

Dietrich Starck

# Vergleichende Anatomie der Wirbeltiere

auf evolutionsbiologischer Grundlage

---

Band 2: *Das Skeletsystem*  
*Allgemeines, Skeletsubstanzen, Skelet der*  
*Wirbeltiere einschließlich Lokomotionstypen*

---

Mit 567 Abbildungen

Springer-Verlag  
Berlin Heidelberg New York 1979

# Inhaltsverzeichnis

## A. Stützsubstanzen

Allgemeines . . . . .	3
I. Knorpelgewebe . . . . .	4
II. Mineralisierte Gewebe, Knochengewebe, Dentin, Schmelz . . . . .	6
1. Erscheinungsformen mineralisierter Gewebe bei Wirbeltieren . . . . .	7
a) Knochengewebe . . . . .	7
b) Knochenentwicklung (Osteogenese) . . . . .	8
c) Deckknochen – Ersatzknochen, Exoskelet – Endoskelet . . . . .	13
d) Dentin . . . . .	15
e) Schmelz . . . . .	16
2. Beanspruchung und funktioneller Bau der Skelet-elemente . . . . .	18
3. Skeletverbindungen, Gelenke . . . . .	23
4. Gliederung des Wirbeltierskeletes . . . . .	25
Literatur . . . . .	28

## B. Skelet des Rumpfes

I. Chorda dorsalis (Notochord) . . . . .	35
1. Entwicklung und Herkunft der Chorda dorsalis . . . . .	36
2. Struktur der Chorda dorsalis, Chordascheiden . . . . .	39
3. Chorda dorsalis der Acrania . . . . .	40
II. Die Wirbelsäule . . . . .	44
1. Die Entstehung der Wirbelsäule . . . . .	44
2. Die Wirbelsäule der Cyclostomata . . . . .	47
3. Die Wirbelsäule der Fische . . . . .	49
a) Die Wirbelsäule der Chondrichthyes . . . . .	51
b) Die Wirbelsäule der Osteichthyes . . . . .	54
(1) Die Wirbelsäule der Teleostei . . . . .	54
(2) Die Wirbelsäule der Holostei und das Problem der Diplospondylie . . . . .	56

(3) Die Wirbelsäule der Dipnoi . . . . .	57
(4) Die Wirbelsäule der Crossopterygii . . . . .	57
4. Allgemeines über die Wirbelsäule und den Wirbelbau der Tetrapoda . . . . .	58
a) Die Wirbel der ältesten Landwirbeltiere . . . . .	58
b) Die Wirbel der rezenten Amphibia . . . . .	61
c) Die Wirbel der Amniota . . . . .	65
(1) Allgemeines über die Wirbel der Amniota . . . . .	65
(2) Die Wirbelsäule der Reptilien . . . . .	66
(3) Die Spezialisierungen der beiden ersten Halswirbel bei Amnioten . . . . .	72
(4) Wirbelzahl und Regionenbildung bei Reptilien . . . . .	75
(5) Die Wirbelsäule der Vögel . . . . .	76
(6) Die Wirbelsäule der Mammalia . . . . .	80
(7) Wirbelzahl und Regionenbildung der Wirbelsäule bei Säugetieren . . . . .	95
(8) Mechanische Beanspruchung und Konstruktionsprinzip der Wirbelsäule bei tetrapoden Säugetieren . . . . .	95
III. Die Rippen . . . . .	99
1. Rippen der Fische . . . . .	101
2. Rippen der Tetrapoda . . . . .	102
3. Rippen der Amphibia . . . . .	103
4. Rippen der Reptilia . . . . .	103
5. Rippen der Vögel . . . . .	105
6. Rippen der Mammalia . . . . .	106
IV. Die Sternalbildungen der Wirbeltiere . . . . .	107
1. Das Sternum der Tetrapoda . . . . .	107
2. Das Sternum der Amphibia . . . . .	107
3. Die Sternalbildungen der Reptilien . . . . .	109
4. Das Sternum der Vögel . . . . .	109
5. Das Sternum der Säugetiere . . . . .	113
a) Monotremata . . . . .	113
b) Metatheria und Eutheria . . . . .	116
6. Parasternalia . . . . .	117
7. Bauchrippen (Gastralia) . . . . .	117
Literatur . . . . .	118
<b>C. Das Kopfskelet</b>	
I. Einleitung, Kopfproblem . . . . .	125
1. Segmenttheorie des Wirbeltierkopfes . . . . .	127
2. Neue Theorien zur Kephalogenese . . . . .	134

II. Cranium der Agnatha . . . . .	141
1. Allgemeines und fossile Agnatha . . . . .	141
2. Das Cranium der rezenten Cyclostomata . . . . .	144
III. Cranium der Gnathostomata . . . . .	151
1. Allgemeines, Gliederung, Hauptlinien der stammesgeschichtlichen Entwicklung . . . . .	151
2. Das Cranium der Chondrichthyes . . . . .	154
3. Das Cranium der Osteichthyes . . . . .	165
a) Allgemeines . . . . .	165
b) Das Dermatocranium der Altfische und der primitiven Tetrapoda . . . . .	166
c) Munddach (sog. palatinaler Komplex) der Altfische und primitiven Tetrapoda . . . . .	171
d) Das Neurocranium der Altfische und primitiven Tetrapoda . . . . .	174
e) Deckknochen des Kiemendeckels (Opercularia) . . . . .	179
f) Besonderheiten und Spezialisierungen des Craniums in den verschiedenen Stammeslinien der jüngeren Osteichthyes . . . . .	180
(1) Chondrostei (Acipenseridae, Polyodontidae) . . . . .	180
(2) Holostei, Polypteriformes, Teleostei . . . . .	184
(3) Der Schädel der Lungenfische (Dipnoi) . . . . .	201
(4) Das Cranium der rezenten Coelacanthidae (Latimeria) . . . . .	204
(5) Das Splanchnocranium der Knochenfische (Unterkiefer und Branchialapparat) . . . . .	200
(6) Suspensionsform, Bau des Kiefer-Gaumen-Apparates und Schädelkinetik bei den Osteichthyes . . . . .	208
4. Der Schädel der Amphibia . . . . .	220
a) Allgemeines. Schädel der Stegocephalen . . . . .	220
b) Der Schädel der rezenten Amphibia. Allgemeines . . . . .	223
c) Besonderheiten des Schädels der Urodela . . . . .	227
d) Besonderheiten des Schädels der Anura . . . . .	228
e) Besonderheiten des Schädels der Gymnophiona (Apoda) . . . . .	232
f) Der Unterkiefer der Amphibia . . . . .	232
g) Der Hyobranchialapparat der Amphibia . . . . .	234
5. Der Schädel der Reptilia . . . . .	237
a) Allgemeine Charakteristik . . . . .	237
b) Das neurale Endoskelet (Chondrocranium und Ossifikationen) der Reptilien . . . . .	239

c)	Ersatzknochenbildung im neuralen Endocranium der Reptilia . . . . .	243
d)	Palatoquadratum . . . . .	245
e)	Schädeldach (Exocranium), Jochbögen und Schläfendurchbrüche . . . . .	248
f)	Das Munddach . . . . .	255
g)	Die Kinetik des Reptilschädels . . . . .	258
	Zur Entstehung der Kinetik des Reptilschädels . . . . .	264
h)	Die Nerven- und Gefäßlöcher des Reptilschädels . . . . .	266
i)	Besonderheiten des Schädels im ganzen bei den verschiedenen Ordnungen der Reptilien . . . . .	270
	(1) Lepidosauria . . . . .	271
	(2) Archosauria . . . . .	279
	(3) Ichthyopterygia . . . . .	283
	(4) Chelonia . . . . .	284
k)	Der Unterkiefer der Reptilien . . . . .	286
l)	Das Hyobranchialskelet (Zungenbein) der Reptilien . . . . .	288
6.	Der Schädel der Vögel . . . . .	290
a)	Allgemeine Charakteristik . . . . .	290
b)	Das Chondrocranium . . . . .	291
c)	Der Hirnschädel der Vögel . . . . .	296
d)	Der Kiefer-Gaumen-Apparat und die Kinetik des Vogelschädels . . . . .	305
e)	Kopfzierden und Helmbildungen am Vogelschädel . . . . .	319
f)	Der Unterkiefer der Vögel und die Streptognathie . . . . .	321
g)	Das Zungenbein . . . . .	326
7.	Der Schädel der Synapsida und der Mammalia. Übergang vom Reptil- zum Säugerschädel . . . . .	327
a)	Allgemeine Charakteristik des Säugerschädels . . . . .	327
b)	Bildung des sekundären Gaumens . . . . .	331
c)	Vergrößerung des Neurocraniums, Aufbau einer sekundären Schädelseitenwand . . . . .	333
d)	Die Umbildungen am Kiefergelenk und die Gehörknöchelchen-Frage. Die Reichert-Gauppsche Theorie . . . . .	336
e)	Die Occipitalregion . . . . .	345
f)	Das Chondrocranium der Mammalia . . . . .	345
	(1) Eutheria . . . . .	345
	(2) Metatheria (Marsupialia). . . . .	355
	(3) Prototheria (Monotremata). . . . .	355

g)	Das Osteocranium der Mammalia . . . . .	360
	(1) Allgemeines und Eutheria . . . . .	360
	(2) Die Deckknochen des Hirnschädels und der Jochbogen . . . . .	366
	(3) Die Deckknochen des Gesichtsschädels und des Munddaches . . . . .	372
	(4) Der Unterkiefer. Struktur des definitiven Kiefergelenkes . . . . .	374
h)	Besonderheiten des Osteocraniums der Mono- tremata . . . . .	376
i)	Das Osteocranium mesozoischer Säugetiere .	380
k)	Über einige allgemeine Probleme der Schädel- morphologie bei den Theria . . . . .	382
	(1) Beziehungen zwischen Schädelform, abso- luter Körpergröße, Kauapparat und Ge- hirn . . . . .	383
	(2) Pneumatisation . . . . .	387
	(3) Horn- und Geweihbildungen . . . . .	389
	(4) Einflüsse des Kauapparates im besonderen. Funktioneller Schädelbau . . . . .	389
	(5) Form- und Gestaltswandel der Schädelba- sis. Basisknickungen . . . . .	392
	(6) Über einige Besonderheiten des Schädels der Primaten . . . . .	394
	(7) Besonderheiten des Schädels der Wale (Ce- tacea). Schädelasymmetrien . . . . .	396
	(8) Einflüsse der Domestikation auf die Schä- delform. Das Problem der Wuchsform und der Fetalisation . . . . .	399
	(9) Jahreszeitliche Schwankungen der Schädel- form bei einigen Kleinsäugetern . . . . .	401
l)	Das Hyobranchialskelet der Säugetiere . . .	401
8.	Die Gehörknöchelchen der Tetrapoda . . . . .	403
	a) Allgemeines . . . . .	403
	b) Die Columella auris der Amphibia . . . . .	405
	c) Die Columella auris der Sauropsida . . . . .	408
	d) Die Homologien . . . . .	410
	e) Die Gehörknöchelchen der Säugetiere . . . .	412
	Literatur . . . . .	416

**D. Die unpaaren Flossen und ihr Skelet** 435

1.	Flossensäume ohne Skeleteinlagerungen . . . .	438
2.	Schwanzflossen der Fische . . . . .	438
3.	Zur Funktion der Schwanzflossen . . . . .	441

4. Skelet in den unpaaren Flossen . . . . .	443
5. Die Entstehung der Radien . . . . .	446
6. Unpaare Flossen bei Tetrapoda . . . . .	451
7. Über einige Sonderanpassungen der unpaaren Flossen . . . . .	452
8. Den unpaaren Flossen analoge Bildungen bei hö- heren Wirbeltieren (sekundäres Schwimmen) . .	455
Literatur . . . . .	460
<b>E. Die paarigen Extremitäten</b>	463
I. Gliedmaßen bei Agnatha . . . . .	466
II. Der Schultergürtel der Fische . . . . .	467
Besondere Anpassungen am Schultergürtel der Teleo- stei . . . . .	471
III. Der Schultergürtel der Tetrapoda . . . . .	473
1. Der Schultergürtel der Amphibia . . . . .	473
2. Der Schultergürtel der Sauropsiden . . . . .	479
a) Cotylosauria . . . . .	479
b) Rhynchocephalia . . . . .	481
c) Lacertilia . . . . .	482
d) Chamaeleontidae . . . . .	483
e) Crocodylia . . . . .	484
f) Dinosauria . . . . .	485
g) Pterosauria . . . . .	486
h) Aves . . . . .	486
i) Sauropterygia . . . . .	489
k) Chelonia . . . . .	489
3. Der Schultergürtel der Therapsida und der Mam- malia . . . . .	492
a) Pelycosauria . . . . .	492
b) Therapsida . . . . .	493
c) Monotremata . . . . .	493
d) Marsupialia und Eutheria . . . . .	495
e) Spezielle Form und funktionelle Beanspru- chung der Scapula der Säugetiere . . . . .	498
f) Zusammenfassung über den Schultergürtel . .	503
IV. Der Beckengürtel . . . . .	505
1. Der Beckengürtel der Fische . . . . .	505
2. Das Becken der Tetrapoda . . . . .	507
a) Primitive Tetrapoda, Amphibia . . . . .	507
b) Das Becken der Sauropsida . . . . .	511
(1) Archosauria (Dinosauria, Crocodylia) . .	512
(2) Pterosauria . . . . .	515

(3) Crocodylia . . . . .	516
(4) Aves. . . . .	517
c) Der Beckengürtel der Therapsida und Mammalia . . . . .	521
d) Das Becken der Primaten und die Evolution der menschlichen Beckenform . . . . .	531
e) Die funktionelle Beanspruchung des Beckens der Säugetiere . . . . .	534
V. Die paarigen freien Gliedmaßen (Pterygia) der Fische	536
1. Die paarigen Flossen der Crossopterygii und Dipnoi . . . . .	537
2. Die paarigen Flossen der Knorpelfische (Chondrichthyes) . . . . .	540
3. Die paarigen Flossen der Polypteriformes und der Actinopterygii . . . . .	544
4. Die Entstehung der paarigen Extremitäten. Extremitäten-Theorien . . . . .	546
VI. Die paarigen, freien Gliedmaßen der Tetrapoden . .	555
1. Allgemeines . . . . .	555
2. Die Stellung der Gliedmaßen bei den Tetrapoda zur Körperlängsachse . . . . .	558
3. Die Ableitung des Chiropterygiums vom Ichthyopterygium . . . . .	563
4. Die paarigen Extremitäten der Stegocephalen . .	570
5. Die paarigen Gliedmaßen der rezenten Amphibia	575
6. Die paarigen Gliedmaßen der Sauropsiden . . .	584
a) Allgemeines . . . . .	584
b) Die speziellen Anpassungen der Gliedmaßen bei den Sauropsida . . . . .	590
(1) Sphenodon, Lacertilia . . . . .	590
(2) Chamaleontidae . . . . .	592
(3) Chelonia . . . . .	593
(4) Anpassungen an das Wasserleben bei verschiedenen Seereptilia . . . . .	598
(5) Crocodylia . . . . .	599
(6) Extremitäten der Dinosauria . . . . .	604
(7) Extremitäten der Pterosauria . . . . .	606
(8) Phylogenetische Reduktion der Extremitäten bei Wirbeltieren.	608
Lokomotion der Schlangen und Amphibaenen . . . . .	612
c) Die paarigen Extremitäten der Vögel . . . .	616
(1) Der Vogelflügel . . . . .	616
(2) Der Flug der Vögel . . . . .	628

(3) Flugverlust und Umkonstruktion der Flügel bei den Vögeln . . . . .	635
(4) Die hintere Extremität der Vögel . . . . .	638
(5) Spezielle Anpassungen, bes. Klammer- und Kletterfuß, Schwimmfuß, sekundäres Schwimmen . . . . .	642
7. Die Gliedmaßen der Synapsida . . . . .	648
a) Der Fuß und seine Evolution in der Therapsidenreihe . . . . .	649
b) Die Extremitäten der Säugetiere . . . . .	654
(1) Allgemeines. Die funktionelle Beanspruchung des Femur . . . . .	654
(2) Hand und Fuß der ancestralen Säugetiere . . . . .	670
(3) Spezielle Anpassungen und besondere Bewegungsweisen . . . . .	671
Monotremata . . . . .	671
Marsupialia . . . . .	671
Anpassung an das Bodenleben bei Eutheria. Schreiten, Laufen, Rennen . . . . .	677
Carnivora . . . . .	682
Proboscidea, Hyracoidea . . . . .	685
Ungulata (Huftiere i.w.S.) . . . . .	685
Hüpfende und springende Fortbewegung . . . . .	695
Grabanpassung bei Säugetieren . . . . .	695
Schwimmanpassung bei Säugetieren (sekundäres Schwimmen) . . . . .	702
Anpassungen an den passiven Fallschirmflug und an den aktiven Flug bei Säugetieren . . . . .	713
Sonderanpassungen der Extremitäten bei Primaten . . . . .	720
Die Bipedie und der aufrechte Gang des Menschen . . . . .	731
Literatur . . . . .	740
Sachverzeichnis . . . . .	750
Tiernamenregister . . . . .	767