

Inhaltsverzeichnis

1	Bioenergetik	1
1.1	Energiegewinnung für Lebensvorgänge	2
1.2	Freie Energie	2
1.3	Aktivierungsenergie	5
1.4	Energiegewinnung durch den oxidativen Abbau von Nährstoffen	8
1.5	Energiereiche Phosphate	9
1.6	Abbau von Kohlenhydraten	11
1.7	Glykolyse	12
1.7.1	Bereitstellung von Glucose	13
1.7.2	Reaktionsverlauf der Glykolyse	13
1.7.3	Gluconeogenese	15
1.7.4	Kontrolle der Glykolyse	17
1.7.5	Abbau von Fructose und Galactose durch die Glykolyse	18
1.7.6	ATP-Gewinn durch Glykolyse	20
1.8	Citratzyklus	20
1.8.1	Reaktionsverlauf des Citratzyklus	21
1.8.2	Energieausbeute des Citratzyklus	23
1.9	Oxidative Phosphorylierung	23
1.9.1	Elektronenübertragung und Protonentransport durch die Atmungskette	23
1.9.2	Synthese von ATP	25
1.9.3	Regulation der oxidativen Phosphorylierung	25
1.9.4	ATP-Bilanz der oxidativen Phosphorylierung	26
1.9.5	ATP-Ausbeute beim oxidativen Abbau von Glucose	27
1.9.6	Reaktive Sauerstoffspezies	27
1.10	Bausteine aus dem Citratzyklus	28
1.11	Lipide als Energiequelle für den aeroben Stoffwechsel	29
1.11.1	β -Oxidation	30
1.11.2	Biologische Bedeutung von Lipiden als Energiespeicher	33
1.11.3	Lipide werden in der Flamme der Kohlenhydrate verbrannt	34
1.12	Stoffwechsel von Aminosäuren	35
1.13	ATP-Gewinnung im Flugmuskel von Insekten	37
1.14	Leben ohne Sauerstoff – Anaerobe Energiegewinnung	39
1.14.1	Anaerobiose beim Tauchen von Robben	40
1.14.2	Anaerobiose beim Tauchen von Schildkröten	41
1.14.3	Genregulation bei Sauerstoffmangel	43

1.14.4	Anaerobiose bei Fischen	43
1.14.5	Anaerobiose bei Evertebraten	44
1.14.6	Energie-Ausbeute der Anaerobiose	46
1.15	Nutzung von ATP für Lebensfunktionen – Der Transport von Na^+ und K^+ über die Zellmembran	47
2	Energiehaushalt von Tieren	49
2.1	Die umgesetzte Energie wird als Wärme abgegeben	49
2.1.1	Direkte Kalorimetrie	49
2.1.2	Indirekte Kalorimetrie	50
2.2	Nahrungsenergie und Energiebudget	50
2.2.1	Assimilierte Energie	50
2.2.2	Metabolisierbare Energie	51
2.2.3	Nutzbare Energie und spezifisch dynamische Wirkung	52
2.3	Energiebilanz	54
2.4	Aerobe Stoffwechselrate	55
2.4.1	Grundumsatz und Standardstoffwechsel	55
2.4.2	Körpergröße und Energieumsatz	56
2.4.3	Endotherm versus ektotherm	62
2.4.4	Ruhe- und Aktivitätumsatz	63
2.5	Energetik der Fortbewegung	65
2.5.1	Gehen, Laufen und Springen	66
2.5.2	Fliegen	69
2.5.3	Wirkungsgrad der lokomotorischen Arbeit	70
2.5.4	Transportkosten der Fortbewegung – Vergleich von Schwimmen, Laufen und Fliegen	70
2.6	Produktion	72
2.6.1	Kosten der Biosynthese	72
2.6.2	Wachstum und Sekundärproduktion	72
2.6.3	Wachstum während der Embryonalentwicklung	73
2.6.4	Effizienz von Wachstum und Produktion	73
2.6.5	Vergleich des Wachstums verschiedener Tierarten	74
2.7	Lebenserwartung und Alter	76
	Literatur	84
3	Temperatur	87
3.1	Temperaturabhängigkeit von Lebensvorgängen	87
3.2	Thermische Grenzen des Lebens	88
3.2.1	Minimum in Kälte	88
3.2.2	Thermisches Maximum und Hitzetod	91
3.3	Biochemische und physiologische Grundlagen der Temperaturtoleranz	92
3.3.1	Thermisches Optimum	93
3.4	Strategien der Thermoregulation	95
3.4.1	Thermoregulation bei aquatischen Ektothermen	96
3.4.2	Temperaturanpassung und Kompensation	97
3.4.3	Thermoregulatorisches Verhalten	99
3.4.4	Regionale Endothermie bei Fischen	100

3.5	Leben mit Eis	102
3.5.1	Unterkühlung oder Gefrierschutz bei marinen Organismen	102
3.5.2	Gefrierschutz-Proteine	104
3.5.3	Gefrierschutz bei Insekten	105
3.5.4	Können Tiere das Einfrieren ihrer Körperflüssigkeiten ertragen?	106
3.6	Thermoregulation von terrestrischen Ektothermen	107
3.6.1	Thermoregulatorisches Verhalten	107
3.6.2	Warum regulieren Ektotherme ihre Körpertemperatur?	109
3.6.3	Vasomotorische Temperaturregelung	109
3.6.4	Temporäre Endothermie bei Ektothermen	111
3.7	Thermoregulation der endothermen Säugetiere und Vögel	113
3.7.1	Körpertemperatur	114
3.7.2	Wärmeisolierung der Körperoberfläche	115
3.7.3	Grundumsatz und Thermoneutralzone	117
3.7.4	Thermoregulation bei Kälte	118
3.7.5	Thermoregulatorische Wärmebildung	121
3.7.6	Thermoregulation bei Hitze	125
3.7.7	Thermosensoren und Thermoregulation	130
3.8	Jahreszeitliche Probleme der Energieversorgung und Thermoregulation	140
3.8.1	Diapause, Estivation und Winterschlaf bei Ektothermen	140
3.8.2	Jahreszeitliche Anpassung des Energiehaushalts bei Endothermen	140
3.8.3	Torpor, Winterschlaf und Tagesschlaflathargie	141
	Literatur	144
4	Atmung	149
4.1	Abhängigkeit vom Sauerstoff	149
4.1.1	Sauerstoff und Kohlendioxid in der Luft	150
4.1.2	Wie kommen die Atemgase ins Wasser?	154
4.1.3	Gasaustausch durch Diffusion	157
4.1.4	Vergleich der Atmung in Luft mit der Atmung in Wasser	158
4.2	Atmung ohne Atemorgane	161
4.2.1	Hautatmung	162
4.2.2	Gasaustausch von Vogeleiern	165
4.3	Aufbau und Funktion von Atemorganen	166
4.4	Atmung im Wasser mit Kiemen	168
4.4.1	Mollusken	169
4.4.2	Crustaceen	170
4.4.3	Insekten	173
4.4.4	Kiemenatmung bei Fischen	173
4.5	Luftatmung mit Lungen	179
4.5.1	Evertbraten atmen mit Diffusionslungen	179
4.5.2	Wirbeltiere atmen mit Ventilationslungen	180
4.5.3	Luftatmung bei Fischen	181
4.5.4	Amphibien- und Reptilienlungen	182
4.5.5	Säugetierlunge	186

4.5.6	Vogellunge	194
4.5.7	Regulation der Lungenatmung	198
4.6	Tracheen – ein alternativer Weg der Luftatmung	205
4.6.1	Intermittierende Ventilation	206
4.6.2	Physikalische Kieme	208
4.6.3	Plastronatmung	210
	Literatur	210
5	Blut	213
5.1	Was ist Blut?	215
5.2	Plasmaproteine als universelle Transportvehikel und Speicher	215
5.2.1	Funktionen einzelner Plasmaproteine	216
5.2.2	Plasmaproteine als Eiweißspeicher	218
5.2.3	Kolloidosmotischer Druck und Wasserhaushalt	218
5.3	Blutzellen	219
5.4	Transport von Atemgasen	220
5.5	Respiratorische Proteine	221
5.5.1	Hämoglobin	223
5.5.2	Chlorocruorin	228
5.5.3	Hämerythrin	228
5.5.4	Hämocyanin	229
5.6	Physiologische Rolle der respiratorischen Proteine beim Sauerstofftransport	230
5.7	Modulatoren der Sauerstoffbindung	232
5.7.1	Bohr-Effekt	233
5.7.2	Root-Effekt	234
5.7.3	Organische Phosphate	235
5.7.4	Temperaturwirkung auf respiratorische Proteine	237
5.8	Transport von Kohlendioxid	238
5.9	Sauerstofftransfer im Gewebe	239
5.10	Evolution von Transportsystemen für Sauerstoff	241
5.11	Pufferfunktion des Bluts	243
5.12	Schutzfunktion des Blutes – Blutgerinnung	245
5.12.1	Primäre Hämostase	246
5.12.2	Blutgerinnung	246
5.13	Abwehrfunktionen der Evertebraten	248
5.14	Abwehrfunktionen der Säugetiere	249
5.14.1	Unspezifisches Abwehrsystem	251
5.14.2	Spezifisches Abwehrsystem, Immunreaktionen	252
6	Kreislauf	257
6.1	Offenes Kreislaufsystem	258
6.2	Geschlossener Kreislauf	260
6.3	Kreislaufsystem der Anneliden	261
6.4	Aufbau des Kreislaufsystems der Wirbeltiere	262
6.5	Kontraktion des Wirbeltierherzens	265
6.5.1	Zelluläre Mechanismen des Erregungsablaufs im Herzmuskel	266
6.5.2	Herzfrequenz und Förderleistung des Herzens	268

6.5.3	Regelung der Herztätigkeit und Vasomotorik	268
6.6	Blutgefäße	270
6.6.1	Arteriell System	271
6.6.2	Kapillaren und Mikrozirkulation	278
6.6.3	Venöses Gefäßsystem	280
6.7	Blutverteilung und Kreislaufregulation	281
	Literatur	283
7	Ernährung und Verdauung	287
7.1	Nahrungsquellen und Methoden der Nahrungsaufnahme	288
7.1.1	Mikrophagen	288
7.1.2	Ernährung durch Endosymbionten	288
7.1.3	Aufnahme gelöster Substanzen aus dem Wasser	289
7.1.4	Makrophage Carnivoren	290
7.1.5	Ernährung mit Flüssigkeiten	290
7.2	Verdauung	291
7.2.1	Verdauungsenzyme	294
7.2.2	Enzymatischer Abbau der Nahrung im Verdauungstrakt des Menschen	296
7.2.3	Mund	297
7.2.4	Magen	299
7.2.5	Darm	301
7.2.6	Verdauendes-resorbierendes Epithel des Dünndarms	304
7.2.7	Regelung des Verlaufs der Verdauung	308
7.2.8	Regelung der Nahrungsaufnahme und des Körpergewichts	311
7.3	Verdauung von Cellulose	314
7.3.1	Autogene Cellulase oder Celluloseabbau durch Endosymbionten?	315
7.3.2	Celluloseverdauung bei Wiederkäuern	316
7.3.3	Postgastrische Celluloseverdauung	318
7.3.4	Vergleich von prägastrischer und postgastrischer Celluloseverdauung	318
7.4	Essenzielle Nahrungsbestandteile	319
7.4.1	Essenzielle Fettsäuren	319
7.4.2	Essenzielle Aminosäuren	319
7.4.3	Vitamine	322
	Literatur	326
8	Osmoregulation und Exkretion	329
8.1	Zusammensetzung der Körperflüssigkeiten	330
8.2	Osmose	332
8.3	Transport von Wasser und Ionen über die Plasmamembran	334
8.4	Endprodukte des Stickstoff-Stoffwechsel	335
8.4.1	Ammoniak	336
8.4.2	Harnstoff	337
8.4.3	Harnsäure	338
8.5	Kontraktile Vakuole	340
8.6	Grundprinzipien der Exkretion	342

8.6.1	Filtration	343
8.6.2	Resorption	344
8.7	Exkretionsorgane	345
8.7.1	Nephridien	346
8.7.2	Antennendrüse der Arthropoden	348
8.7.3	Malpighische Gefäße der Insekten	349
8.7.4	Nieren der Wirbeltiere	351
8.7.5	Funktion der Säugetierniere	353
8.7.6	Regelung der Nierenfunktion	360
8.8	Strategien der Osmoregulation	363
8.8.1	Invertebraten	363
8.8.2	Fische	364
8.8.3	Amphibien	366
8.8.4	Reptilien und Vögel	367
	Literatur	368
9	Hormone	371
9.1	Vergleich von chemischer Kommunikation durch Hormone mit der zellulären Kommunikation durch das Nervensystem	371
9.2	Entdeckung der Hormone	372
9.2.1	Konzept der chemischen Kommunikation	373
9.2.2	Wettrennen um Testosteron	373
9.2.3	Insulin hilft Diabetikern	374
9.3	Chemische Botenstoffe, ein universelles Werkzeug zur Kommunikation	375
9.3.1	Lokale Funktionskontrolle durch Zytokine	376
9.3.2	Stickstoffmonoxid, ein besonders rasches chemisches Signal	376
9.3.3	Kommunikation durch Duftstoffe	379
9.4	Hormonrezeptoren	381
9.4.1	Cytosolische Rezeptoren für Steroidhormone	382
9.4.2	Membranständige Rezeptoren für Proteohormone	382
9.5	Endokrine Systeme der Invertebraten	385
9.5.1	Hydrozoen	386
9.5.2	Anneliden	386
9.5.3	Mollusken	387
9.5.4	Insekten	388
9.6	Endokrines System der Wirbeltiere	393
9.7	Hypophyse – Die Führungsdrüse des endokrinen System	394
9.7.1	Adenohypophyse	395
9.7.2	Hormone der Neurohypophyse	403
9.8	Urophyse	404
9.9	Pinealorgan	404
9.10	Schilddrüse	407
9.11	Parathyreoidea, Ultimobranchialdrüsen und Stanniussche Körperchen	409
9.12	Hormone des Gastrointestinaltrakts	410
9.13	Endokriner Pankreas	410
9.14	Nebenniere	412

9.14.1	Chromaffine Zellen	413
9.14.2	Steroidhormone der Nebennierenrinde	414
9.15	Steroidhormone der Gonaden	417
9.15.1	Spermatogenese und Testosteron	417
9.15.2	Östrus – Zyklische Reifung der Oozyten	418
9.15.3	Endokrine Steuerung des Zyklus durch Östrogene und Gestagene	419
9.15.4	Differenzierung der Geschlechter durch Sexualhormone	421
	Literatur	422
10	Biologische Rhythmen	425
10.1	Biologische Rhythmen und geophysikalische Zyklen	425
10.1.1	Tag-Nacht-Zyklus	426
10.1.2	Jahreszeiten	426
10.1.3	Gezeiten und Mondphasen	427
10.2	Tagesperiodik	428
10.2.1	Besitzen Tiere eine circadiane Uhr?	428
10.2.2	Synchronisation der Tagesperiodik	431
10.2.3	Aktivitätsmuster und ultradiane Rhythmik	433
10.2.4	Interne Synchronisation	434
10.2.5	Circadiane Ruhephase und Schlaf	437
10.2.6	Aufbau und Funktion des circadianen Schrittmachers	438
10.2.7	Circadiane Schrittmacher bei Evertebraten	439
10.2.8	Circadiane Schrittmacher von Wirbeltieren	440
10.2.9	Molekularer Mechanismus des circadianen Schrittmachers von Insekten	444
10.2.10	Molekularer Mechanismus des circadianen Schrittmachers der Säugetiere	445
10.3	Jahresperiodische Prozesse	448
10.3.1	Circannuale Rhythmen	448
10.3.2	Eigenschaften endogen circannualler Rhythmen	449
10.3.3	Wie entsteht ein circannualler Rhythmus?	451
10.3.4	Synchronisation der circannualen Periodik	451
10.4	Photoperiodische Steuerung der jahreszeitlichen Akklimatisation	453
10.4.1	Photoperiodische Zeitmessung	453
10.5	Adaptive Bedeutung endogener Rhythmen	455
	Literatur	456
11	Reize und Reiztransport	459
11.1	Sinnesreize	460
11.1.1	Ausbreitungsgeschwindigkeit im Medium	460
11.1.2	Reizabschwächung im Medium	460
11.1.3	Filterwirkung der reizleitenden Medien	461
11.2	Abbildung	463
11.3	Information und Rauschen	464
11.3.1	Signaldetektion im Rauschen	464
11.3.2	Stochastische Resonanz	466
11.3.3	Filtern	466

11.4	Allgemeine Mechanismen der Sinnesphysiologie	468
11.4.1	Transduktion	468
11.4.2	Dynamikbereich und Adaptation	468
11.4.3	Reiz- und Wahrnehmungskategorien	469
	Literatur	470
12	Neurone und Zentralnervensysteme	471
12.1	Das Neuron	471
12.2	Ionenkanäle	476
12.2.1	Liganden-gesteuerte Kanäle	477
12.2.2	Potenzial-gesteuerte Ionenkanäle	480
12.2.3	Ca ²⁺ -gesteuerte Ionenkanäle	481
12.2.4	Mechanisch gesteuerte Ionenkanäle	481
12.2.5	Indirekt oder G-Protein-gesteuerte Ionenkanäle (CNG-Kanäle)	481
12.3	Synapsen	485
12.3.1	Chemische Synapsen	485
12.3.2	Elektrische Synapsen	490
12.4	Volumen-Transmission: Informationsübertragung im extrazellulären Raum	492
12.5	Glia	493
12.5.1	Wichtige Funktionen der Glia	495
12.6	Die Nervensysteme	500
12.6.1	Allgemeine Entwicklungslinien	500
12.6.2	Nervennetz der Coelenteraten	505
12.6.3	Nervensystem unsegmentierter Würmer	505
12.6.4	Nervensystem der Mollusken	506
12.6.5	Strickleiternnervensystem der Anneliden und Arthropoden	508
12.6.6	Zentralnervensystem der Wirbeltiere	513
	Literatur	534
13	Chemische Sinne	537
13.1	Riechen	537
13.1.1	Riechen bei Wirbeltieren	541
13.1.2	Riechen bei den Insekten	546
13.1.3	Das spezifische Riechsystem	550
13.2	Geschmack	561
13.2.1	Schmecken bei den Wirbeltieren	563
13.2.2	Schmecken bei Wirbellosen	568
	Literatur	569
14	Mechanische Sinne	571
14.1	Mechanisch gesteuerte Ionenkanäle	571
14.2	Mechanosensitive Sinneszellen	571
14.2.1	Haarzellen	571
14.2.2	Sensillen der Arthropoden	577
14.2.3	Freie Nervenendigungen	578

14.3	Mechanische Somatosensorik und Propriozeption	578
14.3.1	Mechanorezeptoren der Haut am Beispiel der Säuger	580
14.3.2	Haare als mechanische Sinnesorgane	584
14.3.3	Zentralnervöse Repräsentation der Somatosensorik der Wirbeltiere	589
14.3.4	Mechanische Wahrnehmung durch Sensillen der Arthropoden	592
14.4	Gleichgewichtssinn	601
14.4.1	Statocysten der aquatischen, wirbellosen Tiere	603
14.4.2	Gleichgewichtsorgane der Wirbeltiere	609
	Literatur	623
15	Das Seitenliniensystem	629
15.1	Sinnesorgan des Seitenliniensystems	629
15.2	Bewegungsdetektion und -lokalisierung	632
	Literatur	638
16	Elektrorezeption	639
16.1	Elektrorezeptororgane	639
16.1.1	Ampullenorgane	639
16.1.2	Tubulusorgane der Gymnotiden	641
16.1.3	Mormyromasten und Knollenorgane der Mormyriden	643
16.2	Zentralnervöse Verarbeitung	645
16.2.1	Neuronale Rückkopplungen	649
16.3	Kommunikation	651
16.4	Elektrolokalisierung	651
16.5	Säugetiere	656
	Literatur	656
17	Hören	659
17.1	Schallsignale	659
17.1.1	Was ist Schall?	659
17.1.2	Schallreize und Laute	660
17.2	Hören bei Fischen	662
17.2.1	Rezeption der Partikelbewegung	662
17.2.2	Schalldruckrezeption	667
17.3	Hören bei terrestrischen Wirbeltieren	669
17.3.1	Anpassung an Luftschall: Das Mittel- und Außenohr	669
17.3.2	Das Innenohr der Wirbeltiere am Beispiel der Säuger	677
17.3.3	Betrachtungen zur Evolution des Innenohrs	685
17.3.4	Neuronale Verarbeitung von Hörsignalen	695
17.3.5	Lokalisierung von Schallquellen	709
17.3.6	Echoortung	723
17.4	Das Hören der Insekten	728
17.4.1	Frequenzanalyse	731
17.4.2	Zentralnervöse Verarbeitung	736
17.4.3	Phonotaxis	737
	Literatur	743

18	Sehen	747
18.1	Der Reiz	747
18.2	Lichtsinneszellen	748
18.3	Die Transduktion oder der photochemische Primärprozess	751
18.3.1	Transduktionsprozess bei Arthropoden	755
18.3.2	Abschalten der Erregung	756
18.3.3	Adaptation	756
18.3.4	Etho-ökologische Anpassung des Transduktionsprozesses	759
18.4	Das Sehen mit Linsenaugen bei Wirbellosen	759
18.4.1	Diffuser Lichtsinn	760
18.4.2	Einfache Sehorgane	760
18.4.3	Die Bildung von Linsenaugen	760
18.4.4	Linsenaugen und das Sehen bei Würmern	764
18.4.5	Linsenaugen und das Sehen bei Mollusken	766
18.4.6	Linsenaugen und das Sehen der Spinnen	775
18.5	Das Wirbeltierauge	781
18.5.1	Übersicht über den funktionellen Aufbau des Wirbeltierauges	781
18.5.2	Akkommodation	783
18.5.3	Adaptation	787
18.5.4	Das Auge der Fische	787
18.5.5	Das Auge der Vögel	791
18.6	Die Retina der Wirbeltiere	796
18.6.1	Die Schicht der Photorezeptorzellen	796
18.6.2	Die neuronale Retina	797
18.6.3	Neuronale Adaptation in der Retina	812
18.7	Das zentralnervöse Netzwerk des Sehens	816
18.7.1	Extrathalamische Projektionen	816
18.7.2	Das Corpus geniculatum laterale des Thalamus als Bewertungsfilter	818
18.7.3	Die Areale des visuellen Cortex	823
18.7.4	Rückkopplungen (Top-down-Einflüsse)	831
18.7.5	Lässt sich Informationstheorie auf biologische Informationsverarbeitung anwenden?	833
18.8	Die parietale WO-Bahn	837
18.8.1	Bewegung	838
18.8.2	Tiefenwahrnehmung	840
18.8.3	Optische Flussfelder bei Eigenbewegung	845
18.8.4	Bewegungen aus der Raumtiefe	845
18.8.5	Handlungsräume	849
18.9	Die WAS-Bahn	854
18.9.1	Die gnostischen Neurone der inferotemporalen Cortexareale	855
18.9.2	Optische Täuschungen	862
18.9.3	Visuelles Gedächtnis	862
18.10	Farbensehen	865
18.10.1	Zapfen und ihre Sehpigmente	865
18.10.2	Die neuronale Verarbeitung von Farbinformation	874

18.10.3	Der Farbcortex V4	879
18.11	Das Sehen mit Facettenaugen bei Arthropoden	884
18.11.1	Ommatidien	884
18.11.2	Augentypen	884
18.11.3	Adaptation	893
18.11.4	Neuronale Verarbeitung	895
18.11.5	Farbensehen	911
18.11.6	Der e-Vektor: das Sehen polarisierten Lichts	921
	Literatur	930
19	Muskulatur	935
19.1	Die funktionelle Einheit der Muskelkontraktion: das Sarkomer	935
19.2	Muskeltypen	939
19.2.1	Quergestreifte Muskulatur	939
19.2.2	Glatte Muskulatur	943
19.3	Steuerung der Muskelkontraktion	947
19.3.1	Elektromechanische Kopplung	947
19.3.2	Neuronale Kontrolle der Muskeltätigkeit	949
	Literatur	954
20	Bewegung und ihre Steuerung	955
20.1	Allgemeine Aspekte	955
20.1.1	Anforderungen an die Bewegungsmuskulatur	955
20.1.2	Neuronale Kontrolle	956
20.2	Schwimmen	959
20.2.1	Bewegung im Wasser	959
20.2.2	Schwimmen durch Rückstoß	960
20.2.3	Schwimmen bei Schnecken	969
20.2.4	Schwimmen bei Fischen	971
20.2.5	Das Fluchtschwimmen der Krebse	981
20.3	Terrestrische Lokomotion	986
20.3.1	Das Laufen der Arthropoden	990
20.3.2	Terrestrische Bewegung der Wirbeltiere	1001
20.4	Das Fliegen	1041
20.4.1	Aerodynamik	1041
20.4.2	Flugstil	1044
20.4.3	Der Flug der Insekten	1047
20.4.4	Flug der Vögel und Fledermäuse	1065
	Literatur	1073
21	Lernen und Gedächtnis	1077
21.1	Formen von Lernen und Gedächtnis: ein Begriffskatalog	1077
21.2	Neuronale Mechanismen von Lernen und Gedächtnis	1079
21.2.1	Serotonin als Vermittler der Sensitivierung	1079
21.2.2	Die aktivitätsabhängige, präsynaptische Bahnung als Basis assoziativen Lernens	1081
21.2.3	Postsynaptische Bahnung: Hebbsche Synapsen und NMDA-Rezeptoren	1084

21.2.4	Long term potentiation (LTP) und long term depression (LDP)	1084
21.2.5	Modulationen des Gedächtnisses	1091
21.3	Lernen und Gedächtnis bei Insekten	1092
21.3.1	Das Gedächtnis der Honigbienen	1093
21.3.2	Das Ortsgedächtnis der Honigbienen	1097
21.4	Gedächtnis der Wirbeltiere	1098
21.4.1	Das emotionale Gedächtnis und die Amygdala	1098
21.4.2	Der Hippocampus und das deklarative Gedächtnis	1099
21.4.3	Warum Primaten keine Ortsneurone haben	1114
21.4.4	Gedächtnis – ein verteiltes Netzwerk im Cortex	1118
21.4.5	Der Hippocampus und das Ortsgedächtnis der Vögel	1121
	Literatur	1125
	Sachverzeichnis	1127