

# Inhaltsverzeichnis

Vorwort zur deutschen Kompaktausgabe

XXVII

<b>Kapitel 1</b>	<b>Die Chemie der Zelle</b>	<b>1</b>
<b>1.1</b>	<b>Die Bedeutung des Kohlenstoffs</b> . . . . .	<b>3</b>
1.1.1	Kohlenstoffhaltige Moleküle sind stabil . . . . .	4
1.1.2	Kohlenstoffhaltige Moleküle sind vielfältig. . . . .	5
1.1.3	Kohlenstoffhaltige Moleküle können Stereoisomere bilden. . . . .	6
<b>1.2</b>	<b>Die Bedeutung von Wasser</b> . . . . .	<b>7</b>
1.2.1	Wassermoleküle sind polar . . . . .	8
1.2.2	Wassermoleküle sind kohäsiv . . . . .	8
1.2.3	Wasser besitzt eine starke temperaturstabilisierende Fähigkeit. . . . .	9
1.2.4	Wasser ist ein hervorragendes Lösungsmittel . . . . .	9
<b>1.3</b>	<b>Die Bedeutung der selektiven Permeabilität von Membranen</b> . . . . .	<b>11</b>
1.3.1	Eine Membran ist eine Lipiddoppelschicht, in die Proteine eingebettet sind. . . . .	12
1.3.2	Membranen sind selektiv permeabel . . . . .	13
<b>1.4</b>	<b>Die Bedeutung der Synthese durch Polymerisation</b> . . . . .	<b>13</b>
1.4.1	Makromoleküle sind für Form und Funktion lebender Systeme von maßgeblicher Bedeutung . . . . .	14
1.4.2	Zellen enthalten verschiedene Arten von Makromolekülen. . . . .	15
1.4.3	Makromoleküle werden schrittweise durch Polymerisation von Monomeren synthetisiert . . . . .	16
<b>1.5</b>	<b>Die Bedeutung der Selbstorganisation</b> . . . . .	<b>17</b>
1.5.1	Viele Proteine setzen sich selbst zusammen . . . . .	18
1.5.2	Nicht-kovalente Bindungen und Wechselwirkungen sind wichtig für die Faltung von Makromolekülen . . . . .	19
1.5.3	Selbstorganisation findet auch in anderen Zellstrukturen statt . . . . .	20
1.5.4	Grenzen der Selbstorganisation . . . . .	21
1.5.5	Der hierarchische Zusammenbau bringt der Zelle Vorteile . . . . .	21
<b>Kapitel 2</b>	<b>Die Makromoleküle der Zelle</b>	<b>23</b>
<b>2.1</b>	<b>Proteine</b> . . . . .	<b>24</b>
2.1.1	Die Monomere der Proteine sind Aminosäuren . . . . .	24
2.1.2	Die Polymere sind Polypeptide und Proteine . . . . .	28
2.1.3	Mehrere Arten von Bindungen und Wechselwirkungen sind für Faltung und Stabilität von Proteinen von Bedeutung. . . . .	29
2.1.4	Die Proteinstruktur hängt von der Aminosäuresequenz und verschiedenen Wechselwirkungen ab . . . . .	31

<b>2.2</b>	<b>Nucleinsäuren</b> .....	40
2.2.1	Nucleotide sind die Monomere .....	40
2.2.2	DNA und RNA sind die Polymere .....	42
2.2.3	Ein DNA-Molekül ist eine Doppelstrang-Helix .....	44
<b>2.3</b>	<b>Polysaccharide</b> .....	45
2.3.1	Monosaccharide sind die Monomere .....	46
2.3.2	Speicher- und Strukturpolysaccharide sind die Polysaccharide .....	49
2.3.3	Die Struktur des Polysaccharids hängt von den jeweiligen glykosidischen Bindungen ab. ....	50
<b>2.4</b>	<b>Lipide</b> .....	51
2.4.1	Fettsäuren sind die Bausteine der verschiedenen Klassen von Lipiden. .	51
2.4.2	Die Triacylglycerine sind Speicherlipide .....	52
2.4.3	Phospholipide sind wichtig für die Membranstruktur .....	53
2.4.4	Glykolipide sind spezialisierte Membranbestandteile .....	54
2.4.5	Terpene werden aus Isopren gebildet .....	55
<b>Kapitel 3</b>	<b>Zellen und Organellen</b> .....	57
3.1	Alle Organismen sind Bakterien, Archaea oder Eukaryoten. ....	58
3.2	Grenzen der Zellgröße .....	59
3.3	Eukaryotische Zellen nutzen Organellen zur Kompartimentierung zellulärer Funktionen. ....	60
3.4	Bakterien, Archaea und Eukaryoten unterscheiden sich in vielen Aspekten. .	61
3.5	Die Zellspezialisierung beweist die Einheit und die Vielfalt in der Biologie ..	64
<b>Kapitel 4</b>	<b>Bioenergetik: Der Energiefluss in der Zelle</b> .	67
4.1	Die Bedeutung der Energie .....	68
4.1.1	Zellen benötigen Energie für sechs verschiedene Arten der Veränderung .....	68
4.1.2	Organismen erhalten ihre Energie entweder durch Sonnenlicht oder durch Oxidation chemischer Verbindungen. ....	70
4.1.3	Energie fließt unablässig durch die Biosphäre .....	70
4.1.4	Der Energiefluss durch die Biosphäre wird vom Fluss der Materie begleitet .....	72
4.2	Leben und das Fließgleichgewicht: Reaktionen, die zum Gleichgewicht fortschreiten, ohne jemals dort anzukommen. ....	73
<b>Kapitel 5</b>	<b>Enzyme: Katalysatoren des Lebens</b> .....	75
5.1	Aktivierungsenergie und der metastabile Zustand. ....	76
5.1.1	Bevor eine chemische Reaktion ablaufen kann, muss die Grenze der Aktivierungsenergie überwunden werden .....	76
5.1.2	Der metastabile Zustand ist eine Folge der Aktivierungsgrenze. ....	77
5.1.3	Katalysatoren überwinden die Aktivierungsenergiegrenze .....	78

<b>5.2</b>	<b>Enzyme als biologische Katalysatoren</b> .....	79
5.2.1	Die meisten Enzyme sind Proteine .....	79
5.2.2	Substratbindung, Aktivierung und Katalyse laufen am aktiven Zentrum ab .....	84
<b>5.3</b>	<b>Enzymregulierung</b> .....	86
5.3.1	Allosterische Enzyme werden von anderen Molekülen als Reaktanten und Produkten reguliert .....	87
5.3.2	Allosterische Enzyme zeichnen sich durch kooperative Wechselwirkungen zwischen Untereinheiten aus .....	90
5.3.3	Enzyme können auch durch Anfügen oder Entfernen chemischer Gruppen reguliert werden .....	90
<b>Kapitel 6</b>	<b>Membranen: Struktur, Funktion und Chemie</b> .....	<b>93</b>
<b>6.1</b>	<b>Die Funktion von Membranen</b> .....	<b>94</b>
6.1.1	Membranen definieren Grenzen und dienen als Permeabilitätsbarriere .....	94
6.1.2	Membranen tragen spezifische Proteine und erfüllen daher spezifische Funktionen .....	95
6.1.3	Membranproteine regulieren den Transport löslicher Substanzen ...	95
6.1.4	Membranproteine nehmen elektrische und chemische Signale auf und übertragen diese .....	95
6.1.5	Membranproteine vermitteln Zelladhäsion und Zell-Zell-Kommunikation .....	96
<b>6.2</b>	<b>Membranlipide: Der „flüssige“ Teil des Modells</b> .....	<b>96</b>
6.2.1	Membranen enthalten mehrere wichtige Lipidklassen .....	96
6.2.2	Fettsäuren sind essenziell für Struktur und Funktion der Membran ..	99
6.2.3	Membranasymmetrie: die meisten Lipide sind ungleich in den Monoschichten verteilt ...	101
6.2.4	Die Lipiddoppelschicht ist flüssig .....	102
6.2.5	Membranen arbeiten nur im flüssigen Zustand optimal .....	102
6.2.6	Die meisten Organismen können die Membranfluidität regulieren ...	105
6.2.7	Lipidflöße sind spezialisierte Regionen von Membranlipiden, die an der Signaltransduktion mitwirken .....	106
<b>6.3</b>	<b>Membranproteine: Der „Mosaikteil“ des Modells</b> .....	<b>107</b>
6.3.1	Die Membran besteht aus einem Mosaik aus Proteinen: Beweis durch Gefrierbruchmikroskopie .....	107
6.3.2	Membranen enthalten integrale, periphere und lipidverankerte Proteine .....	108
6.3.3	Die Aufklärung der dreidimensionalen Struktur von Membranproteinen wird zunehmend einfacher .....	112
6.3.4	Der große Beitrag der Molekularbiologie zum Verständnis der Membranproteine .....	113
6.3.5	Membranproteine üben eine Vielzahl von Funktionen aus .....	114
6.3.6	Membranproteine sind asymmetrisch über die Lipiddoppelschicht verteilt .....	115

6.3.7	Viele Membranproteine sind glykosyliert . . . . .	116
6.3.8	Membranproteine unterscheiden sich in ihrer Beweglichkeit . . . . .	119
<b>Kapitel 7 Transport durch Membranen: Überwindung der Permeabilitätsbarriere</b>		<b>121</b>
<b>7.1</b>	<b>Zellen und Transportvorgänge. . . . .</b>	<b>122</b>
7.1.1	Gelöste Substanzen passieren Membranen durch einfache Diffusion, erleichterte Diffusion und aktiven Transport. . . . .	124
7.1.2	Die Bewegung eines gelösten Stoffs durch eine Membran in Abhängigkeit vom Konzentrationsgradienten oder vom elektrochemischen Potenzial . . . . .	124
7.1.3	Transportmechanismen am Beispiel der Plasmamembran des Erythrocyten . . . . .	125
<b>7.2</b>	<b>Die einfache Diffusion: Die einfache Bewegung entlang eines Gradienten. . . . .</b>	<b>125</b>
7.2.1	Diffusion bewegt gelöste Stoffe immer in Richtung eines Gleichgewichts . . . . .	126
7.2.2	Osmose ist die Diffusion von Wasser durch eine selektiv permeable Membran . . . . .	127
7.2.3	Die einfache Diffusion ist auf kleine nicht-polare Moleküle begrenzt . . . . .	127
7.2.4	Die Geschwindigkeit der einfachen Diffusion ist direkt proportional zum Konzentrationsgradienten. . . . .	129
<b>7.3</b>	<b>Die erleichterte Diffusion: Die proteinvermittelte Bewegung entlang des Gradienten. . . . .</b>	<b>130</b>
7.3.1	Carrierproteine und Kanalproteine erleichtern durch verschiedene Mechanismen die Diffusion . . . . .	130
7.3.2	Carrierproteine wechseln zwischen zwei Konformationszuständen. . . . .	131
7.3.3	Carrierproteine sind im Hinblick auf Spezifität und Kinetik den Enzymen ähnlich. . . . .	131
7.3.4	Carrierproteine transportieren entweder eine oder mehrere gelöste Substanzen . . . . .	132
7.3.5	Der Glucosetransporter und der Anionenaustauscher des Erythrocyten als Beispiele für Carrierproteine . . . . .	133
7.3.6	Kanalproteine erleichtern die Diffusion durch Bildung hydrophiler Transmembrankanäle. . . . .	135
<b>7.4</b>	<b>Aktiver Transport: der proteinvermittelte „Bergauf“-Transport . . . . .</b>	<b>137</b>
7.4.1	Die Kopplung des aktiven Transports an eine Energiequelle kann direkt oder indirekt sein . . . . .	138
7.4.2	Der direkt aktive Transport hängt von vier Typen von Transport-ATPasen ab . . . . .	139
7.4.3	Der indirekt aktive Transport wird von Ionengradienten angetrieben . . . . .	141
<b>7.5</b>	<b>Beispiele für aktiven Transport . . . . .</b>	<b>142</b>
7.5.1	Der primär aktive Transport: Die Na <sup>+</sup> /K <sup>+</sup> -Pumpe hält den elektrochemischen Ionengradienten aufrecht . . . . .	143

7.5.2	Sekundär aktiver Transport: Natriumsymport als Antrieb der Glucoseaufnahme .....	145
7.5.3	Bacteriorhodopsin als Protonenpumpe nutzt Lichtenergie für den Protonentransport .....	146
<b>Kapitel 8 Chemotropher Energiemetabolismus: Glykolyse und Fermentation</b>		<b>149</b>
<b>8.1</b>	<b>Metabolische Wege .....</b>	<b>150</b>
<b>8.2</b>	<b>ATP: Der universale Energiekoppler .....</b>	<b>151</b>
8.2.1	ATP enthält zwei energiereiche Phosphoanhydridbindungen .....	151
8.2.2	Die ATP-Hydrolyse ist auf Grund der Ladungsabstoßung und der Resonanzstabilisierung stark exergonisch .....	152
8.2.3	ATP ist ein wichtiges Zwischenprodukt des zellulären Energiemetabolismus .....	154
<b>8.3</b>	<b>Chemotropher Energiemetabolismus .....</b>	<b>155</b>
8.3.1	Biologische Oxidationen laufen im Allgemeinen durch Abgabe von Elektronen und Protonen ab und sind stark exergonisch .....	155
8.3.2	Coenzyme wie NAD <sup>+</sup> dienen bei biologischen Oxidationen als Elektronenakzeptoren .....	156
8.3.3	Die meisten Chemotrophen decken ihre Energiebedürfnisse durch Oxidation organischer Nährstoffmoleküle .....	157
8.3.4	Glucose ist eines der wichtigsten oxidierbaren Substrate des Energiemetabolismus .....	157
8.3.5	Die Oxidation von Glucose ist stark exergonisch .....	158
8.3.6	Beim Katabolismus von Glucose wird in Anwesenheit von Sauerstoff wesentlich mehr Energie freigesetzt als ohne Sauerstoff. . .	158
8.3.7	Entsprechend ihres Sauerstoffbedarfs teilt man die Organismen in aerobe, anaerobe und fakultative Organismen ein .....	158
<b>8.4</b>	<b>Glykolyse und Fermentation: ATP-Bildung ohne Sauerstoff .....</b>	<b>159</b>
8.4.1	Die Glykolyse erzeugt ATP durch Katabolisierung von Glucose zu Pyruvat .....	159
8.4.2	Das weitere Schicksal von Pyruvat hängt von der Verfügbarkeit von Sauerstoff ab .....	164
8.4.3	Ohne Sauerstoff durchläuft Pyruvat eine Fermentation zur Wiedergewinnung von NAD <sup>+</sup> .....	165
8.4.4	Fermentation verwertet nur einen Bruchteil der freien Energie der Glucose, speichert diese Energie aber effizient als ATP .....	166
<b>8.5</b>	<b>Gluconeogenese .....</b>	<b>167</b>
<b>8.6</b>	<b>Die Regulation der Glykolyse und der Gluconeogenese .....</b>	<b>169</b>
8.6.1	Schlüsselenzyme der Glykolyse und der Gluconeogenese sind von der allosterischen Regulation abhängig .....	169
8.6.2	Fructose-2,6-Bisphosphat ist ein wichtiger Regulator der Glykolyse und der Gluconeogenese .....	171

<b>Kapitel 9</b>	<b>Chemotropher Energiemetabolismus: aerobe Atmung</b>	<b>173</b>
<b>9.1</b>	<b>Zellatmung: Maximierung der ATP-Erträge</b>	<b>174</b>
9.1.1	Aerobe Atmung erzeugt mehr Energie als Gärung	175
9.1.2	Zur aeroben Atmung gehören Glykolyse, Pyruvatoxidation, der TCA-Zyklus, Elektronentransport und ATP-Synthese	176
<b>9.2</b>	<b>Das Mitochondrium: Mittelpunkt der Handlung</b>	<b>176</b>
9.2.1	Mitochondrien kommen dort vor, wo viel ATP gebraucht wird	177
9.2.2	Sind Mitochondrien untereinander verbundene Netzwerke oder einzelne Organellen?	177
9.2.3	Die äußere und die innere Membran eines Mitochondriums definieren zwei getrennte Kompartimente und drei Regionen	178
9.2.4	Das Mitochondrium führt seine Aufgaben an spezifischen Membranen oder in spezifischen Kompartimenten durch	180
9.2.5	Bei Bakterien sind die Funktionen der Zellatmung in der Plasmamembran und im Cytoplasma lokalisiert	181
<b>9.3</b>	<b>Der Tricarbonsäurezyklus: Die zyklische Oxidation</b>	<b>181</b>
9.3.1	Durch oxidative Decarboxylierung wird Pyruvat in Acetylcoenzym A umgewandelt	182
9.3.2	Der TCA-Zyklus beginnt mit dem Eintritt von Acetat als Acetyl-CoA	183
9.3.3	Durch zwei oxidative Decarboxylierungen entsteht NADH und CO <sub>2</sub> wird freigesetzt	183
9.3.4	Die direkte Bildung von GTP (oder ATP) erfolgt in einem Schritt des TCA-Zyklus	185
9.3.5	Die letzten oxidativen Reaktionen des TCA-Zyklus führen zur Bildung von FADH <sub>2</sub> und NADH	185
9.3.6	Zusammenfassung: Die Produkte des TCA-Zyklus sind CO <sub>2</sub> , ATP, NADH und FADH <sub>2</sub>	186
9.3.7	Mehrere TCA-Enzyme unterliegen der allosterischen Regulation	187
9.3.8	Der TCA-Zyklus spielt auch beim Katabolismus der Fette und Proteine eine wichtige Rolle	189
9.3.9	Der TCA-Zyklus bildet Vorläufer für anabolische Stoffwechselwege	192
9.3.10	Der Glyoxylat-Kreislauf wandelt Acetyl-CoA in Kohlenhydrate um	192
<b>9.4</b>	<b>Elektronentransport: Elektronenfluss von Coenzymen zum Sauerstoff</b>	<b>192</b>
9.4.1	Das Elektronentransportsystem überträgt Elektronen von reduzierten Coenzymen zum Sauerstoff	193
9.4.2	Das Elektronentransportsystem besteht aus fünf Arten von Überträgern	193
9.4.3	Die Elektronenüberträger arbeiten in einer Sequenz, die durch ihre Reduktionspotenziale bestimmt wird	195
9.4.4	Die meisten Elektronenüberträger gehören vier großen Atmungskomplexen an	196
<b>9.5</b>	<b>Der elektrochemische Protonengradient: Schlüssel der Energiekopplung</b>	<b>197</b>
9.5.1	Elektronentransport und ATP-Synthese sind gekoppelte Reaktionen	198
9.5.2	Die Oxidation von Coenzymen pumpt genügend Protonen zur Bildung von drei ATP pro NADH und zwei ATP pro FADH <sub>2</sub>	199

<b>9.6</b>	<b>ATP-Synthese: Wir setzen alle Puzzleteile zusammen</b> . . . . .	200
9.6.1	F <sub>1</sub> -Partikel besitzen ATP-Syntheseaktivität. . . . .	200
9.6.2	Der F <sub>0</sub> F <sub>1</sub> -Komplex: Die Protonentranslokation durch F <sub>0</sub> treibt die ATP-Synthese durch F <sub>1</sub> an. . . . .	201
9.6.3	Die physikalische Rotation der $\gamma$ -Untereinheit vermittelt die ATP-Synthese durch F <sub>0</sub> F <sub>1</sub> . . . . .	202
9.6.4	Das chemiosmotische Modell läuft über dynamischen transmembranen Protonentransport ab . . . . .	205
<b>9.7</b>	<b>Die aerobe Atmung: Zusammenfassung</b> . . . . .	206
9.7.1	Der maximale ATP-Ertrag der aeroben Atmung liegt bei 38 ATP pro Molekül Glucose. . . . .	207
9.7.2	Die aerobe Atmung ist ein höchst effizienter Vorgang . . . . .	210
 <b>Kapitel 10 Phototropher Energiemetabolismus: Photosynthese</b>		<b>211</b>
<b>10.1</b>	<b>Ein Überblick über die Photosynthese.</b> . . . . .	<b>212</b>
10.1.1	Energietransduktionsreaktionen wandeln Sonnenenergie in chemische Energie um . . . . .	214
10.1.2	Kohlenstoffassimilierungsreaktionen fixieren Kohlenstoff durch Reduktion von Kohlendioxid . . . . .	214
10.1.3	Der Chloroplast ist das photosynthetische Organell der eukaryotischen Zellen. . . . .	215
10.1.4	Chloroplasten bestehen aus drei Membransystemen . . . . .	215
<b>10.2</b>	<b>Photosynthetische Energietransduktion I: Lichtabsorption.</b> . . . . .	<b>216</b>
10.2.1	Chlorophyll ist die wichtigste Verbindung zwischen der Sonnenenergie und dem Leben auf der Erde. . . . .	217
10.2.2	Akzessorische Pigmente steigern die Absorption von Sonnenlicht . . . . .	218
10.2.3	Licht absorbierende Moleküle sind in Fotosystemen und Lichtabsorptionskomplexen organisiert. . . . .	219
10.2.4	Oxygene Phototropie haben zwei Arten von Fotosystemen . . . . .	220
<b>10.3</b>	<b>Photosynthetische Energietransduktion II: NADPH-Synthese.</b> . . . . .	<b>220</b>
10.3.1	Das Fotosystem II überträgt Elektronen von Wasser zu einem Plastochinon . . . . .	221
10.3.2	Der Cytochrom- <i>b<sub>6</sub>/f</i> -Komplex überträgt Elektronen von einem Plastochinol zum Plastocyanin . . . . .	223
10.3.3	Das Fotosystem I überträgt Elektronen vom Plastocyanin zum Ferredoxin. . . . .	224
10.3.4	Ferredoxin-NADP <sup>+</sup> -Reduktase katalysiert die Reduktion von NADP <sup>+</sup> . . . . .	225
<b>10.4</b>	<b>Photosynthetische Energietransduktion III: ATP-Synthese</b> . . . . .	<b>226</b>
10.4.1	Der ATP-Synthasekomplex koppelt den Transport von Protonen durch die Thylakoidmembran an die ATP-Synthese . . . . .	226
10.4.2	Durch zyklische Photophosphorylierung kann eine photosynthetische Zelle NADPH-Synthese und ATP-Synthese im Gleichgewicht halten. . . . .	227

<b>10.5</b>	<b>Photosynthetische Kohlenstoffassimilierung I: der Calvin-Zyklus</b> . . . . .	228
10.5.1	Kohlendioxid tritt durch Carboxylierung von Ribulose-1,5-Bisphosphat in den Calvin-Zyklus ein. . . . .	229
10.5.2	3-Phosphoglycerat wird zu Glycerinaldehyd-3-Phosphat reduziert. . .	230
10.5.3	Die Bildung von Ribulose-1,5-Bisphosphat ermöglicht kontinuierliche Kohlenstoffassimilierung. . . . .	231
10.5.4	Der vollständige Calvin-Zyklus und dessen Zusammenhang mit der photosynthetischen Energietransduktion . . . . .	231
<b>10.6</b>	<b>Die Regulation des Calvin-Zyklus</b> . . . . .	232
10.6.1	Der Calvin-Zyklus wird stark reguliert, um maximale Effizienz zu garantieren . . . . .	232
10.6.2	Die Rubiscoaktivase reguliert die Kohlenstofffixierung durch Rubisco . .	233
<b>10.7</b>	<b>Photosynthetische Kohlenstoffassimilierung II: Kohlenhydratsynthese</b> . . . . .	234
10.7.1	Glucose-1-Phosphat wird aus Triosephosphaten synthetisiert. . . . .	234
10.7.2	Die Biosynthese von Saccharose läuft im Cytosol ab . . . . .	235
10.7.3	Die Biosynthese von Stärke läuft im Chloroplastenstroma ab . . . . .	236
10.7.4	Die Photosynthese bildet auch reduzierten Stickstoff und Schwefelverbindungen . . . . .	236
<b>10.8</b>	<b>Die Oxygenaseaktivität von Rubisco mindert die Effizienz der Photosynthese</b> . .	236
10.8.1	Der Glykolatstoffwechselweg bringt reduzierten Kohlenstoff aus Phosphoglykolat wieder in den Calvin-Zyklus . . . . .	237
10.8.2	C <sub>4</sub> -Pflanzen minimieren die Photorespiration, indem sie Rubisco auf Zellen mit hohen CO <sub>2</sub> -Konzentrationen beschränken . . . . .	239
10.8.3	CAM-Pflanzen verringern Photorespiration und Wasserverlust, indem sie ihre Stomata nur in der Nacht öffnen . . . . .	242
 <b>Kapitel 11 Das Endomembransystem und Peroxisomen</b>		245
<b>11.1</b>	<b>Das endoplasmatische Reticulum</b> . . . . .	246
11.1.1	Die beiden Grundformen des endoplasmatischen Reticulums unterscheiden sich in Struktur und Funktion. . . . .	247
11.1.2	Das raue ER wirkt an der Biosynthese und der Prozessierung von Proteinen mit . . . . .	248
11.1.3	Das glatte ER ist an der Detoxifikation, dem Kohlenhydratmetabolismus, der Calciumspeicherung und der Steroidbiosynthese beteiligt. .	248
11.1.4	Das ER spielt eine zentrale Rolle bei der Biosynthese von Membranen. .	250
<b>11.2</b>	<b>Der Golgi-Komplex</b> . . . . .	251
11.2.1	Der Golgi-Komplex besteht aus einer Reihe membranumhüllter Zisternen . . . . .	251
11.2.2	Zwei Modelle beschreiben den Weg von Lipiden und Proteinen durch den Golgi-Komplex . . . . .	252
<b>11.3</b>	<b>Die Aufgaben des ER und des Golgi-Komplexes bei der Proteinglykosylierung</b> . . . . .	253
11.3.1	Die initiale Glykosylierung findet im ER statt. . . . .	253
11.3.2	Die weitere Glykosylierung erfolgt im Golgi-Komplex . . . . .	255

<b>11.4</b>	<b>Die Aufgaben des ER und des Golgi-Komplexes beim Proteintransport . . . . .</b>	<b>255</b>
11.4.1	ER-spezifische Proteine enthalten Markierungen zum Zurückhalten und Wiederauffinden . . . . .	256
11.4.2	Die Proteine des Golgi-Komplexes können entsprechend der Länge ihrer Transmembrandomänen sortiert werden . . . . .	257
11.4.3	Der gezielte Transport löslicher lysosomaler Proteine zu Endosomen und Lysosomen als Modell der Proteinsortierung im TGN. . . . .	258
11.4.4	Sekretorische Stoffwechselwege transportieren Moleküle aus der Zelle. . . . .	259
<b>11.5</b>	<b>Exocytose und Endocytose: Der Materialtransport durch die Plasmamembran . . . . .</b>	<b>261</b>
11.5.1	Durch Exocytose werden intrazelluläre Moleküle in den Extrazellularraum abgegeben . . . . .	261
11.5.2	Durch Endocytose werden extrazelluläre Moleküle importiert, indem sich Vesikel von der Plasmamembran abschnüren . . . . .	262
<b>11.6</b>	<b>Coated Vesikel bei zellulären Transportvorgängen . . . . .</b>	<b>266</b>
11.6.1	Clathrin-Coated Vesikel sind von Gittern aus Clathrin und Adaptorprotein umgeben . . . . .	266
11.6.2	Der Zusammenbau von Clathrinhüllen fördert die Bildung von Vesikeln aus der Plasmamembran und dem TGN. . . . .	268
11.6.3	COPI- und COPII-Coated Vesikel pendeln zwischen dem ER und dem Golgi-Komplex . . . . .	268
11.6.4	SNARE-Proteine vermitteln die Verschmelzung zwischen Vesikeln und Zielmembranen . . . . .	269
<b>11.7</b>	<b>Lysosomen und zellulärer Verdauung . . . . .</b>	<b>271</b>
11.7.1	Lysosomen trennen Verdauungsenzyme vom Rest der Zelle . . . . .	271
11.7.2	Lysosomen entwickeln sich aus Endosomen. . . . .	271
11.7.3	Lysosomale Enzyme sind für verschiedene Abbauvorgänge von Bedeutung . . . . .	272
<b>11.8</b>	<b>Peroxisomen . . . . .</b>	<b>274</b>
11.8.1	Die meisten Funktionen der Peroxisomen sind mit dem Wasserstoffperoxid-Metabolismus verknüpft . . . . .	274
11.8.2	Pflanzenzellen enthalten Peroxisomen, die nicht in tierischen Zellen vorkommen . . . . .	276
<b>Kapitel 12</b>	<b>Signaltransduktionsmechanismen I: elektrische und synaptische Signale in Neuronen</b>	<b>277</b>
<b>12.1</b>	<b>Neuronen . . . . .</b>	<b>278</b>
12.1.1	Neuronen eignen sich besonders gut für die Übertragung elektrischer Signale. . . . .	278
<b>12.2</b>	<b>Das Membranpotenzial. . . . .</b>	<b>280</b>
12.2.1	Das Ruhemembranpotenzial hängt von den unterschiedlichen Ionenkonzentrationen innerhalb und außerhalb des Neurons und der selektiven Permeabilität der Membran ab . . . . .	280
12.2.2	Die Nernst-Gleichung beschreibt das Verhältnis zwischen Membranpotenzial und Ionenkonzentration . . . . .	281

12.2.3	Auswirkung der Fließgleichgewichtskonzentrationen von Ionen auf das Ruhemembranpotenzial . . . . .	283
12.2.4	Die Goldman-Gleichung beschreibt den Einfluss aller Ionen auf das Membranpotenzial . . . . .	284
<b>12.3</b>	<b>Elektrische Erregbarkeit . . . . .</b>	<b>285</b>
12.3.1	Ionenkanäle sind Tore für den Ionentransport durch die Membran . .	286
12.3.2	Spezielle Domänen der spannungsgesteuerten Kanäle fungieren als Sensoren und Inaktivatoren . . . . .	286
<b>12.4</b>	<b>Das Aktionspotenzial . . . . .</b>	<b>287</b>
12.4.1	Aktionspotenziale laufen als elektrische Signale am Axon entlang. . .	287
12.4.2	Aktionspotenziale beruhen auf schnellen Veränderungen des Membranpotenzials des Axons . . . . .	288
12.4.3	Aktionspotenziale beruhen auf dem schnellen Strom von Ionen durch axonale Ionenkanäle. . . . .	288
12.4.4	Aktionspotenziale werden ohne Kraftverlust über das Axon weitergeleitet. . . . .	291
12.4.5	Die Myelinscheide um das Axon übernimmt die Funktion einer elektrischen Isolierung . . . . .	292
<b>12.5</b>	<b>Die Übertragung an Synapsen . . . . .</b>	<b>294</b>
12.5.1	Neurotransmitter übertragen Signale an Nervensynapsen . . . . .	296
12.5.2	Calcium regt die Sekretion von Neurotransmittern aus präsynaptischen Neuronen an . . . . .	297
12.5.3	Die Sekretion der Neurotransmitter erfolgt über Andocken und Fusion von Vesikeln mit der Plasmamembran . . . . .	298
12.5.4	Neurotransmitter werden von spezifischen Rezeptoren in postsynaptischen Membranen erkannt . . . . .	299
12.5.5	Neurotransmitter müssen bald nach ihrer Freisetzung schnell inaktiviert werden. . . . .	300
<b>12.6</b>	<b>Integration und Prozessierung von Nervensignalen. . . . .</b>	<b>301</b>
12.6.1	Neuronen können Signale von anderen Neuronen durch zeitliche und räumliche Summation integrieren . . . . .	301
12.6.2	Neuronen können sowohl erregende als auch hemmende Signale von anderen Neuronen integrieren . . . . .	302
 <b>Kapitel 13 Signaltransduktionsmechanismen II: Botenstoffe und Rezeptoren</b>		<b>303</b>
<b>13.1</b>	<b>Chemische Signale und zelluläre Rezeptoren. . . . .</b>	<b>304</b>
13.1.1	Zellen können verschiedene Typen chemischer Signale empfangen. .	304
13.1.2	Die Rezeptorbindung erfolgt über spezifische Wechselwirkungen zwischen Liganden und deren Rezeptoren . . . . .	305
13.1.3	Die Rezeptorbindung aktiviert eine Signalkaskade in der Zelle. . . . .	307
<b>13.2</b>	<b>G-Protein-gekoppelte Rezeptoren . . . . .</b>	<b>308</b>
13.2.1	Viele Rezeptoren mit sieben Transmembrandomänen wirken über G-Proteine. . . . .	308
13.2.2	Die Struktur und Regulation der G-Protein-gekoppelten Rezeptoren. . .	309

13.2.3	Einige G-Proteine regulieren die Bildung des Second Messengers zyklisches AMP.....	311
13.2.4	Viele G-Proteine nutzen Inositoltrisphosphat und Diacylglycerin als Second Messenger.....	312
13.2.5	Die Freisetzung von Calciumionen ist ein Schlüsselereignis vieler Signalkaskaden.....	313
13.2.6	Die $\beta\gamma$ -Untereinheiten der G-Proteine können auch Signale weiterleiten.....	315
13.2.7	Weitere Signalkaskaden, die G-Proteine aktivieren.....	316
<b>13.3</b>	<b>Proteinkinase-assoziierte Rezeptoren.....</b>	<b>316</b>
13.3.1	Wachstumsfaktoren binden oft an Kinase-assoziierte Rezeptoren....	317
13.3.2	Rezeptor-Tyrosinkinasen sammeln sich und durchlaufen eine Autophosphorylierung.....	317
13.3.3	Rezeptor-Tyrosinkinasen leiten eine Signalkaskade ein, an der Ras und MAP-Kinase mitwirken.....	318
13.3.4	Rezeptor-Tyrosinkinasen aktivieren eine Vielzahl weiterer Signalwege.....	320
13.3.5	Gerüstkomplexe können die Zellsignalisierung erleichtern.....	320
13.3.6	Andere Wachstumsfaktoren übertragen ihre Signale über Serin/Threoninkinasen-Rezeptoren.....	322
13.3.7	Unterbrechung der Wachstumsfaktorsignalkaskaden kann zu Krebsentstehung führen.....	323
13.3.8	Wachstumsfaktor-Signalkaskaden haben gemeinsame Merkmale....	323
<b>13.4</b>	<b>Hormonsignalisierung.....</b>	<b>323</b>
13.4.1	Hormone können je nach zurückgelegter Entfernung und nach ihren chemischen Eigenschaften klassifiziert werden.....	324
13.4.2	Die Steuerung des Glucosemetabolismus ist ein gutes Beispiel für endokrine Regulierung.....	325
13.4.3	Steroidhormonrezeptoren wirken in erster Linie im Zellkern, nicht an der Zelloberfläche.....	327
<b>Kapitel 14</b>	<b>Das Cytoskelett.....</b>	<b>329</b>
<b>14.1</b>	<b>Die wichtigsten Strukturelemente des Cytoskeletts.....</b>	<b>330</b>
14.1.1	Bei den Eukaryoten unterscheidet man drei Grundbausteine des Cytoskeletts.....	330
14.1.2	Strukturelle Ähnlichkeit des bakteriellen und eukaryotischen Cytoskeletts.....	330
14.1.3	Das Cytoskelett wird andauernd dynamisch auf- und abgebaut.....	331
<b>14.2</b>	<b>Mikrotubuli.....</b>	<b>331</b>
14.2.1	Zwei Typen von Mikrotubuli sind für viele Funktionen in der Zelle verantwortlich.....	331
14.2.2	Tubulinheterodimere sind die Proteinbausteine der Mikrotubuli....	332
14.2.3	Mikrotubuli können Singletts, Dubletten und Tripletten bilden....	333
14.2.4	Mikrotubuli entstehen durch Anlagerung von Tubulindimeren an den Enden.....	333

14.2.5	Die Anlagerung von Tubulindimeren läuft schneller an den Plusenden der Mikrotubuli ab .....	334
14.2.6	Wirkstoffe können die Bildung von Mikrotubuli beeinflussen .....	334
14.2.7	Die GTP-Hydrolyse trägt zur dynamischen Instabilität von Mikrotubuli bei .....	335
14.2.8	<b>Mikrotubuli gehen aus Mikrotubuli-Organisationszentren in der Zelle hervor .....</b>	<b>336</b>
<b>14.3</b>	<b>Mikrofilamente .....</b>	<b>340</b>
14.3.1	Actin ist der Proteinbaustein der Mikrofilamente.....	341
14.3.2	Zellen enthalten verschiedene Typen von Actin .....	341
14.3.3	G-Actinmonomere polymerisieren zu F-Actinmikrofilamenten.....	341
14.3.4	Zellen können Actin dynamisch in eine Reihe von Strukturen einbauen .....	342
14.3.5	Actin-bindende Proteine regulieren Polymerisation, Länge und Organisation von Mikrofilamenten .....	343
14.3.6	Die Zellsignalisierung reguliert, wo und wann Strukturen auf Actinbasis zusammengesetzt werden.....	346
<b>14.4</b>	<b>Intermediäre Filamente .....</b>	<b>348</b>
14.4.1	Intermediäre Filamentproteine sind gewebespezifisch.....	348
14.4.2	Intermediäre Filamente setzen sich aus fibrösen Untereinheiten zusammen .....	349
14.4.3	Intermediäre Filamente verleihen Geweben mechanische Belastbarkeit .....	350
14.4.4	Das Cytoskelett ist eine mechanisch hoch integrierte Struktur .....	350
<b>Kapitel 15</b>	<b>Zellbewegung: Motilität und Kontraktilität .....</b>	<b>351</b>
<b>15.1</b>	<b>Bewegliche Systeme .....</b>	<b>352</b>
<b>15.2</b>	<b>Intrazelluläre Bewegung durch Mikrotubuli: Kinesin und Dynein.....</b>	<b>352</b>
15.2.1	Motorproteine transportieren Organellen während des axonalen Transports auf Mikrotubuli .....	353
15.2.2	Die Bewegung von Motorproteinen auf Mikrotubuli erfolgt durch Hydrolyse von ATP.....	354
15.2.3	Die Kinesine bilden eine sehr große Familie von Proteinen mit unterschiedlichen Strukturen und Funktionen.....	355
15.2.4	Dyneine können in zwei Hauptgruppen eingeteilt werden: axonemale und cytoplasmatische Dyneine .....	355
15.2.5	Mikrotubuli-Motoren wirken an der Formgebung des Endomembransystems und dem Vesikeltransport mit .....	355
<b>15.3</b>	<b>Motilität durch Mikrotubuli: Cilien und Flagellen.....</b>	<b>356</b>
15.3.1	Cilien und Flagellen sind weit verbreitete bewegliche Zellfortsätze eukaryotischer Zellen.....	356
15.3.2	Cilien und Flagellen bestehen aus einem mit dem Basalkörper verbundenen Axonem.....	357
15.3.3	Das Gleiten der Mikrotubuli im Axonem führt zur Krümmung der Cilien und Flagellen .....	358

<b>15.4</b>	<b>Zellbewegung auf Actinbasis: die Myosine</b> . . . . .	359
15.4.1	Myosine bilden eine große Familie von Motoren auf Actinbasis, die verschiedene Rollen bei der Zellmotilität übernehmen . . . . .	360
15.4.2	Viele Myosine bewegen sich mit kurzen Schritten an Actinfilamenten entlang . . . . .	360
<b>15.5</b>	<b>Muskelkontraktion durch Filamente</b> . . . . .	361
15.5.1	Skelettmuskelzellen enthalten dünne und dicke Filamente . . . . .	361
15.5.2	In den Sarkomeren sind Actin, Myosin und akzessorischen Proteine angeordnet . . . . .	363
15.5.3	Der Gleitfilament-Theorie beschreibt die Muskelkontraktion . . . . .	365
15.5.4	Querbrücken halten die Filamente zusammen und ATP liefert Energie für deren Bewegung . . . . .	366
15.5.5	Die Regulation der Muskelkontraktion hängt von Calcium ab . . . . .	368
15.5.6	Die koordinierte Kontraktion der Herzmuskelzellen erfolgt durch elektrische Kopplung . . . . .	371
15.5.7	Der glatte Muskel ist den Nicht-Muskelzellen ähnlicher als dem Skelettmuskel . . . . .	372
<b>15.6</b>	<b>Bewegung in Nicht-Muskelzellen durch Actin</b> . . . . .	374
15.6.1	Zellmigration durch Lamellipodien erfolgt über Zyklen von Ausstülpung, Anheftung, Translokation und Ablösung . . . . .	374
<b>Kapitel 16</b> <b>Jenseits der Zelle: Zelladhäsionen, Zellverbindungen und extrazelluläre Strukturen</b> . . . . .		377
<b>16.1</b>	<b>Zell-Zell-Erkennung und Adhäsion</b> . . . . .	379
16.1.1	Transmembranproteine vermitteln Zell-Zell-Kontakte . . . . .	379
16.1.2	Kohlenhydratgruppen sind für die Zell-Zell-Erkennung und die Adhäsion wichtig . . . . .	381
<b>16.2</b>	<b>Zell-Zell-Verbindungen</b> . . . . .	382
16.2.1	Polaritäts-Proteine regulieren die Positionierung von Zell-Zell-Verbindungen . . . . .	383
16.2.2	Adhäsionsverbindungen verknüpfen benachbarte Zellen miteinander . . . . .	383
16.2.3	Tight Junctions verhindern die Passage von Molekülen . . . . .	384
16.2.4	Claudine bilden eine Abdichtung an den Tight Junctions . . . . .	386
16.2.5	Gap Junctions ermöglichen direkte elektrische und chemische Kommunikation zwischen Zellen . . . . .	386
<b>16.3</b>	<b>Die extrazelluläre Matrix tierischer Zellen</b> . . . . .	388
16.3.1	Kollagene sind für die Festigkeit der extrazellulären Matrix verantwortlich . . . . .	388
16.3.2	Ein Vorläufer namens Prokollagen bildet viele Typen gewebsspezifischer Kollagene . . . . .	389
16.3.3	Elastine verleihen der extrazellulären Matrix Elastizität und Flexibilität . . . . .	390
16.3.4	Kollagen- und Elastinfasern sind in eine Matrix aus Proteoglykanen eingebettet . . . . .	391

16.3.5	Freie Hyaluronsäure schmiert die Gelenke und erleichtert die Zellmigration. ....	392
16.3.6	Adhäsive Glykoproteine verankern Zellen an der extrazellulären Matrix. ....	392
16.3.7	Fibronectine verbinden Zellen mit der ECM und steuern die Zellbewegung. ....	392
16.3.8	Laminine binden Zellen an die Basallamina. ....	393
16.3.9	Integrine sind Zelloberflächenrezeptoren, die ECM-Bausteine binden ..	394
<b>16.4</b>	<b>Die Oberfläche der Pflanzenzelle. ....</b>	<b>397</b>
16.4.1	Zellwände bilden einen strukturellen Rahmen und dienen als Permeabilitätsbarriere. ....	398
16.4.2	Die pflanzliche Zellwand ist ein Netzwerk aus Cellulosemikrofibrillen, Polysacchariden und Glykoproteinen. ....	398
16.4.3	Zellwände werden in mehreren getrennten Stufen synthetisiert. ....	399
16.4.4	Plasmodesmen ermöglichen die direkte Zell-Zell-Kommunikation durch die Zellwand. ....	400
 <b>Kapitel 17 Die strukturelle Basis der zellulären Information: DNA, Chromosomen und der Zellkern</b>		<b>403</b>
<b>17.1</b>	<b>Die chemische Natur des genetischen Materials. ....</b>	<b>404</b>
<b>17.2</b>	<b>Die DNA-Struktur. ....</b>	<b>404</b>
17.2.1	Watson und Crick entdeckten, dass die DNA eine Doppelhelix ist. ...	404
17.2.2	Die DNA kann zwischen relaxiertem und überspiralisiertem Zustand wechseln. ....	406
17.2.3	Die beiden Stränge der DNA-Doppelhelix können experimentell durch Denaturierung getrennt und durch Renaturierung wieder verbunden werden. ....	408
<b>17.3</b>	<b>Die Organisation der DNA in Genomen. ....</b>	<b>409</b>
17.3.1	Die Größe des Genoms nimmt mit der Komplexität des Organismus zu. ....	409
17.3.2	Restriktionsendonucleasen schneiden die DNA an spezifischen Stellen. ....	410
17.3.3	Schnelle Verfahren zur DNA-Sequenzierung. ....	411
17.3.4	Die kompletten Genome vieler Organismen wurden bereits sequenziert. ....	412
17.3.5	Geringfügige Unterschiede in der Genomsequenz unterscheiden Menschen voneinander. ....	413
17.3.6	Repetitive DNA-Sequenzen erklären zum Teil die Größe eukaryotischer Genome. ....	414
<b>17.4</b>	<b>Das Packen von DNA. ....</b>	<b>417</b>
17.4.1	Die bakterielle DNA liegt in Bakterienchromosom und Plasmiden vor. ....	417
17.4.2	Eukaryotische Zellen packen DNA in Chromatin und Chromosomen. ..	418
17.4.3	Nucleosomen sind die Basiseinheit der Chromatinstruktur. ....	419
17.4.4	Ein Histon-Octamer bildet den Nucleosomenkern. ....	419

17.4.5	Nucleosomen werden gepackt und bilden Chromatinfasern und Chromosomen . . . . .	420
17.4.6	Eukaryoten verpacken einen Teil ihrer DNA in Mitochondrien und Chloroplasten. . . . .	422
<b>17.5</b>	<b>Der Zellkern . . . . .</b>	<b>423</b>
17.5.1	Der Zellkern ist von einer Doppelmembran umgeben . . . . .	423
17.5.2	Kernporen ermöglichen das Ein- und Ausschleusen von Molekülen in den bzw. aus dem Zellkern . . . . .	425
17.5.3	Die Kernmatrix und die Kernlamina sind Stützstrukturen des Zellkerns . . . . .	429
17.5.4	Chromatinfasern liegen im Zellkern auf nicht-zufällige Weise verteilt vor . . . . .	430
17.5.5	Der Zellkern ist an der Ribosomenbildung beteiligt . . . . .	431
 <b>Kapitel 18 Zellzyklus, DNA-Replikation und Mitose</b>		<b>433</b>
<b>18.1</b>	<b>Ein Überblick über den Zellzyklus . . . . .</b>	<b>434</b>
<b>18.2</b>	<b>DNA-Replikation. . . . .</b>	<b>436</b>
18.2.1	Die DNA-Replikation verläuft im Allgemeinen bidirektional . . . . .	436
18.2.2	Die eukaryotische Replikation erfolgt durch multiple Replikons . . . . .	437
18.2.3	Replikationslizenzierung stellt sicher, dass DNA-Moleküle nur einmal vor jeder Zellteilung verdoppelt werden. . . . .	439
18.2.4	DNA-Polymerasen katalysieren die Elongation von DNA-Ketten . . . . .	440
18.2.5	Die DNA wird in diskontinuierlichen Segmenten synthetisiert, die von der DNA-Ligase verbunden werden . . . . .	442
18.2.6	Das Korrekturlesen erfolgt durch die 3'→5'-Exonucleaseaktivität der DNA-Polymerase. . . . .	443
18.2.7	RNA-Primer initiieren die DNA-Replikation. . . . .	444
18.2.8	Zur Entspiralisierung der DNA-Doppelhelix werden DNA-Helicasen, Topoisomerasen und Einzelstrang-DNA-Bindeproteine benötigt. . . . .	445
18.2.9	Zusammenfassung der DNA-Replikation. . . . .	446
<b>18.3</b>	<b>DNA-Schäden und DNA-Reparatur. . . . .</b>	<b>450</b>
18.3.1	DNA-Schäden können spontan oder als Antwort auf Mutagene auftreten. . . . .	450
18.3.2	Transläsionssynthese und Exzisionsreparatur korrigieren Mutationen mit anormalen Nucleotiden . . . . .	452
18.3.3	Die Fehlpaarungsreparatur korrigiert Mutationen mit nicht-komplementären Basenpaaren . . . . .	453
18.3.4	Die Schadensreparatur erklärt, warum die DNA Thymin und nicht Uracil enthält. . . . .	454
18.3.5	DNA-Doppelstrangbrüche werden durch nicht-homologe Verknüpfung der Enden oder homologe Rekombination repariert. . . . .	454
<b>18.4</b>	<b>Kernteilung und Zellteilung. . . . .</b>	<b>455</b>
18.4.1	Die Mitose gliedert sich in Prophase, Prometaphase, Metaphase, Anaphase und Telophase . . . . .	455
18.4.2	Die mitotische Spindel ist für die Bewegung der Chromosomen während der Mitose verantwortlich. . . . .	459

18.4.3	Teilung des Cytoplasmas während der Cytokinese.....	463
18.4.4	Manchmal verläuft die Zellteilung asymmetrisch.....	465
<b>18.5</b>	<b>Regulation des Zellzyklus .....</b>	<b>465</b>
18.5.1	Die Dauer eines Zellzyklus unterscheidet sich bei den verschiedenen Zelltypen .....	465
18.5.2	Die Progression durch den Zellzyklus wird an mehreren zentralen Kontrollpunkten überwacht.....	466
18.5.3	Untersuchungen über Zellfusion und Zellzyklusmutanten führten zur Identifizierung von Molekülen, die den Zellzyklus kontrollieren ..	468
18.5.4	Die Progression durch den Zellzyklus wird von Cyclin-abhängigen Kinasen (Cdks) kontrolliert.....	469
18.5.5	Mitotisches Cdk-Cyclin treibt die Progression in den G <sub>2</sub> -M- Übergang durch Phosphorylierung von Schlüsselproteinen an, die an den frühen Stadien der Mitose mitwirken .....	470
18.5.6	Der Anaphase-Förder-Komplex koordiniert mitotische Schlüsselereignisse durch gezielten Abbau spezifischer Proteine ....	472
18.5.7	G <sub>1</sub> -Cdk-Cyclin reguliert die Progression durch den Restriktions- punkt durch Phosphorylierung von Rb-Protein .....	473
18.5.8	Kontrollpunkt-Mechanismen überwachen die Anheftung der Chromosomen an die Spindel, den Durchlauf der DNA- Replikation und DNA-Schäden .....	474
18.5.9	Setzen wir das Puzzle zusammen: Die Maschinerie zur Regulation des Zellzyklus .....	476
<b>18.6</b>	<b>Wachstumsfaktoren und Zellwachstum und -vermehrung .....</b>	<b>477</b>
18.6.1	Stimulierende Wachstumsfaktoren aktivieren den Ras-Weg .....	477
18.6.2	Stimulierende Wachstumsfaktoren können auch den PI3K-Akt- Weg aktivieren.....	478
18.6.3	Inhibitorische Wachstumsfaktoren wirken durch Cdk-Inhibitoren ...	479
<b>18.7</b>	<b>Apoptose .....</b>	<b>480</b>
<b>Kapitel 19 Geschlechtliche Vermehrung, Meiose und genetische Rekombination</b>		<b>481</b>
<b>19.1</b>	<b>Geschlechtliche Vermehrung .....</b>	<b>482</b>
19.1.1	Geschlechtliche Vermehrung führt zu genetischer Vielfalt, indem Chromosomen von zwei unterschiedlichen Elternorganismen zusammengebracht werden .....	482
19.1.2	Diploide Zellen können für jedes Gen homozygot oder heterozygot sein .....	483
19.1.3	Gameten sind haploide, auf geschlechtliche Vermehrung spezialisierte Zellen .....	484
<b>19.2</b>	<b>Meiose .....</b>	<b>485</b>
<b>19.3</b>	<b>Die Meiose verwandelt eine diploide Zelle in vier haploide Zellen .....</b>	<b>486</b>
19.3.1	Die Meiose I bildet zwei haploide Zellen, deren Chromosomen aus Schwesterchromatiden bestehen.....	488
19.3.2	Die Meiose II ähnelt einer mitotischen Teilung .....	491

19.3.3	Spermien und Eizellen entstehen durch Meiose und anschließende Zelldifferenzierung . . . . .	492
19.3.4	Die Meiose bringt genetische Vielfalt hervor. . . . .	494
<b>19.4</b>	<b>Genetische Vielfalt: Segregation und Anordnung der Allele . . . . .</b>	<b>495</b>
19.4.1	Die Information zur Spezifizierung rezessiver Merkmale kann vorhanden sein, ohne dass sie erkennbar ist. . . . .	495
19.4.2	Die Spaltungsregel besagt, dass sich die Allele jedes Gens während der Gametenbildung trennen . . . . .	497
19.4.3	Die Unabhängigkeitsregel besagt, dass sich die Allele jedes Gens unabhängig von den Allelen anderer Gene trennen . . . . .	498
19.4.4	Das Verhalten der Chromosomen erklärt die Regeln der Segregation und der unabhängigen Verteilung . . . . .	498
19.4.5	Die DNA-Moleküle homologer Chromosomen haben ähnliche Basensequenzen . . . . .	500
<b>19.5</b>	<b>Genetische Variabilität: Rekombination und Crossing-over . . . . .</b>	<b>501</b>
19.5.1	Chromosomen enthalten Gruppen gekoppelter Gene, die im Allgemeinen zusammen vererbt werden . . . . .	501
19.5.2	Homologe Chromosomen tauschen während des Crossing-over Segmente aus. . . . .	502
19.5.3	Genloci können durch Messung der Rekombinationshäufigkeiten kartiert werden . . . . .	503
<b>19.6</b>	<b>Genetische Rekombination bei Bakterien und Viren . . . . .</b>	<b>504</b>
19.6.1	Transformation und Transduktion erfolgen durch Rekombination mit freier DNA oder mit DNA, die von Bakteriophagen in Bakterienzellen transportiert wird . . . . .	504
19.6.2	Konjugation ist eine modifizierte geschlechtliche Aktivität, die genetische Rekombination bei Bakterien erleichtert. . . . .	505
<b>19.7</b>	<b>Molekulare Mechanismen der homologen Rekombination . . . . .</b>	<b>507</b>
19.7.1	DNA-Bruch und -Austausch sind die Grundlagen der homologen Rekombination . . . . .	507
19.7.2	Homologe Rekombination wird durch Einzelstrang-DNA-Austausch (Holliday-Junctions) initiiert . . . . .	508
19.7.3	Der synaptische Komplex erleichtert die homologe Rekombination während der Meiose . . . . .	510
<b>19.8</b>	<b>Rekombinante DNA-Technologie und Genklonierung . . . . .</b>	<b>510</b>
19.8.1	Die Entdeckung von Restriktionsenzymen ebnete den Weg für die rekombinante DNA-Technologie . . . . .	511
19.8.2	Mit den Techniken der DNA-Klonierung kann man große Mengen einzelner Gensequenzen erzeugen . . . . .	512
19.8.3	Genom- und cDNA-Datenbanken unterstützen die DNA-Klonierung ..	516
19.8.4	Die PCR wird standardmäßig zur Klonierung von Genen aus sequenzierten Genomen eingesetzt . . . . .	518
<b>19.9</b>	<b>Gentechnologie . . . . .</b>	<b>519</b>
19.9.1	Mit Hilfe der Gentechnologie kann man wertvolle Proteine herstellen, was sonst nur unter schwierigen Bedingungen möglich wäre..	519

19.9.2	Das Ti-Plasmid ist ein nützlicher Vektor zur Insertion von Fremd-Genen in Pflanzen . . . . .	520
19.9.3	Durch genetische Manipulation kann man die Merkmale von Nutzpflanzen verbessern . . . . .	521
19.9.4	Es bestehen Sorgen im Hinblick auf Sicherheit und mögliche Umweltrisiken durch gentechnologisch manipulierte Lebensmittel . .	521
19.9.5	Tiere können durch An- oder Abschalten spezifischer Gene genetisch verändert werden . . . . .	522
19.9.6	Gentherapien werden zur Behandlung menschlicher Krankheiten entwickelt . . . . .	524
<b>Kapitel 20</b>	<b>Genexpression I: Genetischer Code und Transkription</b>	<b>525</b>
<b>20.1</b>	<b>Der direktionale Fluss der genetischen Information . . . . .</b>	<b>526</b>
<b>20.2</b>	<b>Der genetische Code . . . . .</b>	<b>527</b>
20.2.1	Experimente mit <i>Neurospora</i> führten zur Erkenntnis, dass Gene Enzyme kodieren . . . . .	527
20.2.2	Der genetische Code ist ein Triplet-Code . . . . .	528
20.2.3	Der genetische Code ist degeneriert und überlappt nicht. . . . .	530
20.2.4	Messenger-RNA steuert die Synthese von Polypeptidketten . . . . .	531
20.2.5	Das Codonwörterbuch wurde mit Hilfe synthetischer RNA-Polymere und -Triplets erstellt . . . . .	533
20.2.6	Von den 64 möglichen Codons der Messenger-RNA kodieren 61 Aminosäuren . . . . .	533
20.2.7	Der genetische Code ist (fast) universal. . . . .	535
<b>20.3</b>	<b>Transkription in Bakterienzellen. . . . .</b>	<b>535</b>
20.3.1	Die Transkription wird von der RNA-Polymerase katalysiert, die RNA an einer DNA-Matrize synthetisiert . . . . .	536
20.3.2	Die vier Schritte der Transkription: Bindung, Initiation, Elongation und Termination. . . . .	536
<b>20.4</b>	<b>Transkription bei eukaryotischen Zellen . . . . .</b>	<b>540</b>
20.4.1	Die RNA-Polymerasen I, II und III führen die Transkription im eukaryotischen Zellkern durch . . . . .	540
20.4.2	Drei Klassen von Promotoren kommen in eukaryotischen Kernen vor, je eine Klasse für einen Typ der RNA-Polymerase . . . . .	541
20.4.3	Allgemeine Transkriptionsfaktoren wirken an der Transkription aller Kerngene mit. . . . .	543
20.4.4	Elongation, Termination und RNA-Spaltung sind an der Fertigstellung der eukaryotischen RNA-Synthese beteiligt . . . . .	545
<b>20.5</b>	<b>RNA-Prozessierung . . . . .</b>	<b>545</b>
20.5.1	Zur ribosomalen RNA-Prozessierung gehört die Spaltung mehrerer RNAs aus einer gemeinsamen Vorläufer-rRNA. . . . .	546
20.5.2	Die Prozessierung der Transfer-RNA erfolgt durch Entfernen, Anfügen und chemische Modifikation von Nucleotiden . . . . .	547

20.5.3	Die Prozessierung von Messenger-RNA bei Eukaryoten erfolgt durch Capping, Anfügen von Poly(A)-Schwänzen und Entfernen von Introns .....	548
20.5.4	Spleißosomen entfernen Introns aus der Prä-mRNA. ....	551
20.5.5	Einige Introns sind selbstspleißend .....	553
20.5.6	Die Existenz von Introns ermöglicht alternatives Spleißen und Exonvermischung (Exon-Shuffling) .....	553
20.5.7	Durch RNA-Bearbeitung können kodierende mRNA-Sequenzen verändert werden .....	554
<b>20.6</b>	<b>Schlüsselaspekte des mRNA-Metabolismus .....</b>	<b>555</b>
20.6.1	Die meisten mRNA-Moleküle haben eine relativ kurze Lebensspanne .....	555
20.6.2	Die Existenz der mRNA ermöglicht die Amplifikation der genetischen Information .....	555
<b>Kapitel 21</b>	<b>Genexpression II: Proteinsynthese und Sortierung</b>	<b>557</b>
<b>21.1</b>	<b>Translation: Die Rollenbesetzung .....</b>	<b>558</b>
21.1.1	Ribosomen synthetisieren Polypeptide .....	558
21.1.2	Transfer-RNA-Moleküle bringen Aminosäuren zum Ribosom. ....	560
21.1.3	Aminoacyl-tRNA-Synthetasen verbinden Aminosäuren mit den richtigen Transfer-RNAs .....	562
21.1.4	Messenger-RNA bringt Information über die Polypeptide zum Ribosom. ....	563
21.1.5	Zur Initiation, Elongation und Termination von Polypeptidketten werden Proteinfaktoren benötigt .....	564
<b>21.2</b>	<b>Der Mechanismus der Translation. ....</b>	<b>564</b>
21.2.1	Zur Initiation der Translation werden Initiationsfaktoren, ribosomale Untereinheiten, mRNA und Initiator-tRNA benötigt. ....	565
21.2.2	Kettenverlängerung durch sequenzielle Zyklen von Aminoacyl-tRNA-Bindung, Bildung von Peptidbindungen und Translokation ...	568
21.2.3	Die Termination der Polypeptidsynthese wird durch Freisetzungsfaktoren ausgelöst, die Stoppcodons erkennen. ....	570
21.2.4	Die Proteinfaltung wird durch molekulare Chaperone unterstützt ...	571
21.2.5	Zusammenfassung der Translation .....	571
<b>21.3</b>	<b>Mutationen und Translation .....</b>	<b>572</b>
21.3.1	Suppressor-tRNAs beseitigen die Wirkung einiger Mutationen. ....	572
21.3.2	Nonsense-vermittelter Abbau und Nonstop-Abbau fördern die Zerstörung von defekten mRNAs. ....	573
<b>21.4</b>	<b>Posttranslationale Prozessierung. ....</b>	<b>574</b>
<b>21.5</b>	<b>Proteinerkennung und -sortierung. ....</b>	<b>575</b>
21.5.1	Der cotranslationale Import ermöglicht einigen Proteinen während ihrer Synthese den Eintritt in das ER. ....	577
21.5.2	Die Signalerkennungspartikel (SRP) binden den Ribosom-mRNA-Polypeptid-Komplex an die ER-Membran. ....	578

21.5.3	Proteinfaltung und Qualitätskontrolle finden im ER statt . . . . .	579
21.5.4	In das ER-Lumen freigesetzte Proteine werden zum Golgi-Komplex, zu sekretorischen Vesikeln, zu Lysosomen oder zurück in das ER geleitet . . . . .	580
21.5.5	Stopp-Transfersequenzen vermitteln die Insertion integraler Membranproteine . . . . .	581
21.5.6	Durch posttranslationalen Import können einige Polypeptide nach der Synthese in Organellen gelangen . . . . .	582
<b>Kapitel 22</b>	<b>Die Regulation der Genexpression</b>	<b>587</b>
<b>22.1</b>	<b>Die bakterielle Genexpression . . . . .</b>	<b>588</b>
22.1.1	Katabolische und anabolische Wege werden durch Induktion und Repression reguliert. . . . .	588
22.1.2	Die am Lactosekatabolismus mitwirkenden Gene sind in einem induzierbaren Operon organisiert . . . . .	589
22.1.3	Das <i>lac</i> -Operon wird vom <i>lac</i> -Repressor negativ reguliert . . . . .	590
22.1.4	Positive Regulation des <i>lac</i> -Operons durch das Katabolitaktivatorprotein (CAP). . . . .	592
22.1.5	Das <i>lac</i> -Operon ist ein Beispiel für die doppelte Kontrolle der Genexpression. . . . .	593
22.1.6	Die Struktur des <i>lac</i> -Repressor/Operator-Komplexes bestätigt das Operonmodell. . . . .	594
22.1.7	Die an der Tryptophansynthese mitwirkenden Gene sind in einem reprimierbaren Operon organisiert . . . . .	594
22.1.8	Sigma-Faktoren bestimmen, welche Gen-Sätze exprimiert werden . . . . .	594
22.1.9	Durch Dämpfung kann die Transkription nach dem Initiations-schritt reguliert werden . . . . .	595
<b>22.2</b>	<b>Eukaryotische Genregulation: genomische Kontrolle . . . . .</b>	<b>599</b>
22.2.1	Vielzellige Eukaryoten bestehen aus zahlreichen spezialisierten Zelltypen . . . . .	600
22.2.2	Die eukaryotische Genexpression wird auf fünf Hauptebenen reguliert . . . . .	600
22.2.3	Zellen vielzelliger Organismen enthalten in der Regel alle den gleichen Gensatz . . . . .	601
22.2.4	Genamplifikation und Gendeletion können das Genom verändern. . . . .	601
22.2.5	DNA-Neuanordnungen können das Genom verändern. . . . .	602
22.2.6	Die Sensitivität der DNase I liefert einen weiteren Beweis für die Rolle der Chromatindekondensation bei der genomischen Kontrolle . . . . .	603
22.2.7	DNA-Methylierung ist mit inaktiven Regionen des Genoms assoziiert . . . . .	605
22.2.8	Veränderungen in Histonen und Chromatin-Remodellierungsproteine können die Genomaktivität ändern. . . . .	606
<b>22.3</b>	<b>Eukaryotische Genregulation: Transkriptionskontrolle. . . . .</b>	<b>607</b>
22.3.1	In den verschiedenen Zellen werden unterschiedliche Gensätze transkribiert. . . . .	607

22.3.2	DNA-Microarrays ermöglichen die simultane Kontrolle der Expression Tausender Gene . . . . .	608
22.3.3	Proximale Kontrollelemente liegen nahe am Promotor . . . . .	609
22.3.4	Enhancer und Silencer liegen unterschiedlich weit vom Promotor entfernt . . . . .	610
22.3.5	Coaktivatoren vermitteln die Interaktion zwischen regulatorischen Transkriptionsfaktoren und dem RNA-Polymerasekomplex . . . . .	612
22.3.6	Verschiedene DNA-Kontrollelemente und Transkriptionsfaktoren wirken miteinander. . . . .	613
22.3.7	Mehrere häufig vorkommende Struktur motive ermöglichen die Bindung regulatorischer Transkriptionsfaktoren an die DNA und aktivieren die Transkription. . . . .	614
22.3.8	DNA-Response-Elemente koordinieren die Expression nicht-benachbarter Gene. . . . .	615
22.3.9	Steroidhormonrezeptoren agieren als Transkriptionsfaktoren, die an Hormon-Response-Elemente binden. . . . .	616
<b>22.4</b>	<b>Eukaryotische Genregulation: Posttranskriptionale Kontrolle . . . . .</b>	<b>620</b>
22.4.1	Kontrolle von RNA-Prozessierung und -Export aus dem Zellkern nach der Transkription . . . . .	620
22.4.2	Die Translationsgeschwindigkeit kann durch Initiationsfaktoren und Translationsrepressoren kontrolliert werden. . . . .	622
22.4.3	Die Translation kann auch durch Regulation des mRNA-Abbaus kontrolliert werden . . . . .	623
22.4.4	Die RNA-Interferenz nutzt kleine RNAs zur Hemmung der Expression von Genen mit komplementären Basensequenzen. . . . .	624
22.4.5	Von normalen Zellgenen gebildete MikroRNAs hemmen die Translation von mRNAs, die für die Entwicklung eine wichtige Rolle spielen . . . . .	626
22.4.6	Ubiquitin markiert Proteine für den Abbau durch Proteosomen . . . . .	627
	<b>Bildnachweis . . . . .</b>	<b>629</b>
	<b>Stichwortverzeichnis . . . . .</b>	<b>631</b>