

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Einführung in die Zelle</b>	<b>1</b>
1.1	<b>Gleichheit und Vielfalt von Zellen</b>	<b>2</b>
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	4
1.1.3	Alle heutigen Zellen stammen von derselben Urzelle ab	5
1.1.4	Gene liefern die Anweisungen für die Gestalt, die Funktion und das komplexe Verhalten von Zellen	6
<b>1.2</b>	<b>Zellen unter dem Mikroskop</b>	<b>6</b>
1.2.1	Die Erfindung des Lichtmikroskops führte zur Entdeckung von Zellen	7
1.2.2	Zellen, Organellen und sogar Moleküle können im Mikroskop betrachtet werden	10
<b>1.3</b>	<b>Die Prokaryotenzelle</b>	<b>14</b>
1.3.1	Prokaryoten sind die vielseitigsten Organismen	15
1.3.2	Die Prokaryoten gliedern sich in zwei Domänen: Bakterien und Archaeen	16
<b>1.4</b>	<b>Die Eukaryotenzelle</b>	<b>17</b>
1.4.1	Der Zellkern ist der Informationsspeicher der Zelle	17
1.4.2	Mitochondrien erzeugen aus Nahrung nutzbare Energie für die Zelle	17
1.4.3	Chloroplasten fangen Energie aus Sonnenlicht ein	20
1.4.4	Innere Membranen schaffen intrazelluläre Kompartimente mit unterschiedlichen Funktionen	21
1.4.5	Das Cytosol ist ein konzentriertes wässriges Gel aus großen und kleinen Molekülen	23
1.4.6	Das Cytoskelett ermöglicht gerichtete Bewegungen der Zelle	24
1.4.7	Das Cytoplasma ist keineswegs statisch	25
1.4.8	Eukaryotenzellen könnten als Räuber entstanden sein	26
<b>1.5</b>	<b>Modellorganismen</b>	<b>29</b>
1.5.1	Molekularbiologen haben sich auf <i>E. coli</i> konzentriert	30
1.5.2	Die Bierhefe ist eine einfache Eukaryotenzelle	30
1.5.3	<i>Arabidopsis</i> wurde aus 300.000 Arten als Modellpflanze ausgewählt	31
1.5.4	Das Tierreich wird bei den Modellorganismen durch eine Fliege, einen Wurm, einen Fisch, eine Maus und den Menschen repräsentiert	31
1.5.5	Der Vergleich von Genomsequenzen deckt das gemeinsame Erbe des Lebens auf	36
<b>1.6</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>38</b>
<b>2</b>	<b>Chemische Bestandteile der Zelle</b>	<b>43</b>
<b>2.1</b>	<b>Chemische Bindungen</b>	<b>44</b>
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	Ionenbindungen entstehen durch die Aufnahme oder Abgabe von Elektronen	48
2.1.4	Kovalente Bindungen entstehen, indem sich Atome Elektronen teilen	49
2.1.5	Kovalente Bindungen sind unterschiedlich stark	51
2.1.6	Es gibt verschiedene Arten kovalenter Bindungen	51
2.1.7	Elektrostatische Anziehungen tragen dazu bei, Moleküle in den Zellen zusammenzuführen	52
2.1.8	Wasser wird durch Wasserstoffbrückenbindungen zusammengehalten	53
2.1.9	Einige polare Moleküle bilden in Wasser Säuren und Basen	54
<b>2.2</b>	<b>Die Moleküle in Zellen</b>	<b>55</b>
2.2.1	Eine Zelle wird aus Kohlenstoffverbindungen gebildet	55
2.2.2	Zellen enthalten vier Grundtypen kleiner organischer Moleküle	56

2.2.3	Zucker sind Energiequellen der Zellen und Bausteine von Polysacchariden	57	3.2.10	Enzyme finden ihre Substrate durch schnelle Diffusion	108
2.2.4	Fettsäuren sind Bestandteile der Zellmembranen	59	3.2.11	$V_{\max}$ und $K_M$ sind ein Maß für die Leistung eines Enzyms	109
2.2.5	Aminosäuren sind die Bausteine der Proteine	60	<b>3.3</b>	<b>Aktivierte Trägermoleküle und Biosynthese</b>	<b>110</b>
2.2.6	Nukleotide sind die Bausteine von DNA und RNA	62	3.3.1	Die Bildung eines aktivierte Trägermoleküls ist an eine energetisch günstige Reaktion gekoppelt	114
<b>2.3</b>	<b>Makromoleküle in Zellen</b>	<b>63</b>	3.3.2	ATP ist das am häufigsten verwendete aktivierte Trägermolekül	115
2.3.1	Makromoleküle enthalten eine spezifische Anordnung von Untereinheiten	64	3.3.3	Die im ATP gespeicherte Energie wird oft für die Verknüpfung von Molekülen verwendet	117
2.3.2	Nichtkovalente Bindungen bestimmen die genaue Gestalt eines Makromoleküls	65	3.3.4	NADH und NADPH sind wichtige Elektronenüberträger	118
2.3.3	Nichtkovalente Bindungen ermöglichen es einem Makromolekül, andere ausgewählte Moleküle zu binden	68	3.3.5	Zellen verwenden viele andere aktivierte Trägermoleküle	119
<b>2.4</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>84</b>	3.3.6	Die Synthese von biologischen Polymeren benötigt eine Energiezufuhr	121
<b>3</b>	<b>Energie, Katalyse und Biosynthese</b>	<b>89</b>	<b>3.4</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>124</b>
<b>3.1</b>	<b>Nutzung der Energie durch die Zellen</b>	<b>90</b>	<b>4</b>	<b>Proteine – Struktur und Funktion</b>	<b>129</b>
3.1.1	Biologische Ordnung wird durch die Freisetzung von Wärme aus Zellen ermöglicht	90	<b>4.1</b>	<b>Gestalt und Struktur von Proteinen</b>	<b>130</b>
3.1.2	Photosynthetisch aktive Organismen nutzen Sonnenlicht zur Herstellung von organischen Molekülen	93	4.1.1	Die Form eines Proteins wird durch seine Aminosäuresequenz bestimmt	130
3.1.3	Zellen gewinnen Energie aus der Oxidation organischer Moleküle	95	4.1.2	Proteine falten sich in die Konformation mit der geringsten Energie	134
3.1.4	Oxidation und Reduktion erfolgen durch die Übertragung von Elektronen	96	4.1.3	Proteine kommen in einer Vielzahl komplizierter Formen vor	136
<b>3.2</b>	<b>Freie Enthalpie und Katalyse</b>	<b>97</b>	4.1.4	$\alpha$ -Helix und $\beta$ -Faltblatt sind häufige Faltungsmuster	140
3.2.1	Enzyme erniedrigen die Aktivierungsenergie von chemischen Reaktionen	98	4.1.5	Helices bilden sich leicht in biologischen Strukturen	140
3.2.2	Die Änderung der Freien Enthalpie einer Reaktion bestimmt, ob die Reaktion stattfindet	100	4.1.6	$\beta$ -Faltblätter bilden starre Strukturen im Kern vieler Proteine	143
3.2.3	Die Konzentration der Reaktanden beeinflusst die Änderung der Freien Enthalpie und die Richtung der Reaktion	101	4.1.7	Proteine haben mehrere Organisationsstufen	144
3.2.4	Anhand der Änderung der Freien Standardenthalpie lässt sich die Energetik verschiedener Reaktionen vergleichen	101	4.1.8	Nur wenige der vielen möglichen Polypeptidketten sind brauchbar	145
3.2.5	Zellen befinden sich in einem Zustand des chemischen Ungleichgewichts	102	4.1.9	Proteine können in Familien eingeteilt werden	146
3.2.6	Die Gleichgewichtskonstante ist direkt proportional zu $\Delta G^0$	103	4.1.10	Große Proteinkomplexe bestehen häufig aus mehr als einer Polypeptidkette	147
3.2.7	Bei komplexen Reaktionen hängt die Gleichgewichtskonstante von den Konzentrationen aller Reaktanden und Produkte ab	106	4.1.11	Proteine können sich zu Filamenten, Schichten oder Kugeln zusammenlagern	148
3.2.8	Die Gleichgewichtskonstante ist ein Maß für die Stärke der molekularen Wechselwirkungen	106	4.1.12	Manche Arten von Proteinen haben eine lange Faserform	149
3.2.9	In aufeinanderfolgenden Reaktionen sind die $\Delta G^0$ -Werte additiv	107	4.1.13	Extrazelluläre Proteine werden häufig durch kovalente Quervernetzung stabilisiert	150
			<b>4.2</b>	<b>Wie Proteine arbeiten</b>	<b>151</b>
			4.2.1	Alle Proteine binden an andere Moleküle	151

4.2.2	Die Bindungsstellen von Antikörpern sind besonders vielseitig 153	5.2.2	Chromosomen enthalten lange Ketten von Genen 194
4.2.3	Enzyme sind wirkungsvolle und hochspezifische Katalysatoren 154	5.2.3	Chromosomen liegen während der Lebensdauer einer Zelle in verschiedenen Zuständen vor 196
4.2.4	Lysozym illustriert, wie ein Protein arbeitet 155	5.2.4	Interphasechromosomen sind innerhalb des Zellkerns organisiert 198
4.2.5	Die meisten Arzneimittel hemmen Enzyme 160	5.2.5	DNA in Chromosomen ist hoch kondensiert 199
4.2.6	Fest gebundene kleine Moleküle verleihen Proteinen zusätzliche Funktionen 160	5.2.6	Nukleosomen sind die Grundeinheiten der eukaryotischen Chromosomenstruktur 199
<b>4.3</b>	<b>Wie Proteine kontrolliert werden 161</b>	5.2.7	Chromosomen haben mehrere Ebenen der DNA-Packung 201
4.3.1	Die katalytische Aktivität von Enzymen wird häufig durch andere Moleküle reguliert 162	<b>5.3</b>	<b>Regulation der Chromosomenstruktur 202</b>
4.3.2	Allosterische Enzyme haben zwei Bindungsstellen, die sich gegenseitig beeinflussen 163	5.3.1	Änderungen in der Nukleosomenstruktur ermöglichen einen Zugang zur DNA 203
4.3.3	Phosphorylierung kann durch Auslösung einer Konformationsänderung die Proteinaktivität kontrollieren 165	5.3.2	Interphasechromosomen enthalten kondensiertes und lockeres Chromatin 204
4.3.4	Auch GTP-bindende Proteine werden durch die zyklische Aufnahme und Abgabe einer Phosphatgruppe reguliert 166	5.3.3	Veränderungen der Chromatinstruktur können vererbt werden 206
4.3.5	Nukleotidhydrolyse ermöglicht es Motorproteinen, große Bewegungen in Zellen zu bewirken 167	<b>5.4</b>	<b>Zusammenfassung 207</b>
4.3.6	Proteine bilden oft große Komplexe, die als Proteinmaschinen wirken 168	<b>6</b>	<b>Replikation, Reparatur und Rekombination von DNA 213</b>
4.3.7	Kovalente Modifikationen kontrollieren den Aufenthaltsort und den Zusammenbau von Proteinmaschinen 168	<b>6.1</b>	<b>DNA-Replikation 214</b>
<b>4.4</b>	<b>Wie Proteine untersucht werden 170</b>	6.1.1	Basenpaarung ermöglicht DNA-Replikation 214
4.4.1	Zellen können in einer Petrischale kultiviert werden 174	6.1.2	Die DNA-Synthese beginnt am Replikationsursprung 215
4.4.2	Aufreinigungstechniken liefern homogene Proteinpräparate aus Zellhomogenaten 174	6.1.3	Die Synthese neuer DNA erfolgt an den Replikationsgabeln 219
4.4.3	Durch Gentechnik können große Mengen fast jedes beliebigen Proteins hergestellt werden 176	6.1.4	Replikationsgabeln sind asymmetrisch 220
4.4.4	Automatisierte Untersuchungen der Struktur und Funktion von Proteinen erhöhen das Tempo der Entdeckungen 181	6.1.5	Die DNA-Polymerase korrigiert sich selbst 222
4.5	<b>Zusammenfassung 182</b>	6.1.6	Kurze RNA-Stücke dienen als Primer für die DNA-Synthese 223
<b>5</b>	<b>DNA und Chromosomen 185</b>	6.1.7	Die Proteine an der Replikationsgabel arbeiten in Form einer Replikationsmaschine zusammen 225
<b>5.1</b>	<b>Struktur und Funktion von DNA 186</b>	6.1.8	Eine Telomerase repliziert die Enden eines eukaryotischen Chromosoms 226
5.1.1	Ein DNA-Molekül besteht aus zwei komplementären Nukleotidsträngen 187	<b>6.2</b>	<b>DNA-Reparatur 227</b>
5.1.2	Die Struktur der DNA liefert einen Mechanismus zur Vererbung 192	6.2.1	Mutationen können drastische Auswirkungen auf eine Zelle oder auf einen Organismus haben 227
<b>5.2</b>	<b>Die Struktur eukaryotischer Chromosomen 193</b>	6.2.2	Ein DNA-Fehlpaarungs-Korrektursystem entfernt Replikationsfehler, die der Replikationsmaschine entgehen 229
5.2.1	Eukaryotische DNA ist in mehrere Chromosomen verpackt 193	6.2.3	DNA erleidet ständig Beschädigungen in der Zelle 230
		6.2.4	Die Stabilität der Gene ist von der DNA-Reparatur abhängig 232
		6.2.5	Doppelstrangbrüche können schnell, aber fehlerhaft repariert werden 233

6.2.6	Die Genauigkeit der DNA-Replikation und –Reparatur ist in unseren Genom-Sequenzen aufgezeichnet	233	7.2	<b>Von der RNA zum Protein 263</b>
6.3	<b>Homologe Rekombination 234</b>		7.2.1	Eine mRNA-Sequenz wird in Einheiten von drei Nukleotiden entschlüsselt 263
6.3.1	Homologe Rekombination benötigt größere Bereiche mit ähnlicher Sequenz	234	7.2.2	tRNA-Moleküle verbinden Aminosäuren mit den Codons der mRNA 265
6.3.2	Die homologe Rekombination kann Doppelstrangbrüche der DNA fehlerfrei reparieren	235	7.2.3	Spezifische Enzyme koppeln tRNAs an die richtigen Aminosäuren 268
6.3.3	Homologe Rekombination führt während der Meiose zum Austausch von genetischer Information	236	7.2.4	Die Botschaft der RNA wird am Ribosom entschlüsselt 269
6.4	<b>Mobile genetische Elemente und Viren 238</b>		7.2.5	Das Ribosom ist ein Ribozym 271
6.4.1	Mobile genetische Elemente codieren für die Komponenten, die sie für die Transposition benötigen	238	7.2.6	Codons in der mRNA signalisieren, wo die Proteinsynthese starten und enden soll 272
6.4.2	Das menschliche Genom enthält zwei große Familien von transponierbaren Sequenzen	239	7.2.7	Proteine werden an Polyribosomen hergestellt 274
6.4.3	Viren sind mobile genetische Elemente, die eine Zelle verlassen können	240	7.2.8	Inhibitoren der prokaryotischen Proteinsynthese werden als Antibiotika eingesetzt 275
6.4.4	Retroviren drehen den normalen Fluss genetischer Information um	241	7.2.9	Durch sorgfältig kontrollierten Proteinabbau kann die Menge eines jeden Proteins in der Zelle reguliert werden 275
6.5	<b>Zusammenfassung 243</b>		7.2.10	Zwischen DNA und Protein liegen viele Schritte 277
7	<b>Von der DNA zum Protein: Wie Zellen das Genom lesen 247</b>		7.3	<b>RNA und der Ursprung des Lebens 278</b>
7.1	<b>Von der DNA zur RNA 248</b>		7.3.1	Leben erfordert Autokatalyse 278
7.1.1	Teile der DNA-Sequenz werden in RNA umgeschrieben	249	7.3.2	RNA kann sowohl Information speichern als auch chemische Reaktionen katalysieren 279
7.1.2	Die Transkription erzeugt RNA, die zu einem DNA-Strang komplementär ist	250	7.3.3	RNA geht DNA in der Evolution zeitlich voraus 280
7.1.3	In der Zelle gibt es verschiedene RNA-Arten	252	7.4	<b>Zusammenfassung 282</b>
7.1.4	Signale in der DNA-Sequenz teilen der RNA-Polymerase mit, wo sie starten und aufhören soll	253	8	<b>Kontrolle der Genexpression 287</b>
7.1.5	Der Beginn der eukaryotischen Transkription ist ein komplexer Vorgang	255	8.1	<b>Ein Überblick über die Genexpression 288</b>
7.1.6	Die eukaryotische RNA-Polymerase benötigt allgemeine Transkriptionsfaktoren	256	8.1.1	Die verschiedenen Zellarten eines vielzelligen Organismus enthalten die gleiche DNA 288
7.1.7	Eukaryotische RNAs werden im Zellkern gleichzeitig transkribiert und bearbeitet	257	8.1.2	Verschiedene Zellarten produzieren verschiedene Proteine 288
7.1.8	Eukaryotische Gene werden von nicht-codierenden Sequenzen unterbrochen	258	8.1.3	Eine Zelle kann ihre Genexpression als Antwort auf externe Signale ändern 290
7.1.9	Introns werden durch RNA-Spleißen entfernt	259	8.1.4	Genexpression kann auf vielen Stufen auf dem Weg von der DNA über die RNA zum Protein kontrolliert werden 290
7.1.10	Reife eukaryotische mRNAs werden selektiv aus dem Zellkern exportiert	261	8.2	<b>Wie Transkriptionsschalter funktionieren 291</b>
7.1.11	mRNA-Moleküle werden am Ende von der Zelle wieder abgebaut	262	8.2.1	Die Transkription wird von Proteinen kontrolliert, die an Regulator-DNA-Sequenzen binden 291
7.1.12	Die ersten Zellen hatten vermutlich Introns in ihren Genen	262	8.2.2	Das An- und Ausschalten der Transkription ermöglicht den Zellen, auf Veränderungen in der Umgebung zu reagieren 293

8.2.5	Eukaryotische Transkriptionsregulatoren kontrollieren die Genexpression aus der Entfernung	296	9.1.6	Duplikationen ganzer Genome haben die Evolutionsgeschichte vieler Arten geprägt	325
8.2.6	Die Packung von Promotor-DNA in Nukleosomen kann die Initiation der Transkription beeinflussen	297	9.1.7	Neue Gene können durch Wiederholung desselben Exons geschaffen werden	326
<b>8.3</b>	<b>Molekulare Mechanismen, die spezialisierte Zellarten erzeugen</b>	<b>298</b>	9.1.8	Neue Gene können auch durch Neukombination von Exons entstehen	326
8.3.1	Eukaryotische Gene werden durch Kombinationen von Proteinen reguliert	299	9.1.9	Die Evolution der Genome wurde durch die Verschiebung von mobilen genetischen Elementen beschleunigt	327
8.3.2	Die Expression verschiedener Gene kann von einem einzigen Protein koordiniert werden	300	9.1.10	Gene können zwischen Organismen durch horizontalen Gentransfer ausgetauscht werden	328
8.3.3	Durch kombinatorische Kontrolle können verschiedene Zellarten entstehen	304	<b>9.2</b>	<b>Die Rekonstruktion des Stammbaums des Lebens</b>	<b>329</b>
8.3.4	Stabile Genexpressionsmuster können an Tochterzellen weitergegeben werden	306	9.2.1	Genetische Änderungen, die einen Selektionsvorteil bieten, bleiben wahrscheinlich erhalten	329
8.3.5	Die Bildung eines ganzen Organs kann durch einen einzigen Transkriptionsregulator ausgelöst werden	307	9.2.2	Die Genome von Menschen und Schimpansen sind sich in der Organisation und in vielen Einzelheiten der Sequenzen ähnlich	330
<b>8.4</b>	<b>Posttranskriptionelle Kontrolle</b>	<b>308</b>	9.2.3	DNA-Sequenzen mit wichtigen Funktionen stellen hoch konservierte Inseln im Genom dar	331
8.4.1	RNA-Schalter bieten eine ökonomische Lösung für die Genregulation	308	9.2.4	Genomvergleiche zeigen, dass die Genome von Wirbeltieren schnell DNA hinzugewinnen und verlieren	332
8.4.2	Die untranslatierten Bereiche der mRNAs können ihre Translation kontrollieren	309	9.2.5	Wegen der Konservierung von Sequenzen können wir sogar die evolutionär entfernteste Verwandtschaft aufspüren	334
8.4.3	Kleine regulatorische RNAs kontrollieren die Expression von Tausenden von Tier- und Pflanzengenen	309	<b>9.3</b>	<b>Die Untersuchung des menschlichen Genoms</b>	<b>335</b>
8.4.4	RNA-Interferenz zerstört doppelsträngige fremde RNAs	311	9.3.1	Die Nukleotidsequenz des menschlichen Genoms zeigt, wie unsere Gene angeordnet sind	336
8.4.5	Wissenschaftler können RNA-Interferenz einsetzen, um Gene auszuschalten	312	9.3.2	Beschleunigte Veränderungen in den konservierten Genomsequenzen helfen uns zu erkennen, was uns zum Menschen macht	340
<b>8.5</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>312</b>	9.3.3	Die genetische Variation innerhalb des menschlichen Genoms trägt zu unserer Individualität bei	340
<b>9</b>	<b>Wie sich Gene und Genome entwickeln</b>	<b>317</b>	9.3.4	Das menschliche Genom enthält reichlich Informationen, die noch entschlüsselt werden müssen	342
<b>9.1</b>	<b>Die Entwicklung genetischer Variation</b>	<b>318</b>	<b>9.4</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>344</b>
9.1.1	Bei Organismen, die sich sexuell vermehren, werden nur Veränderungen in der Keimbahn an die Nachkommen weitergegeben	319	<b>10</b>	<b>Die Analyse von Genen und Genomen</b>	<b>349</b>
9.1.2	Punktmutationen werden durch Pannen bei den regulären Mechanismen für das Kopieren und Erhalten der DNA erzeugt	320	<b>10.1</b>	<b>Manipulation und Analyse von DNA-Molekülen</b>	<b>351</b>
9.1.3	Punktmutationen können die Regulation eines Gens verändern	322	10.1.1	Restriktionsendonukleasen schneiden DNA-Moleküle an bestimmten Stellen	351
9.1.4	DNA-Verdopplungen erzeugen Familien von verwandten Genen	323	10.1.2	Gelelektrophorese trennt DNA-Fragmente von unterschiedlicher Größe auf	352
9.1.5	Die Evolution der Globingenfamilie zeigt, wie durch Genduplikation und Divergenz Proteine entstehen können, die für einen Organismus und seine Entwicklung maßgeschneidert sind	324	10.1.3	Hybridisierung ist eine empfindliche Methode zum Nachweis spezifischer Nukleotidsequenzen	354

10.1.4	Hybridisierung erfolgt mit DNA-Proben, die extra dafür angefertigt wurden, um die gewünschte Nukleotidsequenz zu erkennen	354	11.1.5	Die Lipidasymmetrie wird während des Membrantransports beibehalten	398
<b>10.2</b>	<b>DNA-Klonierung</b>	<b>356</b>	<b>11.2</b>	<b>Membranproteine</b>	<b>398</b>
10.2.1	DNA-Ligase verbindet DNA-Fragmente zu einem rekombinanten Molekül	356	11.2.1	Membranproteine sind mit der Lipiddoppelschicht auf verschiedene Weise verbunden	399
10.2.2	Rekombinante DNA kann in Bakterienzellen kopiert werden	357	11.2.2	Eine Polypeptidkette durchquert die Lipiddoppelschicht gewöhnlich in Form einer $\alpha$ -Helix	400
10.2.3	Mithilfe spezieller Plasmidvektoren wird DNA kloniert	357	11.2.3	Membranproteine lassen sich mit Detergenzien in Lösung bringen und reinigen	402
10.2.4	Gene können aus einer DNA-Bibliothek isoliert werden	359	11.2.4	Die vollständige Struktur ist bei relativ wenigen Membranproteinen aufgeklärt	403
10.2.5	cDNA-Bibliotheken repräsentieren die mRNA, die in einem bestimmten Gewebe produziert wird	361	11.2.5	Die Plasmamembran wird durch den Zellcortex verstärkt	405
10.2.6	Die Polymerase-Kettenreaktion vervielfältigt ausgewählte DNA-Sequenzen	363	11.2.6	Zellen können die Bewegung von Membranproteinen einschränken	406
<b>10.3</b>	<b>Entschlüsselung und Verwertung genetischer Information</b>	<b>367</b>	11.2.7	Die Zelloberfläche ist mit Kohlenhydraten überzogen	410
10.3.1	DNA kann schnell sequenziert werden	367	<b>11.3</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>411</b>
10.3.2	Vollkommen neuartige DNA-Moleküle können konstruiert werden	370	<b>12</b>	<b>Membrantransport</b>	<b>415</b>
10.3.3	Mithilfe von klonierter DNA können große Mengen von selten vorkommenden Proteinen produziert werden	370	<b>12.1</b>	<b>Grundsätze des Membrantransports</b>	<b>416</b>
10.3.4	Reporter-Gene und <i>in situ</i> -Hybridisierung können aufzeigen, wann und wo ein Gen exprimiert wird	374	12.1.1	Die Ionenkonzentrationen innerhalb und außerhalb einer Zelle unterscheiden sich erheblich voneinander	416
10.3.5	Hybridisierung auf DNA-Mikroarrays verfolgt die Expression von Tausenden von Genen gleichzeitig	376	12.1.2	Lipiddoppelschichten sind für gelöste Stoffe und Ionen undurchlässig	417
10.3.6	Genetische Verfahren können die Funktion eines Gens aufklären	377	12.1.3	Es gibt zwei Klassen von Membrantransportproteinen: Transporter und Kanäle	418
10.3.7	Tiere können genetisch verändert werden	378	12.1.4	Gelöste Stoffe durchqueren die Membran durch passiven oder aktiven Transport	418
10.3.8	RNA-Interferenz ist eine einfache Methode, um die Funktion eines Gens zu untersuchen	379	<b>12.2</b>	<b>Transporter und ihre Funktionen</b>	<b>419</b>
10.3.9	Transgene Pflanzen sind für die Zellbiologie und für die Landwirtschaft wichtig	381	12.2.1	Konzentrationsgradienten und elektrische Kräfte treiben den passiven Transport an	420
<b>10.4</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>382</b>	12.2.2	Der aktive Transport bewegt gelöste Stoffe gegen ihren elektrochemischen Gradienten	421
<b>11</b>	<b>Membranstruktur</b>	<b>389</b>	12.2.3	Tierische Zellen benutzen die Energie der ATP-Hydrolyse, um $\text{Na}^+$ hinauszupumpen	422
<b>11.1</b>	<b>Die Lipiddoppelschicht</b>	<b>391</b>	12.2.4	Die $\text{Na}^+$ - $\text{K}^+$ -Pumpe wird durch die vorübergehende Bindung einer Phosphatgruppe angetrieben	423
11.1.1	Membranlipide bilden in Wasser Doppelschichten aus	391	12.2.5	Die $\text{Na}^+$ - $\text{K}^+$ -Pumpe hilft, das osmotische Gleichgewicht von tierischen Zellen aufrechtzuerhalten	423
11.1.2	Die Lipiddoppelschicht ist eine zweidimensionale Flüssigkeit	394	12.2.6	$\text{Ca}^{2+}$ -Pumpen sorgen für eine niedrige intrazelluläre $\text{Ca}^{2+}$ -Konzentration	425
11.1.3	Die Fluidität einer Doppelschicht hängt von ihrer Zusammensetzung ab	395	12.2.7	Gekoppelte Transporter nutzen Gradienten, um aktiv Nährstoffe aufzunehmen	426
11.1.4	Die Lipiddoppelschicht ist asymmetrisch	397	12.2.8	Pflanzen, Pilze und Bakterien setzen $\text{H}^+$ -Gradienten ein, um den Membrantransport anzutreiben	428

<b>12.3</b>	<b>Ionenkanäle und das Membranpotential</b>	<b>430</b>
12.3.1	Ionenkanäle werden reguliert und sind ionenselektiv	430
12.3.2	Ionenkanäle pendeln zufällig zwischen offenem und geschlossenem Zustand	432
12.3.3	Verschiedene Reizarten beeinflussen das Öffnen und Schließen der Ionenkanäle	434
12.3.4	Spannungsregulierte Ionenkanäle reagieren auf das Membranpotential	435
12.3.5	Das Membranpotential wird durch die Membranpermeabilität für bestimmte Ionen gesteuert	436
<b>12.4</b>	<b>Ionenkanäle und Signalübertragung in Nervenzellen</b>	<b>438</b>
12.4.1	Aktionspotentiale sorgen für schnelle Kommunikation über weite Entfernung	439
12.4.2	Aktionspotentiale werden in der Regel durch spannungsregulierte $\text{Na}^+$ -Kanäle erzeugt	439
12.4.3	Spannungsregulierte $\text{Ca}^{2+}$ -Kanäle wandeln an den Nervenendigungen elektrische Signale in chemische Signale um	443
12.4.4	In den Zielzellen wandeln transmitterregulierte Kanäle chemische Signale wieder in elektrische Signale um	446
12.4.5	Neuronen erhalten sowohl erregende als auch hemmende Impulse	447
12.4.6	Transmitterregulierte Ionenkanäle sind das Hauptziel von Psychopharmaka	448
12.4.7	Synaptische Verknüpfungen ermöglichen das Denken, Handeln und Erinnern	449
<b>12.5</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>450</b>
<b>13</b>	<b>Wie Zellen Energie aus Nahrung gewinnen</b>	<b>455</b>
<b>13.1</b>	<b>Der Abbau und die Nutzung von Zuckern und Fetten</b>	<b>456</b>
13.1.1	Nahrungsmoleküle werden in drei Stufen abgebaut	456
13.1.2	Die Glykolyse ist ein zentraler ATP erzeugender Stoffwechselweg	458
13.1.3	Bei der Gärung entsteht ATP in Abwesenheit von Sauerstoff	462
13.1.4	Die Glykolyse zeigt, wie Enzyme Oxidation und Energiespeicherung koppeln	463
13.1.5	Sowohl Zucker als auch Fette werden in den Mitochondrien zu Acetyl-CoA abgebaut	465
13.1.6	Der Zitronensäurezyklus erzeugt NADH durch die Oxidation von Acetylgruppen zu $\text{CO}_2$	468
13.1.7	Viele Biosynthesewege beginnen mit der Glykolyse oder dem Zitronensäurezyklus	474
13.1.8	In den meisten Zellen treibt der Elektronentransport die Synthese des Hauptteils von ATP an	475
<b>13.2</b>	<b>Regulation des Stoffwechsels</b>	<b>476</b>
13.2.1	Katabole und anabole Reaktionen werden durchgeführt und reguliert	477
13.2.2	Die Rückkopplungsregulation erlaubt den Zellen, vom Glucoseabbau auf die Glucosebiosynthese umzuschalten	477
13.2.3	Zellen lagern Nahrungsmoleküle in besonderen Speichern, um für Notzeiten vorzusorgen	478
<b>13.3</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>481</b>
<b>14</b>	<b>Energiegewinnung in Mitochondrien und Chloroplasten</b>	<b>485</b>
<b>14.1</b>	<b>Mitochondrien und oxidative Phosphorylierung</b>	<b>488</b>
14.1.1	Ein Mitochondrium enthält eine äußere Membran, eine innere Membran und zwei interne Kompartimente	488
14.1.2	Der Zitronensäurezyklus erzeugt energiereiche Elektronen	490
14.1.3	Ein chemiosmotischer Prozess wandelt die Energie von aktivierten Trägermolekülen in ATP um	490
14.1.4	Die Elektronentransportkette pumpt Protonen über die innere Mitochondrienmembran	492
14.1.5	Das Pumpen von Protonen führt zur Ausbildung eines steilen elektrochemischen Protonengradienten über die innere Mitochondrienmembran	493
14.1.6	Der elektrochemische Protonengradient treibt die ATP-Synthese an	494
14.1.7	Der elektrochemische Protonengradient treibt auch den aktiven Transport über die innere Mitochondrienmembran an	496
14.1.8	Die oxidative Phosphorylierung produziert den Großteil des ATP in der Zelle	497
14.1.9	Die schnelle Umwandlung von ADP in ATP in den Mitochondrien hält in den Zellen ein hohes ATP/ADP-Verhältnis aufrecht	498
<b>14.2</b>	<b>Molekulare Mechanismen des Elektronentransports und der Protonenpumpen</b>	<b>498</b>
14.2.1	Protonen lassen sich leicht durch die Übertragung von Elektronen bewegen	499
14.2.2	Das Redoxpotential ist ein Maß für Elektronenaffinitäten	502
14.2.3	Die Übertragung von Elektronen setzt große Energiemengen frei	503
14.2.4	Metallatome, die fest an Proteine gebunden sind, sind vielseitige Elektronenüberträger	503

14.2.5	Die Cytochrom-Oxidase katalysiert die Reduktion von molekularem Sauerstoff 506	15.2.2	Signalsequenzen lenken Proteine zum richtigen Kompartiment 536
14.2.6	Der Mechanismus des Pumpens von H <sup>+</sup> kann auf atomarer Ebene untersucht werden 507	15.2.3	Proteine gelangen durch Kernporen in den Zellkern 536
14.2.7	Die Zellatmung ist erstaunlich effizient 508	15.2.4	Proteine entfalten sich, um in Mitochondrien und Chloroplasten zu gelangen 539
<b>14.3</b>	<b>Chloroplasten und Photosynthese 509</b>	15.2.5	Bereits während ihrer Synthese gelangen Proteine ins Endoplasmatische Reticulum 540
14.3.1	Chloroplasten ähneln Mitochondrien, haben aber ein zusätzliches Kompartiment 510	15.2.6	Lösliche Proteine werden ins ER-Lumen abgegeben 541
14.3.2	Chloroplasten fangen Energie aus Sonnenlicht ein und nutzen sie zur Fixierung von Kohlenstoff 511	15.2.7	Start- und Stop-Signale bestimmen die Anordnung eines Transmembranproteins in der Lipiddoppelschicht 543
14.3.3	Sonnenlicht wird von Chlorophyllmolekülen absorbiert 513	<b>15.3</b>	<b>Vesikulärer Transport 544</b>
14.3.4	Angeregte Chlorophyllmoleküle leiten die Energie in ein Reaktionszentrum 513	15.3.1	Transportvesikel befördern lösliche Proteine und Membransegmente zwischen den Kompartimenten 545
14.3.5	Lichtenergie treibt die Synthese von ATP und NADPH an 515	15.3.2	Die Vesikelknospung wird durch Kräfte angetrieben, die bei der Zusammenlagerung der Proteinhülle entstehen 546
14.3.6	Chloroplasten können ihre ATP-Produktion anpassen 517	15.3.3	Das Andocken von Vesikeln ist von „Leinen“ und SNAREs abhängig 547
14.3.7	Die Fixierung von Kohlenstoff braucht ATP und NADPH, um CO <sub>2</sub> in Zucker umzuwandeln 517	<b>15.4</b>	<b>Sekretorische Transportwege: Exocytose 550</b>
14.3.8	Die durch die Fixierung von Kohlenstoff gebildeten Zucker können in Form von Stärke gespeichert werden oder sie können abgebaut werden, um ATP zu bilden 519	15.4.1	Die meisten Proteine werden im ER kovalent modifiziert 550
<b>14.4</b>	<b>Die Entstehung von Chloroplasten und Mitochondrien 520</b>	15.4.2	Beim Verlassen des ER findet eine Qualitätskontrolle für Proteine statt 551
14.4.1	Die oxidative Phosphorylierung hat den frühzeitlichen Bakterien unter Umständen einen evolutionären Vorteil eingebracht 521	15.4.3	Die Größe des ER wird durch die Proteinmenge kontrolliert, die durch das ER fließt 552
14.4.2	Photosynthetis betreibende Bakterien hatten sogar noch geringere Ansprüche an ihre Umwelt 522	15.4.4	Im Golgi-Apparat werden Proteine weiter verändert und sortiert 553
14.4.3	Die Lebensweise von <i>Methanococcus</i> legt nahe, dass die chemiosmotische Kopplung ein uralter Prozess ist 523	15.4.5	Sekretorische Enzyme werden von der Zelle durch Exocytose nach außen abgegeben 554
<b>14.5</b>	<b>Zusammenfassung 524</b>	<b>15.5</b>	<b>Endocytose-Wege 558</b>
<b>15</b>	<b>Intrazelluläre Kompartimente und Transport 529</b>	15.5.1	Spezialisierte Phagocyten nehmen große Partikel auf 558
<b>15.1</b>	<b>Membranumschlossene Organellen 530</b>	15.5.2	Flüssigkeit und Makromoleküle werden durch Pinocytose aufgenommen 560
15.1.1	Eukaryotische Zellen besitzen eine Basisausrüstung von membranumschlossenen Organellen 531	15.5.3	Die rezeptorvermittelte Endocytose ermöglicht einen spezifischen Zugang zu tierischen Zellen 560
15.1.2	Membranumschlossene Organellen sind auf verschiedenen Evolutionswegen entstanden 532	15.5.4	Über Endocytose aufgenommene Makromoleküle werden in den Endosomen sortiert 561
<b>15.2</b>	<b>Proteinsortierung 534</b>	15.5.5	Zelluläre Verdauungsvorgänge finden hauptsächlich in den Lysosomen statt 562
15.2.1	Proteine werden über drei Mechanismen in die Organellen transportiert 535	<b>15.6</b>	<b>Zusammenfassung 564</b>

<b>16</b>	<b>Zellkommunikation: Zellen verständigen sich untereinander</b>	<b>569</b>	
<b>16.1</b>	<b>Allgemeine Grundlagen der zellulären Signalübertragung</b>	<b>570</b>	
16.1.1	Signale können über lange oder kurze Entfernungswirken	571	
16.1.2	Jede Zelle antwortet auf ein eingeschränktes Signalsortiment, je nach ihrer Geschichte und ihrem augenblicklichen Zustand	573	
16.1.3	Die Reaktion einer Zelle auf ein Signal kann schnell oder langsam sein	575	
16.1.4	Manche Hormone passieren die Plasmamembran und binden an intrazelluläre Rezeptoren	575	
16.1.5	Manche gelosten Gase durchqueren die Plasmamembran und aktivieren direkt intrazelluläre Enzyme	577	
16.1.6	Zelloberflächen-Rezeptoren leiten Signale über intrazelluläre Signalwege weiter	579	
16.1.7	Manche intrazellulären Signalbertragungsproteine wirken als molekulare Schalter	581	
16.1.8	Zelloberflächen-Rezeptoren lassen sich in drei Hauptklassen einteilen	582	
16.1.9	Ionenkanalgekoppelte Rezeptoren verwandeln chemische Signale in elektrische	583	
<b>16.2</b>	<b>G-Protein-gekoppelte Rezeptoren</b>	<b>584</b>	
16.2.1	Die Stimulierung der GPCRs aktiviert G-Protein-Untereinheiten	584	
16.2.2	Einige G-Proteine regulieren Ionenkanäle direkt	586	
16.2.3	Einige G-Proteine aktivieren membrangebundene Enzyme	587	
16.2.4	Cyclisches AMP kann Enzyme aktivieren und Gene anschalten	588	
16.2.5	Der Inositolphospholipid-Weg löst den Anstieg von intrazellulärem $Ca^{2+}$ aus	591	
16.2.6	Ein $Ca^{2+}$ -Signal löst viele biologische Vorgänge aus	592	
16.2.7	Intrazelluläre Signalkaskaden können eine erstaunliche Geschwindigkeit, Empfindlichkeit und Anpassungsfähigkeit erreichen	594	
<b>16.3</b>	<b>Signalübertragung durch enzymgekoppelte Rezeptoren</b>	<b>595</b>	
16.3.1	Aktivierte RTKs bilden mit intrazellulären Signalproteinen einen Komplex	596	
16.3.2	Die meisten RTKs aktivieren die monomere GTPase Ras	597	
16.3.3	RTKs aktivieren die PI 3-Kinase, um Lipiddockstellen in der Plasmamembran zu erzeugen	598	
16.3.4	Einige Rezeptoren �ffnen eine Überholspur zum Zellkern	603	
16.3.5	Vielzelligkeit und Zellkommunikation haben sich in Pflanzen und Tieren unabhängig voneinander entwickelt	604	
16.3.6	Netzwerke aus Proteinkinasen integrieren Informationen zur Steuerung komplexen Zellverhaltens	605	
<b>16.4</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>608</b>	
<b>17</b>	<b>Das Cytoskelett</b>	<b>613</b>	
<b>17.1</b>	<b>Intermedi�filamente</b>	<b>614</b>	
17.1.1	Intermedi�filamente sind widerstandsfähig und seilartig	615	
17.1.2	Intermedi�filamente machen die Zellen gegenüber mechanischer Beanspruchung widerstandsfähig	616	
17.1.3	Die Kernhülle wird durch ein Geflecht von Intermedi�filamenten unterstützt	619	
<b>17.2</b>	<b>Mikrotubuli</b>	<b>619</b>	
17.2.1	Mikrotubuli sind Hohlr�hren mit unterschiedlich aufgebauten Enden	620	
17.2.2	Das Centrosom ist in tierischen Zellen das wichtigste Organisationszentrum der Mikrotubuli	621	
17.2.3	Wachsende Mikrotubuli zeigen eine dynamische Instabilität	622	
17.2.4	Mikrotubuli erhalten sich durch ein Gleichgewicht zwischen Aufbau und Abbau	623	
17.2.5	Mikrotubuli organisieren das Zellinnere	624	
17.2.6	Motorproteine treiben den intrazellulären Transport an	625	
17.2.7	Organellen wandern an Mikrotubuli entlang	627	
17.2.8	Cilien und Geißeln enthalten stabile Mikrotubuli, die durch Dynein bewegt werden	631	
<b>17.3</b>	<b>Aktinfilamente</b>	<b>632</b>	
17.3.1	Aktinfilamente sind dünn und beweglich	634	
17.3.2	Aktin und Tubulin polymerisieren nach ähnlichen Mechanismen	634	
17.3.3	Viele Proteine binden an Aktin und verändern seine Eigenschaften	636	
17.3.4	In den meisten eukaryotischen Zellen befindet sich unterhalb der Plasmamembran eine aktinreiche Schicht (Zellcortex)	637	
17.3.5	Die Kriechbewegung einer Zelle ist aktinabh�ngig	637	
17.3.6	Aktin bindet an Myosin, um kontraktile Strukturen zu bilden	640	
17.3.7	Extrazelluläre Signale steuern die Anordnung der Aktinfilamente	641	

<b>17.4</b>	<b>Muskelkontraktion</b>	<b>642</b>	18.4.4	Die M-Phase wird üblicherweise in sechs Stadien unterteilt	669
17.4.1	Die Muskelkontraktion beruht auf Aktin- und Myosinbündeln	643	<b>18.5</b>	<b>Mitose</b>	<b>672</b>
17.4.2	Bei der Muskelkontraktion gleiten Aktin- und Myosinfilamente aneinander vorbei	644	18.5.1	Die Centrosomen verdoppeln sich, um die beiden Pole der Mitosespindel zu bilden	672
17.4.3	Die Muskelkontraktion wird durch einen plötzlichen Anstieg der $\text{Ca}^{2+}$ -Konzentration ausgelöst	645	18.5.2	Der Aufbau der Mitosespindel beginnt in der Prophase	673
17.4.4	Muskelzellen verrichten hoch spezialisierte Aufgaben im Körper	648	18.5.3	In der Prometaphase heften sich die Chromosomen an die Mitosespindel	673
<b>17.5</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>648</b>	18.5.4	Chromosomen helfen beim Aufbau der Mitosespindel	675
<b>18</b>	<b>Der Zellteilungszyklus</b>	<b>653</b>	18.5.5	Die Chromosomen ordnen sich in der Metaphase am Äquator der Spindel an	675
<b>18.1</b>	<b>Überblick über den Zellzyklus</b>	<b>654</b>	18.5.6	Die Proteolyse treibt die Trennung der Schwesterchromatiden und den Abschluss der Mitose an	676
18.1.1	Der eukaryotische Zellzyklus lässt sich in vier Phasen unterteilen	655	18.5.7	Chromosomen trennen sich in der Anaphase	677
18.1.2	Ein Zellzyklus-Kontrollsysteem steuert die wichtigsten Vorgänge des Zellzyklus	656	18.5.8	Nicht angeheftete Chromosomen blockieren die Trennung der Schwesterchromatiden	678
18.1.3	Die Zellzyklus-Kontrolle ist in allen Eukaryoten ähnlich	657	18.5.9	Die Kernhülle wird in der Telophase wiederhergestellt	679
<b>18.2</b>	<b>Das Zellzyklus-Kontrollsysteem</b>	<b>658</b>	<b>18.6</b>	<b>Cytokinese</b>	<b>679</b>
18.2.1	Das Zellzyklus-Kontrollsysteem benötigt zyklisch aktivierte Proteinkinasen (Cdks)	658	18.6.1	Die Mitosespindel bestimmt die Teilungsebene bei der Spaltung des Cytoplasmas	680
18.2.2	Die Aktivität der Cdks wird ebenfalls durch Phosphorylierung und Dephosphorylierung reguliert	659	18.6.2	Der kontraktile Ring tierischer Zellen besteht aus Aktin und Myosin	680
18.2.3	Verschiedene Cyclin-Cdk-Komplexe lösen unterschiedliche Schritte im Zellzyklus aus	659	18.6.3	In Pflanzenzellen wird bei der Cytokinese eine neue Zellwand gebildet	682
18.2.4	Das Zellzyklus-Kontrollsysteem hängt außerdem von periodischer Proteolyse ab	662	18.6.4	Membranumhüllte Organellen müssen bei der Zellteilung auf die Tochterzellen verteilt werden	682
18.2.5	Proteine, die Cdks hemmen, können den Zellzyklus an bestimmten Kontrollpunkten anhalten	663	<b>18.7</b>	<b>Kontrolle von Zellzahl und Zellgröße</b>	<b>683</b>
<b>18.3</b>	<b>S-Phase</b>	<b>664</b>	18.7.1	Apoptose hilft, die Zahl tierischer Zellen zu regulieren	684
18.3.1	S-Cyclin-Cdk-Komplexe (S-Cdks) leiten die DNA-Replikation ein und blockieren eine erneute Replikation	664	18.7.2	Apoptose wird durch eine intrazelluläre Proteolysekaskade vermittelt	685
18.3.2	Cohesine halten die Schwesterchromatiden jedes replizierten Chromosoms zusammen	665	18.7.3	Die intrazellulären Proteine der Bcl2-Familie regulieren das Todesprogramm	686
18.3.3	Kontrollpunkte auf DNA-Schäden unterstützen die Verhinderung der Replikation beschädigter DNA	665	18.7.4	Tierische Zellen benötigen extrazelluläre Signale zum Überleben, zum Wachstum und zur Teilung	687
<b>18.4</b>	<b>M-Phase</b>	<b>667</b>	18.7.5	Tierische Zellen benötigen Überlebensfaktoren, um den programmierten Zelltod zu verhindern	688
18.4.1	Die M-Cdk treibt den Eintritt in die M-Phase und die Mitose voran	667	18.7.6	Mitogene regen die Zellteilung an	688
18.4.2	Condensine helfen mit, die verdoppelten Chromosomen für die Trennung vorzubereiten	668	18.7.7	Wachstumsfaktoren regen das Zellwachstum an	690
18.4.3	Das Cytoskelett führt sowohl die Mitose als auch die Cytokinese durch	668	18.7.8	Einige extrazelluläre Signalproteine hemmen das Überleben, die Teilung und das Wachstum von Zellen	690
			<b>18.8</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>691</b>

<b>19</b>	<b>Sexualität und Genetik</b>	<b>697</b>
19.1	<b>Die Vorteile der Sexualität</b>	<b>698</b>
19.1.1	An der sexuellen Fortpflanzung sind sowohl diploide als auch haploide Zellen beteiligt	698
19.1.2	Die sexuelle Fortpflanzung verschafft Organismen einen Wettbewerbsvorteil	700
19.2	<b>Die Meiose und die Befruchtung</b>	<b>701</b>
19.2.1	Haploide Keimzellen entstehen während der Meiose aus diploiden Zellen	702
19.2.2	Die Meiose beinhaltet eine besondere Art der Chromosomenpaarung	703
19.2.3	Zwischen den mütterlichen und den väterlichen Chromosomen können Crossing-over stattfinden	704
19.2.4	Die Chromosomenpaarung und die Rekombination stellen eine ordnungsgemäße Verteilung der Homologe sicher	705
19.2.5	Die zweite meiotische Teilung erzeugt haploide Tochterzellen	706
19.2.6	Die haploiden Zellen enthalten neu sortierte genetische Informationen	706
19.2.7	Die Meiose ist nicht fehlerfrei	708
19.2.8	Die Befruchtung stellt wieder ein vollständiges diploides Genom her	709
19.3	<b>Mendel und die Vererbungsregeln</b>	<b>710</b>
19.3.1	Mendel wählte für seine Untersuchungen Merkmale, die getrennt vererbt werden	711
19.3.2	Mendel konnte die alternativen Vererbungstheorien widerlegen	711
19.3.3	Mendels Experimente waren die ersten, die die unabhängige Erblichkeit von Merkmalen enträtselten	713
19.3.4	Jeder Gamet trägt für jedes Merkmal ein einziges Allel	714
19.3.5	Mendels Segregationsregel lässt sich bei allen Organismen anwenden, die sich sexuell fortpflanzen	714
19.3.6	Die Allele für verschiedene Merkmale segregieren unabhängig voneinander	716
19.3.7	Den Mendel'schen Erbregeln liegt das Verhalten der Chromosomen während der Meiose zugrunde	717
19.3.8	Chromosomen-Crossover können zur Bestimmung der Reihenfolge der Gene auf den Chromosomen genutzt werden	718
19.3.9	Gen-Mutationen können einen Funktionsverlust oder einen Funktionsgewinn verursachen	720
19.3.10	Jeder von uns trägt viele potentiell gefährliche rezessive Mutantenallele	720
19.4	<b>Genetik als experimentelles Werkzeug</b>	<b>722</b>
19.4.1	Der klassische Ansatz beginnt mit einer zufälligen Mutagenese	723
19.4.2	Genetische Reihenuntersuchungen identifizieren Mutanten mit Mängeln in bestimmten zellulären Prozessen	724
19.4.3	Ein Komplementationstest kann verraten, ob sich zwei Mutationen im selben Gen befinden	725
19.4.4	Einzelnukleotid-Polymorphismen (SNPs) dienen als Marksteine für die Genkartierung	726
19.4.5	Gekoppelte SNP-Gruppen legen Haplotypblöcke fest	730
19.4.6	Haplotypblöcke geben Hinweise auf unsere Evolutionsgeschichte	730
19.5	<b>Zusammenfassung</b>	<b>732</b>
20	<b>Zellgemeinschaften: Gewebe, Stammzellen und Krebs</b>	<b>737</b>
20.1	<b>Extrazelluläre Matrix und Bindegewebe</b>	<b>738</b>
20.1.1	Pflanzenzellen besitzen stabile Außenwände	739
20.1.2	Cellulosemikrofibrillen verleihen der Pflanzenzellwand ihre Zugfestigkeit	740
20.1.3	Tierisches Bindegewebe besteht größtenteils aus extrazellulärer Matrix	742
20.1.4	Kollagen verleiht dem tierischen Bindegewebe Zugfestigkeit	742
20.1.5	Zellen ordnen das Kollagen, das sie ausscheiden	744
20.1.6	Integrine koppeln die Matrix außerhalb der Zelle an das in der Zelle liegende Cytoskelett	745
20.1.7	Polysaccharid-Protein-Gele füllen die Zwischenräume und widerstehen Druckkräften	746
20.2	<b>Epithelschichten und Zell-Zell-Verbindungen</b>	<b>748</b>
20.2.1	Epithelschichten sind polarisiert und ruhen auf einer Basallamina	749
20.2.2	Schlussleisten versiegeln ein Epithel und trennen die apikalen und basalen Oberflächen der Epithelschicht	750
20.2.3	Mit dem Cytoskelett verknüpfte Zellverbindungen koppeln Epithelzellen dauerhaft aneinander und an die Basallamina	752
20.2.4	Offene Zellkontakte ermöglichen Ionen und kleinen Molekülen den Durchgang von Zelle zu Zelle	754
20.3	<b>Erhaltung und Erneuerung von Geweben</b>	<b>756</b>
20.3.1	Gewebe sind organisierte Mischungen aus vielen Zelltypen	757
20.3.2	Verschiedene Gewebe werden mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten erneuert	759

20.3.3	Stammzellen erzeugen einen ständigen Nachschub an ausdifferenzierten Zellen	759	20.4.4	Krebszellen entwickeln Eigenschaften, die ihnen einen Wettbewerbsvorteil verschaffen	770
20.3.4	Spezifische Signale erhalten die Stammzellpopulationen aufrecht	763	20.4.5	Viele verschiedene Gentypen sind für die Entstehung von Krebs entscheidend	772
20.3.5	Stammzellen können eingesetzt werden, um beschädigtes Gewebe zu reparieren	763	20.4.6	Dickdarmkrebs veranschaulicht, wie der Verlust eines Gens zum Tumorwachstum führen kann	776
20.3.6	Das therapeutische Klonen könnte einen Weg zur Erzeugung personalisierter ES-Zellen bereiten	764	20.4.7	Das Verständnis der Zellbiologie des Krebses eröffnet neue Behandlungswege	776
<b>20.4</b>	<b>Krebs</b>	<b>767</b>	<b>20.5</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>779</b>
20.4.1	Krebszellen proliferieren, dringen in Gewebe ein und metastasieren	767		<b>Antworten</b>	<b>783</b>
20.4.2	Die Epidemiologie identifiziert abwendbare Krebsursachen	768		<b>Glossar</b>	<b>855</b>
20.4.3	Krebs entwickelt sich durch eine Anhäufung von Mutationen	769		<b>Index</b>	<b>889</b>