

# Inhaltsverzeichnis

## I Grundlagen der Physiologie

<b>1 Tierphysiologie und ihre physikalischen Grundlagen</b> . . . . .	<b>3</b>
1.1 Tiere in ihrer Umwelt . . . . .	5
1.2 Genetische und physiologische Anpassung . . . . .	5
1.3 Leben als Systemleistung . . . . .	6
1.3.1 Organisation lebendiger Systeme . . . . .	6
1.3.2 Offene Systeme, Fließgleichgewicht . . . . .	7
1.3.3 Turnoverraten . . . . .	8
1.4 Thermodynamische Aspekte . . . . .	9
1.4.1 Energie, Arbeit, Leistung . . . . .	10
1.4.2 Energieerhaltungssatz, Energiebilanz . . . . .	11
1.4.3 Energiequellen und Energietransfer . . . . .	13
1.4.4 Entropiesatz . . . . .	14
1.4.5 Entropie und Leben . . . . .	16
1.4.6 Arbeitsfähigkeit biochemischer Reaktionen: freie Enthalpie . . . . .	16
1.4.7 Energietransfer: Phosphorylierungspotenzial . . . . .	19
1.4.8 Redoxsysteme, Redoxpotenzial . . . . .	20
1.5 Stoff- und Energietransfer an Membranen . . . . .	21
1.5.1 Aufbau der Zellmembran . . . . .	21
1.5.2 Freie Permeation, Diffusion . . . . .	26
1.5.3 Osmose . . . . .	28
1.5.4 Donnan-Verteilung . . . . .	29
1.5.5 Katalysierte (erleichterte) Diffusion . . . . .	29
1.5.6 Ionenkanäle . . . . .	31
1.5.7 Aktiver Transport . . . . .	39
1.5.8 Membranpotenzial . . . . .	43
1.5.9 Endo- und Exocytose . . . . .	49
1.5.10 Transepithelialer Transport . . . . .	51
1.6 Fragen zum Selbststudium . . . . .	52
Weiterführende Literatur . . . . .	52
<b>2 Chemische Ebene des Lebendigen</b> . . . . .	<b>55</b>
2.1 Stoffliche Aspekte . . . . .	56
2.1.1 Chemische Bindungen und molekulare Wechselwirkungen . . . . .	56
2.1.2 Wasser als biologisches Lösungsmittel . . . . .	59
2.1.3 Aufbau biologisch relevanter Moleküle . . . . .	62
2.2 Biokatalyse . . . . .	76
2.2.1 Geschwindigkeit chemischer Reaktionen und Aktivierungsenergie . . . . .	76
2.2.2 Enzyme . . . . .	77
2.2.3 Wirkungsmechanismus, Kinetik . . . . .	79
2.2.4 Katalytische Aktivität und ihre Regulation . . . . .	81
2.3 Metabolismus . . . . .	85
2.3.1 Allgemeines . . . . .	85
2.3.2 Energiegewinnung . . . . .	88
2.3.3 Energietransfer, Adenosintriphosphat . . . . .	90
2.3.4 Glykolyse . . . . .	91
2.3.5 Citratzyklus . . . . .	93
2.3.6 Fettsäurestoffwechsel . . . . .	94
2.3.7 Oxidative Phosphorylierung, Atmungskette . . . . .	96
2.3.8 Anaerobiose (Anoxybiose) . . . . .	99
2.4 Fragen zum Selbststudium . . . . .	105
Weiterführende Literatur . . . . .	105

## II Stoffaufnahme und -verteilung

<b>3 Versorgung mit Energie- und Funktionsträgern (Ernährung) . . . . .</b>	<b>109</b>
3.1 Essenzielle Nahrungsbestandteile . . . . .	110
3.1.1 Mineralien und Spurenelemente . . . . .	111
3.1.2 Nährstoffe . . . . .	112
3.1.3 Vitamine . . . . .	114
3.2 Verdauung . . . . .	123
3.2.1 Allgemeines . . . . .	123
3.2.2 Verdauungsenzyme . . . . .	125
3.2.3 Verdauungsorgane und -mechanismen . . . . .	131
3.2.4 Extraintestinale Verdauung . . . . .	155
3.2.5 Intrazelluläre Verdauung . . . . .	155
3.3 Fragen zum Selbststudium . . . . .	158
Weiterführende Literatur . . . . .	158
<b>4 Versorgung mit Sauerstoff (Atmung) . . . . .</b>	<b>161</b>
4.1 Allgemeines . . . . .	162
4.1.1 Partialdrücke und Konzentrationen . . . . .	163
4.1.2 Diffusion der Atemgase . . . . .	164
4.1.3 Übersicht über die verschiedenen Gasaustauschorgane . . . . .	166
4.2 Externer Gasaustausch und seine Regulation . . . . .	168
4.2.1 Hautatmung und Darmatmung . . . . .	168
4.2.2 Kiemenatmung . . . . .	170
4.2.3 Lungenatmung . . . . .	175
4.2.4 Tracheenatmung . . . . .	190
4.3 Konvektiver Transport der Atemgase . . . . .	194
4.3.1 Sauerstoff . . . . .	194
4.3.2 Kohlendioxid . . . . .	208
4.4 Interner Gasaustausch und seine Regulation . . . . .	210
4.5 Atmung unter besonderen Bedingungen . . . . .	211
4.5.1 Anpassungen bei Tauchern . . . . .	211
4.5.2 Leben unter Sauerstoffmangel (Hypoxie) . . . . .	213
4.6 Gasgefüllte Auftriebskörper bei wasserlebenden Tieren . . . . .	215
4.7 Fragen zum Selbststudium . . . . .	218
Weiterführende Literatur . . . . .	218
<b>5 Zirkulation . . . . .</b>	<b>219</b>
5.1 Allgemeines . . . . .	220
5.2 Kreislaufsysteme bei Wirbellosen . . . . .	222
5.2.1 Mollusken . . . . .	223
5.2.2 Anneliden . . . . .	224
5.2.3 Dekapode Krebse . . . . .	226
5.2.4 Xiphosuren und Spinnentiere (Arachniden) . . . . .	229
5.2.5 Insekten . . . . .	230
5.3 Gefäßsystem der Wirbeltiere . . . . .	232
5.3.1 Allgemeines . . . . .	232
5.3.2 Hämodynamik . . . . .	232
5.3.3 Arterielles System . . . . .	235
5.3.4 Kapillarsystem . . . . .	239
5.3.5 Venöses System . . . . .	241
5.3.6 Kreislaufregulation . . . . .	242
5.4 Das Herz der Wirbeltiere . . . . .	247
5.4.1 Bau und Arbeitsweise . . . . .	247
5.4.2 Herzautomatie . . . . .	251
5.4.3 Herzleistung und ihre Steuerung . . . . .	256
5.5 Lymphgefäßsystem und Lymphherzen . . . . .	259
5.6 Fragen zum Selbststudium . . . . .	259
Weiterführende Literatur . . . . .	259

### III Homöostase

<b>6 Säure-Basen-Regulation</b> .....	<b>263</b>
6.1 Säure-Basen-Status, Puffersysteme, pH-Regulation .....	264
6.2 Extrazelluläre pH-Balance .....	266
6.2.1 Aufnahme und Abgabe von Säuren und Basen .....	266
6.2.2 Respiratorische und metabolische Effekte .....	268
6.3 Intrazelluläre pH-Balance .....	269
6.3.1 pH-Wert des Cytosols .....	269
6.3.2 pH-Werte in intrazellulären Organellen .....	270
6.4 Fragen zum Selbststudium .....	271
Weiterführende Literatur .....	271
<b>7 Osmo- und Ionenregulation</b> .....	<b>273</b>
7.1 Körperflüssigkeiten .....	274
7.1.1 Flüssigkeitskompartimente .....	274
7.1.2 Wasser und gelöste Stoffe .....	275
7.2 Osmotische und ionale Verhältnisse im Körper und im Lebensraum .....	277
7.2.1 Marine Tiere .....	278
7.2.2 Limnische Tiere .....	286
7.2.3 Terrestrische Tiere .....	288
7.3 Extreme Lebensbedingungen .....	294
7.3.1 Blutsaugende Tiere .....	294
7.3.2 Anhydrobiose .....	295
7.4 Fragen zum Selbststudium .....	296
Weiterführende Literatur .....	296
<b>8 Exkretion</b> .....	<b>299</b>
8.1 Synthese und Prozessierung von Exkretstoffen .....	300
8.1.1 Wasser, Kohlendioxid .....	300
8.1.2 Organische Säuren und deren Derivate .....	301
8.1.3 Ammoniak .....	301
8.1.4 Harnstoff .....	302
8.1.5 Harnsäure und Guanin .....	304
8.1.6 Andere Exkretstoffe .....	305
8.2 Renale Exkretion .....	307
8.2.1 Allgemeines .....	307
8.2.2 Exkretionsvesikel der Einzeller .....	308
8.2.3 Exkretionssystem der Nematoden .....	309
8.2.4 Protonephridien .....	310
8.2.5 Metanephridien .....	312
8.2.6 Molluskenniere .....	314
8.2.7 Arthropodennieren .....	316
8.2.8 Malpighi-Gefäße .....	319
8.2.9 Säugetierniere .....	322
8.2.10 Leistung und neuronale sowie hormonelle Kontrolle der Niere. ....	329
8.3 Extrarenale Exkretion .....	332
8.4 Exkretspeicherung .....	332
8.5 Fragen zum Selbststudium .....	333
Weiterführende Literatur .....	333
<b>9 Energiehaushalt</b> .....	<b>335</b>
9.1 Energiebudget und seine Komponenten .....	336
9.2 Respiratorischer Quotient .....	338
9.3 Die Stoffwechselrate .....	340
9.3.1 Allgemeines .....	340
9.3.2 Kalorimetrie .....	341
9.3.3 Gesetz der Stoffwechselreduktion .....	342
9.3.4 Ruhe- und Leistungsumsatz .....	345
9.4 Fragen zum Selbststudium .....	348
Weiterführende Literatur .....	348

<b>10 Wärmehaushalt: Adaptation und Regulation</b> .....	<b>351</b>
10.1 Wärme und Temperatur .....	352
10.2 Ektothermie und Endothermie .....	352
10.3 Passiver Wärmeaustausch zwischen Tier und Umwelt .....	355
10.4 Thermische Toleranz und Leistungsoptimum .....	357
10.5 Thermoregulation bei Endothermen .....	359
10.5.1 Mechanismen zur Abgabe überschüssiger Wärmemengen bei Endothermen .....	360
10.5.2 Mechanismen zur Bewahrung oder Bildung von Körperwärme bei Endothermen .....	363
10.6 Zwischenformen der Thermoregulation .....	367
10.6.1 Zeitlich begrenzte Steigerung der Körpertemperatur (Fieber) .....	368
10.6.2 Temporäre Heterothermie bei Endothermen .....	368
10.7 Vermeidung thermisch bedingter Schäden .....	371
10.7.1 Gefrierschutz und Gefriertoleranz .....	371
10.7.2 Hitzeschockproteine .....	372
10.8 Fragen zum Selbststudium .....	373
Weiterführende Literatur .....	373

## IV Informationsverarbeitung und Verhalten

<b>11 Information und Informationsverarbeitung</b> .....	<b>377</b>
11.1 Biologisch relevante Information .....	378
11.2 Steuerung und Regelung biologischer Systeme .....	378
11.2.1 Prinzipieller Aufbau eines Regelkreises .....	378
11.2.2 Zeitverhalten von Regelkreisen .....	380
11.2.3 Halte- und Folgeregelung, vermaschte Regelkreise .....	381
11.3 Fragen zum Selbststudium .....	383
Weiterführende Literatur .....	383
<b>12 Signaltransduktion</b> .....	<b>385</b>
12.1 Signale und Signalstoffe .....	386
12.2 Membranrezeptoren und ihre Signaltransduktion .....	386
12.2.1 G-Protein-gekoppelte Rezeptoren .....	387
12.2.2 Second Messenger .....	388
12.2.3 Tyrosinkinaserzeptoren .....	390
12.3 Intrazelluläre Signalwege .....	391
12.4 Cytosolische und nucleäre Rezeptoren .....	394
12.5 Fragen zum Selbststudium .....	396
Weiterführende Literatur .....	396
<b>13 Neuronale Systeme</b> .....	<b>397</b>
13.1 Evolutionärer Ursprung und Komplexität von Nervensystemen .....	398
13.2 Zelluläre Grundlagen .....	399
13.2.1 Neurone .....	400
13.2.2 Gliazellen .....	403
13.3 Axonaler Informationstransfer .....	403
13.3.1 Das Aktionspotenzial .....	403
13.3.2 Ausbreitung elektrischer Signale .....	412
13.4 Erregungsübertragung: chemische Synapsen .....	415
13.4.1 Transmitterfreisetzung .....	417
13.4.2 Postsynaptische Rezeptoren, Kanäle und Potenziale .....	420
13.4.3 Örtliche und zeitliche Summation (synaptische Integration) .....	423
13.4.4 Modulation der Effizienz synaptischer Transmission .....	423
13.4.5 Neurotransmitter und ihr Stoffwechsel .....	426

13.5 Erregungsübertragung: elektrische Synapsen . . . . .	436
13.6 Nervensysteme . . . . .	440
13.6.1 Nervennetze, Ganglien, Gehirne . . . . .	440
13.6.2 Zentralnervensystem der Wirbeltiere . . . . .	443
13.6.3 Autonome Integration: Wirbeltiere. . . . .	453
13.7 Sensomotorische Integration . . . . .	458
13.7.1 Reflexe . . . . .	460
13.7.2 Prinzipien sensorischer Verarbeitung . . . . .	462
13.7.3 Motorische Steuerung . . . . .	466
13.8 Plastizität, Lernen und Gedächtnis . . . . .	470
13.8.1 Lernvermögen und Lerndispositionen . . . . .	470
13.8.2 Formen des Lernens und Gedächtnisses . . . . .	473
13.8.3 Physiologie komplexer Lern- und Gedächtnisvorgänge . . . . .	480
13.9 Biorhythmik . . . . .	484
13.9.1 Die verschiedenen Biorhythmen . . . . .	485
13.9.2 Biologischer Nutzen der Inneren Uhr . . . . .	487
13.9.3 Circadiane Uhren . . . . .	489
13.9.4 Schlafen – Wachen . . . . .	495
13.10 Orientierung im Raum . . . . .	498
13.10.1 Tropismen und Kinesen . . . . .	498
13.10.2 Taxien und Lichtrückenverhalten . . . . .	499
13.10.3 Fernorientierung . . . . .	503
13.10.4 Vogelzug . . . . .	510
13.11 Begriffsbildung und Planhandlungen . . . . .	513
13.12 Sprache . . . . .	516
13.13 Bewusstsein . . . . .	517
13.14 Fragen zum Selbststudium . . . . .	520
Weiterführende Literatur . . . . .	521
<b>14 Endokrines System . . . . .</b>	<b>523</b>
14.1 Allgemeines . . . . .	524
14.2 Biosynthesewege der Hormone . . . . .	526
14.2.1 Peptidhormone . . . . .	526
14.2.2 Terpene (Steroide und Juvenilhormone) . . . . .	526
14.2.3 Von Aminosäuren abgeleitete Hormone . . . . .	530
14.2.4 Arachidonsäurederivate . . . . .	533
14.3 Hormonsysteme der Wirbeltiere . . . . .	534
14.3.1 Hypothalamus und Hypophyse . . . . .	534
14.3.2 Periphere Hormonwirkungen . . . . .	542
14.4 Hormonsysteme wirbelloser Tiere . . . . .	565
14.4.1 Mollusken . . . . .	565
14.4.2 Crustaceen . . . . .	567
14.4.3 Insekten . . . . .	569
14.5 Fragen zum Selbststudium . . . . .	575
Weiterführende Literatur . . . . .	575

## V Rezeption von Signalen

<b>15 Allgemeine Sinnesphysiologie . . . . .</b>	<b>579</b>
15.1 Sinneszellen (Rezeptoren) . . . . .	581
15.1.1 Adäquater Reiz . . . . .	582
15.1.2 Transduktion (Rezeptorpotenzial) . . . . .	583
15.1.3 Transformation (Frequenzcodierung) . . . . .	584
15.1.4 Kennlinien: Reiz-Erregungs-Beziehungen . . . . .	585
15.1.5 Zeitverhalten . . . . .	587
15.1.6 Reizschwellen, Empfindlichkeit . . . . .	588
15.1.7 Adaptation . . . . .	589
15.2 Sinnesepithelien . . . . .	590
15.2.1 Rezeptive Felder . . . . .	590
15.2.2 Laterale Inhibition . . . . .	591
15.3 Fragen zum Selbststudium . . . . .	592
Weiterführende Literatur . . . . .	592

<b>16 Mechanische Sinne</b> .....	<b>593</b>
16.1 Mechanorezeptoren .....	594
16.2 Mechanotransduktion (Haarzellen) .....	596
16.3 Rezeption von Berührung, Druck und Vibration .....	597
16.3.1 Allgemeines .....	597
16.3.2 Tastsinn (Wirbellose) .....	598
16.3.3 Tastsinn (Wirbeltiere) .....	600
16.3.4 Vibrationssinn .....	601
16.3.5 Zentralnervöse Verarbeitung (Säugetiere) .....	603
16.4 Rezeption von Luft- und Wasserströmungen .....	608
16.4.1 Rezeption von Luftbewegungen .....	608
16.4.2 Rezeption von Wasserbewegungen .....	609
16.4.3 Das Seitenliniensystem .....	609
16.5 Rezeption der Schwerkraft .....	614
16.5.1 Allgemeines .....	614
16.5.2 Wirbellose (ohne Insekten) .....	615
16.5.3 Insekten .....	617
16.5.4 Wirbeltiere .....	619
16.6 Rezeption von Linear- und Winkelbeschleunigung .....	621
16.6.1 Wirbellose .....	621
16.6.2 Wirbeltiere .....	621
16.6.3 Zentralnervöse Verarbeitung (Säuger) .....	622
16.7 Perzeption von Bodenvibrationen .....	623
16.8 Fragen zum Selbststudium .....	624
Weiterführende Literatur .....	624
<b>17 Gehörsinn</b> .....	<b>627</b>
17.1 Physikalische Grundlagen .....	628
17.2 Allgemeine Anforderungen an Hörorgane .....	629
17.2.1 Druck-, Druckgradienten- und Schallschnelleempfänger .....	630
17.2.2 Richtungshören .....	631
17.2.3 Signalanalyse in der Hörbahn .....	632
17.3 Spezielle Hörphysiologie .....	633
17.3.1 Luftschall .....	633
17.3.2 Hörhaare und Johnston-Organ .....	634
17.3.3 Tympanalorgane .....	634
17.3.4 Fische .....	636
17.3.5 Tetrapoden (ohne Säugetiere) .....	638
17.3.6 Säugetiere (ohne Fledermäuse und Wale) .....	640
17.3.7 Echoortung bei Fledermäusen, Walen und Vögeln .....	647
17.4 Zentrale Verarbeitung der akustischen Information .....	648
17.4.1 Insekten .....	648
17.4.2 Wirbeltiere .....	650
17.5 Fragen zum Selbststudium .....	653
Weiterführende Literatur .....	653
<b>18 Visuelles System</b> .....	<b>655</b>
18.1 Photorezeptoren und Signaltransduktion .....	656
18.1.1 Sehpigmente .....	657
18.1.2 Photorezeptoren .....	658
18.1.3 Signaltransduktion .....	659
18.2 Augentypen .....	664
18.2.1 Einfache Lichtsinnesorgane .....	665
18.2.2 Linsenaugen .....	666
18.2.3 Komplexaugen .....	669
18.3 Sehschärfe und Empfindlichkeit .....	670
18.3.1 Linsenaugen .....	670
18.3.2 Komplexaugen .....	682
18.4 Räumliches Sehen, zeitliches Auflösungsvermögen, Bewegungssehen .....	687
18.4.1 Räumliches Sehen, Tiefenwahrnehmung .....	687
18.4.2 Zeitliches Auflösungsvermögen .....	688
18.4.3 Bewegungssehen .....	688
18.5 Farbsehen .....	692
18.5.1 Vertebraten .....	693

18.5.2 Invertebraten . . . . .	696
18.6 Polarisationssehen . . . . .	699
18.7 Signalverarbeitung im visuellen System der Wirbeltiere . . . . .	701
18.7.1 Retina . . . . .	701
18.7.2 Tectum opticum und Corpus geniculatum laterale . . . . .	704
18.7.3 Cortex . . . . .	707
18.7.4 Parallele Verarbeitung in getrennten Kanälen . . . .	709
18.8 Fragen zum Selbststudium . . . . .	710
Weiterführende Literatur . . . . .	711
<b>19 Elektrischer und magnetischer Sinn . . . . .</b>	<b>713</b>
19.1 Physikalische Grundlagen . . . . .	714
19.2 Elektrischer Sinn . . . . .	714
19.2.1 Passiver elektrischer Sinn . . . . .	714
19.2.2 Aktiver elektrischer Sinn . . . . .	716
19.3 Magnetischer Sinn . . . . .	720
19.3.1 Allgemeines . . . . .	720
19.3.2 Verhaltensphysiologische Befunde . . . . .	721
19.3.3 Andere Organismen und Tiere . . . . .	723
19.3.4 Physiologische Grundlagen der Magnetfeldperzeption. . . . .	724
19.4 Fragen zum Selbststudium . . . . .	725
Weiterführende Literatur . . . . .	725
<b>20 Chemische Sinne . . . . .</b>	<b>727</b>
20.1 Chemischer Sinn bei Wirbellosen (ohne Insekten) . . . . .	728
20.2 Geschmackssinn . . . . .	729
20.2.1 Insekten . . . . .	729
20.2.2 Wirbeltiere . . . . .	731
20.2.3 Transduktionsprozess . . . . .	733
20.3 Geruchssinn . . . . .	733
20.3.1 Insekten . . . . .	733
20.3.2 Wirbeltiere . . . . .	735
20.3.3 Transduktionsprozess . . . . .	737
20.4 Pheromone . . . . .	739
20.4.1 Releaserpheromone und Primerpheromone . . . . .	739
20.4.2 Vomeronasalorgan und Grüneberg-Organ der Wirbeltiere. . . . .	742
20.5 Zentrale Verarbeitung von olfaktorischen Informationen . . . . .	743
20.5.1 Insekten . . . . .	743
20.5.2 Wirbeltiere . . . . .	744
20.6 Fragen zum Selbststudium . . . . .	745
Weiterführende Literatur . . . . .	745
<b>21 Thermischer Sinn und Infrarotsinn . . . . .</b>	<b>747</b>
21.1 Thermorezeption . . . . .	748
21.1.1 Physikalische Grundlagen . . . . .	748
21.1.2 Wirbeltiere . . . . .	748
21.1.3 Invertebraten . . . . .	750
21.2 Thermotaktische Orientierung, Präferendum . . . . .	751
21.3 Infrarotsinn . . . . .	751
21.3.1 Vampirfledermäuse . . . . .	752
21.3.2 Schlangen . . . . .	752
21.3.3 Insekten . . . . .	753
21.4 Fragen zum Selbststudium . . . . .	755
Weiterführende Literatur . . . . .	755
<b>22 Nozizeption und Schmerz . . . . .</b>	<b>757</b>
22.1 Nozizeption bei Säugetieren . . . . .	758
22.1.1 Nozizeptive Afferenzen und Mediatoren . . . . .	758
22.1.2 Neuronale Verarbeitung nozizeptiver Signale . . . .	761
22.2 Nozizeption bei anderen Wirbeltieren und Invertebraten . . . . .	764
22.3 Fragen zum Selbststudium . . . . .	764

Weiterführende Literatur . . . . .	764
------------------------------------	-----

## VI Effektorsysteme

<b>23 Produktion mechanischer Energie . . . . .</b>	<b>769</b>
23.1 Kontraktile Stiele sessiler Einzeller . . . . .	770
23.2 Muskeln . . . . .	771
23.2.1 Aufbau der Muskulatur . . . . .	771
23.2.2 Molekularer Mechanismus der Muskelkontraktion . . . . .	774
23.2.3 Aktivierung des Muskels: schnelle und langsame Fasern . . . . .	775
23.2.4 Elektromechanische Kopplung . . . . .	779
23.2.5 Einzelzuckung . . . . .	781
23.2.6 Mechanische Eigenschaften von Muskeln . . . . .	783
23.2.7 Energiebereitstellung für die Muskelkontraktion . . . . .	784
23.2.8 Tetanus und Tonus . . . . .	787
23.2.9 Steuerung der Muskelstätigkeit über das Rückenmark . . . . .	788
23.2.10 Supraspinale motorische Systeme . . . . .	790
23.3 Glatte Muskeln der Wirbeltiere . . . . .	792
23.4 Schließmuskeln der Muscheln . . . . .	794
23.5 Flugmuskeln der Insekten . . . . .	794
23.6 Amöboide Bewegung . . . . .	796
23.7 Geißel- und Cilienbewegung . . . . .	797
23.8 Fragen zum Selbststudium . . . . .	801
Weiterführende Literatur . . . . .	801
<b>24 Produktion akustischer Signale . . . . .</b>	<b>803</b>
24.1 Allgemeines . . . . .	804
24.1.1 Schallerzeugung, -kopplung und -ausbreitung . . . . .	804
24.1.2 Schallfrequenzen und Spektren . . . . .	805
24.1.3 Schallerzeugung und Frequenzmultiplikation . . . . .	806
24.1.4 Schallimpedanzen, Schallübertragung und Resonanzen . . . . .	808
24.2 Schallerzeugung bei den unterschiedlichen Tiergruppen . . . . .	810
24.2.1 Orthopteren (Stridulation) . . . . .	810
24.2.2 Zikaden (Timbalorgane) . . . . .	812
24.2.3 Fische . . . . .	814
24.2.4 Tetrapoden (Larynx und Syrinx) . . . . .	815
24.3 Bedeutung akustischer Signale . . . . .	819
24.3.1 Insekten . . . . .	819
24.3.2 Fische . . . . .	821
24.3.3 Anuren . . . . .	822
24.3.4 Vögel . . . . .	822
24.3.5 Säuger . . . . .	824
24.4 Fragen zum Selbststudium . . . . .	827
Weiterführende Literatur . . . . .	828
<b>25 Produktion elektrischer Energie (elektrische Organe) . . . . .</b>	<b>829</b>
25.1 Schwach und stark elektrische Fische . . . . .	830
25.2 Elektrische Organe . . . . .	831
25.2.1 Aufbau von Elektrocyten . . . . .	831
25.2.2 Aufbau elektrischer Organe . . . . .	835
25.3 Zentrale Schrittmacher . . . . .	835
25.4 Elektrische Organe als Modellsystem . . . . .	835
25.5 Fragen zum Selbststudium . . . . .	836
Weiterführende Literatur . . . . .	836
<b>26 Produktion von Licht (Biolumineszenz) . . . . .</b>	<b>837</b>
26.1 Primäres und sekundäres Leuchten . . . . .	838
26.2 Luciferine und Luciferasen . . . . .	839
26.3 Kopplung von Biolumineszenz und Fluoreszenz . . . . .	842
26.4 Biologische Relevanz der Biolumineszenz . . . . .	842
26.5 Fragen zum Selbststudium . . . . .	843



Weiterführende Literatur .....	843
<b>27 Farbwechsel .....</b>	<b>845</b>
27.1 Die Chromatophoren und ihre Farbstoffe .....	846
27.2 Mechanismen der Pigmentaggregation und Dispersion .....	849
27.3 Steuerung des Farbwechsels .....	849
27.3.1 Nervöse Steuerung .....	849
27.3.2 Hormonelle Steuerung .....	851
27.4 Auslöser des Farbwechsels .....	852
27.5 Fragen zum Selbststudium .....	853
Weiterführende Literatur .....	853
<b>28 Produktion von Giften und Abwehrstoffen .....</b>	<b>855</b>
28.1 Wirksamkeit von Giftstoffen, Toxizität .....	856
28.2 Passive und aktive Giftigkeit .....	857
28.3 Antimikrobielle Wirkstoffe .....	857
28.4 Beispiele für passive Giftigkeit von Tieren .....	858
28.5 Mechanismen der Feindabwehr durch Wehrsekrete .....	864
28.6 Beispiele für aktiv giftige Tiere .....	866
28.6.1 Cnidaria .....	866
28.6.2 Mollusca .....	867
28.6.3 Skorpione .....	868
28.6.4 Spinnen .....	868
28.6.5 Hymenopteren .....	869
28.6.6 Fische .....	871
28.6.7 Reptilien .....	871
28.6.8 Säugetiere .....	874
28.7 Fragen zum Selbststudium .....	874
Weiterführende Literatur .....	874
<b>29 Immunsysteme .....</b>	<b>877</b>
29.1 Allgemeines .....	878
29.2 Angeborene Immunität .....	879
29.2.1 Opsonierung, Phagozytose und chemische Abwehr .....	880
29.2.2 Enzymatisch vermittelte Abwehr .....	881
29.2.3 Antimikrobielle Peptide und Proteine .....	884
29.2.4 Zelluläre Immunabwehr .....	888
29.3 Erworbene (adaptive) Immunität .....	891
29.3.1 Antigenpräsentation durch MHC-Moleküle .....	892
29.3.2 Antigenpräsentation durch CD1 .....	895
29.3.3 Superantigene .....	895
29.3.4 Antigenpräsentation durch B-Zellen .....	895
29.4 Lymphocyten .....	896
29.5 Rearrangement-Gene (RAGs) .....	899
29.6 Immunglobuline .....	900
29.6.1 Antikörperklassen des Menschen und ihre Funktionen .....	902
29.6.2 Antikörper anderer Tierarten .....	903
29.7 Lymphatische Gewebe und Organe .....	903
29.8 Fragen zum Selbststudium .....	908
Weiterführende Literatur .....	908
<b>VII Anhang</b>	
Glossar .....	913
Kurzbiografien .....	941
Index .....	951