
Inhaltsverzeichnis

Einleitung

1	Die Morphologie der Vertebraten	3
1.1	Definition, Umfang und Beziehung zu anderen Disziplinen	3
1.2	Warum soll man die Morphologie der Vertebraten überhaupt untersuchen?	4
1.3	Einige grundlegende Betrachtungen	4
1.3.1	Phylogenetische Homologie und Analogie	4
1.3.2	Biologische Homologie und die Erhaltung von Entwicklungsvorgängen	6
1.3.3	Andere Ähnlichkeiten	6
1.3.4	Adaptation	7
1.3.5	Form und Funktion	8
1.3.6	Einige Vorgehensweisen in der Morphologie	8
1.3.7	Erkennen und Bewerten von Variation	10
1.3.8	Beiträge der Paläontologie	12
1.3.9	Evolutionstheorie	13
1.3.10	Evolution und Habitat	14
1.3.11	Gleichgewicht, Veränderung und Aussterben	16
	Exkurs 1.1. Kontinentaldrift und die Verteilung von Fossilien	17
1.3.12	Trends in der Evolution	18
1.3.13	Parallelismus und Konvergenz	20
	Allgemeine Literatur zur Einleitung und zu den Teilen I und II	22

Teil I
Übersicht über die Vertebraten
Die hauptsächlichen morphologischen Muster

2	Charakterisierung, Ursprung und Einteilung der Vertebraten . .	27
2.1	Beziehung der Vertebraten zu Nicht-Chordaten	27
2.2	Beziehung der Vertebraten zu anderen Chordaten	28
2.3	Der Ursprung der Vertebraten	31
2.4	Klassifikation der Vertebraten	33
2.4.1	Das Ziel	33
2.4.2	Die ersten 200 Jahre	33
2.4.3	Traditionelle Systematik	33
2.4.4	Kladistische oder phylogenetische Systematik	36
	Exkurs 2.1. Das Problem der Benennung von Schwestergruppen	38
	Literatur	39
3	Fische	41
3.1	Klasse Agnatha (Kieferlose)	41
3.1.1	Cyclostomata und die Unterklasse Myxinoidea	42
3.1.2	Unterklasse Petromyzontia	43
3.1.3	Unterklasse Pteraspidomorpha	43
3.1.4	Unterklasse Cephalaspidomorpha	44
3.1.5	Einige andere Agnathen	44
	Exkurs 3.1. Conodontia und andere alte Vertebraten	45
3.2	Kiefertragende Fische	45
3.2.1	Klasse Placodermi	47
3.2.2	Klasse Chondrichthyes (Knorpelfische)	47
3.2.3	Klasse Acanthodii	51
3.2.4	Klasse Osteichthyes (Knochenfische)	51
	Literatur	56
4	Tetrapoda	59
4.1	Übergang zum Landleben	59
4.2	Klasse Amphibia (Amphibien)	59
4.2.1	Unterklasse Ichthyostegalia	60
4.2.2	Unterklassen Anthracosauria und Temnospondyli	60
4.2.3	Unterklasse Lissamphibia	61
4.3	Klasse Reptilia (Reptilien)	62
4.3.1	Unterklasse Anapsida	63
4.3.2	Unterklasse Synapsida	63
4.3.3	Unterklasse Diapsida	63
4.3.4	Unterklasse Testudinata	65
4.4	Klasse Aves (Vögel)	67

Exkurs 4.1. Federn fliegen über die Entstehung der Vögel	68
4.4.1 Unterklasse Archaeornithes	69
4.4.2 Unterklasse Enantiornithes	69
4.4.3 Ornithurae und die Unterklasse Neornithes	69
4.5 Klasse Mammalia (Säugetiere)	71
4.5.1 Unterklasse Prototheria	71
4.5.2 Unterklasse Allotheria	72
4.5.3 Unterklasse Theria	72
Literatur	74

Teil II

Die Phylogenie und Ontogenie von Strukturen Evolution in Bezug auf die Zeit und die Haupttaxa

5 Frühe Entwicklung	79
5.1 Embryologie und Morphologie	79
5.1.1 Entwicklung und Ahnenreihe	79
5.1.2 Heterochronie	80
5.1.3 Entwicklungsbedingte Einschränkungen der Formbildung	81
5.2 Gameten und Befruchtung	82
5.3 Furchung	83
Exkurs 5.1. <i>Hox</i> -Gene und Entwicklung: Fenster zur Evolution	85
5.4 Gastrulation und Keimblattbildung	86
5.5 Neurulation, Neuralleisten und ectodermale Plakoden	90
5.6 Festlegung der Baupläne und Schicksal der Keimschichten	91
5.7 Embryonale Hüllen und Placentation	93
Literatur	94
6 Integument und seine Derivate	97
6.1 Funktionen des Systems	97
6.2 Entwicklung und allgemeine Struktur der Haut	97
6.3 Allgemeine Entwicklung von Hautderivaten	99
6.4 Das Integument der Fische: Betonung der dermalen Derivate	100
6.4.1 Weiche Strukturen	100
6.4.2 Entwicklung und Struktur von harten Geweben	100
6.4.3 Phylogenie der Knochenschuppen und ihrer Derivate	103
Exkurs 6.1. Mehr über Knochengewebe	105
Exkurs 6.2. Der Ursprung komplexer Schuppen und Panzer ist ein komplexes Problem	106
6.5 Integument der Tetrapoden: Betonung der epidermalen Derivate	107
6.5.1 Die Haut lebender und ausgestorbener Amphibien	107

6.5.2	Die Haut der Reptilien: Hornschuppen	108
6.5.3	Die Haut der Vögel: Dünne Haut mit Federn	110
Exkurs 6.3. Ursprung und Evolution		111
6.5.4	Haut, Schuppen, Klauen und Hautdrüsen der Säugetiere	113
6.5.5	Das Haar	115
6.5.6	Hörner und Geweihe	116
6.6	Phylogenie?	118
Literatur		118
7	Zähne	121
7.1	Herkunft und Struktur	121
7.2	Entwicklung	122
7.3	Verankerung und Zahnwechsel	123
Exkurs 7.1. Die Zähne von räuberischen Haien		124
7.4	Evolution der Zähne	125
7.4.1	Vom zahnchenträgenden Panzer zur Heterodontie	125
7.4.2	Einige Folgen des Kauens	126
7.4.3	Anzahl und Arten von Zähnen	127
7.4.4	Mehr über Backenzähne	128
Literatur		129
8	Kopfskelett	131
8.1	Bedeutung des Skeletts für die Morphologie	131
8.2	Mehr über harte Gewebe	132
8.3	Ursprung des Kopfes und die Komponenten des Kopfskeletts	133
Exkurs 8.1. Die aufregende Frage der Kopfsegmentation		134
8.3.1	Das Neurocranium (Chondrocranium) und seine Derivate	135
8.3.2	Das Visceralskelett und seine Derivate	138
8.3.3	Beiträge des Integuments: Dermatocranium	140
8.4	Beziehungen der cranialen Komponenten untereinander	141
8.5	Evolution des Kopfskeletts	142
8.5.1	Kieferlose Vertebraten: Neuerfindungen und Variabilität	142
8.5.2	Placodermi: Der Beginn der Kiefer	143
8.5.3	Knorpelfische: Spezialisierung und Rückbildung	143
8.5.4	Knochenfische: Vielfalt und Komplexität	144
8.5.5	Amphibien: Konservatismus oder Rückbildung	146
8.5.6	Reptilien und Vögel: Variationen des Grundbauplans	148
8.5.7	Säugetiere: Einige weitere Modifikationen	155
8.5.8	Zusammenfassung der Prinzipien und Entwicklungstendenzen	158
Exkurs 8.2. Schädel in drei Dimensionen		159
8.6	Merkmale des Schädels	160
Literatur		161

9	Körperskelett	163
9.1	Struktur und Entwicklung der Wirbel	163
9.1.1	Allgemeine Struktur	163
9.1.2	Entwicklung und Homologie	165
9.2	Evolution der Wirbelsäule	166
9.2.1	Die Anfänge: Die Chorda dorsalis mit stützenden Knorpeln	166
9.2.2	Höherentwickelte Fische: Die Wirbelsäule macht sich breit	167
9.2.3	Amphibien: Verschiedene Lösungen für neue Probleme	168
9.2.4	Amnioten: Festigkeit und Spezialisierung	169
9.2.5	Craniovertebrales Gelenk	171
Exkurs 9.1. Signale für die Differenzierung		172
9.3	Rippen	172
9.4	Sternum	173
9.5	Ursprung der Extremitäten	174
9.6	Mediane Flossen	175
9.6.1	Dorsal- und Analflossen	175
9.6.2	Schwanzflosse	176
9.7	Struktur und Evolution der Extremitätengürtel	177
9.7.1	Extremitätengürtel der Fische	177
9.7.2	Extremitätengürtel der Tetrapoden	178
9.8	Struktur und Evolution der paarigen Flossen	181
9.9	Ursprung, Evolution, Struktur und Entwicklung der Gliedmaßen	183
9.10	Struktur und Wachstum langer Knochen	185
9.11	Charakteristika der Tetrapodengliedmaßen	187
9.12	Verschiedene andere Knochen	191
	Literatur	192
10	Muskeln und elektrische Organe	193
10.1	Grobstruktur und Funktion der Muskeln	193
10.2	Histologie, Physiologie und Kontraktion	195
10.2.1	Feinstruktur	195
10.2.2	Längen-Spannungs- und Kraft-Geschwindigkeitsbeziehung	199
10.2.3	Fasertypen	200
10.2.4	Kraft (oder Spannung) muskulärer Kontraktion	201
10.2.5	Elektromyographie und die Messung von Belastung	202
10.3	Verkürzung, Arbeit, Kraft und Hebel	203
10.3.1	Kraft	203
10.3.2	Arbeit	203
10.3.3	Hebel	204
10.4	Kategorien von Muskeln	206
10.5	Evolution der Muskeln	206
10.5.1	Grundlagen für die Etablierung von Homologien	206
10.5.2	Muskeln primärer Schwimmer	206
10.5.3	Axial- und Hypobranchialmuskeln der Tetrapoden	210
10.5.4	Appendikularmuskeln der Tetrapoden	213
10.5.5	Branchialmuskeln bei Tetrapoden	216

10.5.6	Extrinsische Hautmuskeln und Augenmuskeln der Tetrapoden	216
10.6	Elektrische Organe	219
	Literatur	220

11	Coelom und Mesenterien	221
11.1	Aufbau und Funktion	221
11.2	Entwicklung, Evolution und Rekapitulation	221
	Literatur	225

12	Verdauungssystem	227
12.1	Allgemeine Funktion und Struktur	227
12.2	Entwicklung des Darmkanals	228
12.3	Struktur, Adaption und Evolution	228
12.3.1	Mund und Mundhöhle	228
12.3.2	Feinstruktur des Darmkanals im Allgemeinen	231
12.3.3	Ösophagus und Magen	232
12.3.4	Darm und Blinddarm	236
12.3.5	Anpassungen des Darms	238

	Exkurs 12.1. Faser, Fermentation und Form des Darms	241
12.3.6	Leber und Gallenblase	243
12.3.7	Pankreas	244
	Literatur	245

13	Atmungssystem und Schwimmblase	247
13.1	Allgemeine Funktion und Anforderungen	247
13.2	Aquatische Gasaustauscher	248
13.2.1	Hautatmung	248
13.2.2	Entwicklung und Struktur des Pharynx	248
13.2.3	Allgemeiner Aufbau und Funktion von Kiemen	249
13.2.4	Evolution der inneren Kiemen	253
13.2.5	Äußere Kiemen	254
13.3	Ventilation der inneren Kiemen	255
13.4	Luft-Gasaustauscher	255
13.4.1	Ursprung und Entwicklung	255
13.4.2	Lungen und Schwimmblasen von Fischen	257
13.4.3	Evolution der Lungen von den Amphibien zu den Säugetieren	259
13.4.4	Vogellunge und Luftsäcke	262
13.5	Ventilation der Lungen: Aufbau, Evolution und Verbindungen	265
	Literatur	267

14	Kreislaufsystem	269
14.1	Allgemeine Funktion und Aufbau des Systems	269
14.2	Das Herz	270
14.2.1	Entwicklung	270
14.2.2	Das primitive Herz: eine Einzelkreislaufpumpe	271

14.2.3	Von den Lungenfischen zu den Reptilien: intermediäre und fakultative Herzen	273
14.2.4	Herzen von Endothermen: eine Doppelkreislaufpumpe	275
14.2.5	Regulation des Herzschlags	276
14.2.6	Zusammenfassung der Herz-Evolution	277
14.3	Blut und blutbildende Gewebe	277
14.4	Blutgefäße	279
14.4.1	Entwicklung und Struktur	279
14.4.2	Das anfängliche Muster der Arterien	280
14.4.3	Evolution der anterioren Arterien	282
14.4.4	Evolution der posterioren Arterien	284
14.4.5	Das Grundmuster der Venen	284
14.4.6	Evolution der anterioren Venen	286
14.4.7	Evolution des Leberpfortadersystems	288
14.4.8	Evolution des Nierenpfortadersystems	289
14.4.9	Evolution der posterioren somatischen und placentalen Venen	289
14.5	Einige funktionelle Betrachtungen	295
14.5.1	Antwort auf spezielle Bedürfnisse von Geweben und Organen	295
14.5.2	Weitere Antworten auf die Schwerkraft	298
Exkurs 14.1. Einblicke in die Form und Funktion des Kreislaufs aus der Sicht der Strömungslehre		299
14.5.3	Rolle bei der Thermoregulation	300
14.6	Evolution des Lymphsystems	301
	Literatur	303

15 Exkretionssystem und Osmoregulation 305

15.1	Allgemeiner Aufbau und Entwicklung der Nieren	305
15.1.1	Funktion und Charakteristika	305
15.1.2	Entwicklung	306
15.2	Evolution und Struktur der Vertebratennieren	307
15.2.1	Holonephros: Ursprüngliche Niere	307
15.2.2	Pronephros: Larvale Niere oder spezialisierter Überrest	307
15.2.3	Opisthonephros: Niere der Anamnioten	308
15.2.4	Metanephros: Niere der Amnioten	309
15.3	Nierenstruktur in Zusammenhang mit der Osmoregulation	310

Exkurs 15.1. <i>Branchiostoma</i> und der Ursprung des Vertebratennephrons		312
--	--	-----

15.4	Harnblasen	316
	Literatur	316

16 Fortpflanzungssystem und Ausführgänge des Urogenitalsystems 319

16.1	Frühe Entwicklung und Abstammung der Gonaden	319
16.2	Struktur der Gonaden	320
16.2.1	Ovar	320
16.2.2	Hoden	323

16.3	Urogenitalgänge und akzessorische Organe	325
16.3.1	Ursprünge	325
16.3.2	Männliche Ausführungsgänge	326
16.3.3	Weibliche Ausführungsgänge	328
16.4	Die Kloake und ihre Derivate	330
16.5	Kopulationsorgane	332
16.6	Fortpflanzungsstrategien	333
Literatur	334

17 Nervensystem: Allgemeines, Rückenmark und periphere Nerven

17.1	Elemente des Nervensystems	338
17.1.1	Neurone und Neuroglia	338
17.1.2	Nervenimpulse und Synapse	340
17.1.3	Trakte, Nerven und Ganglien	341
17.1.4	Einige Unterteilungen des Systems	342
17.2	Entwicklung des Rückenmarks und der peripheren Nerven	342
17.3	Rückenmark	343
17.3.1	Funktion und Struktur	343
Exkurs 17.1. Auf der Spur von Evolutionstendenzen im Rückenmark		345
17.3.2	Evolution des Rückenmarks	346
17.4	Entwicklung der Spinalnerven	348
17.5	Hirnnerven	349
17.5.1	Ursprung und Aufbau	349
17.5.2	Struktur und Evolution der Hirnnerven	352
17.6	Autonomes Nervensystem	354
Literatur	357

18 Nervensystem: Gehirn

18.1	Wie das Gehirn untersucht wird	359
Exkurs 18.1. Nichtinvasive Studien des Gehirns versprechen Fortschritt		360
18.2	Entwicklung des Gehirns	361
18.3	Mehr über die Organisation des Gehirns	363
18.4	Posteriorer Hirnstamm: Medulla bis Mittelhirn	365
18.4.1	Kerne der Hirnnerven	365
18.4.2	Formatio reticularis	366
18.4.3	Andere Kerne des posterioren Hirnstamms	366
18.4.4	Weitere Merkmale des posterioren Hirnstamms	369
18.5	Anteriorer Hirnstamm: Diencephalon	369
18.6	Cerebellum und Pons	372
18.7	Cerebrum (Vorderhirn)	373
18.7.1	Allgemeine Struktur	373
18.7.2	Bulbus olfactorius und Tractus olfactorius	374
18.7.3	Corpus striatum und Basalkerne	374
18.7.4	Cortex	376
18.7.5	Einige andere Merkmale des Großhirns (Cerebrums)	380

18.8	Schaltkreise, Vielseitigkeit und Gedächtnis	381
18.9	Evolution des Gehirns	381
18.10	Unterstützung und Ernährung des Zentralnervensystems	386
	Literatur	387

19 Sinnesorgane

19.1	Einige verschiedene kleine Rezeptoren	389
19.2	Organe der Chemorezeption	392
19.2.1	Geruchsorgane	392
19.2.2	Pheromonrezeptoren	394
19.2.3	Geschmacksorgane	394

Exkurs 19.1. Vomeronasalorgan: Kein Mysterium mehr, aber Fragen bleiben offen	395
--	-----

19.3	Seitenliniensystem: Elektrorezeption	396
19.4	Ohr	398
19.4.1	Gleichgewichtsorgan	398
19.4.2	Hörorgan	399
19.4.3	Evolution des Ohres	402
19.5	Augen	404
19.5.1	Struktur und Funktion	405
19.5.2	Ursprung und Entwicklung	409
19.5.3	Evolution der seitlichen Augen	410

Exkurs 19.2. Konservation und Innovation: Orientierungspunkte für zukünftige Studien	412
---	-----

19.5.4	Dorsalaugen	413
	Literatur	414

20 Endokrine Drüsen

20.1	Chemische Vermittlung	417
20.2	Allgemeiner Aufbau des Hormonsystems	417
20.2.1	Struktur und Gliederung des Hormonsystems	417
20.2.2	Allgemeiner Aufbau endokriner Drüsen	419
20.3	Neurohormone	420
20.4	Die Hypophyse	421
20.4.1	Die Neurohypophyse: eine autonome Hormondrüse	422
20.4.2	Die Adenohypophyse: eine Hormondrüse I. Ordnung	423
20.4.3	Evolution der Hypophyse	423
20.5	Hormondrüsen II. Ordnung	424
20.5.1	Thyreoidea	424
20.5.2	Parathyreoidea	425
20.5.3	Ultimobranchiale Körper und parafollikuläre Zellen	425
20.5.4	Interrenales Organ und Nebennierenrinde	426
20.5.5	Chromaffine Körper und Nebennierenmark	426
20.5.6	Gonaden und Placenta	427
20.6	Gewebshormone	428

20.7 Parahormone	428
Literatur	429

Teil III

Strukturelle Adaptation: Evolution in Verbindung zu Lebensweise und Habitat

21 Strukturelemente des Körpers	433
21.1 Tiere als Spezialisten	433
21.2 Eigenschaften der unterstützenden Materialien	434
21.3 Spannung und Spannungslinien	438
Exkurs 21.1. Biegespannung kann kompliziert sein	441
21.4 Gebrauch und Design struktureller Elemente	441
21.4.1 Sehnen, Ligamente und Knorpel	441
21.4.2 Knochen, die Druck oder Zug widerstehen	444
21.4.3 Knochen, die der Biegung in einer Ebene widerstehen	445
21.4.4 Knochen, die der Biegung in verschiedenen Ebenen widerstehen ..	445
Exkurs 21.2. Umstrukturierung von Knochen: Vorgang und Stimulus	448
21.5 Verbindungen struktureller Elemente	449
21.5.1 Sehne mit Muskel; Sehne und Ligament mit Knochen	449
21.5.2 Arten und Funktionen von Gelenken	450
Literatur	455
22 Mechanik von Stützung und Bewegung	457
22.1 Größe und Richtung von Kräften	457
22.1.1 Kraftvektoren und ihre Zerlegung	457
22.1.2 Kraftkomponenten	459
22.2 Knochen-Muskelsysteme als Maschinen	462
22.2.1 Hebelarme und Drehmomente	463
22.2.2 Tatsächliche Kräfte und Hebelarme gegenüber effektiven Kräften und Hebelarmen	463
22.2.3 Beziehungen zwischen eingeleiteter und ausgeleiteter Kraft	464
22.2.4 Summation von Drehmomenten; Zweigelenk-Systeme	465
22.3 Mechanik der Körperstützung	466
22.3.1 Balance und Gegenmoment	466
22.3.2 Bögen und Bogensaiten aus Knochen und Fasern	467
22.3.3 Sperren, Schlingen und Schlösser	468
22.4 Mechanik der Bewegung	470
22.4.1 Geschwindigkeiten und Hebelarme	470
22.4.2 Masse und Beschleunigung	471
22.4.3 Krummlinige Bewegung und Rotation	472
22.5 Freikörperdiagramme	473
Literatur	474

23	Form, Funktion und Körpergröße	477
23.1	Proportionales Wachstum und Oberflächen-zu-Volumen-Verhältnis	477
23.2	Nichtproportionales Wachstum	478
23.3	Allometrie	479
23.4	Miniaturen und Giganten	481
Exkurs 23.1. Die Debatte über den Stoffwechsel der Dinosaurier		483
Literatur		484
24	Rennen und Springen	485
24.1	Vorteile von Schnelligkeit und Ausdauer	486
24.2	Lauftiere, Springer und ihre Fähigkeiten	486
24.2.1	Schnelligkeit	486
24.2.2	Ausdauer	487
24.2.3	Springfähigkeit	489
24.2.4	Beschleunigung und Wendigkeit	489
24.3	Allgemeine Anforderungen an Lauftiere	489
24.4	Strecke pro Zyklus	489
24.4.1	Länge und Proportionen der Beine	489
24.4.2	Fußhaltung	491
24.4.3	Rolle der Schulter	491
24.4.4	Rolle der Wirbelsäule	491
24.4.5	Nichtunterstützte Bewegungsphasen	493
24.4.6	Muskelmechanik: Die meiste Bewegung für die geringste Verkürzung	493
24.5	Schrittfrequenz	494
24.5.1	Frequenz der Muskelkontraktion	494
24.5.2	Muskelmechanik: Die höchste Geschwindigkeit für die geringste Verkürzung	494
24.5.3	Summation von Geschwindigkeiten	496
Exkurs 24.1. Gangschaltung? Ja, vielleicht, und es kommt darauf an		497
24.6	Masse, Ausdauer und Design für Ökonomie	498
24.7	Beharrungsvermögen und Wendigkeit	502
24.8	Gangarten	503
Exkurs 24.2. Wie viele Gangarten gibt es?		506
24.9	Springen und bipedes Laufen	507
Literatur		509
25	Graben und Kriechen ohne Extremitäten	511
25.1	Vorteile des Grabens	511
25.2	Grabende Vertebraten	512
25.2.1	Agnatha und Fische	512
25.2.2	Amphibien	512
25.2.3	Reptilien und Vögel	512

25.2.4	Monotremata und Marsupialia	512
25.2.5	Insectivora	513
25.2.6	Edentata, Schuppentiere, Erdferkel und Carnivora	513
25.2.7	Hasenartige und Nagetiere	513
25.3	Allgemeine Anforderungen an Gräber	515
25.4	Verschiedene Arten des Grabens	515
25.5	Wie man Schmutz vom Mund, den Sinnesorganen und den Lungen fernhält	517
25.6	Manövrieren im Untergrund	517
25.7	Grabwerkzeuge	518
25.8	Konstruktionen zur Erzeugung großer äußerer Kräfte	519
25.9	Widerstandskräfte zwischen Boden und Körper	525
25.10	Transportieren und Wegschaffen von Erde	527
25.11	Kriechen ohne Extremitäten	527
	Literatur	531

26 Klettern

26.1	Vorteile des Kletterns	533
26.2	Kletternde Vertebraten	533
26.2.1	Fische und Amphibien	533
26.2.2	Reptilien und Vögel	535
26.2.3	Beuteltiere (Marsupialia) und Spitzhörnchen	537
26.2.4	Malayengleitflieger, Fledermäuse und Primaten	537
26.2.5	Edentata, Schuppentiere und Nagetiere	537
26.2.6	Carnivora, Schliefer, und Ungulaten	537
26.3	Anforderungen und grundlegende Mechanismen der Fortbewegung in drei Dimensionen	537
26.3.1	Die Rolle der Reibung	538
26.3.2	Die Rolle der Verzahnung	540
26.3.3	Die Rolle des Haftens	540

Exkurs 26.1. Glücklicherweise brauchen Kletterer das Phänomen der Reibung nicht verstehen, um es zu benutzen	541
---	-----

26.4	Anpassungen für den Vortrieb	541
26.4.1	Gehen, Rennen, Hüpfen und Springen	541
26.4.2	Greifen, Ziehen und Überbrücken	542
26.4.3	Hangeln	543
26.5	Anpassungen an das Aufrechterhalten von Kontakt mit dem Substrat	546
26.5.1	Festhalten	546
26.5.2	Balancieren, Abstützen, Polstern und Ansaugen	546
26.5.3	Festhängen und Einhaken	548
26.5.4	Haften	549
	Literatur	549

27 Schwimmen und Tauchen

27.1	Vorteile des Schwimmens und Tauchens	553
27.2	Die besonderen Fertigkeiten von Schwimmern und Tauchern	554

27.2.1	Schnelligkeit	555
27.2.2	Tauchen	556
27.2.3	Ausdauer	557
27.2.4	Beschleunigung und Wendigkeit	557
27.3	Allgemeine Anforderungen an Schwimmer und Taucher	557
27.4	Wasserwiderstand	558
27.4.1	Ursprung und Natur des Wasserwiderstandes	558
27.4.2	Reduktion von Strömungswiderstand durch Adaptationen der Körperform	561
27.4.3	Verminderung des Wasserwiderstandes durch geeignete Körperoberflächen und Verhalten	562
27.5	Form, Funktion und Art des Vortriebs	563
27.5.1	Quelle der Vortriebskraft	563
27.5.2	Undulierender Vortrieb, wandernde Wellenbewegung	563
27.5.3	Oszillierender Antrieb durch Paddeln	569
27.5.4	Kraftfreies Schwimmen (<i>Freeloading</i>)	573
27.6	Kontrolle der Position in der Vertikalen	574
27.7	Stabilität, Bremsen und Steuern	574
27.8	Andere Merkmale sekundärer Schwimmer	577
27.8.1	Schutz von Haut, Ohren und Atmungssystem	577
27.8.2	Anpassungen der Sinnesorgane	578
27.8.3	Thermoregulation und Reaktionen des Kreislaufsystems	579
Exkurs 27.1. Neue Ansichten über die Evolution und Funktion der Schwanzflosse		580
27.8.4	Reproduktionsbiologie	581
Literatur		581

28	Fliegen und Gleiten	583
28.1	Ursprung und Vorteile von Fliegen und Gleiten	583
28.2	Fallschirmspringende und gleitende Wirbeltiere	584
28.3	Flieger und Fertigkeiten	587
28.3.1	Schnelligkeit	589
28.3.2	Ausdauer	589
28.3.3	Flughöhe und Tragfähigkeit	589
28.3.4	Beschleunigung und Wendigkeit	589
28.4	Allgemeine Bedürfnisse von Fliegern	589
28.5	Wichtiges über den dynamischen Auftrieb	590
28.6	Luftwiderstand	593
28.7	Vortrieb	595
28.7.1	Gleitflug und Segeln	595
28.7.2	Einführung in den Schlagflug	597
28.7.3	Muskeln für den Abschlag und den Aufschlag	598
28.7.4	Rüttelflug	599
28.7.5	Flächenbelastung	600
28.7.6	Langsamer Steig- und Sinkflug	600
28.7.7	Schneller Horizontalflug	602
28.7.8	Theorie der Wirbelbildung	602

Exkurs 28.1. Der nachlaufende Wirbel und die Analyse der „Gangarten“ bei Fliegern	603
28.8 Kontrolle des Fluges	604
28.8.1 Stabilität und Manövrierfähigkeit	604
28.8.2 Bremsen und Kurvenfliegen	605
28.9 Flügelstruktur	607
28.10 Weitere morphologische und physiologische Anpassungen	609
Literatur	612
29 Energetik und Fortbewegung	615
29.1 Einige grundlegende Zusammenhänge	615
Exkurs 29.1. Symmorphose: Das Abwägen von Design und Kosten	617
29.2 Fortbewegung am Boden	617
29.2.1 Nutzung von Energie	617
29.2.2 Umwandeln und Erhalten von Energie	618
29.2.3 Morphologische Korrelate zum Energieerhalt	620
29.3 Schwimmen	621
29.4 Fliegen	622
29.5 Skalierung der Fortbewegungskosten	623
Literatur	623
30 Nahrungsaufnahme	625
30.1 Nahrungsaufnahme im Wasser	626
30.1.1 Filtrieren	626
Exkurs 30.1. Das Intervall-Filtrieren (Schluckfiltrieren)	628
30.1.2 Saugschnappen	629
30.1.3 Vorstülpen des Kiefers	630
30.2 Schädelkinetik	633
30.3 Nahrungsaufnahme durch Vorschnellen („Geschossfresser“)	634
Exkurs 30.2. Sturztauchende Vögel haben bemerkenswerte Computerprogramme	636
30.4 Andere Möglichkeiten, der Nahrung habhaft zu werden	639
30.5 Nahrungsmanipulation und Transport	641
30.5.1 Linguale Nahrungsaufnahme und der Kauzyklus	641
30.5.2 Nahrungsaufnahme durch Trägheit	642
30.6 Anpassungen an das Fressen weicher, zäher Nahrung	643
Exkurs 30.3. Was haben die Säbelzahnkatzen mit diesen Messern bloß gemacht?	645
30.7 Anpassungen an das Fressen praller, spröder und vielfältiger Nahrung	646
30.8 Anpassungen an das Fressen zäher, faserreicher Nahrung	647
30.8.1 Strukturen, die durchtrennen und abschneiden	647

30.8.2	Mahlzähne	648
30.8.3	Kiefermechanismen	650
30.9	Andere Adaptationen an die Nahrungsaufnahme	652
30.9.1	Verschlingen von Fisch und anderer großer Beute	652
30.9.2	Langsames Schlucken großer Beute	653
30.9.3	Zerdrücken und Zerschneiden	654
30.9.4	Weitere Nahrungsmittel	655
	Literatur	657

31 Appendix: Anatomische Präparationen 659

31.1	Das Reinigen von Schädeln und Skeletten	660
31.1.1	Reinigen durch Kochen	660
31.1.2	Reinigen durch Mazerieren	661
31.1.3	Reinigung mit Käfern	662
31.2	Entfetten	663
31.3	Bleichen	664
31.4	Schneiden von Knochen und Zähnen	664
31.5	Kleben und Zusammensetzen	664
31.6	Knochen-Ligament-Präparationen	665
31.7	Knochen-Muskel-Präparationen	666
31.8	Lufttrocknen hohler Eingeweide	667
31.9	Begasung	667
31.10	Färben der Skelette von Wholemounds	668
31.11	Andere Techniken	670
	Literatur	670

Glossar	673
----------------------	-----

Sachverzeichnis	691
------------------------------	-----

Vergleichende und funktionelle Anatomie der
Wirbeltiere

Hildebrand, M.; Goslow, G.

2004, XXVII, 713 S., Hardcover

ISBN: 978-3-540-00757-9