

# Lehrbuch der Zoologie

Begründet von Hermann Wurbach

Fortgeführt und herausgegeben von Rolf Siewing

Mit Beiträgen von

M. Abs	H.-J. Kohler	C. Petzelt
H. Bick	H. Korn	J. C. Rüegg
J. Boeckh	G. Kümmel	W. Schäfer
R. B. Clark	H. Künnemann	R. Siewing
U. Ehlers	B. Kummer	D. Sperlich
P. Emschermann	M. Lindauer	G. Steger
K.-J. Götting	S. Lorenzen	W. Sudhaus
W. Hanke	R. Matthes	G. Teuchert
W. Härder	H. Moeller	W. Traut
I. Hasenfuß	R. Müller	E. Tretzel
K. Hausmann	W. Nachtigall	W. Westheide
K. Herrmann	K. Nier	P. Weygoldt
K. Immelmann	J. Niethammer	W. Wichard
R. W. Kaplan	D. Patterson	
E. Kilian	H. Paulus	

Band 1 • Allgemeine Zoologie

Band 2 • Spezielle Zoologie

# Allgemeine Zoologie

3., völlig neubearbeitete Auflage  
herausgegeben von Rolf Siewing

Mit Beiträgen von

M. Abs	P. Matthes
H. Bick	R. Müller
J. Boeckh	W. Nachtigall
R. B. Clark	K. Nier
W. Hanke	J. C. Ruegg
K. Hausmann	R. Siewing
K. Immelmann	D. Sperlich
R. W. Kaplan	G. Steger
H. Korn	W. Traut
G. Kümmel	E. Tretzel
H. Künnemann	P. Weygoldt
B. Kummer	W. Wichard
M. Lindauer	

723 Abbildungen und 49 Tabellen



Gustav Fischer Verlag • Stuttgart • New York 1980

# Inhaltsverzeichnis

Vorwort . . . . .	VII
Mitarbeiterverzeichnis . . . . .	V
Einleitung . . . . .	IX
1. Teil: Entstehung des Lebens auf der Erde . . . . .	1
1. <b>Biogenese</b> . . . . .	3
1.1. Das Problem . . . . .	3
1.2. Begriff «Leben». . . . .	3
1.3. Leben als Effekt molekularer Systeme. . . . .	3
1.4. Urzeugung . . . . .	5
1.5. Frühe fossile Lebenszeugnisse. . . . .	7
1.6. Chemische Evolution. . . . .	8
1.6.1. Bedingungen zur Frühzeit der Erde. . . . .	9
1.6.2. Abiotische Bildung von Bausteinmolekülen. . . . .	9
1.6.3. Abiogene Proteine und Nukleinsäuren. . . . .	10
1.6.4. Abiotische Urenzyme und Urgene. . . . .	10
1.6.5. Präzelluläre Strukturen . . . . .	11
1.7. Der Schritt zum Leben: Erste autoreproduktive und mutable Systeme. . . . .	12
1.7.1. Molekül- und Zell-Leben (Geno- und Holobiosis). . . . .	12
1.7.2. Wege und Wahrscheinlichkeiten von Biogenesen. . . . .	12
1.7.3. Vielschritt-Theorie. . . . .	13
1.7.4. Mehrtreffertheorie. . . . .	13
1.7.5. Funktioneller Bau von Protozellen. . . . .	15
1.7.6. Proteinleben. . . . .	17
1.8. Frühe Evolution. . . . .	17
1.8.1. Geschwindigkeit früher Evolution. . . . .	18
1.8.2. Entwicklung der Ernährung. . . . .	18
1.8.3. Entwicklung der Reproduktion. . . . .	19
1.8.4. Entwicklung des Erbwandels. . . . .	19
2. Teil: Die Grundbausteine der Tiere: Zelle und Gewebe . . . . .	21
2. <b>Die Zelle</b> . . . . .	23
2.1. Allgemeines. . . . .	23
2.1.1. Hilfsmittel und Methoden der Zellforschung. . . . .	23
2.1.2. Zelldimensionen und Zellformen. . . . .	24
2.1.3. Autotrophie - Heterotrophie - Mixotrophie - Amphitrophie. . . . .	24
2.1.4. Protocyten - Eucyten - Viren. . . . .	24
2.2. Chemische Zusammensetzung der Zelle. . . . .	25
2.2.1. Proteine. . . . .	25
2.2.2. Nukleinsäuren. . . . .	26
2.2.3. Kohlenhydrate. . . . .	27
2.2.4. Lipide. . . . .	27
2.2.5. Porphyrine. . . . .	28
2.3. Struktur der Zelle. . . . .	28
2.3.1. Organisation der Eucyte. . . . .	28

## XIV • Inhaltsverzeichnis

2.3.1.	Membranen . . . . .	28
	(1) Allgemeines . . . . .	29
	(2) Plasmamembran . . . . .	31
2.3.1.2.	Grundplasma . . . . .	33
	(1) Ribosomen . . . . .	33
	(2) Mikrotubuli . . . . .	33
	(3) Filamente . . . . .	36
2.3.1.3.	Zellkern . . . . .	36
	(1) Strukturen des Zellkerns . . . . .	37
	(2) Mitose . . . . .	39
	(3) Meiose . . . . .	42
2.3.1.4.	Endomembransysteme . . . . .	44
	(1) Endoplasmatisches Retikulum . . . . .	44
	(2) Microbodies . . . . .	44
	(3) Golgi-Apparat . . . . .	44
	(4) Lysosomen . . . . .	46
	(5) Membranfluß . . . . .	46
2.3.1.5.	Mitochondrien . . . . .	48
2.3.1.6.	Interzellulärsubstanzen . . . . .	48
2.3.2.	Organisation der Protoctye . . . . .	49
2.3.2.1.	Nukleocytoplasmatische Matrix . . . . .	49
2.3.2.2.	Membranen . . . . .	50
2.3.2.3.	Extraplasmatische Anhänge . . . . .	50
3.	<b>Besonderheiten der Protozoenzelle . . . . .</b>	<b>51</b>
3.1.	Allgemeines . . . . .	51
3.2.	Organellen und ihre Wirkungsweise . . . . .	52
3.2.1.	Motilitäterscheinungen . . . . .	52
3.2.1.1.	Protoplasmabewegungen . . . . .	53
3.2.1.2.	Flagellen- und Geißelbewegungen . . . . .	54
3.2.1.3.	Weitere Bewegungsarten . . . . .	54
3.2.2.	Cytotische Vorgänge . . . . .	55
3.2.2.1.	Endocytose . . . . .	57
3.2.2.2.	Exocytose . . . . .	59
3.2.3.	Osmoregulation . . . . .	63
3.2.4.	Extrusome . . . . .	63
3.2.4.1.	Spindeltrichocysten . . . . .	64
3.2.4.2.	Mucocysten . . . . .	65
3.2.4.3.	Toxicysten . . . . .	65
3.3.	Verhalten . . . . .	65
3.4.	Reproduktion und Sexualprozesse . . . . .	68
3.4.1.	Asexuelle Vermehrung . . . . .	68
3.4.2.	Sexualprozesse . . . . .	68
3.4.3.	Generationswechsel . . . . .	70
3.5.	Abgrenzung Protozoen - Metazoen . . . . .	<b>71</b>
4.	<b>Zellstoffwechsel . . . . .</b>	<b>73</b>
4.1.	Allgemeines . . . . .	73
4.1.1.	Autotrophie, Heterotrophie . . . . .	73
4.1.2.	Katabolismus, Anabolismus . . . . .	73
4.1.3.	Kompartimente . . . . .	74
4.2.	Biomoleküle . . . . .	74
4.2.1.	Wasser . . . . .	74
	(1) Bedeutung des Wassers . . . . .	74

	(2) Eigenschaften des Wassers. . . . .	74
	(3) Wasser im Organismus. . . . .	75
4.2.2.	Proteine und Aminosäuren. . . . .	76
	(1) Bedeutung der Proteine. . . . .	76
	(2) Bau. . . . .	76
	(3) Kettenkonformation. . . . .	78
	(4) Eigenschaften der Proteine. . . . .	79
4.2.3.	Kohlenhydrate. . . . .	80
	(1) Bedeutung der Kohlenhydrate. . . . .	80
	(2) Bau. . . . .	80
4.2.4.	Lipide. . . . .	81
	(1) Bedeutung der Lipide. . . . .	81
	(2) Bau. . . . .	83
4.2.5.	Porphyrine. . . . .	83
4.3.	Energetik. . . . .	84
4.3.1.	Freie Entalpie. . . . .	84
4.3.2.	Gruppenübertragungspotential. . . . .	84
4.3.3.	Aktivierungsenergie. . . . .	85
4.4.	Enzyme. . . . .	85
4.4.1.	Eigenschaften. . . . .	85
4.4.2.	Michaelis - Menten - Gleichung. . . . .	86
4.4.3.	Allosterische Enzyme. . . . .	87
4.4.4.	Enzymhemmung. . . . .	87
4.4.5.	Bestimmung der Enzymaktivität. . . . .	87
4.4.6.	Benennung und Einteilung. . . . .	88
4.4.7.	Isoenzyme. . . . .	88
4.4.8.	Multi-Enzym-Komplex. . . . .	88
4.5.	Stoffwechsel der Kohlenhydrate. . . . .	88
4.5.1.	Glycolyse. . . . .	89
4.5.2.	Gluconeogenese. . . . .	89
4.5.3.	Synthese und Abbau des Glykogen. . . . .	90
4.5.4.	Pentosephosphat-Zyklus. . . . .	91
4.5.5.	Regulationen. . . . .	91
4.6.	Stoffwechsel der Triacylglycerine. . . . .	92
4.6.1.	Intrazelluläre Hydrolyse. . . . .	92
4.6.2.	$\beta$ -Oxidation der Fettsäuren. . . . .	93
4.6.3.	Fettsäure-Synthese. . . . .	93
4.6.4.	Synthese der Triacylglycerine (Fett). . . . .	94
4.6.5.	Regulationen. . . . .	94
4.7.	Energiefreisetzung durch biologische Oxidation. . . . .	95
4.7.1.	Pyruvat-Dehydrogenase. . . . .	95
4.7.2.	Zitrat-Zyklus. . . . .	95
4.7.3.	Biologische Redox-Reaktionen. . . . .	96
4.7.4.	Elektronenübertragende Enzyme. . . . .	96
4.7.5.	Atmungskette. . . . .	97
4.8.	Regulation des Stoffwechsels. . . . .	98
4.8.1.	Regulation durch Enzymaktivität. . . . .	99
4.8.1.1.	Isosterische Effekte. . . . .	99
4.8.1.2.	Allosterische Effekte. . . . .	99
4.8.1.3.	Interkonversion. . . . .	99
4.8.1.4.	Begrenzte Proteolyse. . . . .	100
4.8.2.	Zusammenwirken von Glykose und Atmungskette. . . . .	100
4.8.3.	Energieladung. . . . .	100
4.8.4.	Regulation durch Enzymkonzentration. . . . .	100

4.8.4.1.	Jokob-Monod-Modell . . . . .	100
4.8.4.2.	Tomkins-Modell . . . . .	101
4.9.	Transportprozesse durch Membranen. . . . .	101
4.9.1.	Membranflußmechanismen. . . . .	102
4.9.2.	Transmembrantransport . . . . .	102
4.9.3.	Aktiver Transport . . . . .	104
5.	<b>Bioelektrizität</b> . . . . .	105
5.1.	Die biologische Membran im Ruhezustand. . . . .	105
5.2.	Die biologische Membran bei Erregung. . . . .	110
6.	<b>Biologie der Gewebe.</b> . . . . .	115
6.1.	Allgemeines. . . . .	115
6.1.1.	Definition der Gewebe. . . . .	115
6.1.2.	Zellverbindungen. . . . .	115
6.1.3.	Regenerationsmöglichkeiten. . . . .	115
6.1.4.	Systematik der Gewebe. . . . .	115
6.2.	Epithelgewebe. . . . .	115
6.2.1.	Strukturelle Typen. . . . .	116
6.2.2.	Funktionelle Typen. . . . .	116
6.2.3.	Deckepithel. . . . .	117
6.2.4.	Cuticularepithel . . . . .	117
6.2.5.	Epitheldifferenzierungen. . . . .	120
6.3.	Binde- und Stützgewebe. . . . .	122
6.3.1.	Grundbausteine des Bindegewebes. . . . .	123
6.3.1.1.	Mesenchym . . . . .	123
6.3.1.2.	Massengewebe. . . . .	124
6.3.1.3.	Fibrilläres Bindegewebe. . . . .	124
6.3.2.	Intrazelluläre Substanzen. . . . .	128
6.3.3.	Interzelluläre Substanzen. . . . .	128
6.3.3.1.	Knorpel . . . . .	128
6.3.3.2.	Knochen . . . . .	132
6.3.3.3.	Dentin. . . . .	134
6.3.3.4.	Basalmembran-Skelett. . . . .	135
6.4.	Muskulatur. . . . .	135
6.4.1.	Allgemeines. . . . .	135
6.4.2.	Glatte Muskulatur. . . . .	135
6.4.3.	Quergestreifte Muskulatur. . . . .	137
6.4.4.	Herzmuskulatur. . . . .	138
6.4.5.	Muskelveränderungen. . . . .	138
6.4.6.	Muskelphysiologie. . . . .	138
6.4.6.1.	Strukturelle Grundlagen der Kontraktion. . . . .	139
	(1) Myofibrillen quergestreifter Muskeln. . . . .	139
	(2) Gleitfilamenttheorie. . . . .	140
	(3) Glatte Muskeln. . . . .	141
6.4.6.2.	Funktion und Funktionsweise der Muskeln. . . . .	141
	(1) Was leistet ein Muskel?. . . . .	141
	(2) Kontraktionsformen. . . . .	143
	(3) Zuckung, Tetanus, Kontraktur. . . . .	143
	(4) Wie entsteht Muskelkraft?. . . . .	144
	(5) Verkürzungsmechanismus der Sarkomere. . . . .	145
	(6) Muskeler schlaffung . . . . .	146
6.4.6.3.	Auslösung einer Kontraktion. . . . .	146
	(1) Neuromuskuläre Übertragung. . . . .	146

	(2) Erregung und elektromechanische Kopplung . . . . .	147
	(3) Regulierung der Kontraktionsstärke. . . . .	148
6.4.6.4.	Herz; glatter Muskel . . . . .	150
6.4.6.5.	Energiestoffwechsel des Muskels. . . . .	150
6.4.7.	Bau und Vorkommen der elektrischen Organe. . . . .	151
6.4.8.	Physiologie der elektrischen Organe. . . . .	152
6.5.	Nervengewebe. . . . .	157
6.5.1.	Allgemeines . . . . .	157
6.5.2.	Haupttypen der Neuronen. . . . .	158
6.5.3.	Strangewebe oder Nervenstränge. . . . .	158
6.5.4.	Neuroglia . . . . .	160
6.6.	Färbung. . . . .	160
6.6.1.	Pigmentzellen, Allgemeines. . . . .	160
6.6.2.	Farbwechsel. . . . .	162
6.7.	Leuchtorgane. . . . .	166
6.8.	Freie Zellen . . . . .	168
6.8.1.	Allgemeines . . . . .	168
6.8.2.	Amöboide Wanderzellen. . . . .	168
6.8.3.	Blut . . . . .	168
6.8.4.	Respiratorische Pigmente. . . . .	168
6.8.5.	Blutgerinnung . . . . .	169
6.8.6.	Omnipotente Zellen. . . . .	169
6.8.7.	Pluripotente Zellen. . . . .	169
6.9.	Immunsysteme. . . . .	169

### 3. Teil: Arterhaltung und Vererbung . . . . . 171

7.	<b>Fortpflanzung</b> . . . . .	173
7.1.	Allgemeines. . . . .	173
7.2.	Sexuelle Fortpflanzung . . . . .	174
7.2.1.	Keimzellenbildung, Gonaden. . . . .	175
7.2.2.	Entwicklung der Keimzellen . . . . .	177
7.2.2.1.	Oogenese. . . . .	178
7.2.2.2.	Eihüllen . . . . .	181
7.2.2.3.	Der Zeitpunkt der Meiose. . . . .	183
7.2.2.4.	Spermatogenese. . . . .	184
7.2.3.	Die Steuerung der Keimzellenreifung . . . . .	189
7.2.4.	Das Auffinden der Geschlechter-Sexualdimorphismus. . . . .	190
7.2.5.	Zusammenführung der Gameten. . . . .	192
7.2.6.	Vereinigung der Gameten-Befruchtung . . . . .	192
7.2.6.1.	Befruchtungstoffe. . . . .	193
7.2.6.2.	Cytogamie. . . . .	195
7.2.6.3.	Folgen der Cytogamie. . . . .	195
7.2.7.	Abweichende Formen sexueller Fortpflanzung . . . . .	197
7.2.7.1.	Parthenogenese. . . . .	197
7.2.7.2.	Merospermie . . . . .	198
7.2.8.	Neotonie und verzögerte Geschlechtsreife . . . . .	199
7.3.	Vegetative Fortpflanzung . . . . .	199
7.4.	Generationswechsel. . . . .	201
7.5.	Die Sorge für die Nachkommenschaft - Fortpflanzungsstrategien. . . . .	205
8.	<b>Embryologie</b> . . . . .	207
8.1.	Allgemeines. . . . .	207
8.2.	Ontogenese. . . . .	210

XVIII • Inhaltsverzeichnis

8.2.1.	Normogenese der Amphibien (Anura) . . . . .	210
8.3.	Vergleichende Embryologie; die Phasen der Ontogenese . . . . .	212
8.3.1.	Allgemeines . . . . .	212
8.3.2.	Furchung . . . . .	213
8.3.2.1.	Eitypen . . . . .	213
8.3.2.2.	Furchungstypen . . . . .	216
	(1) Holoblastische Ontogenesetypen . . . . .	218
	(2) Meroblastische Entwicklung . . . . .	221
8.3.3.	Ablösung der Keimblätter . . . . .	225
8.3.3.1.	Allgemeines . . . . .	225
8.3.3.2.	Keimblätterablösung bei Holoblastiern . . . . .	226
8.3.3.3.	Keimblätterablösung bei Meroblastiern . . . . .	231
8.3.4.	Differenzierung der Organe . . . . .	235
8.3.5.	Umwege der Entwicklung, Metamorphose . . . . .	239
8.3.5.1.	Allgemeines . . . . .	239
8.3.5.2.	Larvale Metamorphose . . . . .	242
8.3.5.3.	Embryonale Metamorphose . . . . .	245
8.3.5.4.	Plazenta . . . . .	246
	(1) Plazentatypen . . . . .	251
	(2) Der Mensch . . . . .	251
8.4.	Entwicklungsphysiologie . . . . .	253
8.4.1.	Die Rolle des Genoms in der Entwicklung . . . . .	253
8.4.1.1.	Das genetische Problem der Differenzierung: Totipotenz der Kerne . . . . .	254
8.4.1.2.	Differentielle Genaktivität . . . . .	256
8.4.1.3.	Translationskontrolle . . . . .	257
8.4.1.4.	Wechselwirkungen zwischen Genom und Plasma . . . . .	257
8.4.2.	Determination . . . . .	259
8.4.2.1.	Anlagenpläne . . . . .	259
8.4.2.2.	Regulations- und Mosaikkeime . . . . .	259
8.4.2.3.	Determinationszeitpunkt . . . . .	261
8.4.2.4.	Weitergabe des Determinationszustandes durch Zellheredität . . . . .	262
8.4.3.	Morphogenetische Signale . . . . .	263
8.4.3.1.	Theoretische Betrachtung . . . . .	263
	(1) Lageinformation und ihre Interpretation . . . . .	263
	(2) Morphogenetische Felder . . . . .	264
	(3) Mögliche Formen der Lageinformation . . . . .	264
	(4) Zeitinformation . . . . .	265
8.4.3.2.	Cytoplasmatische Determinanten im Ei . . . . .	265
	(1) Morphogenetische Faktoren im Eiplasma . . . . .	265
	(2) Determination der Achsen . . . . .	267
	(3) Cytoplasmatische Determinanten für die Bildung der Urkeimzellen . . . . .	267
8.4.3.3.	Morphogenetische Gradienten . . . . .	268
	(1) Seeigel . . . . .	269
	(2) Das Segmentmuster der Insekten . . . . .	271
8.4.3.4.	Embryonale Induktion . . . . .	272
	(1) Primäre (= neurale) Induktion in der Wirbeltierentwicklung . . . . .	273
	(2) Die Kompetenz für neurale Induktion . . . . .	274
	(3) Die Natur des morphogenetischen Signals in der neuralen Induktion . . . . .	274
	(4) Die Entwicklung des Wirbeltierauges als Beispiel sekundärer und tertiärer Induktion . . . . .	276
	(5) Wechselwirkungen zwischen Epithel und Mesenchym in der Organogenese . . . . .	277
	(6) Artspezifität der Antwort auf Induktionssignale . . . . .	279
8.4.4.	Spezifische Zellkontakte und Gestaltungsbewegungen . . . . .	279
8.4.4.1.	Zelldissoziation und-reaggregation in vitro . . . . .	279

8.4.4.2.	Analyse der Gestaltungsbewegungen . . . . .	281
8.4.4.3.	Zelldissoziation und -reaggregation in vivo . . . . .	282
8.4.4.4.	Die Spezifität von Nervenverbindungen . . . . .	282
8.4.5.	Physiologie der Metamorphose: zeitliche Koordination . . . . .	283
8.4.5.1.	Externe Auslöser . . . . .	283
8.4.5.2.	Steuerung der Metamorphose durch Hormone . . . . .	284
	(1) Amphibien-Metamorphose . . . . .	284
	(2) Insekten-Metamorphose . . . . .	285
8.4.6.	Regeneration . . . . .	286
8.4.6.1.	Hydra . . . . .	287
8.4.6.2.	Regeneration einer Extremität . . . . .	289
8.4.6.3.	Die Stabilität des differenzierten Zustandes . . . . .	289
8.4.6.4.	Regenerationsleistung als Vermehrungsmodus . . . . .	290
9.	<b>Genetik</b> . . . . .	291
9.1.	Klassische Genetik . . . . .	291
9.1.1.	Allgemeines und geschichtlicher Überblick . . . . .	291
9.1.2.	Die Mendelschen Regeln . . . . .	291
9.1.3.	Die Chromosomentheorie der Vererbung . . . . .	295
9.1.3.1.	Die cytologischen Grundlagen der Vererbung . . . . .	295
9.1.3.2.	Die genotypische Geschlechtsbestimmung . . . . .	296
9.1.3.3.	Der X-Chromosomale Erbgang . . . . .	298
9.1.3.4.	Genkoppelung und Genaustausch . . . . .	299
9.1.3.5.	Theoretische und reelle Chromosomenkarten . . . . .	301
9.1.3.6.	Die Mutation . . . . .	303
9.1.4.	Die Vererbung quantitativer Merkmale . . . . .	307
9.1.4.1.	Die statistische Analyse eines quantitativen Merkmals . . . . .	307
9.1.4.2.	Die Theorie der polygenen Vererbung . . . . .	308
9.1.4.3.	Erbe und Umwelt . . . . .	309
9.1.4.4.	Genetische Analyse eines quantitativen Merkmals . . . . .	309
9.2.	Molekulare Genetik . . . . .	311
9.2.1.	Aufbau und Wirkungsweise der genetischen Information . . . . .	311
9.2.1.1.	Chemischer Aufbau von DNS und RNS . . . . .	311
9.2.1.2.	Das Watson-Crick-Modell der DNS . . . . .	312
9.2.1.3.	Die Replikation der DNS . . . . .	313
9.2.1.4.	Die Transkription der genetischen Information . . . . .	314
9.2.1.5.	Der genetische Code . . . . .	315
9.2.1.6.	Die Translation . . . . .	315
9.2.1.7.	Die Wirkungsweise der Gene . . . . .	318
9.2.1.8.	Der Mutationsprozeß auf molekularer Ebene . . . . .	320
9.2.2.	Die Regulation der Gegenwirkung . . . . .	323
9.2.2.1.	Genregulation bei Bakterien . . . . .	323
9.2.2.2.	Genregulation bei Eukaryonten . . . . .	325
9.3.	Populations- und Evolutionsgenetik . . . . .	325
9.3.1.	Modelle in der Populationsgenetik . . . . .	325
9.3.1.1.	Das Hardy-Weinberg-Gesetz . . . . .	326
9.3.1.2.	Die Wirkung der Selektion . . . . .	327
9.3.1.3.	Die Wirkung der Mutation . . . . .	328
9.3.1.4.	Genetische Drift . . . . .	330
9.3.2.	Der genetische Aufbau natürlicher Populationen . . . . .	330
9.3.2.1.	Genetische Polymorphismen . . . . .	331
9.3.2.2.	Die genetische Variabilität . . . . .	332
9.3.2.3.	Wieviel Polymorphismus und Variabilität gibt es? . . . . .	335
9.3.3.	Intra- und Interspezifische Evolution . . . . .	337

9.3.3.1.	Adaptation und Rassenbildung	337
9.3.3.2.	Die genetischen Mechanismen der Artbildung	338
9.3.4.	Die Langzeit-Evolution	340
9.3.4.1.	Die Evolution der Proteine	340
9.3.4.2.	Die Evolution des Genoms	342
<b>4. Teil:</b>	<b>Der tierische Organismus</b>	<b>343</b>
<b>10.</b>	<b>Sinne</b>	<b>345</b>
10.1.	Allgemeine Sinnesphysiologie	345
10.1.1.	Wirksame Energieformen und adäquater Reiz	345
10.1.2.	Reizparameter	345
10.1.3.	Primärprozesse und Signalbildung	345
10.1.4.	Erregungsverlauf	348
10.1.5.	Arbeitsbereich	349
10.1.6.	Psychophysik	352
10.2.	Lichtsinn	353
10.2.1.	Allgemeines	353
10.2.2.	Augen von Wirbellosen (ohne Arthropoden und Cephalopoden)	353
10.2.3.	Einzelaugen von Arthropoden	353
10.2.4.	Komplexaugen von Arthropoden	354
10.2.5.	Linsenaugen der Cephalopoden und Wirbeltiere	357
10.2.6.	Primär- und Transduktionsprozesse	359
10.2.7.	Neuronale Verarbeitungsmechanismen in der Sehbahn	359
10.2.8.	Farbsehen	358
10.2.9.	Sehen von polarisiertem Licht	361
10.3.	Mechanische Sinne	361
10.3.1.	Allgemeines	361
10.3.2.	Protozoen und skelettlose Evertebraten	362
10.3.3.	Arthropoden	362
10.3.4.	Wirbeltiere	364
10.3.5.	Strömungssinn der Wirbeltiere	366
10.3.6.	Lage und Drehsinn	366
10.3.7.	Gehörsinn	369
10.4.	Chemische Sinne	372
10.4.1.	Allgemeines	372
10.4.2.	Wirbellose außer Landarthropoden	374
10.4.3.	Geruch und Geschmack	375
10.4.3.1.	Landarthropoden	375
10.4.3.2.	Wirbeltiere	376
10.4.4.	Primärprozesse und Neurophysiologie	381
10.5.	Temperatursinn	383
10.5.1.	Das Grubenorgan der Schlangen (Grubenottern)	384
10.6.	Feuchtigkeitssinn	384
10.7.	Schmerzsinn	384
10.8.	Elektrischer Sinn	387
10.9.	Magnetischer Sinn	387
<b>11.</b>	<b>Bewegung</b>	<b>389</b>
<b>11.1.</b>	<b>Allgemeine Prinzipien</b>	<b>389</b>
11.2.	Kontaktfläche und Reynolds Zahl	389
11.3.	Skelettmuskelsysteme	390
11.4.	Körperachsen	392
11.5.	Konvergenzen	392

11.6.	Wirbellose Tiere. . . . .	392
11.6.1.	Kriechen. . . . .	392
11.6.1.1.	Wimper-Kriechen. . . . .	392
11.6.1.2.	Muskulöser Kriechfuß. . . . .	393
11.6.1.3.	Egelartige Ortsbewegung. . . . .	393
11.6.2.	Prinzipien des hydrostatischen Skeletts. . . . .	393
11.6.2.1.	Antagonistische Muskelsysteme. . . . .	393
11.6.2.2.	Volumenkonstanz. . . . .	395
11.6.2.3.	Eigenheiten der Muskeln. . . . .	395
11.6.2.4.	Grenzen der Formveränderung. . . . .	395
11.6.3.	Bohren im Substrat. . . . .	399
11.6.3.1.	Diskontinuierliches Bohren. . . . .	399
11.6.3.2.	Rüssel-Apparaturen. . . . .	399
11.6.3.3.	Peristaltische Lokomotionswellen. . . . .	399
11.6.4.	Schwimmen. . . . .	401
11.6.4.1.	Undulierendes Schwimmen. . . . .	401
11.6.4.2.	Schwimmen mit Hilfe von Anhängen. . . . .	404
11.6.4.3.	Düsen-Strahltrieb. . . . .	405
11.6.4.4.	Schreiten, Laufen, Springen. . . . .	406
11.7.	Primärer Bewegungsapparat der Chordaten. . . . .	410
11.7.1.	Allgemeines. . . . .	410
11.7.2.	Primärer Bewegungsapparat: Rumpf-Schwanz. . . . .	410
11.7.3.	Sekundärer Bewegungsapparat: Paarige Extremitäten. . . . .	415
11.7.3.1.	Flossen, ihre primären und sekundären Funktionen. . . . .	415
11.7.3.2.	Die Extremitäten landbewohnender Tetrapoden. . . . .	415
11.7.3.3.	Allgemeine Mechanik der Extremitätengelenke. . . . .	420
11.7.3.4.	Funktionelle Beanspruchung und funktioneller Bau des Extremitätenskeletts. . . . .	422
11.7.4.	Konstruktive Anpassung des Stammes an das Landleben. . . . .	425
11.7.5.	Quadrupede Lokomotion der Mammalia. . . . .	427
11.7.6.	Bipede Lokomotion der Vertebraten. . . . .	428
11.7.7.	Klettern. . . . .	431
11.7.8.	Einfluß von Körpergröße und Gravitation auf die Konstruktion des Bewegungsapparates landbewohnender Tetrapoden. . . . .	432
11.7.9.	Rückkehr in das Wasser, sekundäres Schwimmen. . . . .	434
11.8.	Passives und aktives Fliegen der Vertebraten. . . . .	438
11.8.1.	Allgemeines. . . . .	438
11.8.2.	Grundsätzliches zur Flugtechnik. . . . .	439
11.8.3.	Flug aus dem Wasser. . . . .	440
11.8.4.	Sprunggleiten und Gleiten der Tetrapoden. . . . .	441
11.8.5.	Echtes Fliegen. . . . .	442
11.8.5.1.	Segel- und Flatterflug bei Pterosauria und Chiroptera. . . . .	443
11.8.5.2.	Körperbau und Flug der Vögel. . . . .	445
11.9.	Insektenflug. . . . .	450
11.9.1.	Allgemeines. . . . .	450
11.9.2.	Flugzustände, Kräfteverhältnisse. . . . .	450
11.9.3.	Flügelbewegung und Luftkrafterzeugung. . . . .	454
11.9.4.	Aerodynamische Eigenschaften des Flügels. . . . .	457
11.9.5.	Statisch-funktionelle Flügelgestaltung. . . . .	460
11.9.6.	Flügelantrieb und Flügelmuskeln. . . . .	462
11.9.7.	Flugsteuerung. . . . .	463
12.	<b>Ernährung</b> . . . . .	469
12.1.	Allgemeines. . . . .	469
12.2.	Quantitative und qualitative Aspekte der Ernährung. . . . .	469

## XXII • Inhaltsverzeichnis

12.3.	Essentielle Nahrungsfaktoren . . . . .	473
12.4.	Typen der Nahrungsaufnahme . . . . .	475
12.4.1.	Filterer . . . . .	475
12.4.2.	Kratzer . . . . .	477
12.4.3.	Schlinger . . . . .	477
12.4.4.	Kauer . . . . .	477
12.4.5.	Sauger . . . . .	478
12.4.6.	Außenverdauung . . . . .	479
12.5.	Transport der Nahrung durch den Verdauungskanal . . . . .	479
12.5.1.	Aufnahmeraum . . . . .	479
12.5.2.	Weiterleitung und Speicherung . . . . .	482
12.5.3.	Innere Zerkleinerung und frühe Verdauung . . . . .	482
12.5.4.	Endgültige Verdauung und Resorption . . . . .	484
12.5.5.	Defäkation . . . . .	489
12.6.	Motilität des Verdauungskanals . . . . .	490
12.7.	Steuerung der Darmsekretion . . . . .	491
12.8.	Symbionten . . . . .	492
12.9.	Resorption . . . . .	494
12.9.1.	Ort der Resorption . . . . .	494
12.9.1.1.	Intrazelluläre Verdauung . . . . .	494
12.9.1.2.	Extrazelluläre Verdauung . . . . .	494
12.9.1.3.	Extraintestinale Verdauung . . . . .	495
12.9.1.4.	Parenterale Verdauung und Resorption . . . . .	495
12.9.2.	Transportmechanismen bei der Resorption . . . . .	496
12.9.2.1.	Resorption von Wasser und Elektrolyten . . . . .	496
12.9.2.2.	Resorption von Kohlenhydraten . . . . .	497
12.9.2.3.	Resorption von Aminosäuren . . . . .	499
12.9.2.4.	Resorption von Fetten . . . . .	499
13.	<b>Respiration</b> . . . . .	501
13.1.	Allgemeines . . . . .	501
13.2.	Respiratorische Oberflächen . . . . .	501
13.2.1.	Luft als Atemmedium . . . . .	501
13.2.2.	Wasser als Atemmedium . . . . .	503
13.3.	Gas austausch und Transport . . . . .	506
13.4.	Sauerstoffbedarf der Tiere . . . . .	507
13.4.1.	Grundumsatz . . . . .	507
13.4.2.	Mechanismen der ökologischen Anpassung . . . . .	508
13.5.	Steuerung der Atmung . . . . .	509
14.	<b>Kreislaufsysteme</b> . . . . .	511
14.1.	Allgemeines . . . . .	511
14.2.	Vergleich der Verteilungssysteme und Kompartimente im Organismus . . . . .	511
14.3.	Vergleichend-morphologische Betrachtung der Blutkreislaufsysteme . . . . .	515
14.3.1.	Geschlossene Blutgefäßsysteme bei wirbellosen Tieren . . . . .	515
14.3.2.	Offene Blutgefäße bei wirbellosen Tieren . . . . .	516
14.3.3.	Geschlossene Blutgefäßsysteme bei Wirbeltieren . . . . .	516
14.3.4.	Das Lymphgefäßsystem . . . . .	521
14.4.	Die Dynamik in den Kreisläufen (Hämodynamik) . . . . .	522
14.4.1.	Hämodynamik in geschlossenen Systemen . . . . .	522
14.4.2.	Hämodynamik in offenen Systemen . . . . .	524
14.5.	Pumpsysteme . . . . .	524

15.	<b>Exkretion, Osmo- und Ionenregulation</b>	529
15.1.	Allgemeines.	529
15.2.	Osmo- und Ionenregulation.	530
15.2.1.	Beziehungen zwischen Einzelzellen und Umgebung	530
15.2.2.	Beziehungen zwischen Metazoen und Umgebung	531
15.2.2.1.	Osmoregulation, Terminologie und Allgemeines	531
	(1) Osmoconformer.	531
	(2) Hyperosmotische Regulation, Leben in hypoosmotischer Umgebung	532
	(3) Hypoosmotische Regulation, Leben in hyperosmotischer Umgebung	533
	(4) <i>Myxine</i> und marine Elasmobranchier.	534
	(5) Hyper-hypoosmotische Regulation.	535
	(6) Landtiere.	535
15.2.2.2.	Ionenregulation, Allgemeines.	536
	(1) Beispiele und Mechanismen.	536
15.3.	Exkretion, Allgemeines.	538
15.3.1.	Die stickstoffhaltigen Exkrete.	538
15.3.2.	Exkretspeicherung	539
15.3.3.	Exkretausscheidung, Allgemeines.	539
15.3.3.1.	Spezifische Exkretionsorgane (Nieren).	539
16.	<b>Steuerung</b>	547
16.1.	Allgemeines.	547
16.2.	Bio-Kybernetik	547
16.2.1.	Allgemeines.	547
16.2.2.	Regelkreise als Beispiel einfacher kybernetischer Systeme.	548
16.2.3.	Beispiel eines biologischen Reglers.	548
16.2.4.	Informationsübertragung	549
16.2.5.	Biorhythmik, Einleitung	550
16.2.6.	Die Physiologische Uhr.	551
16.2.6.1.	Kybernetik der Physiologischen Uhr.	551
16.2.6.2.	Die Synchronisation	552
16.2.7.	Zeitmessung: Unterscheidung von Tageslängen.	553
16.2.8.	Die Lokalisation der Physiologischen Uhr.	553
16.2.9.	Zelluläre und biochemische Grundlagen der circadianen Rhythmik.	554
16.3.	Nervöse Steuerung.	554
16.3.1.	Allgemeines.	554
16.3.2.	Bau und Funktion von Nervenzellen.	554
16.3.2.1.	Bau der Nervenzellen.	554
16.3.2.2.	Aktionspotentiale und Fortleitung.	554
16.3.2.3.	Synaptische Erregungsübertragung und postsynaptische Reaktion.	557
16.3.3.	Bildung und Fortleitung von Erregung bei Einzellern.	560
16.3.4.	Bau und Funktion der Nervensysteme bei wirbellosen Tieren.	560
16.3.4.1.	Cnidaria, Ctenophora.	560
16.3.4.2.	Coelomata	560
	(1) Mollusca.	561
	(2) Articulata.	562
16.3.5.	Bau und Funktion der Nervensysteme bei Wirbeltieren.	563
16.3.5.1.	Zentralnervensystem.	563
	(1) Rückenmark.	563
	(2) Gehirn.	565
16.3.5.2.	Peripheres vegetatives Nervensystem.	572
16.4.	Stoffliche Steuerung.	573
16.4.1.	Allgemeines.	573
16.4.2.	Intrazellulär entstehende und wirkende Stoffe.	575

## XXIV • Inhaltsverzeichnis

16.4.3.	Im Organismus entstehende und extrazellulär transportierte Wirkstoffe.	576
16.4.3.1.	Organwirkstoffe und Gewebehormone.	577
16.4.3.2.	Neurohumoralismus und Neurosekretion.	578
16.4.3.3.	Drüsenhormone bei Wirbeltieren.	581
	(1) Entodermale und endokrine Drüsen.	587
	(2) Mesodermale endokrine Drüsen.	583
16.4.3.4.	Drüsenhormone bei Wirbellosen.	586
16.4.3.5.	Probleme der Hormonwirkungen.	587
16.4.4.	Von außen dem Organismus zugeführte Wirkstoffe.	588
	(1) Wasserlösliche Vitamine.	589
	(2) Fettlösliche Vitamine.	589
	(3) Vitaminoide.	590
5. Teil:	Das Tier in seiner Umwelt	591
17.	<b>Verhalten der Tiere.</b>	593
17.1.	Allgemeines.	593
17.1.1.	Begriffsbestimmung.	593
17.1.2.	Arbeitsmethoden.	594
17.2.	Allgemeine Verhaltensforschung.	595
17.2.1.	Spontaneität des Verhaltens.	595
17.2.1.1.	Schwellenwertänderung.	596
17.2.1.2.	Spezifische Ermüdbarkeit.	596
17.2.1.3.	Appetenzverhalten.	597
17.2.1.4.	Nachweis spontaner Verhaltensanteile.	597
17.2.1.5.	Motivationsbegriff.	598
17.2.2.	Beeinflussung des Verhaltens durch Außenreize.	598
17.2.2.1.	Reizauswahl.	598
17.2.2.2.	Schlüsselreiz und Auslöser.	600
17.2.2.3.	Auslösemechanismen.	601
17.2.3.	Organisation des Verhaltens.	601
17.2.3.1.	Zeitliche Organisation.	601
17.2.3.2.	Hierarchische Organisation.	602
17.2.3.3.	Erbkoordination und Taxiskomponente.	603
17.2.4.	Physiologische Steuerungsmechanismen.	605
17.2.4.1.	Nervensystem.	605
17.2.4.1.	Hormone.	607
17.2.5.	Ontogenese des Verhaltens.	609
17.2.5.1.	Angeborene Grundlagen.	609
17.2.5.2.	Vererbung von Verhaltensweisen.	610
17.2.5.3.	Erbmotorik und Erbrezeptorik.	611
17.2.5.4.	Reifungsvorgänge.	611
17.2.6.	Lernverhalten.	612
17.2.6.1.	Allgemeines.	612
17.2.6.2.	Einteilung der Lernvorgänge.	612
	(1) Konditionierung.	612
	(2) Nachahmung.	613
	(3) Lernen durch Einsicht.	613
	(4) Prägung.	613
17.2.7.	Zur Ethologie des sozialen Zusammenschlusses.	614
17.2.7.1.	Vorkommen und Einteilung.	614
17.2.7.2.	Funktion des sozialen Zusammenschlusses.	616

17.2.7.3.	Mechanismen des sozialen Zusammenschlusses . . . . .	616
	(1) Bindungsverhalten . . . . .	616
	(2) Altruismus . . . . .	618
17.2.7.4.	Soziale Funktionskreise . . . . .	619
	(1) Sexualverhalten . . . . .	620
	(2) Aggressives Verhalten . . . . .	620
17.2.8.	Verhaltensphylogenese . . . . .	622
17.2.8.1.	Methodische Probleme . . . . .	622
17.2.8.2.	Realisierung . . . . .	623
17.2.8.3.	Verhalten als Faktor der Evolution . . . . .	624
17.2.8.4.	Der taxonomische Wert von Verhaltensweisen . . . . .	624
17.3.	Soziale Organisation . . . . .	625
17.3.1.	Paarbildung, Familienverband . . . . .	625
17.3.2.	Unkoordinierte Verbände . . . . .	625
17.3.3.	Einfach koordinierte Verbände . . . . .	626
17.3.4.	Einfache soziale Verbände . . . . .	626
17.3.5.	Soziale Verbände höherer Organisation . . . . .	626
17.3.6.	Bedingungen für die soziale Bindung . . . . .	627
	(1) Altruismus . . . . .	627
	(2) Kooperation unter den Verbandsmitgliedern . . . . .	627
	(3) Arbeitsteilung . . . . .	627
17.3.7.	Kategorien sozialer Organisation . . . . .	628
17.3.7.1.	Die Kolonien der Cnidaria . . . . .	629
17.3.7.2.	Die sozialen Insekten . . . . .	630
	(1) Unabhängige Nestgründung, Termiten . . . . .	630
	(2) Ameisen . . . . .	632
	(3) Abhängige Nestgründung . . . . .	632
17.3.8.	Die sozialen Verbände der Wirbeltiere . . . . .	634
17.3.8.1.	Säugetierverbände . . . . .	634
17.4.	Karpose, Symbiose, Parasitismus . . . . .	637
17.4.1.	Allgemeines . . . . .	637
17.4.2.	Karposen . . . . .	637
17.4.3.	Symbiosen . . . . .	641
	(1) Putzsymbiose . . . . .	642
	(2) Trophosymbiose . . . . .	643
	(3) Die Anemonenfisch-Symbiose . . . . .	643
	(4) Symbiosen mit Termiten . . . . .	643
17.4.4.	Vergesellschaftungen zwischen Tier und Pflanze . . . . .	644
17.4.4.1	Ektosymbiosen . . . . .	644
	(1) Bestäubungssymbiosen . . . . .	644
	(2) Verbreitung von Samen und Früchten (Zoochorie) . . . . .	646
	(3) Ameisenpflanzen (Myrmekophyten) . . . . .	646
	(4) Pilzzucht durch Insekten . . . . .	646
17.4.4.2.	Endosymbiosen . . . . .	647
	(1) Endosymbiosen mit Algen . . . . .	647
	(2) Endosymbiosen mit Pilzen und Bakterien . . . . .	648
17.4.5.	Parasitische Beziehungen zwischen Tieren . . . . .	650
17.4.5.1.	Räuber, Parasit und Parasitoid . . . . .	650
17.4.5.2.	Verbreitung des Parasitismus im Tierreich . . . . .	650
17.4.5.3.	Formen des Parasitismus . . . . .	650
17.4.5.4.	Rolle des Wirtes . . . . .	651
17.4.5.5.	Anpassungen an den Parasitismus . . . . .	651
17.4.5.6.	Wirtsfindung . . . . .	653
17.4.5.7.	Wechselwirkung zwischen Wirt und Parasit . . . . .	653

17.4.5.8.	Entstehung des Parasitismus und Präadaptation	653
17.4.5.9.	Sozialparasitismus	654
17.4.5.10.	Symphilie	654
17.4.5.11.	Brutparasitismus bei Vögeln	654
17.4.6.	Parasitische Beziehungen zwischen Tieren und Pflanzen	654
17.4.6.1.	Ektoparasiten an Pflanzen	654
17.4.6.2.	Entoparasitische Flagellaten	655
17.4.6.3.	Parasitismus in Pflanzengallen	655
	(1) Rotatorien	655
	(2) Nematoden	655
	(3) Insekten	655
	(4) Gallenmilben (Eriophyidae)	656
17.5.	Kommunikation	656
17.5.1.	Allgemeines	656
17.5.2.	Chemische Kommunikation	656
17.5.3.	Optische Kommunikation	658
17.5.4.	Akustische Kommunikation	659
17.5.5.	Die Kommunikation der Bienen	666
17.5.6.	Regelhaftigkeiten	667
17.6.	Orientierung	669
17.6.1.	Allgemeines	669
17.6.2.	Orientierungsziel	669
	(1) Konditionierung aufgrund angeborener Lerndisposition	670
	(2) Generalisieren, Invariantenbildung	670
	(3) Transfer	671
17.6.3.	Motivation zur Orientierungshandlung	671
17.6.4.	Nah- und Fernorientierung; Taxien	671
17.6.5.	Orientierungsleistungen der chemischen Sinne	673
17.6.5.1.	Protozoen und niedere Metazoen	673
17.6.5.2.	Insekten	673
	(1) Auffindender Geschlechtspartner	673
	(2) Die Funktion der chemischen Signale im Sozialverband	674
	(3) Auffinden des Futterplatzes oder des Eiablageplatzes	674
17.6.5.3.	Wirbeltiere	674
17.6.6.	Orientierung im optischen Bereich	675
17.6.7.	Orientierung mit Hilfe der mechanischen Sinne	680
17.6.7.1.	Tastreize	680
17.6.7.2.	Vibrationssignale	682
17.6.7.3.	Schallorientierung	682
17.6.7.4.	Orientierung als multimodale Informationsverarbeitung	685
18.	Ökologie	687
18.1.	Allgemeines	687
18.2.	Autökologie	688
18.2.1.	Grundbegriffe	688
18.2.2.	Abiotische Faktoren und ihre Wirkung	690
18.2.2.1.	Licht	690
18.2.2.2.	Temperatur	691
18.2.2.3.	Wasser (Feuchtigkeit)	694
18.2.2.4.	Salzgehalt	695
18.2.2.5.	Kohlendioxid (CO <sub>2</sub> )	697
18.2.2.6.	Sauerstoff (O <sub>2</sub> )	697
18.2.2.7.	Stickstoffverbindungen	698
18.2.2.8.	Schwefelverbindungen	698

18.2.2.9.	Wasserstoffionenkonzentration (pH) . . . . .	699
18.2.2.10.	Substrat . . . . .	699
18.2.2.11.	Luft-und Wasserbewegung . . . . .	700
18.2.3.	Biotische Faktoren und ihre Wirkungen . . . . .	701
18.2.4.	Bioindikatoren . . . . .	704
18.3.	Populationsökologie . . . . .	705
18.3.1.	Allgemeines . . . . .	705
18.3.2.	Populationsdynamik . . . . .	706
18.3.2.1.	Geburts-und Sterberate . . . . .	706
18.3.2.2.	Exponentielles Populationswachstum . . . . .	707
18.3.2.3.	Superexponentielles Populationswachstum . . . . .	709
18.3.2.4.	Populationswachstum nach der logistischen Wachstumsformel . . . . .	710
18.3.2.5.	Beispiele von Wachstumskurven neu entstandener Populationen . . . . .	713
18.3.2.6.	Dichteschwankungen bei bestehenden Populationen . . . . .	716
18.4.	Allgemeine Synökologie . . . . .	720
18.4.1.	Biosphäre, Bioregion, Biom . . . . .	720
18.4.2.	Lebensformen . . . . .	721
18.4.3.	ökologische Nische und Habitat . . . . .	721
18.4.4.	Zönosen . . . . .	722
18.4.4.1.	Allgemeines . . . . .	722
18.4.4.2.	Biozönose . . . . .	722
18.4.4.3.	Synökologische Prinzipien . . . . .	724
18.4.5.	Das Ökosystem . . . . .	724
18.4.5.1.	Definition . . . . .	724
18.4.5.2.	Funktionelle Gliederung eines Ökosystems . . . . .	725
18.4.5.3.	Strukturelle Gliederung eines Ökosystems . . . . .	728
18.4.5.4.	Energieumsatz und Produktion . . . . .	729
	(1) Energietransfer . . . . .	729
	(2) Nahrungspyramide und Energieumsatz . . . . .	731
	(3) Biomasse und Produktion . . . . .	733
	(4) Phytophagensystem und Nekrophagen-Destruentensystem . . . . .	734
	(5) Produktionsdaten . . . . .	736
18.4.5.5.	Stoffkreisläufe . . . . .	736
	(1) Der globale Wasserkreislauf . . . . .	736
	(2) Kohlenstoffkreislauf . . . . .	737
	(3) Sauerstoffkreislauf . . . . .	738
	(4) Phosphatkreislauf . . . . .	739
	(5) Stickstoffkreislauf . . . . .	740
18.4.5.6.	Veränderungen von Ökosystemen . . . . .	742
	(1) Aspektwechsel . . . . .	742
	(2) Veränderungen durch Organistentätigkeit . . . . .	742
	(3) Veränderungen durch den Menschen . . . . .	742
	(4) Sukzessionen . . . . .	742
	(5) Einwanderung und Einbürgerung fremder Arten . . . . .	746
18.4.5.7.	Artenmannigfaltigkeit . . . . .	747
18.4.5.8.	Stabilität, Belastung und Belastbarkeit . . . . .	748
18.5.	Spezielle Synökologie . . . . .	749
18.5.1.	Terrestrische Ökosysteme aus verschiedenen Bioregionen . . . . .	749
18.5.1.1.	Sommergrüne Laubwälder . . . . .	749
18.5.1.2.	Nördliche (boreale) und montane Nadelwälder . . . . .	752
18.5.1.3.	Hartlaubwälder . . . . .	753
18.5.1.4.	Tropische Regenwälder . . . . .	754
18.5.1.5.	Graslandökosysteme . . . . .	755
18.5.1.6.	Arktische Tundra . . . . .	756

18.5.1.7.	Alpine Tundra . . . . .	757
18.5.1.8.	Agrarökosysteme . . . . .	757
	(1) Weiden und Mähwiesen . . . . .	757
	(2) Acker . . . . .	758
18.5.2.	Ausgewählte Aspekte der Bodenbiologie . . . . .	763
18.5.2.1.	Kennzeichnung des Lebensraumes Boden . . . . .	763
18.5.2.2.	Bodenorganismen . . . . .	765
18.5.2.3.	Die Rolle der Tiere beim Abbau von Bestandsabfall im Boden . . . . .	766
	(1) Abbau pflanzlichen Bestandsabfalls . . . . .	766
	(2) Die Rolle der Regenwürmer . . . . .	768
	(3) Abbau von tierischem Bestandsabfall . . . . .	769
18.5.3.	ökologische Aspekte im Siedlungsbereich des Menschen . . . . .	770
18.5.3.1.	Städte, Parks und Garten als Lebensraum . . . . .	770
18.5.3.2.	Haus- und Vorratsschädlinge . . . . .	770
	(1) Holzzerstörende Insekten . . . . .	771
	(2) Schädlinge an Samen und Trockenmaterial pflanzlicher Herkunft . . . . .	771
	(3) Schädlinge an Trockenmaterial tierischer Herkunft . . . . .	773
18.5.3.3.	Naturschutz und Umwelthygiene . . . . .	773
	(1) Gefährdung der Natur durch den Menschen . . . . .	773
	(2) Indirekte Schäden der Lebensräume . . . . .	774
	(3) Erhaltung des biozönotischen Gleichgewichts: Konservierender Naturschutz . . . . .	775
	(4) Restituierender Naturschutz . . . . .	777
	(5) Schädlingsbekämpfung durch natürliche Feinde . . . . .	778
	(6) Umwelthygiene und Tier-Mensch-Beziehungen . . . . .	780
18.5.4.	Limnologie . . . . .	780
18.5.4.1.	Gewässertypen . . . . .	780
18.5.4.2.	Stoffhaushalt und Organismengesellschaften von Seen . . . . .	780
18.5.4.3.	Moore . . . . .	787
18.5.4.4.	Kleine stehende Gewässer . . . . .	788
18.5.4.5.	Binnenländische Salzwässer . . . . .	788
18.5.4.6.	Unterirdische Gewässer . . . . .	788
18.5.4.7.	Quellen . . . . .	789
18.5.4.8.	Fließgewässer . . . . .	790
18.5.4.9.	Abwasserbiologie . . . . .	792
18.5.5.	Meeresökologie . . . . .	794
18.5.5.1.	Allgemeine Kennzeichnung des Lebensraumes Meer . . . . .	794
18.5.5.2.	ökologische Zonierung des Meeres . . . . .	796
18.5.5.3.	Litoral . . . . .	796
18.5.5.4.	Bathyal . . . . .	799
18.5.5.5.	Pelagial . . . . .	800
	(1) Epipelagial . . . . .	800
	(2) Bathypelagial . . . . .	800
18.5.5.6.	Stoffhaushalt, Produktion und Fischbestände . . . . .	801
18.5.5.7.	Lebensraum Brackwasser . . . . .	802
18.5.5.8.	Wanderungen zwischen Meer und Süßwasser . . . . .	802
18.5.5.9.	ökologischer Grenzbereich zwischen Meer und Land . . . . .	802
6. Teil:	Das Tier, ein geschichtlicher Organismus . . . . .	805
19.	<b>Evolution</b> . . . . .	807
19.1.	Allgemeines, Definition, Historischer Überblick . . . . .	807
19.2.	Hat Evolution stattgefunden? . . . . .	808
19.3.	Die Art (Species) und die systematischen Kategorien . . . . .	810
19.4.	Die Bedeutung der biologischen Disziplinen für die Evolutionsforschung . . . . .	814

19.4.1.	Allgemeines. . . . .	<b>814</b>
19.4.2.	Vergleichende Anatomie, Embryologie, Verhaltensforschung, Paläontologie . . . . .	814
19.4.3.	Physiologie und Evolutionsforschung . . . . .	819
19.4.4.	Zoogeographie. . . . .	822
19.4.5.	Ökologie und Evolution. . . . .	823
19.5.	Verlauf der Evolution. . . . .	826
19.5.1.	Allgemeines. . . . .	826
19.5.2.	Adaptive Radiation. . . . .	826
19.5.3.	Das Polyphylie-Problem . . . . .	828
19.5.4.	Trends. . . . .	829
19.5.4.1.	Orthogenese. . . . .	829
19.5.4.2.	Cope-Deperetsche Regel. . . . .	829
19.5.4.3.	Dollosche Regel, Irreversibilität der Evolution. . . . .	830
19.5.4.4.	Atavismus. . . . .	830
19.5.5.	Das Stammbaumschema und seine Kritik. . . . .	830
19.5.6.	Funktionswechsel. . . . .	832
19.5.7.	Substitution. . . . .	833
19.5.8.	Rudimentäre Merkmale. . . . .	833
19.6.	Das natürliche System. . . . .	835
19.6.1.	Allgemeines. . . . .	835
19.6.2.	Die Rekonstruktion des natürlichen Systems. . . . .	835
19.6.2.1.	Die Rekonstruktion der natürlichen Verwandtschaft (1. Schritt). . . . .	836
	(1) Homologiekriterien . . . . .	836
	(2) Analogie (Konvergenz). . . . .	839
19.6.2.2.	Die Richtung der Evolution (2. Schritt). . . . .	841
19.6.2.3.	Embryologie und Evolution. . . . .	848
19.6.2.4.	Die Stammform (3. Schritt). . . . .	851
19.6.3.	Das Typusproblem. . . . .	852
19.6.3.1.	Lebensformtypen . . . . .	854
19.7.	Kausale Evolutionsforschung. . . . .	854
19.7.1.	Allgemeines. . . . .	854
19.7.2.	Evolutionsfaktoren. . . . .	855
19.7.3.	Infraspezifische Evolution (= Speziation). . . . .	857
19.7.3.1.	Transspezifische Evolution . . . . .	859
19.8.	Domestikation . . . . .	860
	<b>Weiterführende Literatur. . . . .</b>	<b>867</b>
	<b>Register. . . . .</b>	<b>887</b>