlerfrei 732
- 19.2.8 Die Befruchtung stellt wieder ein vollständiges diploides Genom her 733
- 19.3 Mendel und die Vererbungsregeln 734**
- 19.3.1 Mendel wählte für seine Untersuchungen Merkmale, die getrennt vererbt werden 735
- 19.3.2 Mendel konnte die alternativen Vererbungstheorien widerlegen 736
- 19.3.3 Mendels Experimente enthüllten das Vorkommen von dominanten und rezessiven Allelen 736
- 19.3.4 Jeder Gamet trägt für jedes Merkmal ein einziges Allel 737
- 19.3.5 Mendels Segregationsregel lässt sich bei allen Organismen anwenden, die sich sexuell fortpflanzen 738
- 19.3.6 Die Allele für verschiedene Merkmale segregieren unabhängig voneinander 739
- 19.3.7 Den Mendel'schen Erbregeln liegt das Verhalten der Chromosomen während der Meiose zugrunde 740
- 19.3.8 Gene, die auf demselben Chromosom liegen, können durch das Crossing-over unabhängig verteilt werden 743
- 19.3.9 Mutationen in Genen können einen Funktionsverlust oder einen Funktionsgewinn verursachen 743
- 19.3.10 Jeder von uns trägt viele potenziell nachteilige rezessive Mutationen 744
- 19.4 Genetik als experimentelles Werkzeug 745**
- 19.4.1 Der klassische Ansatz beginnt mit zufälliger Mutagenese 745
- 19.4.2 Genetische Reihenuntersuchungen identifizieren Mutanten mit Mängeln in bestimmten zellulären Prozessen 747
- 19.4.3 Konditionale Mutanten erlauben die Untersuchung letaler Mutationen 749

19.4.4 Ein Komplementationstest kann verraten, ob sich zwei Mutationen im selben Gen befinden	750	20.2 Epithelschichten und Zell-Zell-Verbindungen	777
19.5 Erkundung der Humangenetik	750	20.2.1 Epithelschichten sind polarisiert und ruhen auf einer Basallamina	778
19.5.1 Gekoppelte Blöcke von Polymorphismen wurden von unseren Vorfahren weitergegeben	751	20.2.2 Schlussleisten versiegeln ein Epithel und trennen die apikalen und basalen Oberflächen der Epithelschicht	778
19.5.2 Polymorphismen geben Hinweise auf unsere Evolutionsgeschichte	752	20.2.3 Mit dem Cytoskelett verknüpfte Zellverbindungen koppeln Epithelzellen dauerhaft aneinander und an die Basallamina	780
19.5.3 Genetische Untersuchungen helfen bei der Suche nach Ursachen menschlicher Krankheiten	752	20.2.4 <i>Gap junctions</i> ermöglichen anorganischen Ionen aus dem Cytosol und kleinen Molekülen den Durchgang von Zelle zu Zelle	783
19.5.4 Viele schwere seltene menschliche Krankheiten werden durch Mutationen in einzelnen Genen verursacht	753	20.3 Stammzellen und Erneuerung von Geweben	785
19.5.5 Volkskrankheiten werden oft durch mehrfache Mutationen und Umweltfaktoren beeinflusst	755	20.3.1 Gewebe sind organisierte Mischungen aus vielen Zelltypen	787
19.5.6 Genomweite Assoziationsstudien können die Suche nach Mutationen unterstützen, die mit Krankheiten vergesellschaftet sind	755	20.3.2 Verschiedene Gewebe werden mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten erneuert	788
19.5.7 Wir haben noch viel zu lernen über die genetische Grundlage der Verschiedenheit der Menschen und ihre Krankheiten	759	20.3.3 Stammzellen und proliferierende Vorläuferzellen erzeugen einen ständigen Nachschub an endgültig ausdifferenzierten Zellen	789
Kapitel 20 Zellgemeinschaften: Gewebe, Stammzellen und Krebs	765	20.3.4 Spezifische Signale erhalten die Stammzellpopulationen aufrecht	791
20.1 Extrazelluläre Matrix und Bindegewebe	766	20.3.5 Stammzellen können eingesetzt werden, um verlorenes oder beschädigtes Gewebe zu reparieren	792
20.1.1 Pflanzenzellen besitzen stabile Außenwände	767	20.3.6 Induzierte pluripotente Stammzellen liefern eine bequeme Quelle für menschliche ES-artige Zellen	794
20.1.2 Cellulosemikrofibrillen verleihen der Pflanzenzellwand ihre Zugfestigkeit	768	20.3.7 Pluripotente Stammzellen der Maus und des Menschen können in Kultur Organoide bilden	795
20.1.3 Tierisches Bindegewebe besteht größtenteils aus extrazellulärer Matrix	770	20.4 Krebs	796
20.1.4 Kollagen verleiht dem tierischen Bindegewebe Zugfestigkeit	770	20.4.1 Krebszellen proliferieren übermäßig und wandern unangemessen	797
20.1.5 Zellen ordnen das Kollagen, das sie sezernieren	772	20.4.2 Epidemiologische Untersuchungen identifizieren vermeidbare Krebsursachen	797
20.1.6 Integrine koppeln die Matrix außerhalb der Zelle an das in der Zelle liegende Cytoskelett	773	20.4.3 Krebs entwickelt sich durch eine Anhäufung somatischer Mutationen	799
20.1.7 Polysaccharidgele und Proteine füllen die Zwischenräume und widerstehen Druckkräften	775	20.4.4 Krebszellen entwickeln sich und erwerben dabei einen zunehmenden Wettbewerbsvorteil	800
		20.4.5 Zwei Hauptklassen von Genen sind für Krebs entscheidend: Onkogene und Tumorsuppressorgene	802
		20.4.6 Krebsentscheidende Mutationen gruppieren sich in wenigen fundamentalen Signalwegen	804

- 20.4.7 Dickdarmkrebs veranschaulicht, wie der Verlust eines Tumorsuppressorgens zu Krebs führen kann 804
- 20.4.8 Das Verständnis der Zellbiologie des Krebses eröffnet neue Behandlungswege 809

Antworten 815

Glossar 885

Stichwortverzeichnis 911