

Kurzinhalt

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		
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	Biotkatalyse	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
	Essentielle Nahrungsbestandteile	110
	Mineralien und Spurenelemente	111
	Nährstoffe	112
	Vitamine	114
	Verdauung	123
	Allgemeines	123
	Verdauungsenzyme	125
	Verdauungsorgane und -mechanismen	131
	Extraintestinale Verdauung	155
	Intrazelluläre Verdauung	155
	Fragen zum Selbststudium	158
	Weiterführende Literatur	158
4	Versorgung mit Sauerstoff (Atmung)	161
	Allgemeines	162
	Partialdrücke und Konzentrationen	163
	Diffusion der Atemgase	164
	Übersicht über die verschiedenen Gasaustauschorgane	166
	Externer Gasaustausch und seine Regulation	168
	Hautatmung und Darmatmung	168
	Kiemenatmung	170
	Lungenatmung	175
	Tracheenatmung	190
	Konvektiver Transport der Atemgase	194
	Sauerstoff	194
	Kohlendioxid	208
	Interner Gasaustausch und seine Regulation	210
	Atmung unter besonderen Bedingungen	211
	Anpassungen bei Tauchern	211
	Leben unter Sauerstoffmangel (Hypoxie)	213
	Gasgefüllte Auftriebskörper bei wasserlebenden Tieren	215
	Fragen zum Selbststudium	218
	Weiterführende Literatur	218
	Zirkulation	219
	Allgemeines	220
	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	Säugetierniere	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

III Homöostase

6	Säure-Basen-Regulation	263	9	Energiehaushalt	335
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
7	Osmo- und Ionenregulation	273	10	Wärmeaushalt: Adaptation und Regulation	351
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 Leistungs-optimum	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
8	Exkretion	299	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	Information und Informationsverarbeitung	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 Signaltransduktion	386
12.2.1	G-Protein-gekoppelte Rezeptoren	387
12.2.2	Second Messenger	388
12.2.3	Tyrosinkinaserezeptoren	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 Gedächtniszvorgänge	480
13.9	Biorhythmus	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	Peripherie 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	Farbensehen	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
			19.2.2	Aktiver elektrischer Sinn	716
17	Gehörsinn	627	19.3	Magnetischer Sinn	720
17.1	Physikalische Grundlagen	628	19.3.1	Allgemeines	720
17.2	Allgemeine Anforderungen an Hörorgane	629	19.3.2	Verhaltensphysiologische Befunde	721
17.2.1	Druck-, Druckgradienten- und Schall- schnelleempfänger	630	19.3.3	Andere Organismen und Tiere	723
17.2.2	Richtungshören	631	19.3.4	Physiologische Grundlagen der Magnetfeld- perzeption	724
17.2.3	Signalanalyse in der Hörbahn	632	19.4	Fragen zum Selbststudium	725
17.3	Spezielle Hörphysiologie	633		Weiterführende Literatur	725
17.3.1	Luftschall	633	20	Chemische Sinne	727
17.3.2	Hörhaare und Johnston-Organ	634	20.1	Chemischer Sinn bei Wirbellosen (ohne Insekten)	728
17.3.3	Tympanalorgane	634	20.2	Geschmackssinn	729
17.3.4	Fische	636	20.2.1	Insekten	729
17.3.5	Tetrapoden (ohne Säugetiere)	638	20.2.2	Wirbeltiere	731
17.3.6	Säugetiere (ohne Fledermäuse und Wale)	640	20.2.3	Transduktionsprozess	733
17.3.7	Echoortung bei Fledermäusen, Walen und Vögeln	647	20.3	Geruchssinn	733
17.4	Zentrale Verarbeitung der akustischen Information	648	20.3.1	Insekten	733
17.4.1	Insekten	648	20.3.2	Wirbeltiere	735
17.4.2	Wirbeltiere	650	20.3.3	Transduktionsprozess	737
17.5	Fragen zum Selbststudium	653	20.4	Pheromone	739
	Weiterführende Literatur	653	20.4.1	Releaserpheromone und Primerpheromone	739
18	Visuelles System	655	20.4.2	Vomeronasalorgan und Grüneberg-Organ der Wirbeltiere	742
18.1	Photorezeptoren und Signaltransduktion	656	20.5	Zentrale Verarbeitung von olfaktorischen Informationen	743
18.1.1	Sehpigmente	657	20.5.1	Insekten	743
18.1.2	Photorezeptoren	658			
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	Schallerzeugung 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
	Weiterführende Literatur	828			
22	Nozizeption und Schmerz	757	25	Produktion elektrischer Energie (elektrische Organe)	829
22.1	Nozizeption bei Säugetieren	758	25.1	Schwach und stark elektrische Fische	830
22.1.1	Nozizeptive Afferenzen und Mediatoren	758	25.2	Elektrische Organe	831
22.1.2	Neuronale Verarbeitung nozizeptiver Signale	761	25.2.1	Aufbau von Elektrocyten.....	831
22.2	Nozizeption bei anderen Wirbeltieren und Invertebraten	764	25.2.2	Aufbau elektrischer Organe	835
22.3	Fragen zum Selbststudium	764	25.3	Zentrale Schrittmacher	835
	Weiterführende Literatur	764	25.4	Elektrische Organe als Modellsystem	835
	Weiterführende Literatur	836			

VI Effektorsysteme

23	Produktion mechanischer Energie	769	26	Produktion von Licht (Biolumineszenz)	837
23.1	Kontraktile Stiele sessiler Einzeller	770	26.1	Primäres und sekundäres Leuchten	838
23.2	Muskeln	771	26.2	Luciferine und Luciferasen	839
23.2.1	Aufbau der Muskulatur.....	771	26.3	Kopplung von Biolumineszenz und Fluoreszenz ..	842
23.2.2	Molekularer Mechanismus der Muskelkontraktion.....	774	26.4	Biologische Relevanz der Biolumineszenz	842
23.2.3	Aktivierung des Muskels: schnelle und langsame Fasern.....	775	26.5	Fragen zum Selbststudium	843
				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 Ciliensbewegung	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
	Weiterführende Literatur	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	Erworben (adaptive) Immunität	891			
29.3.1	Antigenpräsentation durch MHC-Moleküle.....	892			

VII Anhang

	Glossar	913
	Kurzbiografien	941
	Index	951