

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 Energie769

24 Produktion akustischer Signale803

25 Produktion elektrischer Energie (elektrische Organe)829

26 Produktion von Licht (Biolumineszenz)837

27 Farbwechsel845

28 Produktion von Giften und Abwehrstoffen855

29 Immunsysteme877

VII Anhang

Glossar913

Kurzbiografien941

Index951

Inhaltsverzeichnis

I Grundlagen der Physiologie	
1 Tierphysiologie und ihre physikalischen Grundlagen	3
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
2 Chemische Ebene des Lebendigen	55
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	
3 Versorgung mit Energie- und Funktionsträgern (Ernährung)	109
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
4 Versorgung mit Sauerstoff (Atmung)	161
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
5 Zirkulation	219
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	Arteriell 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

6	Säure-Basen-Regulation	263
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
7	Osmo- und Ionenregulation	273
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
8	Exkretion	299
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

9	Energiehaushalt	335
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

10	Wärmehaushalt: Adaptation und Regulation	351
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 Leistungs-optimum	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

11	Information und Informations- verarbeitung	377
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	Signaltransduktion	385
12.1	Signale und Signalstoffe	386
12.2	Membranrezeptoren und ihre Signal- transduktion	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	Neuronale Systeme	397
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	Endokrines System	523
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	Allgemeine Sinnesphysiologie	579
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

16	Mechanische Sinne	593	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	19	Elektrischer und magnetischer Sinn	713
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
17	Gehörsinn	627	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	20	Chemische Sinne	727
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
18	Visuelles System	655	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	24.1.2	Schallfrequenzen und Spektren	805
20.6	Fragen zum Selbststudium	745	24.1.3	Schallerzeugung und Frequenzmultiplikation	806
	Weiterführende Literatur	745	24.1.4	Schallimpedanzen, Schallübertragung und Resonanzen	808
21	Thermischer Sinn und Infrarotsinn	747	24.2	Schallrzeugung bei den unterschiedlichen Tiergruppen	810
21.1	Thermorezeption	748	24.2.1	Orthopteren (Stridulation)	810
21.1.1	Physikalische Grundlagen	748	24.2.2	Zikaden (Timbalorgane)	812
21.1.2	Wirbeltiere	748	24.2.3	Fische	814
21.1.3	Invertebraten	750	24.2.4	Tetrapoden (Larynx und Syrinx)	815
21.2	Thermotaktische Orientierung, Präferendum	751	24.3	Bedeutung akustischer Signale	819
21.3	Infrarotsinn	751	24.3.1	Insekten	819
21.3.1	Vampirfledermäuse	752	24.3.2	Fische	821
21.3.2	Schlangen	752	24.3.3	Anuren	822
21.3.3	Insekten	753	24.3.4	Vögel	822
21.4	Fragen zum Selbststudium	755	24.3.5	Säuger	824
	Weiterführende Literatur	755	24.4	Fragen zum Selbststudium	827
22	Nozizeption und Schmerz	757		Weiterführende Literatur	828
22.1	Nozizeption bei Säugetieren	758	25	Produktion elektrischer Energie (elektrische Organe)	829
22.1.1	Nozizeptive Afferenzen und Mediatoren	758	25.1	Schwach und stark elektrische Fische	830
22.1.2	Neuronale Verarbeitung nozizeptiver Signale	761	25.2	Elektrische Organe	831
22.2	Nozizeption bei anderen Wirbeltieren und Invertebraten	764	25.2.1	Aufbau von Elektrocyten	831
22.3	Fragen zum Selbststudium	764	25.2.2	Aufbau elektrischer Organe	835
	Weiterführende Literatur	764	25.3	Zentrale Schrittmacher	835
			25.4	Elektrische Organe als Modellsystem	835
			25.5	Fragen zum Selbststudium	836
				Weiterführende Literatur	836
VI	Effektorsysteme		26	Produktion von Licht (Biolumineszenz)	837
23	Produktion mechanischer Energie	769	26.1	Primäres und sekundäres Leuchten	838
23.1	Kontraktile Stiele sessiler Einzeller	770	26.2	Luciferine und Luciferasen	839
23.2	Muskeln	771	26.3	Kopplung von Biolumineszenz und Fluoreszenz ..	842
23.2.1	Aufbau der Muskulatur	771	26.4	Biologische Relevanz der Biolumineszenz	842
23.2.2	Molekularer Mechanismus der Muskel- kontraktion	774	26.5	Fragen zum Selbststudium	843
23.2.3	Aktivierung des Muskels: schnelle und langsame Fasern	775		Weiterführende Literatur	843
23.2.4	Elektromechanische Kopplung	779	27	Farbwechsel	845
23.2.5	Einzelzuckung	781	27.1	Die Chromatophoren und ihre Farbstoffe	846
23.2.6	Mechanische Eigenschaften von Muskeln	783	27.2	Mechanismen der Pigmentaggregation und Dispersion	849
23.2.7	Energiebereitstellung für die Muskelkontraktion ..	784	27.3	Steuerung des Farbwechsels	849
23.2.8	Tetanus und Tonus	787	27.3.1	Nervöse Steuerung	849
23.2.9	Steuerung der Muskeltätigkeit über das Rückenmark	788	27.3.2	Hormonelle Steuerung	851
23.2.10	Supraspinale motorische Systeme	790	27.4	Auslöser des Farbwechsels	852
23.3	Glatte Muskeln der Wirbeltiere	792	27.5	Fragen zum Selbststudium	853
23.4	Schließmuskeln der Muscheln	794		Weiterführende Literatur	853
23.5	Flugmuskeln der Insekten	794	28	Produktion von Giften und Abwehrstoffen	855
23.6	Amöboide Bewegung	796	28.1	Wirksamkeit von Giftstoffen, Toxizität	856
23.7	Geißel- und Cilienbewegung	797	28.2	Passive und aktive Giftigkeit	857
23.8	Fragen zum Selbststudium	801	28.3	Antimikrobielle Wirkstoffe	857
	Weiterführende Literatur	801	28.4	Beispiele für passive Giftigkeit von Tieren	858
24	Produktion akustischer Signale	803	28.5	Mechanismen der Feindabwehr durch Wehrsekrete	864
24.1	Allgemeines	804			
24.1.1	Schallerzeugung, -kopplung und -ausbreitung ...	804			

28.6	Beispiele für aktiv giftige Tiere	866	29.3.2	Antigenpräsentation durch CD1	895
28.6.1	Cnidaria	866	29.3.3	Superantigene	895
28.6.2	Mollusca	867	29.3.4	Antigenpräsentation durch B-Zellen	895
28.6.3	Skorpione	868	29.4	Lymphocyten	896
28.6.4	Spinnen	868	29.5	Rearrangement-Gene (RAGs)	899
28.6.5	Hymenopteren	869	29.6	Immunglobuline	900
28.6.6	Fische	871	29.6.1	Antikörperklassen des Menschen und ihre Funktionen	902
28.6.7	Reptilien	871	29.6.2	Antikörper anderer Tierarten	903
28.6.8	Säugetiere	874	29.7	Lymphatische Gewebe und Organe	903
28.7	Fragen zum Selbststudium	874	29.8	Fragen zum Selbststudium	908
	Weiterführende Literatur	874		Weiterführende Literatur	908
29	Immunsysteme	877			
29.1	Allgemeines	878			
29.2	Angeborene Immunität	879			
29.2.1	Opsonierung, Phagocytose 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			
			VII	Anhang	
			Glossar	913	
			Kurzbiografien	941	
			Index	951	