



**med**  
medizin

Dee U. Silverthorn

# Physiologie

4., aktualisierte Auflage

inklusive  
Online-Zugang zu  
Original-Prüfungsfragen  
des **IMPP**

Benjamin Cummings

PEARSON  
Studium

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b>	xxix
<b>Vorwort zur deutschen Ausgabe</b>	xxxix
<b>Kapitel 1 Einführung in die Physiologie</b>	<b>1</b>
1.1 Physiologische Systeme . . . . .	2
1.2 Zweck und Prozess . . . . .	4
1.3 Homöostase . . . . .	5
1.4 Physiologie: Jenseits des Genoms . . . . .	7
1.5 Physiologie ist eine integrative Wissenschaft. . . . .	8
1.6 Themen der Physiologie . . . . .	12
1.7 Die Wissenschaft der Physiologie . . . . .	14
1.7.1 Gute wissenschaftliche Experimente müssen sorgfältig geplant werden . . .	14
1.7.2 Die Schwierigkeiten der Interpretation von Experimenten mit menschlichen Probanden . . . . .	15
1.7.3 Designs von Studien mit menschlichen Probanden. . . . .	17
1.8 Suchen und Lesen wissenschaftlicher Literatur . . . . .	21
Übungsaufgaben . . . . .	25
Lösungen . . . . .	28
<b>Kapitel 2 Molekulare Wechselwirkungen</b>	<b>31</b>
2.1 Chemische Grundlagen . . . . .	32
2.1.1 Atome bestehen aus Protonen, Neutronen und Elektronen . . . . .	32
2.1.2 Die Anzahl der Protonen im Atomkern bestimmt das Element . . . . .	33
2.1.3 Isotope eines Elements enthalten unterschiedlich viele Neutronen . . . . .	34
2.1.4 Die Rolle von Elektronen bei der Bildung von Bindungen und bei der Übertragung von Energie . . . . .	35
2.2 Chemische Bindungen und Molekülstruktur . . . . .	37
2.2.1 Kovalente Bindungen durch gemeinsame Elektronenpaare. . . . .	38
2.2.2 Ionenbindungen durch die vollständige Übertragung von Elektronen . . . . .	40
2.2.3 Wasserstoffbrücken und Van-der-Waals-Kräfte. . . . .	41
2.2.4 Beziehungen zwischen der Struktur und der Funktion von Molekülen . . . . .	42
2.3 Biomoleküle . . . . .	43
2.3.1 Kohlenhydrate sind die mengenmäßig häufigsten Biomoleküle . . . . .	44
2.3.2 Lipide sind eine strukturell vielfältige Klasse von Biomolekülen. . . . .	45
2.3.3 Proteine sind die vielseitigsten Biomoleküle . . . . .	47
2.3.4 In manchen Molekülen sind Kohlenhydrate, Proteine und Lipide miteinander verknüpft . . . . .	50
2.3.5 Nucleotide und Nucleinsäuren als Überträger und Speicher von Energie und Information. . . . .	50
2.4 Wässrige Lösungen, Säuren, Basen und Puffer . . . . .	53
2.4.1 Nicht alle Moleküle sind wasserlöslich . . . . .	53

2.4.2	Verschiedene Möglichkeiten, die Konzentration einer Lösung zu beschreiben . . . . .	55
2.4.3	Massenprozent, Volumenprozent und Masse/Volumen . . . . .	56
2.4.4	Der pH-Wert und die H <sup>+</sup> -Konzentration im Körper . . . . .	57
2.5	Wechselwirkungen von Proteinen . . . . .	59
2.5.1	Die Bindung von Molekülen an Proteine erfolgt spezifisch . . . . .	60
2.5.2	Viele Faktoren beeinflussen die Ligandenbindung an Proteine . . . . .	62
2.5.3	Regulation der Ligandenbindung und der Proteinaktivität . . . . .	63
2.5.4	Regulation und Inaktivierung von Proteinen durch pH-Wert und Temperatur . . . . .	66
2.5.5	Der Proteingehalt in Zellen wird reguliert . . . . .	67
2.5.6	Die Reaktionsgeschwindigkeit kann ein Maximum erreichen . . . . .	68
	Übungsaufgaben . . . . .	74
	Lösungen . . . . .	78
 <b>Kapitel 3    Kompartimentierung: Zellen und Gewebe</b>		<b>81</b>
3.1	Funktionelle Kompartimente des Körpers . . . . .	83
3.1.1	Das Lumen von Hohlorganen ist nicht immer Teil des inneren Milieus. . . . .	83
3.1.2	Unterteilung des Körpers in drei funktionelle Kompartimente . . . . .	84
3.2	Biologische Membranen . . . . .	84
3.2.1	Die Zellmembran trennt das Zellinnere von der äußeren Umgebung . . . . .	85
3.2.2	Membranen bestehen überwiegend aus Lipiden und Proteinen . . . . .	85
3.2.3	Membranlipide als Barriere zwischen dem Cytoplasma und der extrazellulären Flüssigkeit . . . . .	86
3.2.4	Membranproteine können lose oder fest mit der Membran assoziiert vorliegen . . . . .	88
3.2.5	Sowohl Membranlipide als auch Membranproteine können Kohlenhydrate tragen . . . . .	91
3.3	Intrazelluläre Kompartimente . . . . .	91
3.3.1	Zellen sind in Kompartimente unterteilt . . . . .	91
3.3.2	Das Cytoplasma – Cytosol, Zelleinschlüsse und Organellen . . . . .	93
3.3.3	Zelleinschlüsse stehen in direktem Kontakt mit dem Cytosol . . . . .	93
3.3.4	Cytoplasmatische Proteinfilamente kommen in drei Größen vor . . . . .	95
3.3.5	Mikrotubuli bilden Centriolen, Cilien und Flagellen . . . . .	95
3.3.6	Das Cytoskelett ist ein veränderliches Gerüst . . . . .	96
3.3.7	Motorproteine erzeugen Bewegung . . . . .	98
3.3.8	Organellen bilden Kompartimente für spezialisierte Funktionen . . . . .	98
3.3.9	Der Zellkern ist das Kontrollzentrum der Zelle . . . . .	103
3.4	Die Gewebe des Körpers . . . . .	104
3.4.1	Die extrazelluläre Matrix besitzt viele Funktionen . . . . .	104
3.4.2	Zellkontakte zwischen Zellen in Geweben . . . . .	105
3.4.3	Epithelien bieten Schutz und regulieren den Stoffaustausch . . . . .	108
3.4.4	Bindegewebe dient als mechanische Stütze und Barriere . . . . .	114
3.4.5	Muskel- und Nervengewebe sind erregbar . . . . .	118

3.5	Neubildung von Gewebe . . . . .	119
3.5.1	Apoptose als saubere Form des Zelltods. . . . .	120
3.5.2	Aus Stammzellen entstehen neue spezialisierte Zellen . . . . .	121
3.6	Organe . . . . .	124
	Übungsaufgaben . . . . .	128
	Lösungen . . . . .	131
<b>Kapitel 4 Energie- und Zellstoffwechsel</b>		<b>133</b>
4.1	Energie in biologischen Systemen . . . . .	135
4.1.1	Energie wird zur Verrichtung von Arbeit verwendet . . . . .	136
4.1.2	Die zwei Hauptformen von Energie – Kinetische und potenzielle Energie. . . . .	137
4.1.3	Verschiedene Energieformen können ineinander umgewandelt werden . . . . .	137
4.1.4	Die Thermodynamik . . . . .	138
4.2	Chemische Reaktionen . . . . .	139
4.2.1	Übertragung von Energie zwischen Molekülen während chemischer Reaktionen . . . . .	139
4.2.2	Die Aktivierungsenergie. . . . .	140
4.2.3	Energieumsatz bei chemischen Reaktionen . . . . .	140
4.2.4	Die Größe der Freien Reaktionsenthalpie bestimmt die Reversibilität einer Reaktion . . . . .	142
4.3	Enzyme . . . . .	143
4.3.1	Wechselwirkungen von Enzymen . . . . .	144
4.3.2	Enzyme können aktiviert, inaktiviert und reguliert werden . . . . .	145
4.3.3	Enzyme verringern die Aktivierungsenergie. . . . .	146
4.3.4	Reaktionsgeschwindigkeiten sind variabel. . . . .	146
4.3.5	Reversible Reaktionen folgen dem Massenwirkungsgesetz . . . . .	147
4.3.6	Klassifizierung von enzymatischen Reaktionen . . . . .	148
4.4	Stoffwechsel – Metabolismus . . . . .	151
4.4.1	Zellen regulieren die Aktivität ihrer Stoffwechselwege. . . . .	153
4.4.2	ATP ist ein kurzfristiger Energieüberträger. . . . .	154
4.5	ATP-Produktion . . . . .	155
4.5.1	Glucose wird durch die Glycolyse zu Pyruvat abgebaut . . . . .	157
4.5.2	Im anaeroben Stoffwechsel wird Pyruvat in Lactat umgewandelt. . . . .	157
4.5.3	Unter aeroben Bedingungen tritt Pyruvat über Acetyl-CoA in den Citronensäurezyklus ein. . . . .	159
4.5.4	Übertragung der Energie von NADH und FADH <sub>2</sub> auf ATP durch die oxidative Phosphorylierung . . . . .	161
4.5.5	Kopplung von Protonenfluss und ATP-Synthese . . . . .	163
4.5.6	Die maximale Energieausbeute des Katabolismus eines Glucosemoleküls beträgt 30 bis 32 ATP. . . . .	163
4.5.7	Der Beitrag großer Biomoleküle zur ATP-Produktion. . . . .	164
4.6	Anabole Stoffwechselwege . . . . .	167
4.6.1	Glycogen kann aus Glucose synthetisiert werden . . . . .	167
4.6.2	Glucose kann aus Aminosäuren oder Glycerin synthetisiert werden . . . . .	167
4.6.3	Acetyl-CoA als wichtiger Vorläufer in der Lipidsynthese . . . . .	169

4.6.4	Proteine sind der Schlüssel zur Funktionsfähigkeit der Zelle . . . . .	170
4.6.5	Der Weg von der DNA zum Protein ist kompliziert . . . . .	171
4.6.6	Die DNA dient bei der Transkription als Matrize für die Synthese eines komplementären mRNA-Moleküls . . . . .	173
4.6.7	Durch alternatives Spleißen kann eine DNA-Sequenz mehrere Proteine codieren . . . . .	174
4.6.8	Proteinbiosynthese – Translation . . . . .	176
4.6.9	Zielsteuerung der Proteine. . . . .	178
4.6.10	Die posttranslationale Modifizierung führt zur endgültigen Proteinstruktur . .	178
4.6.11	Der sekretorische Weg . . . . .	181
	Übungsaufgaben . . . . .	186
	Lösungen . . . . .	189
 <b>Kapitel 5 Membrandynamik</b>		<b>193</b>
5.1	Massenbilanz und Homöostase . . . . .	194
5.1.1	Eliminierung von Substanzen aus dem Körper durch Exkretion. . . . .	195
5.1.2	Homöostase ist nicht Gleichgewicht . . . . .	196
5.2	Diffusion. . . . .	198
5.2.1	Diffusion beruht nur auf der Eigenbewegung der Moleküle . . . . .	199
5.2.2	Lipophile Moleküle können durch Lipiddoppelschichten diffundieren . . .	203
5.3	Proteinvermittelter Transport . . . . .	205
5.3.1	Membranproteine als strukturelle Proteine, Enzyme, Rezeptoren oder Transporter . . . . .	205
5.3.2	Kanalproteine bilden offene, wassergefüllte Poren . . . . .	208
5.3.3	Carrier-Proteine verändern ihre Konformation für den Transport von Molekülen . . . . .	209
5.3.4	Erleichterte Diffusion durch Carrier-Proteine. . . . .	211
5.3.5	Der aktive Transport erfolgt gegen einen Konzentrationsgradienten. . . . .	212
5.3.6	Der carriervermittelte Transport zeigt die Merkmale der Spezifität, Bindungskonkurrenz und Sättigung . . . . .	218
5.4	Vesikulärer Transport. . . . .	221
5.4.1	Bei der Phagocytose werden Vesikel mithilfe des Cytoskeletts erzeugt . . . .	221
5.4.2	Bei der Endocytose werden kleinere Partikel gebildet. . . . .	222
5.4.3	Durch Exocytose werden Moleküle freigesetzt, die für Transportproteine zu groß sind . . . . .	223
5.5	Transepithelialer Transport . . . . .	225
5.5.1	Transepithelialer Transport von Glucose mithilfe von Membranproteinen. . .	226
5.5.2	Transcytose – Durchquerung des Epithels in Vesikeln. . . . .	228
5.6	Osmose und Tonizität . . . . .	229
5.6.1	Der Körper besteht überwiegend aus Wasser . . . . .	229
5.6.2	Der Körper befindet sich im osmotischen Gleichgewicht . . . . .	230
5.6.3	Die Osmolarität entspricht der Teilchenkonzentration in der Lösung . . . . .	231
5.6.4	Die Tonizität einer Lösung beschreibt die Volumenänderung einer Zelle, die in der Lösung platziert wird . . . . .	234
5.7	Das Membranpotenzial . . . . .	238
5.7.1	Zellmembranen ermöglichen die Trennung von Ladungen . . . . .	240

5.7.2	Das Membranpotenzial beruht hauptsächlich auf Kalium-Ionen . . . . .	243
5.7.3	Änderungen des Membranpotenzials durch Variationen der Permeabilität für Ionen . . . . .	246
5.8	Insulinsekretion – ein Beispiel für einen potenzialabhängigen Membranprozess . . .	247
	Übungsaufgaben . . . . .	255
	Lösungen . . . . .	259
<b>Kapitel 6 Kommunikation, Integration und Homöostase</b>		<b>263</b>
6.1	Zell-Zell-Kommunikation . . . . .	264
6.1.1	Gap Junctions bilden cytoplasmatische Brücken . . . . .	265
6.1.2	Kontaktabhängige Signale sind auf Zell-Zell-Kontakte angewiesen . . . . .	265
6.1.3	Parakrine und autokrine Signale dienen der lokalen Kommunikation . . . . .	266
6.1.4	Nervenimpulse, Hormone und Neurohormone dienen zur weitreichenden Kommunikation. . . . .	266
6.1.5	Cytokine können als lokale oder weitreichende Signale wirken . . . . .	267
6.2	Signalwege . . . . .	268
6.2.1	Rezeptorproteine befinden sich innerhalb der Zelle oder auf der Zelloberfläche . . . . .	268
6.2.2	Membranproteine ermöglichen die Signaltransduktion. . . . .	271
6.2.3	Rezeptorenzyme besitzen Protein-Kinase- oder Guanylat-Cyclase-Aktivität . . . . .	274
6.2.4	Die meisten Signaltransduktionen erfolgen über G-Proteine . . . . .	275
6.2.5	Der Adenylat-Cyclase-Signalweg ist das Signaltransduktionssystem für viele lipophobe Hormone. . . . .	276
6.2.6	Der Phosphoinositid-Signalweg . . . . .	276
6.2.7	Integrin-Rezeptoren übertragen Informationen von der extrazellulären Matrix . . . . .	277
6.2.8	Die meisten schnellen Signalwege verändern den Ionenfluss durch Kanalproteine . . . . .	278
6.3	Ungewöhnliche Signalmoleküle . . . . .	280
6.3.1	Calcium-Ionen sind ein wichtiges intrazelluläres Signal. . . . .	280
6.3.2	Gase sind flüchtige Signalmoleküle . . . . .	281
6.3.3	Eicosanoide sind wichtige parakrine Signale . . . . .	281
6.4	Regulation von Signalwegen . . . . .	283
6.4.1	Rezeptoren zeigen die Merkmale der Sättigung, der Spezifität und der Bindungskonkurrenz . . . . .	283
6.4.2	Durch Aufwärts- und Abwärts-Regulation können Zellen Antworten modulieren. . . . .	284
6.4.3	Zellen müssen Signalwege beenden können . . . . .	286
6.4.4	Viele Erkrankungen und Medikamente beeinflussen Proteine der Signaltransduktion. . . . .	286
6.5	Regelkreise: Antwort- und Rückkopplungsschleifen . . . . .	287
6.5.1	Cannons Postulate beschreiben Regelgrößen und physiologische Kontrollsysteme . . . . .	288
6.5.2	Homöostase kann durch lokale oder weitreichende Regelsysteme aufrechterhalten werden . . . . .	290
6.5.3	Antwortschleifen beginnen mit einem Reiz und enden mit einer Antwort. . .	295

6.5.4	Sollwerte können variiert werden . . . . .	296
6.5.5	Antwortschleifen werden durch Rückkopplungsschleifen moduliert. . . . .	297
6.5.6	Feedforward-Kontrolle. . . . .	299
6.5.7	Biologische Rhythmen resultieren aus Änderungen von Sollwerten . . . . .	299
6.5.8	Kontroll- und Regelsysteme variieren in ihren Geschwindigkeiten und Spezifitäten . . . . .	301
6.5.9	Komplizierte Reflexwege besitzen mehrere Datenverarbeitungszentren. . . . .	305
	Übungsaufgaben . . . . .	312
	Lösungen . . . . .	314

**Kapitel 7 Einführung in das endokrine System 317**

7.1	Hormone. . . . .	318
7.1.1	Hormone kannte man bereits im Altertum . . . . .	318
7.1.2	Was macht eine Substanz zu einem Hormon? . . . . .	320
7.2	Die Klassifizierung von Hormonen . . . . .	325
7.2.1	Die meisten Hormone sind Peptide oder Proteine . . . . .	325
7.2.2	Synthese, Speicherung und Freisetzung von Peptidhormonen. . . . .	326
7.2.3	Steroidhormone werden aus Cholesterin gebildet . . . . .	329
7.2.4	Aminhormone leiten sich von den Aminosäuren Tryptophan oder Tyrosin ab. . . . .	331
7.3	Regulation der Hormonsekretion . . . . .	332
7.3.1	Hormone können nach ihren Reflexwegen klassifiziert werden . . . . .	332
7.3.2	Der Sensor in den einfachsten endokrinen Reflexwegen ist die endokrine Zelle selbst. . . . .	334
7.3.3	An vielen endokrinen Reflexen ist das Nervensystem beteiligt. . . . .	335
7.3.4	Neurohormone werden durch Neuronen ins Blut sezerniert. . . . .	335
7.3.5	Die Hypophyse besteht tatsächlich aus zwei fusionierten Drüsen . . . . .	335
7.3.6	Der Hypophysenhinterlappen speichert und sezerniert zwei Neurohormone. . . . .	336
7.3.7	Der Hypophysenvorderlappen sezerniert sechs Hormone. . . . .	337
7.3.8	Das Hypothalamus-Hypophysen-System zeigt andere Rückkopplungsmuster . . . . .	337
7.3.9	Das hypothalamisch-hypophyseale Portalgefäßsystem . . . . .	339
7.3.10	Adenohypophysenhormone kontrollieren Wachstum, Stoffwechsel und Reproduktion . . . . .	341
7.4	Hormonelle Wechselwirkungen . . . . .	342
7.4.1	Beim Synergismus ist der Effekt mehrerer Hormone nicht einfach additiv . . . . .	342
7.4.2	Ein permissives Hormon ermöglicht einem anderen Hormon die Entfaltung seiner vollen Wirkung . . . . .	343
7.4.3	Antagonistische Hormone zeigen entgegengesetzte Effekte . . . . .	344
7.5	Endokrinopathien . . . . .	344
7.5.1	Hypersekretion führt zu einer übermäßigen Hormonwirkung. . . . .	344
7.5.2	Durch Hyposekretion wird die Hormonwirkung vermindert oder vollständig aufgehoben . . . . .	345
7.5.3	Fehler in den Rezeptoren oder sekundären Botenstoffen verursachen anomales Reaktionsvermögen der Zielgewebe . . . . .	346



7.5.4	Die Diagnose von Endokrinopathien wird durch die Komplexität des Reflexes beeinflusst . . . . .	347
7.6	Die Evolution der Hormone. . . . .	349
	Übungsaufgaben . . . . .	356
	Lösungen . . . . .	359
<b>Kapitel 8 Neuronen: Zelluläre und vernetzende Eigenschaften</b>		<b>361</b>
8.1	Organisation des Nervensystems . . . . .	363
8.2	Die Zellen des Nervensystems . . . . .	365
8.2.1	Neuronen sind erregbare Zellen, die elektrische Signale erzeugen und weiterleiten . . . . .	365
8.2.2	Gliazellen bilden die Stütze des Nervensystems . . . . .	370
8.3	Elektrische Signale in Neuronen. . . . .	373
8.3.1	Die Nernst-Gleichung beschreibt das Membranpotenzial für eine einzelne Ionensorte . . . . .	373
8.3.2	Die Goldman-Hodgkin-Katz-Gleichung . . . . .	374
8.3.3	Ionenflüsse durch die Zellmembran erzeugen elektrische Signale . . . . .	374
8.3.4	Gesteuerte Ionenkanäle kontrollieren die Ionenpermeabilität der Zellmembran von Neuronen . . . . .	375
8.3.5	Elektrische Signale werden durch Änderungen der Permeabilität von Ionenkanälen erzeugt . . . . .	377
8.3.6	Generatorpotenziale spiegeln die Stärke des auslösenden Reizes wider. . . . .	378
8.3.7	Aktionspotenziale pflanzen sich ohne Intensitätsverlust über größere Entfernungen fort . . . . .	380
8.3.8	Der Fluss von $\text{Na}^+$ - und $\text{K}^+$ -Ionen durch die Membran generiert Aktionspotenziale . . . . .	382
8.3.9	$\text{Na}^+$ -Kanäle im Axon besitzen zwei Tore. . . . .	384
8.3.10	Während der absoluten Refraktärphase kann kein neues Aktionspotenzial erzeugt werden . . . . .	386
8.3.11	Die Reizstärke wird durch die Frequenz von Aktionspotenzialen codiert. . . . .	386
8.3.12	Durch ein Aktionspotenzial werden die Konzentrationsgradienten der Ionen nicht verändert . . . . .	388
8.3.13	Aktionspotenziale werden von der Triggerzone zur Axonterminale weitergeleitet . . . . .	389
8.3.14	In größeren Axonen pflanzen sich Aktionspotenziale schneller fort. . . . .	392
8.3.15	In myelinisierten Axonen ist die Leitungsgeschwindigkeit größer . . . . .	393
8.3.16	Die elektrische Aktivität kann durch eine Vielfalt von chemischen Faktoren verändert werden . . . . .	396
8.4	Zell-Zell-Kommunikation im Nervensystem . . . . .	398
8.4.1	An einer Synapse werden Signale von Zelle zu Zelle übertragen . . . . .	398
8.4.2	Calcium-Ionen dienen als Signal zur Freisetzung der Neurotransmitter an einer Synapse . . . . .	400
8.4.3	Neurokrine tragen Informationen von Neuronen zu anderen Zellen . . . . .	401
8.4.4	Das Nervensystem sezerniert eine Vielfalt von Neurokrinen. . . . .	402
8.4.5	Viele Rezeptortypen verstärken die Effekte von Neurotransmittern . . . . .	405
8.4.6	Nicht alle postsynaptischen Antworten sind schnell und von kurzer Dauer . . . . .	406
8.4.7	Die Wirkung von Neurotransmittern wird schnell terminiert . . . . .	408



8.5	Integration neural übertragener Informationen . . . . .	408
8.5.1	An neuronalen Signalwegen können viele Neuronen simultan beteiligt sein. . .	409
8.5.2	Die synaptische Aktivität kann auch an der Axonterminale moduliert werden. . . . .	412
8.5.3	Die Langzeitpotenzierung verändert die synaptische Kommunikation. . . . .	412
8.5.4	Störungen der synaptischen Signalübertragung sind für viele Krankheiten verantwortlich. . . . .	414
8.5.5	Die Entwicklung des Nervensystems hängt von chemischen Signalen ab . . .	415
8.5.6	Bei Verletzungen sterben vom Perikaryon abgetrennte Segmente der Nervenzellen ab . . . . .	416
	Übungsaufgaben . . . . .	423
	Lösungen . . . . .	426
 <b>Kapitel 9 Das Zentralnervensystem</b>		<b>429</b>
9.1	Spontane Eigenschaften neuronaler Netze . . . . .	430
9.2	Evolution der Nervensysteme . . . . .	431
9.3	Anatomie des Zentralnervensystems . . . . .	433
9.3.1	Das Zentralnervensystem entwickelt sich aus einem Rohr . . . . .	433
9.3.2	Das Zentralnervensystem ist unterteilt in graue und weiße Substanz. . . . .	435
9.3.3	Knochen und Bindegewebe stützen das Zentralnervensystem . . . . .	435
9.3.4	Das Gehirn schwimmt in Cerebrospinalflüssigkeit. . . . .	437
9.3.5	Die Blut-Hirn-Schranke schützt das Gehirn vor schädlichen Substanzen im Blut . . . . .	439
9.3.6	Nervengewebe stellt spezielle metabolische Anforderungen. . . . .	440
9.4	Das Rückenmark . . . . .	441
9.5	Das Gehirn . . . . .	443
9.5.1	Der Hirnstamm ist der Übergang zwischen Rückenmark und Mittelhirn . . .	445
9.5.2	Der Hirnstamm besteht aus Medulla, Pons und Mittelhirn . . . . .	446
9.5.3	Das Cerebellum dient zur Bewegungskoordination . . . . .	447
9.5.4	Das Diencephalon enthält Homöostasezentren. . . . .	447
9.5.5	Das Großhirn ist der Sitz höherer Hirnfunktionen . . . . .	448
9.5.6	Das Großhirn weist separate Bereiche von grauer und weißer Substanz auf . . .	449
9.6	Die Gehirnfunktion . . . . .	449
9.6.1	Der cerebrale Cortex ist in funktionellen Arealen organisiert . . . . .	451
9.6.2	Sensorische Information wird im Rückenmark und im Gehirn integriert. . .	453
9.6.3	Sensorische Information wird zu Wahrnehmung verarbeitet . . . . .	453
9.6.4	Das motorische System steuert den Output des Zentralnervensystems . . . .	454
9.6.5	Das Verhaltenszustandssystem moduliert den motorischen Output . . . . .	454
9.6.6	Das retikuläre aktivierende System beeinflusst Wachheitszustände . . . . .	455
9.6.7	Warum schlafen wir? . . . . .	456
9.6.8	Physiologische Funktionen zeigen eine circadiane Rhythmik. . . . .	459
9.6.9	An Emotion und Motivation sind komplexe neuronale Bahnen beteiligt. . .	459
9.6.10	Stimmungen sind lang anhaltende emotionale Zustände . . . . .	461
9.6.11	Lernen und Erinnern verändern die synaptischen Verbindungen im Gehirn . . . . .	462

9.6.12	Lernen ist der Erwerb von Wissen . . . . .	462
9.6.13	Erinnerung ist die Fähigkeit, Information zu behalten und abzurufen . . . . .	462
9.6.14	Sprache ist das komplexeste kognitive Verhalten . . . . .	465
9.6.15	Persönlichkeit ist eine Kombination aus Erfahrung und Erbgut . . . . .	466
	Übungsaufgaben . . . . .	472
	Lösungen . . . . .	475
<b>Kapitel 10 Sinnesphysiologie</b>		<b>477</b>
10.1	Allgemeine Eigenschaften sensorischer Systeme . . . . .	478
10.1.1	Rezeptoren sind hoch spezifisch für ganz bestimmte Energieformen . . . . .	479
10.1.2	Sensorische Transduktion wandelt Reize in abgestufte Potenziale um . . . . .	481
10.1.3	Ein sensorisches Neuron hat ein rezeptives Feld . . . . .	481
10.1.4	Das Zentralnervensystem integriert sensorische Information . . . . .	482
10.1.5	Codierung und Verarbeitung unterscheiden Reizmodalität, Reizort, Reizstärke und Reizdauer . . . . .	484
10.2	Die somatischen Sinne . . . . .	489
10.2.1	Bahnen für somatische Perzeption projizieren in den somatosensorischen Cortex und ins Cerebellum . . . . .	489
10.2.2	Berührungsrezeptoren reagieren auf viele verschiedene Reize . . . . .	491
10.2.3	Temperaturrezeptoren sind freie Nervenendigungen . . . . .	492
10.2.4	Nocizeptoren setzen Schutzreaktionen in Gang . . . . .	492
10.2.5	Schmerzen und Jucken werden von Nocizeptoren vermittelt . . . . .	493
10.3	Chemorezeption: Geruch und Geschmack . . . . .	496
10.3.1	Der Geruchssinn ist einer der ältesten Sinne . . . . .	497
10.3.2	Geschmack ist eine Kombination aus fünf Grundgeschmacksempfindungen . . . . .	499
10.4	Das Ohr: Hören . . . . .	502
10.4.1	Hören ist unsere Wahrnehmung von Schall . . . . .	503
10.4.2	Die Transduktion von Schall ist ein mehrstufiger Prozess . . . . .	505
10.4.3	Die Cochlea ist mit Flüssigkeit gefüllt . . . . .	506
10.4.4	Schall wird zuerst in der Cochlea verarbeitet . . . . .	508
10.4.5	Hörbahnen projizieren in den auditorischen Cortex . . . . .	509
10.4.6	Hörverlust kann eine Folge mechanischer oder neuronaler Schädigung sein . . . . .	510
10.5	Das Ohr: Gleichgewicht . . . . .	511
10.5.1	Der Vestibularapparat ist mit Endolymphe gefüllt . . . . .	511
10.5.2	Der Vestibularapparat liefert Information über Bewegung und Position im Raum . . . . .	513
10.5.3	Die Bogengänge nehmen Winkelbeschleunigung wahr . . . . .	513
10.5.4	Die Statolithenorgane nehmen Linearbeschleunigung und Kopfhaltung wahr . . . . .	513
10.5.5	Gleichgewichtsbahnen projizieren hauptsächlich ins Cerebellum . . . . .	513
10.6	Auge und Sehen . . . . .	514
10.6.1	Das Auge wird vom Schädel geschützt . . . . .	515
10.6.2	Licht tritt durch die Pupille ins Auge ein . . . . .	517

10.6.3	Die Linse fokussiert Licht auf der Retina . . . . .	518
10.6.4	Die Phototransduktion findet in der Retina statt . . . . .	521
10.6.5	Photorezeptoren wandeln Licht in elektrische Signale um . . . . .	524
10.6.6	Die Signalverarbeitung beginnt in der Retina . . . . .	526
	Übungsaufgaben . . . . .	534
	Lösungen . . . . .	537
<b>Kapitel 11</b>	<b>Efferenter Teil: Autonome und somatomotorische Kontrolle</b>	<b>539</b>
11.1	Autonomer Teil . . . . .	540
11.1.1	Autonome Reflexe sind wichtig für die Homöostase . . . . .	541
11.1.2	Die antagonistische Kontrolle ist typisch für das autonome System . . . . .	542
11.1.3	Autonome Leitungsbahnen bestehen aus zwei in Reihe geschalteten efferenten Neuronen . . . . .	543
11.1.4	Sympathische und parasympathische Nerven treten in unterschiedlichen Rückenmarksabschnitten aus . . . . .	543
11.1.5	Das autonome Nervensystem bedient sich verschiedenster Neurotransmitter und Modulatoren . . . . .	545
11.1.6	Autonome Leitungsbahnen kontrollieren glatte Muskulatur, Herzmuskulatur, Drüsen, lymphatisches und Fettgewebe . . . . .	546
11.1.7	Neurotransmitter des autonomen Systems werden im Axon synthetisiert . . . . .	547
11.1.8	Die meisten sympathischen Leitungsbahnen setzen Noradrenalin an adrenergen Rezeptoren frei . . . . .	548
11.1.9	Das Nebennierenmark bildet Katecholamine . . . . .	549
11.1.10	Parasympathische Leitungsbahnen setzen Acetylcholin an muscarinergen Rezeptoren frei . . . . .	551
11.1.11	Autonome Agonisten und Antagonisten sind wichtige Werkzeuge der medizinischen Forschung und Praxis . . . . .	551
11.1.12	Primärerkrankungen des autonomen Nervensystems sind eher selten . . . . .	552
11.1.13	Sympathikus und Parasympathikus: Zusammenfassung . . . . .	552
11.2	Somatomotorischer Teil . . . . .	554
11.2.1	Eine somatomotorische Leitungsbahn besteht aus einem einzigen Neuron . . . . .	554
11.2.2	Die neuromuskuläre Endplatte enthält nicotinische Rezeptoren . . . . .	556
	Übungsaufgaben . . . . .	560
	Lösungen . . . . .	562
<b>Kapitel 12</b>	<b>Muskulatur</b>	<b>565</b>
12.1	Skelettmuskulatur . . . . .	567
12.1.1	Skelettmuskeln bestehen aus Muskelfasern . . . . .	567
12.1.2	Myofibrillen sind die kontraktile Elemente einer Muskelfaser . . . . .	570
12.1.3	Muskelkontraktion erzeugt Kraft . . . . .	572
12.1.4	Muskeln verkürzen sich bei der Kontraktion . . . . .	573
12.1.5	Troponin und Tropomyosin regulieren die Kontraktion . . . . .	576
12.1.6	Acetylcholin initiiert die elektromechanische Kopplung . . . . .	578
12.1.7	Die Kontraktion der Skelettmuskeln erfordert ständigen Nachschub an ATP . . . . .	581

12.1.8	Die Ermüdung von Muskeln kann verschiedene Ursachen haben. . . . .	582
12.1.9	Skelettmuskelfasern werden nach ihrer Kontraktionsgeschwindigkeit und Ermüdbarkeit eingeteilt . . . . .	584
12.1.10	Die von einer Muskelfaser entwickelte Spannung ist eine Funktion der Faserlänge. . . . .	585
12.1.11	Durch die Summation von Muskelzuckungen wird die Kontraktionskraft gesteigert. . . . .	586
12.1.12	Eine motorische Einheit umfasst ein somatomotorisches Neuron und die von ihm innervierten Muskelfasern . . . . .	588
12.1.13	Die Kontraktion des Muskels richtet sich nach der Art und Zahl der motorischen Einheiten. . . . .	589
12.2	Mechanik der Bewegung . . . . .	590
12.2.1	Isotonische Kontraktionen bewegen Lasten, isometrische Kontraktionen erzeugen Kraft ohne Bewegung . . . . .	590
12.2.2	Knochen und Muskeln bilden mit Gelenken Hebel und Drehpunkte . . . . .	590
12.2.3	Muskelerkrankungen haben verschiedenste Ursachen . . . . .	594
12.3	Glatte Muskulatur . . . . .	595
12.3.1	Die Zellen der glatten Muskulatur sind viel kleiner als Skelettmuskelfasern . . . . .	597
12.3.2	Glatte Muskulatur verfügt über längere Actin- und Myosinfilamente. . . . .	598
12.3.3	Die kontraktile Elemente der glatten Muskulatur bilden keine Sarcomere. . . . .	598
12.3.4	Die Phosphorylierung von Proteinen spielt bei der Kontraktion glatter Muskulatur eine entscheidende Rolle. . . . .	599
12.3.5	Die Entspannung der glatten Muskulatur erfolgt in mehreren Schritten . . . . .	601
12.3.6	Der Calciumeinstrom gibt das Signal zur Kontraktion der glatten Muskulatur. . . . .	602
12.3.7	Die Dehnung des Muskels öffnet $Ca^{2+}$ -Kanäle . . . . .	603
12.3.8	Manche glatten Muskeln haben instabile Membranpotenziale . . . . .	603
12.3.9	Die Aktivität der glatten Muskulatur wird über chemische Signale reguliert. . . . .	604
12.4	Herzmuskulatur . . . . .	606
	Übungsaufgaben . . . . .	610
	Lösungen . . . . .	612

**Kapitel 13 Integrative Physiologie I: Kontrolle der Bewegung** 615

13.1	Neuronale Reflexe . . . . .	616
13.1.1	Neuronale Reflexbahnen werden nach unterschiedlichen Gesichtspunkten eingeteilt . . . . .	616
13.2	Autonome Reflexe . . . . .	617
13.3	Reflexe der Skelettmuskulatur . . . . .	619
13.3.1	Muskelspindeln reagieren auf die Dehnung des Muskels . . . . .	620
13.3.2	Golgi-Sehnenorgane reagieren auf die Spannung des Muskels . . . . .	623
13.3.3	Muskeldehnungsreflexe und reziproke Hemmung steuern die Gelenkbewegung. . . . .	625
13.3.4	Beugereflexe lassen Gliedmaßen von schmerzhaften Reizen zurückzucken . . . . .	626
13.4	Die integrative Kontrolle der Bewegung. . . . .	628

13.4.1	Man unterscheidet reflexhafte, willkürliche und rhythmische Bewegungen . . . . .	628
13.4.2	Die Integration der Bewegung im ZNS . . . . .	630
13.4.3	Symptome des Parkinson-Syndroms spiegeln die Funktion der Basalganglien wider. . . . .	634
13.5	Kontrolle der Bewegung der visceralen Muskulatur . . . . .	634
	Übungsaufgaben . . . . .	638
	Lösungen . . . . .	639
 <b>Kapitel 14 Kardiovaskuläre Physiologie</b>		<b>641</b>
14.1	Überblick über das kardiovaskuläre System. . . . .	643
14.1.1	Das kardiovaskuläre System transportiert viele verschiedene Stoffe durch den ganzen Körper. . . . .	643
14.1.2	Das kardiovaskuläre System besteht aus dem Herzen, den Blutgefäßen und dem Blut . . . . .	644
14.2	Druck, Volumen, Fluss und Widerstand. . . . .	647
14.2.1	Der Druck einer bewegten Flüssigkeit sinkt mit zunehmender Wegstrecke . . . . .	648
14.2.2	Flüssigkeiten sind inkompressibel (nicht komprimierbar) . . . . .	648
14.2.3	Blut strömt von Orten höheren Drucks zu Orten niedrigeren Drucks . . . . .	649
14.2.4	Dem Fluss steht ein Widerstand entgegen . . . . .	650
14.2.5	Strömungsgeschwindigkeit, Volumenstrom und Querschnittsfläche . . . . .	651
14.3	Der Herzmuskel und das Herz. . . . .	653
14.3.1	Das Herz besitzt vier Kammern . . . . .	654
14.3.2	Die Herzklappen gewährleisten den Einbahn-Blutfluss im Herzen. . . . .	655
14.3.3	Einige Herzmuskelzellen kontrahieren ohne neurale Stimulation . . . . .	658
14.3.4	Die elektromechanische Kopplung im Herzmuskel . . . . .	661
14.3.5	Die Kontraktionskraft der einzelnen Herzmuskelzelle ist variabel . . . . .	663
14.3.6	Eine Dehnung des Herzmuskels führt zu einer stärkeren Kontraktion . . . . .	663
14.3.7	Aktionspotenziale in Herzmuskelzellen variieren mit dem Zelltyp . . . . .	663
14.3.8	Neurotransmitter des vegetativen Nervensystems modulieren die Herzfrequenz . . . . .	667
14.4	Das Herz als Pumpe . . . . .	668
14.4.1	Koordination der Herzmuskelkontraktion . . . . .	669
14.4.2	Schrittmacherzellen bestimmen die Herzfrequenz. . . . .	672
14.4.3	Das Elektrokardiogramm spiegelt die elektrische Aktivität des Herzens wider . . . . .	674
14.4.4	Das Herz kontrahiert und relaxiert einmal während eines Herzzyklus. . . . .	679
14.4.5	Druck-Volumen-Diagramme zur Beschreibung des Herzzyklus. . . . .	682
14.4.6	Das Herzschlagvolumen . . . . .	684
14.4.7	Das Herzzeitvolumen ist ein Maß für die Herzleistung . . . . .	684
14.4.8	Regulierung der Herzfrequenz durch vegetative Neuronen . . . . .	686
14.4.9	Das Schlagvolumen wird durch mehrere Faktoren beeinflusst . . . . .	687
14.4.10	Regulierung der Kontraktilität durch Neuronen und das endokrine System. . . . .	689
14.4.11	Das EDV und der arterielle Blutdruck bestimmen die Nachlast . . . . .	691
	Übungsaufgaben . . . . .	699
	Lösungen . . . . .	702

<b>Kapitel 15</b>	<b>Blutfluss und Kontrolle des Blutdrucks</b>	<b>707</b>
15.1	Die Blutgefäße	709
15.1.1	Vaskuläre glatte Muskulatur	709
15.1.2	In Arterien und Arteriolen fließt das Blut vom Herzen zu den Geweben	710
15.1.3	Austauschvorgänge zwischen dem Blut und der interstitiellen Flüssigkeit finden in den Kapillaren statt	711
15.1.4	Das Blut aus den Kapillaren fließt in den Venolen und Venen zusammen	711
15.1.5	Durch Angiogenese entstehen neue Blutgefäße	712
15.2	Der Blutdruck	713
15.2.1	Der Blutdruck ist in den Arterien am höchsten und in den Venen am niedrigsten	713
15.2.2	Der arterielle Blutdruck spiegelt den Antriebsdruck für den Blutfluss wider	715
15.2.3	Bestimmung des Blutdrucks durch Sphygmomanometrie	716
15.2.4	Das Herzzeitvolumen und der periphere Gefäßwiderstand bestimmen den mittleren arteriellen Blutdruck	718
15.2.5	Veränderungen des Blutvolumens beeinflussen den Blutdruck	718
15.3	Strömungswiderstand in den Arteriolen	720
15.3.1	Der Blutfluss wird durch myogene Autoregulation automatisch angepasst	721
15.3.2	Parakrine beeinflussen die Kontraktion der vaskulären glatten Muskulatur	723
15.3.3	Das sympathische Nervensystem kontrolliert den größten Teil der vaskulären glatten Muskulatur	725
15.4	Verteilung des Blutes auf die Gewebe	726
15.5	Stoffaustausch in den Kapillaren	728
15.5.1	Die Strömungsgeschwindigkeit des Blutes ist in den Kapillaren am kleinsten	729
15.5.2	Der Stoffaustausch in den Kapillaren erfolgt überwiegend durch Diffusion und Transcytose	730
15.5.3	Filtration und Reabsorption in Kapillaren	731
15.6	Das lymphatische Gefäßsystem	734
15.6.1	Ödeme sind die Folge von Veränderungen des kapillären Stoffaustauschs	735
15.7	Regulation des Blutdrucks	737
15.7.1	Der Barorezeptorreflex	737
15.7.2	Orthostatischer Hypertonus und der Barorezeptorreflex	740
15.8	Kardiovaskuläre Erkrankungen	741
15.8.1	Rauchen, Fettleibigkeit und vererbare Faktoren erhöhen das Risiko für kardiovaskuläre Erkrankungen	742
15.8.2	Arteriosklerose ist ein entzündlicher Prozess	743
15.8.3	Eine Hypertonie repräsentiert eine Störung der Homöostase	746
	Übungsaufgaben	752
	Lösungen	756
<b>Kapitel 16</b>	<b>Das Blut</b>	<b>759</b>
16.1	Das Plasma und die zellulären Bestandteile des Blutes	761
16.1.1	Das Blutplasma besteht aus Wasser, gelösten Proteinen, Ionen, organischen Molekülen und Gasen	761

16.1.2	Die zellulären Bestandteile des Blutes – Erythrocyten, Leukocyten und Thrombocyten . . . . .	761
16.2	Blutzellbildung (Hämatopoese) . . . . .	763
16.2.1	Die Hämatopoese erfolgt im Knochenmark. . . . .	765
16.2.2	Kontrolle der Hämatopoese durch koloniestimulierende Faktoren, Interleukine und andere Cytokine. . . . .	765
16.2.3	Koloniestimulierende Faktoren regulieren die Leukopoese . . . . .	766
16.2.4	Kontrolle der Thrombopoese durch Thrombopoetin . . . . .	767
16.2.5	Kontrolle der Erythropoese durch Erythropoetin . . . . .	768
16.3	Erythrocyten – rote Blutkörperchen . . . . .	768
16.3.1	Reife Erythrocyten besitzen keinen Zellkern . . . . .	769
16.3.2	Für die Hämoglobinsynthese ist Eisen erforderlich . . . . .	771
16.3.3	Die Lebensdauer von Erythrocyten beträgt etwa vier Monate . . . . .	772
16.3.4	Erkrankungen der Erythrocyten verursachen eine Senkung der Sauerstofftransportkapazität . . . . .	773
16.4	Thrombocyten und Blutgerinnung . . . . .	775
16.4.1	Thrombocyten sind kleine Zellfragmente . . . . .	776
16.4.2	Die Hämostase verhindert den Blutverlust aus beschädigten Gefäßen . . . . .	777
16.4.3	Aktivierung von Thrombocyten und primäre Hämostase . . . . .	779
16.4.4	Stabilisierung des weißen Thrombus durch die Blutgerinnung . . . . .	780
16.4.5	Antikoagulanzen begrenzen das Ausmaß der Blutgerinnung . . . . .	782
	Übungsaufgaben . . . . .	789
	Lösungen . . . . .	791

**Kapitel 17 Atemmechanik** 793

17.1	Das respiratorische System . . . . .	795
17.1.1	Die Knochen und Muskeln des Thorax umgeben die Lungen . . . . .	796
17.1.2	Die Pleurahöhlen umschließen die Lungen . . . . .	796
17.1.3	Die Atemwege verbinden die Lungen mit der äußeren Umgebung . . . . .	797
17.1.4	In den Alveolen erfolgt der Gasaustausch. . . . .	800
17.1.5	Im Lungenkreislauf herrschen ein großer Fluss und ein kleiner Druck . . . . .	801
17.2	Gasgesetze . . . . .	802
17.2.1	Luft ist eine Mischung aus verschiedenen Gasen. . . . .	802
17.2.2	Gase strömen in Richtung von Druckgradienten . . . . .	804
17.2.3	Das Boyle'sche Gesetz beschreibt die Druck-Volumen-Beziehung in Gasen. . . . .	804
17.3	Ventilation . . . . .	805
17.3.1	Während der Ventilation ändert sich das Lungenvolumen . . . . .	805
17.3.2	Die inspirierte Luft wird in den Atemwegen erwärmt, angefeuchtet und gefiltert . . . . .	807
17.3.3	Die Luftströmungen bei der Ventilation werden durch Druckgradienten hervorgerufen . . . . .	808
17.3.4	Die Inspiration erfolgt, wenn der Alveolardruck sinkt. . . . .	809
17.3.5	Die Expiration erfolgt, wenn der Alveolardruck über den Atmosphärendruck steigt . . . . .	811
17.3.6	Der Intrapleuraldruck verändert sich während der Ventilation. . . . .	813



17.3.7	Compliance und Elastance der Lungen können durch Krankheiten verändert werden . . . . .	815
17.3.8	Der Surfactant-Faktor erleichtert die Atmung . . . . .	816
17.3.9	Der Strömungswiderstand der Atemwege wird hauptsächlich durch ihren Durchmesser bestimmt . . . . .	818
17.3.10	Atemfrequenz und Atemzugvolumen bestimmen die Effektivität der Atmung. . . . .	820
17.3.11	Die Gaszusammensetzung in den Alveolen während der Ruheatmung . . . . .	822
17.3.12	Alveoläre Ventilation und alveolärer Blutvolumenstrom werden aufeinander abgestimmt . . . . .	823
17.3.13	Die Lungenfunktion wird durch Auskultation und Spirometrie bewertet. . . . .	825
	Übungsaufgaben . . . . .	831
	Lösungen . . . . .	834

## **Kapitel 18 Austausch und Transport von Gasen** 837

18.1	Diffusion und Löslichkeit von Gasen . . . . .	838
18.1.1	Die Lösung von Gasen in Flüssigkeiten hängt vom Druck, der Löslichkeit und der Temperatur ab. . . . .	839
18.2	Gasaustausch in den Lungen und in den Geweben . . . . .	841
18.2.1	Eine Abnahme des alveolaren $pO_2$ führt zu einer geringeren Sauerstoffaufnahme in den Lungen. . . . .	843
18.2.2	Veränderungen des Alveolarepithels beeinflussen den Gasaustausch . . . . .	844
18.3	Gastransport im Blut . . . . .	846
18.3.1	Der meiste Sauerstoff wird von Hämoglobin zu den Geweben transportiert . . . . .	846
18.3.2	Ein Hämoglobinmolekül bindet bis zu vier Sauerstoffmoleküle . . . . .	848
18.3.3	Die Bindung von Sauerstoff an Hämoglobin folgt dem Massenwirkungsgesetz . . . . .	849
18.3.4	Der $pO_2$ bestimmt die an Hämoglobin gebundene Sauerstoffmenge. . . . .	850
18.3.5	Sauerstoffsättigung des Hämoglobins . . . . .	851
18.3.6	Beeinflussung der Sauerstoff-Hämoglobin-Bindung durch verschiedene Faktoren . . . . .	853
18.3.7	Kohlendioxid wird auf drei Arten im Blut transportiert . . . . .	855
18.4	Regulation der Atmung . . . . .	859
18.4.1	Neuronen in der Medulla regulieren die Atmung . . . . .	861
18.4.2	Kohlendioxid, Sauerstoff und der pH-Wert beeinflussen die Ventilation. . . . .	862
18.4.3	Schutzreflexe bewahren die Lungen vor Schäden . . . . .	866
18.4.4	Höhere Hirnzentren beeinflussen die Atmung . . . . .	866
	Übungsaufgaben . . . . .	870
	Lösungen . . . . .	873

## **Kapitel 19 Die Nieren** 875

19.1	Funktionen der Nieren . . . . .	876
19.2	Anatomie des Harnsystems . . . . .	878
19.2.1	Das Harnsystem besteht aus den Nieren, den Harnleitern, der Harnblase und der Harnröhre . . . . .	878
19.2.2	Das Nephron ist die funktionelle Einheit der Nieren. . . . .	879

19.3	Überblick über die Funktionen der Nieren. . . . .	883
19.3.1	Die drei Prozesse im Nephron sind die Filtration, die Resorption und die Sekretion. . . . .	883
19.3.2	Das Volumen und die Osmolarität des Filtrats ändern sich auf dem Weg durchs Nephron. . . . .	884
19.4	Renale Filtration . . . . .	885
19.4.1	Das Nierenkörperchen weist drei Filtrationsbarrieren auf. . . . .	885
19.4.2	Die Filtration wird durch den hydrostatischen Druck in den Kapillaren angetrieben. . . . .	887
19.4.3	Der Blutdruck und der renale Blutfluss beeinflussen die GFR. . . . .	889
19.4.4	Die GFR unterliegt einer Autoregulation . . . . .	890
19.4.5	Auch Hormone und autonome Neuronen beeinflussen die GFR. . . . .	892
19.5	Renale Resorption . . . . .	893
19.5.1	Die Resorption kann passiv oder aktiv sein . . . . .	893
19.5.2	Die Rolle der Sättigung der renalen Transportsysteme für die Nierenfunktion. . . . .	897
19.5.3	Der peritubuläre Kapillardruck begünstigt die Resorption . . . . .	900
19.6	Renale Sekretion . . . . .	900
19.6.1	Verringerung der Penicillinsekretion durch Bindungskonkurrenz . . . . .	901
19.7	Renale Exkretion . . . . .	902
19.7.1	Die Clearance als nichtinvasive Methode zur Messung der GFR. . . . .	902
19.7.2	Clearance und GFR dienen zur Bestimmung des renalen Schicksals einer Substanz . . . . .	905
19.8	Miktion. . . . .	907
	Übungsaufgaben . . . . .	913
	Lösungen . . . . .	915

**Kapitel 20 Integrative Physiologie II:  
Flüssigkeits- und Elektrolythaushalt** 917

20.1	Flüssigkeits- und Elektrolythomöostase. . . . .	918
20.1.1	Die Osmolarität der EZF beeinflusst das Zellvolumen. . . . .	919
20.1.2	Ein ausgeglichener Flüssigkeits- und Elektrolythaushalt erfordert die Integration vieler Systeme . . . . .	919
20.2	Wasserhaushalt . . . . .	920
20.2.1	Die tägliche Aufnahme und Ausscheidung von Wasser gleichen sich gegenseitig aus. . . . .	921
20.2.2	Die Nieren sparen Wasser . . . . .	922
20.2.3	Die Urinkonzentration wird in den Henle-Schleifen und den Sammelrohren eingestellt . . . . .	923
20.2.4	Die Kontrolle der Wasserresorption durch ADH (Vasopressin). . . . .	924
20.2.5	Auslösung von Reflexen zur Regulierung des Wasserhaushalts . . . . .	927
20.2.6	Die Henle-Schleife ist ein Gegenstrom-Multiplikator. . . . .	929
20.3	Natriumhaushalt und das EZF-Volumen . . . . .	933
20.3.1	Aldosteron kontrolliert den Natriumhaushalt . . . . .	934
20.3.2	Der Blutdruck als Hauptreiz zur Sekretion von Aldosteron . . . . .	936
20.3.3	Angiotensin II beeinflusst den Blutdruck auf mehreren Wegen. . . . .	938

20.3.4	Das atriale natriuretische Peptid fördert die Exkretion von Na <sup>+</sup> -Ionen und Wasser . . . . .	939
20.4	Kaliumhaushalt . . . . .	939
20.5	Verhaltensmechanismen zur Regulation des Elektrolyt- und Wasserhaushalts . . . . .	941
20.5.1	Trinken ersetzt einen Flüssigkeitsverlust . . . . .	942
20.5.2	Ein niedriger Na <sup>+</sup> -Spiegel stimuliert den Appetit auf Salz . . . . .	942
20.5.3	Vermeidungsverhalten zur Verhinderung einer Dehydratation . . . . .	943
20.6	Integrative Kontrolle des Volumens und der Osmolarität . . . . .	943
20.6.1	Osmolarität und Volumen können sich unabhängig voneinander ändern . . . . .	943
20.6.2	Eine Dehydratation löst renale und kardiovaskuläre Antworten aus . . . . .	945
20.7	Säure-Base-Haushalt . . . . .	949
20.7.1	Enzyme und das Nervensystem sind besonders empfindlich gegenüber pH-Änderungen . . . . .	950
20.7.2	Säuren und Basen im Körper stammen aus verschiedenen Quellen . . . . .	950
20.7.3	Die pH-Homöostase ist auf Puffersysteme, die Lungen und die Nieren angewiesen . . . . .	952
20.7.4	An Puffersystemen sind Proteine, Phosphat und Hydrogencarbonat beteiligt . . . . .	952
20.7.5	Die Ventilation kann Störungen der pH-Homöostase kompensieren. . . . .	954
20.7.6	Die Nieren verwenden Ammoniak- und Phosphatpuffer . . . . .	955
20.7.7	Im proximalen Tubulus werden H <sup>+</sup> -Ionen sezerniert und HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -Ionen resorbiert . . . . .	956
20.7.8	Das distale Nephron kontrolliert die Exkretion von Säure . . . . .	958
20.7.9	Störungen der pH-Homöostase können respiratorischen oder nichtrespiratorischen Ursprungs sein. . . . .	959
	Übungsaufgaben . . . . .	968
	Lösungen . . . . .	971
<b>Kapitel 21 Das Verdauungssystem</b>		<b>973</b>
21.1	Funktionen und Prozesse des Verdauungssystems . . . . .	975
21.2	Anatomie des Verdauungssystems . . . . .	976
21.2.1	Das Verdauungssystem besteht aus Mundhöhle, Gastrointestinaltrakt und akzessorischen Drüsen . . . . .	976
21.2.2	Die Wand des Gastrointestinaltrakts besteht aus vier Schichten . . . . .	977
21.3	Motilität . . . . .	981
21.3.1	Die glatte Muskulatur des Gastrointestinaltrakts kontrahiert sich spontan. . . . .	981
21.3.2	Die glatte Muskulatur des Gastrointestinaltrakts weist unterschiedliche Kontraktionsmuster auf. . . . .	982
21.4	Sekretion . . . . .	983
21.4.1	Das Verdauungssystem sezerniert Ionen und Wasser . . . . .	984
21.4.2	Verdauungsenzyme werden in den Mund, in den Magen und in den Darm sezerniert . . . . .	986
21.4.3	Spezialisierte Zellen sezernieren Schleim . . . . .	987
21.4.4	Speichel wird exokrin sezerniert. . . . .	987
21.4.5	Die Leber sezerniert Galle . . . . .	988
21.5	Regulation der Funktion des Verdauungstrakts . . . . .	988

21.5.1	Das enterische Nervensystem kann unabhängig auf das zentrale Nervensystem wirken . . . . .	991
21.5.2	Zu den Peptiden des Magen-Darm-Trakts gehören auch Hormone, Neuropeptide und Cytokine . . . . .	992
21.6	Verdauung und Absorption . . . . .	993
21.6.1	Kohlenhydrate werden als Monosaccharide absorbiert . . . . .	995
21.6.2	Proteine werden in kleine Peptide und Aminosäuren zerlegt . . . . .	997
21.6.3	Einige größere Peptide können im Ganzen absorbiert werden . . . . .	998
21.6.4	Gallensalze erleichtern die Fettverdauung . . . . .	998
21.6.5	Nucleinsäuren werden in Stickstoffbasen und Monosaccharide aufgespalten. . . . .	1000
21.6.6	Der Darm absorbiert Vitamine und Mineralien. . . . .	1000
21.6.7	Der Darm absorbiert Ionen und Wasser. . . . .	1001
21.7	Die Cephalische Phase. . . . .	1002
21.7.1	Die chemische und mechanische Verdauung beginnt im Mund . . . . .	1003
21.7.2	Durch die Schluckbewegung wird die Nahrung vom Mund in den Magen transportiert . . . . .	1004
21.8	Die gastrische Phase. . . . .	1005
21.8.1	Der Magen speichert Nahrung . . . . .	1005
21.8.2	Der Magen sezerniert Säure, Enzyme und Signalmoleküle . . . . .	1005
21.8.3	Der Magen hält eine Balance zwischen Verdauung und Schutz . . . . .	1007
21.9	Die intestinale Phase . . . . .	1008
21.9.1	Bicarbonat im Dünndarm neutralisieren die Magensäure . . . . .	1010
21.9.2	Die meiste Flüssigkeit wird im Dünndarm absorbiert . . . . .	1010
21.9.3	Der größte Teil der Verdauung findet im Dünndarm statt . . . . .	1011
21.9.4	Der Dickdarm konzentriert den Stuhl für die Ausscheidung. . . . .	1011
21.9.5	Durchfall kann zur Dehydratation führen. . . . .	1013
21.10	Immunologische Funktionen des Gastrointestinaltrakts . . . . .	1014
21.10.1	M-Zellen nehmen Stichproben des Darminhalts . . . . .	1014
21.10.2	Erbrechen ist ein Schutzreflex. . . . .	1014
	Übungsaufgaben . . . . .	1019
	Lösungen . . . . .	1022

**Kapitel 22 Stoffwechsel und Energiehaushalt** 1023

22.1	Energiebilanz . . . . .	1026
22.1.1	Die Energieaufnahme entspricht der Energieabgabe . . . . .	1026
22.1.2	Der Energieverbrauch eines Menschen spiegelt sich im Sauerstoffverbrauch . . . . .	1027
22.1.3	Energie wird in Form von Fett und Glycogen gespeichert. . . . .	1029
22.2	Stoffwechsel. . . . .	1030
22.2.1	Die Energie aus den Nährstoffen kann entweder sofort verbraucht oder gespeichert werden . . . . .	1031
22.2.2	Hormone kontrollieren Stoffwechselprozesse, indem sie die Enzymaktivität verändern . . . . .	1033
22.2.3	Anabole Stoffwechselprozesse dominieren in der absorptiven Phase . . . . .	1034

22.2.4	Cholesterinspiegel im Blut als Risikofaktor für die koronare Herzkrankheit . . . . .	1036
22.2.5	In der postabsorptiven Phase dominiert der katabole Stoffwechsel . . . . .	1037
22.3	Die homöostatische Kontrolle des Stoffwechsels . . . . .	1039
22.3.1	Der Pankreas sezerniert Insulin und Glucagon . . . . .	1039
22.3.2	Das Verhältnis von Insulin zu Glucagon reguliert den Stoffwechsel . . . . .	1039
22.3.3	Insulin ist das dominante Hormon der absorptiven Phase . . . . .	1041
22.3.4	Insulin fördert den Anabolismus . . . . .	1042
22.3.5	Glucagon dominiert in der postabsorptiven Phase . . . . .	1045
22.3.6	Diabetes mellitus – eine Familie von Stoffwechselkrankheiten . . . . .	1047
22.3.7	Typ-1-Diabetiker neigen zu einer Ketoacidose . . . . .	1048
22.3.8	Typ-2-Diabetiker haben oft erhöhte Insulinspiegel . . . . .	1050
22.3.9	Zum metabolischen Syndrom zählen sowohl Diabetes als auch kardiovaskuläre Erkrankungen . . . . .	1052
22.4	Regulation der Körpertemperatur . . . . .	1053
22.4.1	Die Körpertemperatur ist ein Gleichgewicht zwischen Wärmeproduktion, Wärmeaufnahme und Wärmeabgabe . . . . .	1053
22.4.2	Die Körpertemperatur wird homöostatisch reguliert . . . . .	1055
22.4.3	Der Körper produziert Wärme durch Bewegung und Stoffwechsel . . . . .	1058
22.4.4	Der Thermostat des Körpers kann neu eingestellt werden . . . . .	1059
	Übungsaufgaben . . . . .	1064
	Lösungen . . . . .	1065

**Kapitel 23 Die hormonelle Kontrolle von Stoffwechsel und Wachstum** 1069

23.1	Überblick über die Prinzipien der Hormonregulation . . . . .	1070
23.2	Glucocorticoide der Nebennieren . . . . .	1071
23.2.1	Die Nebennierenrinde sezerniert Steroidhormone . . . . .	1071
23.2.2	Adrenocorticotropes Hormon (ACTH) kontrolliert die Ausschüttung von Cortisol . . . . .	1073
23.2.3	Cortisol ist lebenswichtig . . . . .	1074
23.2.4	Cortisol ist ein nützliches Medikament . . . . .	1075
23.2.5	Ein zu hoher oder ein zu niedriger Cortisolspiegel verursacht Krankheiten . . . . .	1075
23.2.6	CRH und ACTH haben zusätzliche physiologische Funktionen . . . . .	1077
23.3	Schilddrüsenhormone . . . . .	1078
23.3.1	Die Schilddrüsenhormone enthalten Iod . . . . .	1078
23.3.2	Schilddrüsenhormone beeinflussen die Lebensqualität . . . . .	1080
23.3.3	TSH kontrolliert die Schilddrüse . . . . .	1082
23.4	Wachstumshormon/Somatotropin . . . . .	1085
23.4.1	Das Somatotropin wirkt anabolisch . . . . .	1085
23.4.2	Somatotropin ist wichtig für das normale Wachstum von Kindern . . . . .	1086
23.4.3	Das gentechnisch hergestellte menschliche Somatotropin wirft ethische Fragen auf . . . . .	1087
23.5	Gewebe- und Knochenwachstum . . . . .	1088
23.5.1	Das Gewebewachstum erfordert Hormone und parakrine Signale . . . . .	1088

23.5.2	Das Knochenwachstum erfordert angemessene Calciummengen in der Nahrung . . . . .	1088
23.6	Calciumhaushalt . . . . .	1090
23.6.1	Die Calciumkonzentration im Blut wird innerhalb eines engen Bereichs reguliert . . . . .	1091
23.6.2	Drei Hormone kontrollieren das Calciumgleichgewicht . . . . .	1092
23.6.3	Die Homöostase von Calcium und Phosphat sind miteinander verknüpft. . .	1096
23.6.4	Osteoporose ist eine Krankheit, bei der Knochen abgebaut wird . . . . .	1097
	Übungsaufgaben . . . . .	1100
	Lösungen . . . . .	1102

**Kapitel 24 Das Immunsystem** 1105

24.1	Ein Überblick über die Funktionen des Immunsystems . . . . .	1106
24.2	Krankheitserreger des Menschen . . . . .	1107
24.2.1	Der Körper braucht unterschiedliche Abwehrmechanismen gegen Bakterien und Viren . . . . .	1107
24.2.2	Viren können sich nur in einer Wirtszelle replizieren . . . . .	1108
24.3	Die Immunantwort . . . . .	1109
24.4	Anatomie des Immunsystems . . . . .	1110
24.4.1	Das Lymphgewebe ist über den gesamten Körper verteilt . . . . .	1110
24.4.2	Leukocyten sind die wichtigsten Zellen des Immunsystems . . . . .	1111
24.5	Angeborene Immunität: Unspezifische Immunantwort . . . . .	1115
24.5.1	Physikalische und chemische Barrieren sind die ersten Verteidigungslinien des Körpers . . . . .	1115
24.5.2	Phagocyten erkennen und verschlingen fremdes Material . . . . .	1116
24.5.3	Natürliche Killerzellen eliminieren virusinfizierte Zellen und Tumorzellen . . . . .	1117
24.5.4	Chemische Mediatoren sorgen für die Entzündungsreaktion . . . . .	1117
24.6	Erworbene Immunität: Antigen-spezifische Reaktionen . . . . .	1120
24.6.1	Lymphocyten sind die wichtigsten Zellen, die an der erworbenen Immunantwort beteiligt sind . . . . .	1121
24.6.2	Die B-Lymphocyten differenzieren in Plasmazellen und Gedächtniszellen . .	1122
24.6.3	Antikörper sind Proteine, die von Plasmazellen ausgeschüttet werden . . .	1122
24.6.4	Die Bindung eines Antigens an die Antikörper einer B-Zelle aktiviert die Zelle . . . . .	1125
24.6.5	T-Lymphocyten müssen mit ihren Zielzellen in direkten Kontakt treten . .	1125
24.6.6	Der Haupthistokompatibilitätskomplex baut Antigenfragmente ein . . . . .	1125
24.7	Kontrollwege der Immunantwort . . . . .	1128
24.7.1	Entzündung ist eine typische Reaktion auf eine Infektion mit Bakterien . .	1128
24.7.2	Intrazelluläre Abwehrmechanismen sind beim Kampf gegen eine virale Infektion notwendig . . . . .	1129
24.7.3	Allergische Reaktionen sind entzündliche Reaktionen, die durch spezifische Antigene ausgelöst werden . . . . .	1131
24.7.4	MHC-Proteine können fremdes Gewebe erkennen . . . . .	1133
24.7.5	Die Erkennung des „Selbst“ ist eine wichtige Funktion des Immunsystems . .	1135

24.7.6	Durch die Überwachung durch das Immunsystem kann der Körper abnorme Zellen entfernen . . . . .	1136
24.8	Interaktionen zwischen Nervensystem, Hormonsystem und Immunsystem . . . . .	1136
24.8.1	Stress verändert die Funktion des Immunsystems . . . . .	1138
24.8.2	Therapien der modernen Medizin berücksichtigen die Interaktionen zwischen Geist und Körper . . . . .	1139
	Übungsaufgaben . . . . .	1144
	Lösungen . . . . .	1145

## **Kapitel 25 Integrative Physiologie III: Bewegung** 1147

25.1	Stoffwechsel und Bewegung . . . . .	1148
25.1.1	Hormone regulieren den Stoffwechsel während der Bewegung . . . . .	1150
25.1.2	Der Sauerstoffverbrauch steht im Zusammenhang mit der Bewegungsintensität . . . . .	1151
25.1.3	Mehrere Faktoren limitieren die Leistungsfähigkeit . . . . .	1151
25.2	Reaktionen der Ventilation auf Bewegung . . . . .	1152
25.3	Reaktionen des Herz-Kreislauf-Systems auf Bewegung . . . . .	1153
25.3.1	Das Herzzeitvolumen steigt während Bewegung leicht an . . . . .	1154
25.3.2	Bei körperlicher Bewegung leitet die periphere Durchblutung das Blut in den Muskel um . . . . .	1154
25.3.3	Der Blutdruck steigt während Bewegung leicht an . . . . .	1155
25.3.4	Der Barorezeptorreflex stellt sich auf Bewegung ein . . . . .	1156
25.4	Feedforward-Reaktionen auf Bewegung . . . . .	1156
25.5	Temperaturregulation bei körperlicher Aktivität . . . . .	1157
25.6	Bewegung und Gesundheit . . . . .	1158
25.6.1	Bewegung vermindert das Risiko für Herz-Kreislauf-Erkrankungen . . . . .	1158
25.6.2	Diabetes mellitus Typ 2 kann durch Bewegung gelindert werden . . . . .	1159
25.6.3	Stress und Immunsystem können durch Bewegung beeinflusst werden . . . . .	1159
	Übungsaufgaben . . . . .	1163
	Lösungen . . . . .	1164

## **Kapitel 26 Fortpflanzung und Entwicklung** 1167

26.1	Geschlechtsdetermination . . . . .	1169
26.1.1	Die Geschlechtschromosomen bestimmen das genetische Geschlecht . . . . .	1169
26.1.2	Die sexuelle Differenzierung findet im zweiten Entwicklungsmonat statt . . . . .	1170
26.2	Grundmuster der Fortpflanzung . . . . .	1174
26.2.1	Die Gametogenese beginnt in der Gebärmutter und setzt sich während der Pubertät fort . . . . .	1174
26.2.2	Das Gehirn steuert die Fortpflanzung . . . . .	1176
26.2.3	Fortpflanzung wird durch Umweltfaktoren beeinflusst . . . . .	1179
26.3	Die Fortpflanzungsorgane des Mannes . . . . .	1179
26.3.1	Hoden produzieren Spermien und Testosteron . . . . .	1181
26.3.2	Für die Spermatogenese sind Gonadotropine und Testosteron notwendig . . . . .	1184
26.3.3	Männliche akzessorische Drüsen fügen dem Samen Sekrete bei . . . . .	1185
26.3.4	Androgene beeinflussen sekundäre Geschlechtsmerkmale . . . . .	1186



26.4	Die Fortpflanzungsorgane der Frau . . . . .	1186
26.4.1	Zum weiblichen Fortpflanzungstrakt gehören Ovarien und Uterus . . . . .	1186
26.4.2	Das Ovar produziert Oozyten und Hormone . . . . .	1187
26.4.3	Ein Menstruationszyklus dauert ungefähr einen Monat lang. . . . .	1187
26.4.4	Die hormonelle Kontrolle des Menstruationszyklus ist komplex . . . . .	1191
26.4.5	Östrogene und Androgene beeinflussen die sekundären Geschlechtsmerkmale der Frauen . . . . .	1194
26.5	Zeugung . . . . .	1195
26.5.1	Die sexuelle Erregung des Menschen besteht aus vier Phasen. . . . .	1195
26.5.2	Zum Geschlechtsakt des Mannes gehören Erektion und Ejakulation . . . . .	1196
26.5.3	Eine sexuelle Dysfunktion kann sowohl Männer als auch Frauen betreffen . . .	1197
26.5.4	Kontrazeptiva sollen eine Schwangerschaft verhindern . . . . .	1197
26.5.5	Infertilität ist die Unfähigkeit, ein Kind zu empfangen . . . . .	1199
26.6	Schwangerschaft und Geburt . . . . .	1200
26.6.1	Zur Befruchtung ist die Kapazitation notwendig . . . . .	1200
26.6.2	Der Embryo nistet sich im Endometrium ein . . . . .	1202
26.6.3	Die Plazenta gibt während der Schwangerschaft Hormone ab. . . . .	1203
26.6.4	Die Schwangerschaft endet mit den Wehen und der Geburt . . . . .	1204
26.6.5	Die Brustdrüsen geben während der Stillperiode (Laktation) Milch ab . . . .	1206
26.6.6	Prolactin spielt noch andere physiologische Rollen . . . . .	1207
26.7	Wachstum und Altern . . . . .	1208
26.7.1	Die Pubertät ist ein Zeichen für den Beginn der fortpflanzungsfähigen Jahre. . . . .	1208
26.7.2	Menopause und Andropause sind eine Folge des Alterns. . . . .	1208
	Übungsaufgaben . . . . .	1213
	Lösungen . . . . .	1215
	<b>Anhang</b> . . . . .	<b>1217</b>
A	Lösungen . . . . .	1219
B	Glossar . . . . .	1285
C	Index. . . . .	1325
D	Abbildungsnachweis . . . . .	1357