

# Kurzzinhalt

---

## I Grundlagen der Physiologie

1	Tierphysiologie und ihre physikalischen Grundlagen .....	3
2	Chemische Ebene des Lebendigen .....	55

## II Stoffaufnahme und -verteilung

3	Versorgung mit Energie- und Funktionsträgern (Ernährung) .....	109
4	Versorgung mit Sauerstoff (Atmung) .....	161
5	Zirkulation .....	219

## III Homöostase

6	Säure-Basen-Regulation .....	263
7	Osmo- und Ionenregulation .....	273
8	Exkretion .....	299
9	Energiehaushalt .....	335
10	Wärmehaushalt: Adaptation und Regulation .....	351

## IV Informationsverarbeitung und Verhalten

11	Information und Informationsverarbeitung .....	377
12	Signaltransduktion .....	385
13	Neuronale Systeme .....	397
14	Endokrines System .....	523

## V Rezeption von Signalen

15	Allgemeine Sinnesphysiologie .....	579
16	Mechanische Sinne .....	593
17	Gehörsinn .....	627
18	Visuelles System .....	655
19	Elektrischer und magnetischer Sinn .....	713
20	Chemische Sinne .....	727
21	Thermischer Sinn und Infrarotsinn .....	747
22	Nozizeption und Schmerz .....	757

## **VI Effektorsysteme**

23	Produktion mechanischer Energie .....	769
24	Produktion akustischer Signale .....	803
25	Produktion elektrischer Energie (elektrische Organe) .....	829
26	Produktion von Licht (Biolumineszenz) .....	837
27	Farbwechsel .....	845
28	Produktion von Giften und Abwehrstoffen .....	855
29	Immunsysteme .....	877

## **VII Anhang**

Glossar .....	913
Kurzbiografien .....	941
Index .....	951

# Inhaltsverzeichnis

## I Grundlagen der Physiologie

<b>1</b>	<b>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</b>	<b>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</b>	<b>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</b>	<b>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</b>	<b>Zirkulation</b>	<b>219</b>
5.1	Allgemeines	220
5.2	Kreislaufsysteme bei Wirbellosen	222

5.2.1	Mollusken	223	8.1.3	Ammoniak	301
5.2.2	Anneliden	224	8.1.4	Harnstoff	302
5.2.3	Dekapode Krebse	226	8.1.5	Harnsäure und Guanin	304
5.2.4	Xiphosuren und Spinnentiere (Arachniden)	229	8.1.6	Andere Exkretstoffe	305
5.2.5	Insekten	230	8.2	Renale Exkretion	307
5.3	Gefäßsystem der Wirbeltiere	232	8.2.1	Allgemeines	307
5.3.1	Allgemeines	232	8.2.2	Exkretionsvesikel der Einzeller	308
5.3.2	Hämodynamik	232	8.2.3	Exkretionssystem der Nematoden	309
5.3.3	Arterielles System	235	8.2.4	Protonephridien	310
5.3.4	Kapillarsystem	239	8.2.5	Metanephridien	312
5.3.5	Venöses System	241	8.2.6	Molluskenniere	314
5.3.6	Kreislaufregulation	242	8.2.7	Arthropodennieren	316
5.4	Das Herz der Wirbeltiere	247	8.2.8	Malpighi-Gefäße	319
5.4.1	Bau und Arbeitsweise	247	8.2.9	Säugetiere	322
5.4.2	Herzautomatie	251	8.2.10	Leistung und neuronale sowie hormonelle Kontrolle der Niere	329
5.4.3	Herzleistung und ihre Steuerung	256	8.3	Extrarenale Exkretion	332
5.5	Lymphgefäßsystem und Lymphherzen	259	8.4	Exkretspeicherung	332
5.6	Fragen zum Selbststudium	259	8.5	Fragen zum Selbststudium	333
	Weiterführende Literatur	259		Weiterführende Literatur	333
<b>III Homöostase</b>					
<b>6</b>	<b>Säure-Basen-Regulation</b>	<b>263</b>	<b>9</b>	<b>Energiehaushalt</b>	<b>335</b>
6.1	Säure-Basen-Status, Puffersysteme, pH-Regulation	264	9.1	Energiebudget und seine Komponenten	336
6.2	Extrazelluläre pH-Balance	266	9.2	Respiratorischer Quotient	338
6.2.1	Aufnahme und Abgabe von Säuren und Basen	266	9.3	Die Stoffwechselrate	340
6.2.2	Respiratorische und metabolische Effekte	268	9.3.1	Allgemeines	340
6.3	Intrazelluläre pH-Balance	269	9.3.2	Kalorimetrie	341
6.3.1	pH-Wert des Cytosols	269	9.3.3	Gesetz der Stoffwechselreduktion	342
6.3.2	pH-Werte in intrazellulären Organellen	270	9.3.4	Ruhe- und Leistungsumsatz	345
6.4	Fragen zum Selbststudium	271	9.4	Fragen zum Selbststudium	348
	Weiterführende Literatur	271		Weiterführende Literatur	348
<b>7</b>	<b>Osmo- und Ionenregulation</b>	<b>273</b>	<b>10</b>	<b>Wärmehaushalt: Adaptation und Regulation</b>	<b>351</b>
7.1	Körperflüssigkeiten	274	10.1	Wärme und Temperatur	352
7.1.1	Flüssigkeitskompartimente	274	10.2	Ektothermie und Endothermie	352
7.1.2	Wasser und gelöste Stoffe	275	10.3	Passiver Wärmeaustausch zwischen Tier und Umwelt	355
7.2	Osmotische und ionale Verhältnisse im Körper und im Lebensraum	277	10.4	Thermische Toleranz und Leistungsoptimum	357
7.2.1	Marine Tiere	278	10.5	Thermoregulation bei Endothermen	359
7.2.2	Limnische Tiere	286	10.5.1	Mechanismen zur Abgabe überschüssiger Wärmemengen bei Endothermen	360
7.2.3	Terrestrische Tiere	288	10.5.2	Mechanismen zur Bewahrung oder Bildung von Körperwärme bei Endothermen	363
7.3	Extreme Lebensbedingungen	294	10.6	Zwischenformen der Thermoregulation	367
7.3.1	Blutsaugende Tiere	294	10.6.1	Zeitlich begrenzte Steigerung der Körpertemperatur (Fieber)	368
7.3.2	Anhydrobiose	295	10.6.2	Temporäre Heterothermie bei Endothermen	368
7.4	Fragen zum Selbststudium	296	10.7	Vermeidung thermisch bedingter Schäden	371
	Weiterführende Literatur	296	10.7.1	Gefrierschutz und Gefriertoleranz	371
<b>8</b>	<b>Exkretion</b>	<b>299</b>	10.7.2	Hitzeschockproteine	372
8.1	Synthese und Prozessierung von Exkretstoffen	300	10.8	Fragen zum Selbststudium	373
8.1.1	Wasser, Kohlendioxid	300		Weiterführende Literatur	373
8.1.2	Organische Säuren und deren Derivate	301			

## IV Informationsverarbeitung und Verhalten

11	<b>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
12	<b>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
13	<b>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
14	<b>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

15	<b>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</b>	<b>Mechanische Sinne</b> .....	<b>593</b>	18.2.1	Einfache Lichtsinnesorgane .....	665
16.1	Mechanorezeptoren .....	594	18.2.2	Linsenaugen .....	666
16.2	Mechanotransduktion (Haarzellen) .....	596	18.2.3	Komplexaugen .....	669
16.3	Rezeption von Berührung, Druck und Vibration .....	597	18.3	Sehschärfe und Empfindlichkeit .....	670
16.3.1	Allgemeines .....	597	18.3.1	Linsenaugen .....	670
16.3.2	Tastsinn (Wirbellose) .....	598	18.3.2	Komplexaugen .....	682
16.3.3	Tastsinn (Wirbeltiere) .....	600	18.4	Räumliches Sehen, zeitliches Auflösungs- vermögen, Bewegungssehen .....	687
16.3.4	Vibrationssinn .....	601	18.4.1	Räumliches Sehen, Tiefenwahrnehmung .....	687
16.3.5	Zentralnervöse Verarbeitung (Säugetiere) .....	603	18.4.2	Zeitliches Auflösungsvermögen .....	688
16.4	Rezeption von Luft- und Wasserströmungen .....	608	18.4.3	Bewegungssehen .....	688
16.4.1	Rezeption von Luftbewegungen .....	608	18.5	Farbsehen .....	692
16.4.2	Rezeption von Wasserbewegungen .....	609	18.5.1	Vertebraten .....	693
16.4.3	Das Seitenliniensystem .....	609	18.5.2	Invertebraten .....	696
16.5	Rezeption der Schwerkraft .....	614	18.6	Polarisationssehen .....	699
16.5.1	Allgemeines .....	614	18.7	Signalverarbeitung im visuellen System der Wirbeltiere .....	701
16.5.2	Wirbellose (ohne Insekten) .....	615	18.7.1	Retina .....	701
16.5.3	Insekten .....	617	18.7.2	Tectum opticum und Corpus geniculatum laterale .....	704
16.5.4	Wirbeltiere .....	619	18.7.3	Cortex .....	707
16.6	Rezeption von Linear- und Winkel- beschleunigung .....	621	18.7.4	Parallele Verarbeitung in getrennten Kanälen .....	709
16.6.1	Wirbellose .....	621	18.8	Fragen zum Selbststudium .....	710
16.6.2	Wirbeltiere .....	621		Weiterführende Literatur .....	711
16.6.3	Zentralnervöse Verarbeitung (Säuger) .....	622	<b>19</b>	<b>Elektrischer und magnetischer Sinn</b> .....	<b>713</b>
16.7	Perzeption von Bodenvibrationen .....	623	19.1	Physikalische Grundlagen .....	714
16.8	Fragen zum Selbststudium .....	624	19.2	Elektrischer Sinn .....	714
	Weiterführende Literatur .....	624	19.2.1	Passiver elektrischer Sinn .....	714
<b>17</b>	<b>Gehörsinn</b> .....	<b>627</b>	19.2.2	Aktiver elektrischer Sinn .....	716
17.1	Physikalische Grundlagen .....	628	19.3	Magnetischer Sinn .....	720
17.2	Allgemeine Anforderungen an Hörorgane .....	629	19.3.1	Allgemeines .....	720
17.2.1	Druck-, Druckgradienten- und Schall- schnellempfänger .....	630	19.3.2	Verhaltensphysiologische Befunde .....	721
17.2.2	Richtungshören .....	631	19.3.3	Andere Organismen und Tiere .....	723
17.2.3	Signalanalyse in der Hörbahn .....	632	19.3.4	Physiologische Grundlagen der Magnetfeld- perzeption .....	724
17.3	Spezielle Hörphysiologie .....	633	19.4	Fragen zum Selbststudium .....	725
17.3.1	Luftschall .....	633		Weiterführende Literatur .....	725
17.3.2	Hörhaare und Johnston-Organ .....	634	<b>20</b>	<b>Chemische Sinne</b> .....	<b>727</b>
17.3.3	Tympanalorgane .....	634	20.1	Chemischer Sinn bei Wirbellosen (ohne Insekten) .....	728
17.3.4	Fische .....	636	20.2	Geschmackssinn .....	729
17.3.5	Tetrapoden (ohne Säugetiere) .....	638	20.2.1	Insekten .....	729
17.3.6	Säugetiere (ohne Fledermäuse und Wale) .....	640	20.2.2	Wirbeltiere .....	731
17.3.7	Echoortung bei Fledermäusen, Walen und Vögeln .....	647	20.2.3	Transduktionsprozess .....	733
17.4	Zentrale Verarbeitung der akustischen Information .....	648	20.3	Geruchssinn .....	733
17.4.1	Insekten .....	648	20.3.1	Insekten .....	733
17.4.2	Wirbeltiere .....	650	20.3.2	Wirbeltiere .....	735
17.5	Fragen zum Selbststudium .....	653	20.3.3	Transduktionsprozess .....	737
	Weiterführende Literatur .....	653	20.4	Pheromone .....	739
<b>18</b>	<b>Visuelles System</b> .....	<b>655</b>	20.4.1	Releaserpheromone und Primerpheromone .....	739
18.1	Photorezeptoren und Signaltransduktion .....	656	20.4.2	Vomeronasalorgan und Grüneberg-Organ der Wirbeltiere .....	742
18.1.1	Sehpigmente .....	657	20.5	Zentrale Verarbeitung von olfaktorischen Informationen .....	743
18.1.2	Photorezeptoren .....	658	20.5.1	Insekten .....	743
18.1.3	Signaltransduktion .....	659			
18.2	Augentypen .....	664			

20.5.2 Wirbeltiere ..... 744

20.6 Fragen zum Selbststudium ..... 745

    Weiterführende Literatur ..... 745

**21 Thermischer Sinn und Infrarotsinn ..... 747**

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

**22 Nozizeption und Schmerz ..... 757**

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**

**23 Produktion mechanischer Energie ..... 769**

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 Muskeltätigkeit 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

**24 Produktion akustischer Signale ..... 803**

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

**25 Produktion elektrischer Energie (elektrische Organe) ..... 829**

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

**26 Produktion von Licht (Biolumineszenz) .... 837**

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

**27 Farbwechsel ..... 845**

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

**28 Produktion von Giften und Abwehrstoffen ..... 855**

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

