

Archicoelomata

Tentaculata (Protostomia)

Hemichordata (Deuterostomia)

Körperorganisation:

Architektur des Körpers durch Coelomhöhlen bestimmt; diese längs des Körpers in Dreizahl (Proto-, Meso-, Metacoel) führt zur Gliederung des Körpers in Proto-, Meso-, und Metasoma;

Die Coelomkompartimente schnüren sich während der Ontogenese vom Urdarm ab (Enterocoelie);

Um die Mundhöhle herum sind Tentakel kreis- oder hufeisnförmig angeordnet; sie werden von Divertikeln des Mesocoels durchzogen; die Tentakel haben Wimpern und dienen als Strudel- oder Filterapparat;

Teils Stockbildend und teils mit Schalenklappen;

Funktionelle Bedeutung der Coelomsysteme

Verwandschaftsbeziehungen der Archicoelomata untereinander

Echinodermata

Echinoidea (Seeigel)

Begriff der Proto- und Deuterostomia

- Protostomia: Gruppe der Metazoa, bei der der Urmund in die definitive Mundöffnung übergeht oder diese an der Stelle entsteht, wo der Urmund sich geschlossen hat.
- Deuterostomia: Gruppe der Metazoa (Hemichordata, Echinodermata, Chordata), bei denen während der Entwicklung der Urmund zum After wird. Die definitive Mundöffnung entsteht dann am entgegengesetzten Ende des Darmkanals als Neubildung.

Pentamere Anordnung der Ambulacralia und Interambulacralia und die Lage und Struktur von Aboral- und Oralfeld beim Seeigel

Die Tiere bilden ein geschlossenes Pentmeres System, wobei die Pentamere Symmetrie aber auch aufgegeben werden kann;

Die Epidermis scheidet das Skelett nach innen ab (d.h. über dem Skelett liegt noch eine Zellschicht, nämlich die Epidermis); das Innenskelett (Endoskelett) besteht aus regulär angeordneten Kalkplatten die aus mesodermalen Skelettplatten gebildet werden; auf den Platten inserieren kugelgelenkartig Stacheln und Pedicellarien

Am aboralen Pol befinden sich fünf Genitalplatten, auf denen die Geschlechtsöffnungen liegen; Eine davon ist als siebartige Madreporenplatte ausgebildet; Von den Genitalplatten gehen die Interambulacralplattenreihen aus (5 x 2 Platten); dazwischen liegen die Ocellar- oder Radialplatten, von denen dann die Ambulacralplattenreihen ausgehen; auf den Ambulacralplattenreihen befinden sich auch die Durchbrüche für die Ambulacralfüßchen; In der Mitte der Genital- und Ocellarplatten liegt der After im Afterfeld (Peripoc);

Die Oralseite ist dem Boden zugekehrt und entspricht der linken Körperseite der Larve; Der Mund liegt im Peristom (Mundfeld), einer weichen und lederartigen Membran aus mutabilem Bindegewebe; Die Mundöffnung ist von Zähnen und Kiemen umgeben; als Nahrungserwerbsapparat dient die „Lanterne des Aristoteles“; die Tiere verfügen über fünf Zähne, die in fünf kieferartigen Pyramiden sitzen;

Struktur und Aufgaben der Pedicellarien

Die Pedicellarien sind gestielt, meist dreizängig und liegen zwischen den Stacheln; Sie bestehen aus einem Stiel und drei diesem aufsitzenden beweglichen Klappen; Der Stiel enthält im unteren Teil einen starren Kalkstab, der von einer Scheide aus Bindegewebe und Muskulatur umgeben ist; Der obere Teil ist biegsam und kann sich unten spiralförmig drehen sowie oben fernrohrartig ineinanderschieben; die Klappen werden von Muskulatur bewegt, die funktionell in Adductor- (heranführend), Abductor- (wegführend) und Flexormuskulatur (beugend) differenziert ist;

Aufbau und Funktion des Ambulacralsystems (Hydrocoel)

Es besteht aus einem zentralen Ring mit fünf davon abgehenden Kanälen, die die Füßchen speisen; das Ambulacralsystem entsteht aus dem larvalen linken Mesocoel und ist flüssigkeitsgefüllt;

Es steht über den Steinkanal, der zur aboralen Körperseite zieht und in der Madreporenplatte mündet mit der Außenwelt in Verbindung;

Von der Radiärkanälen gehen paarige Seitenkanäle ab, von denen die Füßchen (oder die Tentakel) abgehen;

Der Hydrocoelring trägt Interambulacral fünf kleine Blindsäcke;

Das Ambulacralsystem dient der Fortbewegung;

Innere Organisation des Seeigels (Darmtrakt, Gonaden, Steinkanal, „Lanterne des Aristoteles“ ...)

Tiere getrenntgeschlechtlich und mit fünf Gonaden;

Darm lang und in ein bis zwei Schlingen gelegt; der Siphon, ein kleiner Kanal, verläuft dem Hauptdarm parallel und hat wahrscheinlich eine Bypassfunktion für aufgenommenes Wasser;

Die Laterne des Aristoteles ist der Kauapparat; sie ist von Coelothelien umgeben; Daran befinden sich fünf mit Flüssigkeit gefüllte Blasen; durch diese Blasen können die Kiemen, die um den Mund liegen, hydraulisch ausgefahren werden;

Die Zähne werden in den Pyramiden geführt; Zahnwurzel liegt im Zahnbildungssack (Coelomhaube);

Aufbau der Laterne des Aristoteles

Ohne spezielles Exkretionssystem, da die Körperflüssigkeit mit dem umgebenden Medium isotonisch ist; Ausscheidung über die Tentakel oder die Madreporenplatte;

Nervensystem zeitlebens in epithelialer Form; den Meso- und Metacoelkanälen folgend ist es in drei Schichten angeordnet (zwei auf der Oral- und einen auf der Apikalseite);

Habitus des anderen Echinodermen mit Erklärung der ursprünglichen Merkmale

Systematik der Echinodermen:

Unterstamm: Pelmatozoa (dauernd oder vorübergehend am Untergrund festgewachsen (sessil))

Klasse: Crinoidea (Haarsterne)

Kelchförmige Gestalt; Mund nach oben gerichtet; teils mit vom aboralen Pol ausgehendem Stiel; am oberen Körperperrand mit fünf (oder zehn) Armen; After liegt exzentrisch neben dem zentralen Mund; von den Armen entspringen kleine, zweireihige Blättchen (Pinnulae), die die Geschlechtsorgane

enthalten; Ambulacralfüsschen dienen der Nahrungsaufnahme und nicht der Fortbewegung;

Unterstamm: Eleutherozoa (frei beweglich)

Klasse: Asteroidea (Seesterne)

abgeflachter Zentralkörper mit fünf (oder mehr) Armen; mit Stacheln und Pedicellarien; Ambulacralfüsschen mit Ampullen an einer Längsrille auf der Oralseite der Arme; Darm sackartig mit fünf in die Arme ziehenden Blindsäcken; mit Lichtsinnesorganen und Endtentakeln an den Armspitzen; Respirationsorgane als Bläschenartige Ausstülpungen der Haut (Papulae); Gonaden interradial (fünf Paar);

Ophiuroidea (Schlangensterne)

Arme im ggs. zu den Seesternen scharf von Zentralkörper abgesetzt und teilweise verzweigt; Ambulacralfurchen durch orale Platten geschlossen; mit Stacheln aber ohne Pedicellarien; Ambulacralfüsschen ohne Ampullen und lokomotorische Funktion; Darm sackförmig, ohne Blindsäcke und After; Madreporenplatte auf der Oralseite; neben den Armansätzen liegen paarige ektodermale Taschen (Bursae) die der Atmung und als Ausführgänge der Geschlechtsprodukte dienen;

Echinoidea (Seeigel)

Körper meist kugelig und ohne gesonderte Arme; bewegliche Stacheln und gestielte Pedicellarien; mit komplizierten Kauapparat; After und Madreporenplatte aboral; Ambulacralfüsschen mit Ampullen; fünf einfache Gonaden;

Holothuroidea (Seewalzen)

Körper in der Hauptachse verlängert und walzenförmig; Übergang zu bilateraler Symmetrie; Haut weich mit kleinen, verstreuten Kalkplättchen oder Körperchen; Ohne Stacheln oder Pedicellarien; mit Wasserlungen an einer Enddarmweiterungen; nur eine Gonade;

Entwicklung der Echinodermata

Besamung des Seeigeleies und die Mechanismen der Ei-Aktivierung

Siehe Folie im Skript

Gesetzmäßigkeiten der frühen Furchungen

Die erste Teilung des Eies verläuft meridional, also über die animal-vegetative Achse; Es entstehen zwei Tochterzellen; die zweite Teilung verläuft auch meridional; hierdurch entstehen vier Tochterzellen (Blastomeren) die alle das identische Genmaterial besitzen; die dritte Teilung verläuft äquatorial und die entstehenden acht Zellen sind genetisch nicht mehr identisch; es kommt zu einer klaren Teilung der Inhaltsstoffe, die Teilung ist Determiniert; die vierte Teilung verläuft im oberen Zellkranz meridional, dadurch entstehen acht identische Mesomeren; in unteren Zellkranz verläuft die Teilung horizontal; dadurch entstehen vier Makro- und vier Mikromeren und damit auch ein dritter Zellkranz; die fünfte Teilung verläuft oben äquatorial, was zu einem weiteren Zellkranz führt (erneute Differenzierung) und unten meridional; dadurch entstehen unten nur doppelt so viele Makro- und Mikromeren; es ergeben sich zwei animale Zellkränze im animalen Teil (32 Zellstadium); durch die sechste Teilung entstehen fünf Zellkränze: animal 1+2, vegetativ 1+2 und die Mikromeren (Morulastadium = Maulbeerkeim); diese Morula ist innen nicht hohl; durch weitere Teilungen bildet sich eine Hohlkugel aus einschichtigem Epithel die oberflächlich bewimpert ist (Blastula = Hohlkeim);

Aufgaben der Mikromeren

Die Mikromeren wandern aus dem Zellverband aus und in das Lumen der Blastula ein; es kommt zur Einstülpung des Urdarmes, an dessen Einstülpungsstelle entsteht der Urmund; die eingewanderten Mikromeren werden als primäre Mesenchymzellen bezeichnet und haben Affinität zu Fibronectin, das sich in der Basallamina im Inneren der Blastula befindet; die Zellen gruppieren sich rund um den Urdarm; die sekundären Mesenchymzellen nehmen Kontakt mit den oberen Ektodermzellen auf; am Urdarmdach bilden sich dann irgendwann Abschnürungen die zu dem Coelomsystem führen;

Gastrulation und Entstehung der Bilateralsymmetrie

Nach der Furchungsphase besteht die Blastula aus einer einzigen Zellschicht, die das Blastocoel allseitig umschließt. Die Gastrulation erfolgt nach der Bildung der vegetativen Polplatte, einer Abflachung am vegetativen Pol. Mesenchymzellen lösen sich von der vegetativen Polplatte und wandern ins Blastocoel ein. Während der frühen Gastrulation wölbt sich die vegetative Polplatte nach innen (Invagination). Die mesenchymatischen Zellen bilden cytoplasmatische Fortsätze (Filopodien). Mesenchymzellen an der Spitze des Urdarmdaches bilden nun ebenfalls Filopodien, verankern sich am animalen Blastocoeldach und ziehen den Urdarm tiefer ins Blastocoel. Beidseitig des Urdarmes schnürt sich jeweils eine Mesodermtasche ab, woraus später das komplizierte Coelomsystem der Echinodermen entsteht. Die Spitze des Darmes biegt sich anschließend in Richtung des ventralen Ektoderms und induziert den Durchbruch des Mundes. Die Gastrulation ist beendet. Die späte Gastrula (Prismenstadium) besitzt einen durchgehenden, funktionellen Darm mit

Mund und After. Das Ektoderm bildet eine bewimperte Oberfläche. Die Mesenchymzellen gruppieren sich bilateralsymmetrisch und sezernieren Mineralien für die Skelettnadeln des Larvenstadiums.

Es entsteht eine Dipleurularlarve (bilateralsymmetrisch) die bei Echinodermaten und Ophiuroideen als Pluteuslarve, bei den Holothuroideen als Auricularialarve und bei den Asteroideen als Bipinnarialarve bezeichnet wird.

Beim Seeigel hat die Larve zwei Imaginalscheiben (oral und aboral) die sich zu dem oralen und aboralen Pol des fertigen Tieres entwickeln.

Entstehung des Coeloms und seine weitere Differenzierung

Das Coelom entsteht durch Enterocoelbildung, d.b., dass die Coelombläschen als Abschnürung vom Urdarmdach gebildet werden. Die Bläschen strecken sich dann und differenzieren sich zu drei Bläschen je Körperseite weiter:

Proto-, Meso- und Metacoel (Axo-, Hydro- und Somatocoel). Dabei werden primär zwei Bläschen pro Seite angelegt, von denen sich die vorderen weiter strecken und zum Proto- und Mesocoel differenzieren. Als Verbindung zwischen beiden bleibt auf der linken Körperseite der Steinkanal erhalten.

Das linke Protoel bildet die Axialdrüse und Wimpernkanäle der Madreporplatte; das rechte wird reduziert. Das Mesocoel bildet auf der linken Seite das Ambulacralsystem (Hydrocoel) aus einem Ringkanal und fünf Radiärkanälen; das rechte wird hier ebenfalls reduziert. Das Metacoel bildet zwei Ringkanäle im adulten Tier.

Pentamerie als sekundäres Organisationsmerkmal

Die Pentamerie entsteht erst spät in der Embryonalentwicklung während der Metamorphose. Die Larve heftet sich dabei mit dem präoralen Kopflappen fest, der Mund wird dabei aus dem Bereich der Anheftungsstelle heraus nach links verschoben. Die linke Körperseite wächst immer stärker aus und die rechte wird mitsamt den Tentakeln reduziert. Die Oralebene des adulten Tieres entspricht somit der larvalen linken Körperseite. Der After wandert außer bei den Crinoiden auf die entgegengesetzte Seite.

Chordata

Tunicata

Systematik

- Stamm: Chordata (Chordatiere)
- Unterstamm: Tunicata (Manteltiere)
- Klasse: Ascidiaceae (Seescheiden)
- Klasse: Thaliaceae (Salpen)
- Klasse: Appendicularia
- Unterstamm: Acrania (Schädellose)
- Unterstamm: Vertebrata (Wirbeltiere)

Chordatenmerkmale

Chorda dorsalis (aussteifende Saite, die als Skelettelement auftritt)
Entwickelt sich ursprünglich als Abschnürung vom Urdarmdach und ist aus Epithelzellen aufgebaut. Tritt immer mit faserreicher Bindegewebshülle (Chordascheide) auf.

Dorsales Neuralrohr

Canalis Neurentericus

Filter- oder Kiemendarm

Ventrales Herz geschlossenes Blutgefäßsystem

(bilateralsymmetrische Deuterostomia)

(spezielle Drüsenstrukturen dorsal im Mundraum)

(Integument)

Besonderheiten der Tunicaten

Ausschließlich Meeresbewohner; alle Tunicaten sind Zwitter; Ihnen fehlt ein echtes Coelom; sie besitzen einen Cuticularmantel (Epidermisderivat), der aus dem Celluloseähnlichen Tunicin besteht; der Kiemendarm ist sehr groß; die Larve bei den Ascidien ist freischwimmend, während der Adultus sessil ist; die Tiere besitzen bis zu 1000 Kiemenspalten; Chorda und Neuralrohr ziehen sich bei den Larven bis in den Schwanzbereich; im Adultus befindet sich nur noch ein Ganglion; im Kiemendarm

befinden sich oben die Epibranchialrinne und unten die Hypobranchialrinne (Endostyl) die der Schilddrüse homolog ist;

Die Tiere besitzen ein offenes, lakunäres Blutgefäßsystem und ein Herz mit rhythmisch alternierender Schlagrichtung; das Herz liegt ventral und es kommt keine partielle Segmentierung vor;

Einmalig im Tierreich ist das celluloseähnliche Tunicin, dass die Tunica bildet; die Tunica ist ein Ausscheidungsprodukt des Ektoderms;

Für die Metamorphose heftet sich die Larve mit dem Kopfbereich fest; das Nervensystem der Larve wird auf ein Ganglion reduziert; Chorda und Neuralrohr werden zurückgebildet und der komplette Schwanzbereich verschwindet; dadurch ist das sessil-werden sekundär;

Es kommt zu einer Stockbildung; durch Knospung entstehen Tochtertiere; dadurch entstehen Kolonien;

Rechtfertigung der Zuordnung der Tunicaten zu den Chordaten

Chordata

Cephalochordata

Acrania

Branchiostoma lanceolatum

Quer- und (para)mediane Längsschnitte durch Blastula, Gastrula und Neuralrohr

Siehe Skript

Ableitung der verschiedenen Organsysteme von den Keimblättern

(Siehe Zusammenfassung)

Drei Keimblätter

Ektoderm: Neuralrohr, Neuralleistenderivate
Später Gehirn, Hypophyse, Rückenmark, Augen
Haut- und Epidermisderivate

Mesoderm: Muskulatur, Herz, Gefäßsystem, Exkretionsorgane, Gonadensoma
Später Skelett

Entoderm: Verdauungstrakt mit Anhangorganen
(Leber, Pankreas, Schilddrüse, Lunge, etc.)

Körperorganisation von Branchiostoma an Hand eines Querschnittes durch die Kiemendarmregion

Siehe S. 758 Abb. 12.108 A (Wehner / Gehring)

Gemeinsamkeiten und Unterschiede in der Körperorganisation von Acraniern und Vertebraten

Gemeinsamkeiten: Topographie von Chorda und Neuralrohr
Nervensystem / Spinalnerven
Cerebralbläschen homolog zum Wirbeltiergehirn
Grundbauplan des Blutgefäßsystems
Anlagen und Ausbildung des Coelomsystems
Homologie der Mitteldarmdrüse von Branchiostoma zur
Leberanlage
Epidermis

Unterschiede: Fehlen von Spinalganglien
Keine Gliederung wie Vertebratenhirn
Kein Zentrales Herz sondern Kiemenherzen (Bulbilli)
Pigmentbecherocellen längs des Rückenmarks
Fehlen von Augen / Schweresinnesorganen
Epidermis nur ein einschichtiges Epithel

Keinen Ausführgang für die Geschlechtsprodukte
(werden über Peribranchialraum und Atrioporus
nach außen abgegeben)
Gonaden nicht mit denen der Vertebraten homologisierbar
Exkretionssystem: Protonephridien dorsal im Kiemendarm

Gemeinsamkeiten und Unterschiede in der Körperorganisation von Acraniern und Tunicaten

Gemeinsamkeiten: Epidermis
Chorda
Nahrungsstrudler (mit Hypobranchialrinne = Endostyl)
Peribranchialraum
Kiemendarm

Unterschiede: keine Tunica (und damit auch kein Tunicin)
Branchiostoma = Cephalochordat; Tunicaten = Urchordaten
Blutgefäßsystem bei Branchiostoma geschlossen; bei den
Tunicaten offen
Keine Stockbildung / Knospung
Myomeren
Coelom
Branchiostoma mit Protonephridien; Tunicaten ganz ohne
Tunicaten mit Herz; Branchiostoma mit Bulbilli
Branchiostoma ohne Metamorphose

Metamer gebildete Organsysteme

Segmental angeordnete Myomeren (Muskelsegmente), Myosepten und Kiemendarm

Chordata

Vertebrata (Wirbeltiere)

Agnatha (Kieferlose)

Cyclostomata (Rundmäuler)

Neunaugen (= Petromyzontiformes) besitzen keinen durchgängigen Nasen-Rachen-Raum. Sie verfügen über Medianaugen (Anhänge des Zwischenhirnes) und Parietal- bzw. Pinnealorgane (Lichtsinneseorgane).

Primitive und abgeleitete Merkmale der Neunaugen

Plesiomorphien:	Schädel nach oben offen Herz liegt verkapselt im Visceralskelett (am Ende des Kiemenkorbes in einer Knorpelkammer) Pfortadersystem (Merkmal niederer Vertebraten) Kieferapparat fehlt (Primitivmerkmal) Segmentale Muskulatur
Apomorphien:	Schädel Gehirn aus fünf Teilen Wirbelsäule Vertebraten-Augen Gekammertes Herz Epidermis mehrschichtig

Hauptgefäße des Kreislaufsystems und Bau des Herzens

Hauptstämme des Kreislaufsystems:	Truncus Arteriosus Aorta ventralis Vena hepatica Vena jugularis
	Vv. Cardinales anterior / posterior Ductus Cuvieri Vena hepatica Vena Jugularis impar
	Herz
	Aorta Ventralis A. branchialis afferens (O ₂ -arm) A. branchialis efferens (O ₂ -reich) Aorta dorsalis A. Carotis

Bau des Herzens: Kompaktes Herz, in mehrere (vier) Kammern gegliedert

Sinus Venosus	}	von Perikard umgeben
Atrium		
Ventrikel		
(Bulbus Arteriosus)		
Conus Arteriosus		

Truncus Arteriosus		

Weshalb gehören die Agnathen zu den Vertebraten?

Aufgrund von einigen typischen Vertebratenmerkmalen:

Schädel
Gehirn aus fünf Teilen

Telencephalon
Diencephalon
Mesencephalon
Metencephalon
Myelencephalon

Wirbelsäule

Zuordnung zu den Wirbeltieren wegen dem Kopf (Craniota).

Der Kopf stellt einen Zugang zum Verdauungstrakt und eine Konzentration von Sinnesorganen dar.

Vertebratenmerkmale: Kopf - Rumpf - Schwanz - Gliederung
Kopf mit Fernsinnesorganen
Nase, Auge, Vestibularorgan
(Vertebratentypisch aufgebaut)
Herz aus vier Teilen
Gehirn aus fünf Teilen
(Placoden: ektodermale Abspaltungen die sich zu Organen differenzieren)
(Neuralleistenderivate)
(haben respiratorische Pigmente)
Integument

Organisation des Neunaugenrumpfes anhand eines schematischen Querschnittes

Lebenszyklus der Neunaugen (Monothelie)

Relativ undifferenzierte Ammocoeteslarve lebt bis zu fünf Jahren als Strudler im Sand von Bächen / Flüssen.

Dann folgt im Herbst eine 5-8 Wochen lange Metamorphose. Während dieser werden Augen, Zungenapparat, Deckknochen, Gehirn mit Riechapparat, Schilddrüse (Endostyl des Kiemendarmes der Larve schließt sich) und Opisthonephros ausdifferenziert (Die Larve verfügt über einen Pronephros). Zudem wird der gesamte Kopfbereich neu Aufgebaut.

Den adulten Tieren fehlen der Magen und das Pankreas.

Nach der Metamorphose wandern die jungen Neunaugen ins Meer, wo sie mehrere Jahre bis zum Erreichen der Geschlechtsreife parasitisch leben. (Anadrome Arten !)
Im September wandern sie dann zurück in die Flüsse (Salinitätswechsel) wo sie sich in flachen Gewässern paaren, ablaichen und sterben.

Dieses Verhalten der einmaligen Fortpflanzung bezeichnet man als Monothelie. Teilweise geht das so weit, dass die Tiere im kompletten adulten Stadium keine Nahrung mehr aufnehmen (Bsp. Bachneunauge).

Chordata

Vertebrata

Agnatha

Cyclostomata

Die Ammocoetes – Larve

Ursprüngliche Merkmale der Ammocoetes Larve

Kiemenöffnungen in Kiemenleiste versenkt
Vorderbereich der Larve ist völlig anders als der des adulten Tieres
Kein echtes Auge, sondern einen Pigmentfleck
Ohne Peribranchialraum
Pronephros anstelle eines Opisthonephros
Endostyl im Kiemendarm (wird beim Adultus zur Schilddrüse)

Lage und weitere Differenzierung des Ursegmentstieles

Der Ursegmentstiel liegt als Verbindung oder Zwischenstück zwischen den Somiten
Und der Seitenplatte des Mesoderms.

Er differenziert sich in der weiteren Entwicklung zu Nierenkörperchen bzw.
Nierengang.

Das „Holonephroskonzept“ der Wirbeltiere

Alle Rumpfsegmentpaare besitzen ein Nierenelement (Nephron). Dies stellt eine
Segmentale Anlage des Exkretionssystems in ursprünglich organisierten Formen dar.
Auf Höhe jedes Ursegmentstiels / Somitenstiels (s.o.) öffnet sich das Nephron
Mit einem Trichter (Nephrostom) ins Coelom. (Holonephros)

Es kommt dann zur Abgliederung eines cranialen Pronephros (=Vorniere) vom
Holonephros. Der Rumpfabschnitt des Holonephros wird dann als Opisthonephros
bezeichnet. Der Pronephros ist bei den Vertebraten
embryonal vertreten und nur bei einigen wenigen auch noch adult.

Der Opisthonephros wird bei den Amnioten und den Chondrichthyes alleiniges
Ausscheidungsorgan und die segmentale Anordnung geht mehr und mehr
(auch im Anlageplan) verloren.

Bei Amnioten, Selachiern und vielen Amphibien wird dann auch noch ein sekundärer
Harnleiter (Ureter) gebildet.

Grundorganisation des Wirbeltierrumpfes anhand eines schematischen Querschnittes

Begründung der Homologie von Endostyl und Schilddrüse (Thyreoidea)

Das Endostyl bzw. die Hypobranchialrinne liegt am Kiemendarmgrund und produziert Schleim.

Es ist nur über einen schmalen Gang (Ductus hypobranchialis) mit dem Kiemendarm verbunden und besitzt Zellen, die Iod einlagern und es in Thyroxinmoleküle einbauen können.

Die iodbindenden Zellen, die später dann auch die Schilddrüse bilden, werden als Typ III Zellen bezeichnet.

Chordata

Vertebrata

Gnathostomata (Kiefertragende)

Chondrichthyes (Knorpelfische)

Systematik

Elasmobranchii (Plattenkiemer) Selachii (Haie)
Rajiformes (Rochen)

Holocephali (Seekatzen)

Merkmale der Gnathostomata

Kiefer

Paarige Extremitäten (aufgehängt an Schulter- und Beckengürtel)
Muskulatur ist epaxial und hypaxial gegliedert
Vestibularorgan mit drei Bogengängen (Neunaugen hatten nur zwei)

Äußere Morphologische Merkmale des Haifisches (und der Chondrichthyes)

Placoidschuppen (Hautzähne)
Charakteristische Körperform
Heterozerke (d.h. asymmetrische) Schwanzflosse
Kiemen mit Kiemenspalten (5-7 Paar)
Neurocranium ist ein einheitlicher Knorpel
Plattenkiemen
Lorenzinische Ampullen in der Schnauzenregion
Spiraldarm (Darm eigentlich sehr kurz, aber durch Falte große Oberfläche)

Entstehung und Bau der Placoidschuppen / Zähne

Placoidschuppen: Es kommt zu einer Zahnbildung im Kieferbereich und auf der gesamten Körperoberfläche. Sie entstehen aus Mesodermanteilen der Unterhaut. Die Zähne werden anstatt von Schmelz mit mesodermal Entstandenem Vitrodentin überzogen.

Die Placoidschuppen sind Reste von Dermisverknöcherungen. Ihr Aufbau stimmt mit dem der Kieferzähne überein. Innen befindet sich ein Dentinkegel der von Odontoblasten gebildet wird. Der Kegel wird außen von einer Vitrodentinschicht umhüllt.

Im Zentrum der fertigen Schuppe befindet sich die Pulpa. Darauf folgt das Dentin und außen dann das Vitrodentin.

Zähne: Sie sind dermalen Ursprungs und treten im Bereich des Stomodeums (ektodermale Mundbucht oder Munddarm) auf. Ontogenetisch entstehen sie an der Epidermisunterseite in der Zahnleiste (einer Einfaltung des Mundhöhlenepithels). Diese verläuft parallel zum Kieferrand. Odontoblasten (Neuralleistenderivate), die um die Pulpa herum liegen, scheiden Dentin nach außen ab. Darüber liegen die epidermalen Adamantoblasten, die nach innen den Schmelz absondern.

Die Zahnausbildung erfolgt also durch zwei Primordien: einem dermalen Dentinkeim und einem epidermalen Schmelzorgan.

Haie haben ein homodontes Gebiss mit nur einem Zahntyp. Das Gebiß ist ein „Revolvergebiss“ dass sich zeitlebens erneuert.

Struktur der Wirbelsäule und Verbleib der Chorda Dorsalis

Die Wirbelsäule besteht aus Wirbelkörpern mit Wirbelbögen (Arcualia), die knorpelig ausgebildet sind. Beim Hai können bis zu 400 Wirbel auftreten.

Die Chorda Dorsalis wird reduziert. Reste von ihr sind noch zwischen (oder innerhalb) der Wirbelkörper zu finden (im Sinne des Nucleus pulposus).

Die Wirbelkörper des Haies sind amphistyl d.h. von beiden Seiten eingedellt. Zwischen den Wirbelkörpern befindet sich Chordamaterial

Urogenitalsystem der Haie

Der Hai verfügt über einen gemeinsamen Ausführgang für Harn und Gameten. Beim männlichen Hai ziehen die Hodenausführgänge ins Nierenbecken. Die Spermienableitung erfolgt dann über den Wolff'schen Gang nach außen. Der Wolff'sche Gang ist also im distalen Bereich nur Samenleiter obwohl er evolutiv als Harnleiter angelegt worden ist. Es kommt damit zu einer Funktionalitätsverschiebung.

Beim Männchen besteht die Niere aus Pars renalis und Pars sexualis, während beim Weibchen nur der Pars renalis funktionstüchtig ist.

Wichtigste Sinnesorgane der Knorpelfische und deren Funktion

Seitenlinienorgan	(Tastsinn)
„Ohr“ (Spritzloch / Spiraculum) hängt eng damit zusammen, da das Gehör (bzw. Endolymphatisches System oder Sacculus) ursprünglich ein Lagesinnesorgan oder Gleichgewichtssystem war.	
Augen	(Sehen)
Nase	(Riechen)
Lorenzische Ampullen	(Elektrorezeption)

Atemwasserstrom beim pelagischen (im offenen Meer lebend) Hai und beim bentischen (am Boden von Salz- und Süßgewässern lebend) Rochen

- Hai: Einstrom des Atemwassers ins Maul. Es überfließt dann die Kiemenlamellen in Gegenrichtung zum Blut (Gegenstromprinzip) und tritt aus den Kiemenspalten nach hinten aus.
Oft funktioniert die Aufnahme nach dem Staudruck-Prinzip.
Dabei wird Wasser durch die Schwimmbewegungen über die Kiemen geleitet.
- Rochen: Hier befinden sich die Kiemenspalten und die Mundöffnung auf der Körperunterseite. Durch die Ausbildung von Spritzlöchern auf der Oberseite kann der Rochen auch dann atmen, wenn er auf dem Grund liegt.

Kiemenkreislauf der Haie

Aus dem Ventrikel kommend fließt das Blut über den Conus arteriosus in die Aorta ventralis. Dann fließt es durch die Branchialarterien an den Kiemenöffnungen vorbei in die Epibranchialarterien. Von hier fließt da nun mit Sauerstoff beladene Blut in die Aorta dorsalis und von dort weiter in den ganzen Körper.
Von der Aorta dorsalis geht die Arteria coeliaca ab, die weiter Gefäße abgibt (A. gastrica, A. mesenterica anterior zum ersten vorderen Darmbereich und die A. hepatica zur Leber).
Weiterhin gehen von der Aorta dorsalis ab: die A. mesenterica superior, die A. lienalis (zur Milz) und die A. mesenterica inferior (zur Dorsaldrüse).

Die venösen Hauptgefäße und deren Verlauf

Vena jugularis zieht vom Schnauzenbereich in Richtung Vena cardinalis rostralis welche dann in den Sinus cardinalis caudalis mündet. Darunter sitzt dann direkt der Sinus venosus und das Herz.

Die Vena cardinalis caudalis kommen vom hinteren Körperbereich und münden auch in den Sinus cardinalis caudalis. Die V. portae hepatis zieht von caudal in die Leber. Die V. abdominalis lateralis liegt ventral.

Entstehung der Wirbeltieraugen

Die Lateralaugen der Wirbeltiere entstehen als Ausstülpungen des Mesencephalons. Die wichtigsten Teile des Augens gehen aus dem Ektoderm hervor, nämlich die Retina aus dem Neuroektoderm und die Linse aus der Epidermis. Die anderen Bauteile entstehen aus dem Mesoderm.

Während sich das Neuralrohr schließt, wachsen jederseits aus dem Gebiet des Vorderhirns halbkugelige Augenbläschen aus, die durch ihren eingeschnürten proximalen Abschnitt, den Augenstiel, mit dem Gehirn in Verbindung bleiben. Die äußere (vordere) Wand der Augenblasen stülpt sich ein, und es entsteht jederseits ein doppelwandiger Augenbecher. Das dickere innere Blatt wird zur Sinnesepithelschicht der Retina (aus Neuroektoderm), das äußere Blatt zur Pigmentepithelschicht. Wenn das Augenbläschen gegen die Körperoberfläche vorwächst, verdickt sich die

darüberliegende Epidermis, und eine kugelige Masse epidermaler Zellen oder eine taschenförmige eingestülpte Platte, die sich zu einem Linsenbläschen abschnürt, senkt sich in die Öffnung des Augenbechers ein, um die Linse zu bilden.

Weiter Bauelemente des Bulbus liefert das Mesoderm. Zunächst umgibt eine primär vaskularisierte Mesenchymschicht das Pigmentepithelblatt des Augenbechers und bildet die Chorioidea. Ihr legt sich eine äußere Bindegewebsschicht auf, aus der sich Sclera und Cornea als geschlossene Kugel entwickeln.

Wieso werden die Wirbeltieraugen als invers bezeichnet

Die Augen heißen invers, weil das Sinnesepithel auf der lichtabgewandten Seite des Auges liegt. Bei den Cephalopoden ist es genau andersherum.

Kiefer sind abgeleitet von den beiden vorderen Visceralbögen. Die anderen werden zu den Branchialbögen.

Es gibt insgesamt sieben Visceralbögen die sich aufteilen in:

2 Kieferbögen
5 Branchialbögen

Ein Branchialbogen besteht von oben nach unten aus vier Elementen:

Pharyngobranchiale	
Epibranchiale	(= Oberkiefer)
Ceratobranchiale	(= Unterkiefer)
Hypobranchiale	

Der erste Kieferbogen ist der Mandibularbogen und besteht aus:

Palatoquadratum
Mandibulare

Der zweite Kieferbogen ist der Zungen- oder Hyoidbogen und besteht aus:

Hyomandibulare
Hyale (Hyoid)

Das primäre Kiefergelenk der Haie

Der Oberkiefer (Palatoquadratum) ist nur lose durch Ligamente mit dem Schädelknochen verbunden (Amphistylie). Palatoquadratum und Mandibulare schließen das primäre Kiefergelenk ein.

Aufhängung des Kiefers:

Autostylie	(Oberkiefer ist fest mit dem Neurocranium verbunden (z.B. Mensch))
Hyostylie	(Mandibularbogen über Hyomandibulare unterstützt (z.B. Hai))
Amphistylie	(beides)

Die Extremitätenmuskulatur leitet sich von der Seiten- Rumpfmuskulatur ab, die dann in die Flossen einstrahlt.

Der Schädel ist gegliedert in ein Neurocranium (bildet die Kapsel für Gehör- und Sinnesorgane) und ein Viscerocranium (Splanchnocranium; es umgreift die vorderen Nahrungs- und Atemwege). Diese beiden zusammen werden als Endocranium dem Dermatocranium gegenübergestellt, das einen subepidermalen durch desmale Ossifikation entstandenen Deckknochenpanzer darstellt.

Das Neurocranium ist noch weiter in vier verschiedene Regionen gegliedert:

- Regio nasalis
- Regio orbitalis
- Regio otica
- Regio occipitalis

Die Kiemen bestehen aus insgesamt fünf Kiemenspalten die durch Kiemenbögen gestützt werden. Die Kiemenspalte des Kieferbogens ist zurückgebildet und heißt jetzt Spiraculum. In den Kiemenspalten befinden sich die Plattenkiemen.

Der Hai verfügt auf jeder Seite über:

- 1 Hemibranchie (nur auf einer Seite resp. Epithel)
- 4 Holobranchien (auf beiden Seiten resp. Epithel)
- 1 Pseudobranchie (eine halbe Spiraculumkieme)

Das Gehirn entsteht aus einer Anlage mit drei Bläschen:

- Prosencephalon
- Mesencephalon
- Rhombencephalon

Aus diesen Bläschen entwickeln sich später die fünf Anteile mit den vier Ventrikeln:

Prosencephalon:	Telencephalon	Ventrikel 1, 2
	Diencephalon	Ventrikel 3
Mesencephalon:	Mesencephalon	Ventrikel 4
Rhomencephalon:	Metencephalon	
	Myelencephalon	(überdeckt von „Tela chorioidea“)

Die zwölf Gehirnnerven:

Sinnesnerven:	I	N. olfactorius	(Fasertrakt)
	II	N. opticus	(vom Diencephalon aus)
	VIII	N. statoacusticus	[N. lateralis (L)]
Augenmuskelnerven:	III	N. oculomotorius	
	IV	N. trochlearis	
	VI	N. abducens	
Brachialnerven:	V	N. trigeminus	(+ L-Anteile; Kiefer / Zähne) (erster Kieferbogen)
	VII	N. facialis	(+ L-Anteile; Mimische Muskeln) (zweiter Kieferbogen / Spritzloch)
	IX	N. glossopharyngeus	

X N. vagus (+ L-Anteile; Ast der in der Körper zieht ist Teil des Parasympaticus)

----- Bei niederen Vertebraten ist hier der Schädel zu Ende. Bei den Höheren werden noch zwei Wirbel in den Schädel mit einbezogen, daher verfügen diese über zwei Spinalnerven zusätzlich.

XI N. accessorius (dem N. vagus zugeordnet; enthält motorische Komponente)

XII N. hypoglossus (inneviert die Zungenmuskulatur)

(0 N. terminalis)

Die Augenmuskeln und Ihre Innervierung

Die Augenmuskulatur ist bei allen Gnathostomen immer gleich ausgebildet:

Obere und untere schräge Muskeln: M. obliquus superior gesteuert von IV
 inferior gesteuert von III

Gerade Augenmuskeln: M. rectus superior gesteuert von III
 inferior gesteuert von III
 internus gesteuert von III
 externus gesteuert von VI

Die muskulären Mechanismen der Augenbewegung

Aufbau und Funktion des statischen Organs

Es dient der Wahrnehmung von Wasserströmungen, die z.B. von bewegten Objekten ausgelöst werden. Es ist damit ein Ferntastsinnesorgan.

Eine Gruppe von Haarzellen mit darüberliegender Gallertkappe (Cupula) liegt in der Haut in einem Epidermiskanal mit Verbindung zum Außenmedium.

Funktion und Lage des Ductus endolymphaticus

Der Ductus endolymphaticus ist ein mit Endolymphe gefüllter Schlauch. Er liegt bei den Bogengängen und nimmt den Schall auf. Das Labyrinth besteht hier aus drei Bogengängen die über den Ductus endolymphaticus mit der Außenwelt verbunden sind.

Im Labyrinth, wie auch in vielen anderen Sinnesorganen gibt es Sinneshaare.

Beim Seitenlinienorgan befindet sich auf den Haaren die sog. Cupula.
 Beim Schweresinnesorgan befindet sich auf den Haaren ein Statolith.
 Beim Gehörorgan befindet sich die Tectorialmembran auf den Haaren.

Aufzweigungen eines typischen Branchialnerven

Siehe Kopie! (Romer S.465)

Schematische Darstellung des Gehirn und seiner Nerven

Chordata

Vertebrata

Gnathostomata

Osteichthyes (Knochenfische)

Systematik

Actinopterygii (Strahlenflosser)	Chondrostei (Knorpelganoiden)
	Polypteri (Flösselfische)
	Holostei (Knochenganoiden)
	Teleostei (Knochenfische i.e.S.)
Sarcopterygii (Fleischflosser)	Dipnoi (Lungenfische)
	Crossopterygii(Quastenflosser)

Anatomische Unterschiede zwischen den Selachii (Haie) und den Teleostei

- Verknöchertes Skelett
- Gräten
- Kiemendeckel (Operculum)
- Hautschuppen (Ganoid- und Elasmoidschuppen)
- Schwimmlase
- Nur noch vier Paar Kiemen
- Kein Spiraculum (außer bei den Chondrostei)

Kreislaufsystem (insbesondere der Kiemenkreislauf)

Bei den Kiemen findet eine unidirektionelle Ventilation statt.

Das Blut geht aus dem Herz kommend durch die Kiemenarterie in die Kiemenkapillaren. Nachdem es dort mit Sauerstoff angereichert worden ist fließt es durch die Aorta dorsalis und unter einem Druckabfall von ca. 50% weiter in den Körperkreislauf.

O₂-armes Blut kommt dann über die Cardinalvenen und die Ductus cuvieri zum Herzen zurück.

Luftatmende Teleostier besitzen den normalen Fischkreislauf und führen daher in den Kiemen Blut, das mehr O₂ besitzt als das umgebende Wasser. Der Kiemen und der Körperkreislauf sind also seriell (hintereinander) geschaltet.

Der Grundzustand ist durch ein Herz und die daran angeschlossene ventrale Aorta, die das Blut zu den sechs Kiemenbogenarterien leitet, bestimmt.

Beim Knochenfisch sind nur noch die Bögen 3, 4, 5 und 6 erhalten.

Beim Lungenfisch sind ebenfalls diese vier Bögen erhalten, aber zwischen der Aorta dorsalis und dem Herz ist noch eine Lunge eingeschaltet. Hier zieht also ein bereits O₂ reiches Gefäß in die Lunge.

Das Herz der Fische besteht aus vier Anteilen:

Sinus venosus, Atrium, Ventrikel und Conus arteriosus

Es kommt aber fast nie im langgestreckten Zustand vor.

Der Conus arteriosus trägt Klappen und ist von Perikard eingeschlossen. Daher kann er eindeutig als ein Herzteil identifiziert werden.

Eine generelle Tendenz in der Herzentwicklung ist die zunehmende Verkleinerung des Conus arteriosus.

Beim Knochenfisch wird der Conus a. sehr stark reduziert, trägt aber immer noch Klappen. Es gibt ein neues, größeres Propulsionsorgan, nämlich den Bulbus arteriosus. Dieser ist jedoch kein Herzteil sondern ein Teil der ventralen Aorta. Er entspricht dem Truncus arteriosus.

Funktion der Schwimmblasentypen und ihre Homologie mit der Lunge

Die Schwimmblase kann bei den unterschiedlichen Typen mit einem Ductus pneumaticus (Physostomen) oder ohne einen solchen (Physoclisten) entwickelt sein.

Sie ist ein Auftriebsorgan mit dem die spezifische Dichte des Fischkörpers der des umgebenden Wassers angepasst wird. Sie fehlt den Plattfischen.

Wenn der Fisch taucht wird das Gas in der Schwimmblase, genauso wie der Fisch selbst, komprimiert. Das spezifische Gewicht des Fisches wird also größer und der Fisch sinkt weiter ab. Wenn er nun weiteres Gas in die Schwimmblase hinein bringt wird das spezifische Gewicht wieder geringer und der Fisch steigt wieder auf.

Das Gas kommt aus den Gasdrüsen, die ständig Gas produzieren. Nur der Verbleib des Gases in der Blase wird gesteuert.

Da sie ebenso wie die Lunge aus einer Aussackung des Vorderdarmes entstanden ist, kann man sie mit der Lunge homologisieren. Lunge und Schwimmblase sind über einen identischen Erbspeicher „getriggert“.

Der Ductus pneumaticus endet auch im Vorderdarm.

Phylogenetisch hat sich wohl zuerst die Lunge entwickelt und dann sekundär die Schwimmblase. Die Atemfunktion wird also zu hydrostatischen Organen weiterentwickelt.

Urogenitalsystem der Fische

Das Ausscheidungsorgan der Fische ist ein ursprünglicher Opisthonephros. Der craniale Rumpfnierenabschnitt ist nur im Embryo als ein Ausscheidungsorgan entwickelt. Im adulten Tier ist er der Nebenhoden (Epididymis) und dient zur Ausleitung und Speicherung der Spermien.

Der Wolff'sche Gang ist ausschließlich Sameleiter oder Ductus deferens. Sekundärer Harnleiter ist der Ureter.

Bedeutung der Begriffe Gräte, Rippe und primäres Kiefergelenk

Gräten entstehen durch direkte Verknöcherung (desmale Ossifikation) in den Bindegewebshüllen der Muskelfasern. Sie nehmen meist keinen Kontakt zu der Wirbelsäule auf und werden zusätzlich zu den Rippen entwickelt. Bei den Gräten handelt es sich also um Deckknochen.

Rippen (Costae) entstehen hingegen durch enchondrale Ossifikation (von innen im knorpelig präformierten Gewebe) und sind daher Ersatzknochen. Sie sind meist gelenkig mit der Wirbelsäule verbunden und entstehen in den Bindegewebssepten der segmentierten Rumpfmuskulatur und liegen dabei meist an den Kreuzungsstellen der Myosepten. Daher gibt es dorsale und ventrale Rippen. Moderne Teleostier haben nur ventrale Rippen. Die Rippen bilden später den Brustkorb.

Das Primäre Kiefergelenk:

Bei den Knochenfischen wird das Palatoquadratum funktionell durch die Deckknochen Praemaxillare und Maxillare ersetzt. Sein hinterer Abschnitt, der das Gelenk mit dem Unterkiefer bildet verknöchert als Quadratum. Vom knorpeligen Unterkiefer (Manibulare) erhält sich ein ansehnlicher Rest als Meckel'scher Knorpel zeitlebens. Sein Gelenkabschnitt verknöchert als Articulare. Der Unterkiefer wird durch das Dentale als Deckknochen ersetzt. Das primäre Kiefergelenk wird also von Quadratum und Articulare gebildet.

Querschnitt durch den Knochenfisch (erkennen und beschriften)

Akkommodation bei den Fischen

Tiere müssen zum scharfen Sehen auf die jeweilige Objektentfernung fokussieren (akkomodieren). Meistens sind die Linsen in Ruhe auf Ferne eingestellt und akkomodieren auf nahe Objekte. Bei den Knochenfischen aber ist die Linse in Ruhe auf Nähe eingestellt. Auf Ferne müssen sie akkomodieren, indem der Musculus retractor lentis die Linse nach hinten zieht. Wegen der hohen Lichtabsorption im Wasser ist hier offenbar das Nahsehen begünstigt.

Die Fische verfügen zum Tages- und Nachtsehen über die Retinomotorik. Die Fische besitzen Hell- Dunkel- abhängige bewegliche Photorezeptoren. Im Zusammenhang damit kommt es auch zu einer Wanderung der Pigmentgranula.

Knorpelgewebe

Besteht aus sehr regelmäßigen Knorpelzellen, die in eine Matrix eingelagert sind. Manche Zellen liegen auch sehr eng aneinander und berühren sich.

Die Matrix des Knorpels besteht aus Glycoproteinen (meist Kollagen) in die fibrilläre Elemente eingelagert sind (amorphe Grundsubstanz).

Knorpelgewebe ist stets ohne Blutgefäße.

Die Oberfläche des Knorpels wird von einer Lage dichten Bindegewebes, der Knorpelhaut oder Perichondrium, bedeckt.

Knochengewebe

Knochengewebe ist auf eine hohe mechanische Belastung ausgelegt. Es besteht aus einer festen Matrix die durch Biomineralisation von Hydroxylapatit, Calciumphosphat und anderem entsteht.

Knochen wird durch Osteoblasten aufgebaut.

Es gibt zwei Arten der Knochenbildung:

Ersatzknochenbildung	diese kann enchondral (von innen heraus) oder perichondral (von außen her) sein. Die Ersatzknochenbildung findet immer in Knorpelig präformierten Gewebe statt. Osteoklasten bauen dabei das Knorpelgewebe ab, damit der Knochen dann von den Osteoblasten aufgebaut werden kann.
Deckknochenbildung	(desmale Ossifikation) die Knochenbildung erfolgt hierbei aus der Haut heraus unmittelbar im Bindegewebe. Deckknochen tragen sehr oft Zahnstrukturen oder Zähnen.

Die Schwanzflosse der Fische kann unterschiedlich ausgestaltet sein:

heterozerk	Chorda wächst nach oben und ist durchgehend; dorsal auslaufend
homozerk	mit einer richtigen Wirbelsäule; bei Teleostern; symmetrisch
diphyozerk	auch mit einer Chorda; bei Lungenfischen; lanzenspitzenartig auslaufend
hypozerk	ventral auslaufend; Chorda wächst nach ventral

Schuppen

Schuppen entstehen als Verknöcherung in der Haut. Sie haben unterschiedliche Struktur und traten früher als stark verknöcherte große Panzerschuppen auf (Ganoidschuppen).

Die Elasmoidschuppen werden in Coriumtaschen von Osteoblasten gebildet.

Vergleich des Kiemenapparates der Haie mit dem der Knochenfische

Der Hai hat vier Kiemenbögen mit fünf Kiemensepten die auf beiden Seiten ein respiratorisches Epithel tragen.

Vor den Kiemen liegt das Spritzloch mit einem weiteren Kiemenorgan (Pseudo- oder Spiracularbranchie). Diese Kieme wird von einem weiter hinten liegenden Blutgefäß versorgt.

Beim Knochenfisch sind die Kiemenbogensepten reduziert. Eine Falte des Hyoidbogens überdeckt die einzige Ausstömöffnung und wird als Operculum bezeichnet.

Auch hier gibt es vier Holobranchien und eine Opercularkieme (Hemibranchie). An der Stelle des nicht mehr vorhandenen Spiraculums findet man immer noch eine Spiracularkieme. Diese ist vermutlich dafür da, um die O₂-Zufuhr zum Auge zu kontrollieren / regulieren oder zu intensivieren. Sie ist also ein Organ das den Sauerstoff nicht aufnimmt, sondern zugeführt bekommt.

Weber'sche Knöchelchen

Manche Fische benutzen die Schwimmblase als Resonanzraum. Die Schwingungen werden dann über eine Kette von kleinen Knöchelchen, die von den vorderen Wirbeln und Rippen abstammen, zum Ohr weitergeleitet.

An der Schwimmblase gibt es dann meist eine gesonderte Struktur, die

Weber'sche Luftkammer (ein Vorderteil der Schwimmblase) die im Dienste des Hörapparates steht.

Chordata

Vertebrata

Amphibia

Systematik

Urodela (Schwanzlurche)

Anura (Froschlurche)

Gymnophiona (Blindwühlen)

Typische Merkmale der drei Amphibien Ordnungen

Urodela	Schwanzlurche	Schwanz, keine Sprungbeine, tetrapod
Anura	Froschlurche	kein Schwanz, Hinterextremitäten besonders lang bei vielen Fröschen Sprungbeine, Fibula und Tibia verwachsen,
Gymnophiona	Blindwühlen	Extremitäten sekundär reduziert, Regenwürmähnlicher Habitus Im Vergleich zu den Fischen stark vereinfachter Schädel, keine Rippen, Metamorphose, Gasaustausch über die Haut

Anpassungen an das Landleben bei den Amphibien

Der Schädel ist über zwei Gelenkhöcker (Condylia) mit der Wirbelsäule beweglich verbunden. Dies ermöglicht nur eine Nickbewegung.

Der Beckengürtel ist im Gegensatz zu den Fischen mit den Querfortsätzen der Sacralwirbel fest verbunden. Die Haut enthält viele Mehrzellige epidermale Schleim- und Giftdrüsen.

Es kommt zu weitreichenden Umstrukturierungen im Atmungs- (Lunge), Kreislauf- und Exkretionssystem.

Es entwickelt sich ein Lungen- und ein Körperkreislauf.

Was benötigt ein Tier um vom Wasser ans Land zu gehen?

gegliederte Extremitäten die den Körper abstützen

die Extremitäten müssen über Schulter- und Beckengürtel mit der Wirbelsäule verbunden sein

eine stabile Wirbelsäule

eine spezielle Haut

luftatmende Lungen

Das Herz mit seinen zu und abführenden Gefäßen unter Beachtung des Sauerstoffgehaltes des Blutes

Herz und Gefäße	Die Tiere verfügen über ein dreikammeriges Herz, das über einen Ventrikel und zwei Atrien verfügt. In die linke Vorkammer strömt O ₂ reiches Blut aus der Lunge und in die rechte O ₂ armes bzw. Mischblut aus dem Körper und der Haut.
-----------------	---

Da der Lungen- vom Körperkreislauf „getrennt“ verläuft besitzt das Herz zwei Vorkammern. Durch den Bulbus Cordis mit seinem Klappensystem und durch eine ungleizeitige Kammerkontraktion wird dann die „Trennung“ der Kreisläufe erreicht.

Zuführende Gefäße	Vena Cava posterior / anterior Vena pulmonalis Vena pulmocutanea (Blut O ₂ reich aus der Haut)
Ableitende Gefäße	Canalis aorticus Canalis caroticus Truncus arteriosus

Die Cardinalvenen werden embryonal noch angelegt, dann aber zurückgebildet. Statt dessen gibt es als neues großes venöses Gefäß die Venae Cava. Hinten liegt die Vena cava posterior. Vorne die Jugularvenen, die sich zur Vena cava anterior vereinigen.

In der Haut gibt es als Gefäße die Vena und Arteria cutanea magna. Da die Tiere sehr viel Hautatmung praktizieren führen die Hautvenen O₂ reiches Blut.

Als in den Kopf führende Gefäße sind hier die Carotiden ausgebildet. In den Unterkiefer zieht die A. carotis externa und in den Kopf die A. carotis interna.

Veränderungen des Kiemenkreislaufes von der larvalen zu adulten Organisation

Die Larve verfügt über Außenkiemen, die sich während der Metamorphose zurückbilden. Die Lungen wachsen dann aus und es entsteht die Lungenvene als Verbindung von der Lunge zum Herzen. Das bei der Larve noch O₂ arme Blut in den ventralen Kiemenarterienbögen 3-6 ist aufgrund der Lungenfunktion nach der Metamorphose gemischt mit dem O₂ reichen Blut in den Bögen 3-5 und O₂ armen Blut im Bogen 6. Der Kiemen- wird zum Lungenkreislauf und verläuft nun parallel zum Körperkreislauf.

Die verschiedenen Atemmechanismen

Mundhöhlen (zweitwichtigste Form) und Lungenatmung (relativ unwichtig)

Es kommt nur ab- und zu mal zu einer Lungenbelüftung. Meistens praktizieren die Tiere Mundventilation mit dem Mundhöhlenboden.

Mundhöhlenventilation über den Musculus submaxillaris. Beim Ausatmen wird ein Druck über die gesamte Körpermuskulatur (Musculus obliquus) genutzt.

Bei der Lungenentleerung strömt die Luft in die Mundhöhle. Zum Befüllen werden Schluckbewegungen genutzt. Die Glottis ist dabei offen.

Hautatmung (teils fast zu 100%; wichtigster Atemtypus)

Aufbau einer Tetrapodenextremität und deren Verbindung zum Axialskelett

Die gegliederten Extremitäten haben sich recht früh entwickelt, die Pentadactylie jedoch erst später.

Die pentadactyle Extremität ist in drei Abschnitte gegliedert:

Stylo-, Zygo- und Autopodium

Vorne	Humerus Radius, Ulna Radiale, Intermedium, Ulnare Centralia Carpalia Metacarpalia Phalanges Digiti	}	Stylopodium Zygopodium Autopodium
Hinten	Femur Tibia, Fibula Tibiale, Intermedium, Fibulare Centralia (4 Einheiten) Tarsalia (5 Einheiten) Metatarsalia Phalanges Digiti	}	Stylopodium Zygopodium Autopodium

Schultergürtel

Er besteht aus Deck- und aus Ersatzknochen

Ersatzknochen	Coracoid Scapula
Deckknochen	Clavicula Cleithrum

Das Cleithrum ist nur noch bei Amphibien vorhanden. Bei höheren Wirbeltieren fehlt es.

Beckengürtel

Ilium	(Darmbein)
Ischium	(Sitzbein)
Pubis	(Schambein)

Der Beckengürtel ist über die Sacralrippe mit der Wirbelsäule verbunden.

Wirbelsäule

Die Wirbel liegen intersegmental und haben somit pro Wirbel zwei knöcherne Anteile: das Pleuro- und das Hypozentrum

Schädel

Der Schädel ist platybasisch (flach).

Das Hyomandibulare rückt aus dem Kieferbereich aus und wird zur Columella auris, dem ersten Gehörknöchelchen.

Der ventrale Teil rückt ebenfalls aus und wird zum Zungenbein.

Muskulatur

Der Musculus dorsalis trunci bildet den größten Anteil der epaxialen Muskulatur. Dazu kommen noch der M. subneuralis und der M. obliquus externi bzw. Schichten davon.

Diese Muskulatur stützt die Wirbelsäule und damit den ganzen Körper.

Integument

Frösche trinken nicht, und müssen daher das Wasser über die Nahrung und die Haut aufnehmen.

Eine Schicht der Haut, die Ebert-Kastschenkosche Schicht kann das Wasser dann speichern.

Ebenfalls in der Haut befinden sich Schleim- und Giftdrüsen.

In der Epidermis befinden sich meist viele Chromatophoren mit Melanosomen. Dadurch können viele Tiere auch einen Farbwechsel durchführen.

Lymphsystem

Die Tiere verfügen über ein sehr ausgeprägtes Lymphsystem mit vielen Lymphsäcken und Lymphherzen.

Das Urogenitalsystem der Amphibien

Die Gonaden sind über Tubuli mit der Rumpfniere verbunden. Die Spermien werden aus dem Hoden über Ductuli efferentes in den cranialen Abschnitt des Opisthonephros (dessen Pars sexualis) und von dort durch den Wolff'schen Gang in die Kloake geleitet.

Der Wolff'sche Gang hat eine Harn- Samenleiter Doppelfunktion. Es gibt jedoch teilweise auch sekundäre Uretheren.

Bei den Weibchen gibt es ein Ovar mit einem Müller'schen Gang und zur Exkretion einen Opisthonephros mit einem Wolff'schen Gang als Harnleiter.

Teilweise kann es jedoch bei beiden Geschlechtern zu großen Variationen kommen.

Chordata

Vertebrata

Amphibia

Entwicklung

Definition des animalen und des vegetativen Eipoles

Bei den meisten Tieren weisen die Eier eine animal-vegetative Polarität auf. Im unbefruchteten Ei liegt der Kern meist in der Nähe des animalen Poles, während der Dotter und andere cytoplasmatische Bestandteile mit höherer Dichte am vegetativen Eipol angereichert sind.

Bei Amphibien und vielen Invertebraten entspricht die animal-vegetative Achse der anterior-posterioren Achse des sich entwickelnden Embryos.

Das Froschei verfügt über einen dunkelpigmentierten Animalpol und einen hellen Vegetativpol. Vor der Befruchtung ist es radiärsymmetrisch.

Durch das Eindringen des Spermiums wird die radiäre Symmetrie aufgehoben und die Dorsoventralachse festgelegt.

Durch den Spermaeintritt kommt es zu einer Umlagerung des Eicytoplasmas, wobei sich das äußere corticale (Rand) Plasma gegenüber dem inneren Cytoplasma um ca. 30° verschiebt. Diese Bewegung wird durch Mikrotubuli verursacht, die zwischen den beiden Schichten liegen.

Durch die Verschiebung der Pigmentkappe entsteht auf der dem Spermaeintritt gegenüberliegenden Seite eine graue, halbmondförmige Zone, der graue Halbmond.

Entwicklung der Amphibien

Die dotterarmen (mesolecithalen) Eier der Amphibien furchen sich holoblastisch, d.h. die Furche schnürt das Ei ganz durch.

Die Furche der ersten Zellteilung verläuft meridional etwa durch die Eintrittsstelle des Spermiums und äqual. Durch die erste Teilung sind bereits alle Körperachsen festgelegt.

Die zweite Furche verläuft ebenfalls meridional, die dritte jedoch äquatorial und inäqual.

Die Furchung der dotterreichen Vegetativhälfte erfolgt stets etwas verzögert.

Die vegetativen Zellen sind größer als diejenigen am Animalpol.

Im 32-Zellstadium bildet der Embryo die Morula, aus der durch fortgesetzte Zellteilung und Sekretion von Flüssigkeit ins Innere die Blastula, eine Hohlkugel wird.

Das Entwicklungsschicksal der Furchungszellen wird erst bei der folgenden Gastrulation festgelegt.

Der Urmund entsteht im Bereich des grauen Halbmondes. Durch die Bildung des Halbmondes werden an dieser Stelle Zellen (Blastomeren) aktiviert, die dabei die Fähigkeit zur Invagination erlangen.

Diese Zellen wandern am Urmund ins Innere der Blastula.

Die sukzessive Einwanderung von Zellen wird als Involution bezeichnet.

Im Verlauf der Gastrulation entsteht aus der einschichtigen Blastula ein

dreischichtiger Keim. Auf der ventralen Seite bildet sich der Urdarm. Dieser trennt sich vom dorsal einwandernden Mesoderm und schließt sich durch seitliches Hochwachsen zum Darmrohr. Das Mesoderm bildet einen Mantel, der sich zwischen Ekto- und Entoderm schiebt. Das Ektoderm kompensiert die Involution, indem es sich auf der Oberfläche des Keimes ausbreitet.

Die dorsale Urmundlippe ist somit das wichtigste Entwicklungszentrum.

Die Chorda induziert im über ihr liegenden Mesoderm die Bildung der Medullarplatte. Diese senkt sich dann im weiteren Verlauf zum Neuralrohr ein.

Schematischer Querschnitt durch den Rumpf einer jungen Larve

Veränderung von larvalen Strukturen bei der Metamorphose

Die Metamorphose wird sowohl durch die Schilddrüsenhormone als auch durch den Hypothalamus und die Hypophyse gesteuert.

Durch die Hypophysenhormone werden dann die Schilddrüsenhormone angeregt bzw. ausgeschüttet.

Während der Praemetamorphose besteht auch noch keine Verbindung zwischen dem Hypothalamus und der Hypophyse.

Die Schilddrüse liegt als ventrale Aussackung am Vorderdarm. Sie ist ein unpaares Organ, kann aber sekundär zweizählig werden.

Aufgebaut ist sie aus Follikeln in deren Mitte sich das Kolloid befindet.

Die Schilddrüse produziert verschiedene Hormone:

Thyroxin (T4)

Trijodthyronin (T3)

Diese Hormone steuern den Stoffwechsel und haben eine wichtige Steuerungsfunktion in der Entwicklung. Sie regeln das Wachstum, die Entwicklung und das Einsetzen der Pubertät.

Während und durch die Metamorphose kommt es zu tiefgreifenden Änderungen für das Tier.

Es ändern sich:

Lebensraum

Ernährung

Bewegung

Atmung

Haut

Exkretion

Blutpigmente

Der Sehfärbstoff des Auges

Rückbildung des Seitenliniensystems

Resorption des Schwanzes (kein Abwurf !)

In der Larve sind die Kiemenbögen III-VI ausgebildet. Ebenso sind die Cardinalvenen noch vorhanden, die jedoch bereits in der älteren Kaulquappe durch die oberen und unteren Hohlvenen ersetzt werden. Auch die Kiemenbögen werden jetzt bereits

umgebildet. Der fünfte ist jedoch noch vorhanden.

Eine weitere Struktur, die während der Metamorphose zurückgebildet wird ist der Ductus Caroticus, eine Struktur, die die Carotiden mit der Aorta dorsalis verbindet.

Die Gonaden werden bipotentiell angelegt. Das bedeutet, dass die Anlage in einem ersten Stadium für männliche und weibliche Tiere gleich ist.

Die Rindenregion entwickelt sich zum Ovar und die Markregion zum Hoden, je nachdem welcher Teil sich weiterentwickelt.

Durch die Entfernung eines Hodens oder z. B. nach einem Parasitenbefall kann aus einem männlichen Tier jedoch auch ein funktionelles Weibchen werden.

Die Frühentwicklung des Wirbeltierherzens

Die ersten Blutgefäße, die beim Embryo entstehen, bilden u.a. eine Vena subintestinalis, die vom Darm cranialwärts zur Kiemenbogenregion verläuft. Das Herz entwickelt sich im Verlauf dieser Gefäßstrecke.

Um das frühe Herzrohr (primäre Gefäßwand) entwickelt sich ein Abschnitt des Coeloms, dessen Splanchnopleura (liegt Innen und die Somatopleura Außen) des myoepicardialen Mantel der Herzanlage (sekundäre Gefäßwand) und ein Gekröse zwischen Herz und hinterer Leibeswand bildet.

Bei allen Vertebraten tritt sehr bald die S-förmige Krümmung des Herzrohres und seine Gliederung in eine Reihe von Kammern auf.

Die höheren Vertebraten zeigen eine weitere Entwicklung und Vervollkommnung mit einer stufenweisen Unterteilung von Vorhof und Ventrikel und einer Einverleibung von Sinus venosus und Conus arteriosus.

Chordata

Vertebrata

Aves

Bau einer Vogelfeder

Ein langer durchgehender Hornschaft teilt die schmalere Außenfahne von der breiteren Innenfahne.
Schaft (Rhachis) und Spule (Calamus) bilden den Kiel (Scapus).
Am Schaft setzt die Fahne aus den Federästen (Rami) an.
Diese werden von Haken- und Bogenstrahlen (Radien) zusammengehalten.
Hakenstrahlen sind distale Radien, die nur an den Rami ansetzen.
Bogenstrahlen sind proximale Radien, die an den Rami und am Schaft ansetzen.
Federn sind als epidermale Hornstrukturen eine Differenzierung des Stratum corneum.

Der Besitz von Federn ist das kennzeichnende Merkmal der Vögel.
Sie haben sich, wie wir annehmen, aus den Reptilienschuppen entwickelt und sind primär epidermalen Ursprungs.

Die Federn sind als Hülle des Körpers ein wichtiges Isolationsmittel, das bei der Thermoregulation mithilft und ermöglichen natürlich den Vogelflug.

Es gibt drei Federtypen:

Dunenfeder
Fadenfeder
Konturfeder

Zunächst treibt eine starke Dermispapille die Epidermis nach außen vor. Dann versenkt sich die Anlage als Federfollikel in der Tiefe der Dermis. In Form der Pulpa ragt die Dermis auch weiterhin in den epidermalen Federenteil hinein, wo sie in periodischen Abständen Bindegewebssepten gegen die Epidermis vortreibt und auf diese Weise innerhalb der Epidermisröhre die späteren Federäste (Rami) gegeneinander abgrenzt. Von diesen Primärsepten entspringen Sekundärsepten, die zur Abgliederung der Federstrahlen (Radii) führen. Die verhornte Epidermisröhre springt schließlich ventral auf und entfaltet die Federfahne mit den Ästen und Radien.

Bau des Herzens bei Reptilien und Vögeln vergleichend

Die Arterienbögen werden stets in der für Fische typischen Zahl und topographischen Gliederung angelegt und erst in der späteren Entwicklung gruppenspezifisch modifiziert.

Völlige Reduktion erfährt dabei der 1. und 2. Bogen (Mandibular- und Hyoidbogen) sowie der 5. Bogen. Letzterer bleibt nur bei einigen Urodelen

als ein zweiter Aortenbogen erhalten. Der 3. Bogen bildet die Kopfarterien (Carotiden). Der 4. Bogen bildete die primär paarigen Aortenwurzeln und der 6. Bogen die Lungenarterien.

Bei den Reptilien treten die Carotiden mit einer der beiden Aortenwurzeln in Kontakt und zwar mit jener, die dem linken Ventrikel entspringt und infolge der bei den Reptilien erstmals auftretenden Überkreuzung der Aortenwurzeln nach rechts zieht.

Die vom rechten Ventrikel kommende und nach links ziehende Aortenwurzel ist schwächer ausgebildet.

Bei den Vögeln verkümmert die zuletzt genannte Aortenwurzel bereits embryonal. Sie verfügen also nur über einen rechten Aortenbogen.

Das Vogelherz hat zudem eine Scheidewand (Ventrikelseptum), die den Ventrikel in zwei völlig getrennte Hälften teilt.

Der aus dem linken Ventrikel kommen Truncus brachiocephalicus teilt sich auf in dexter und sinister. Jeder davon teilt sich dann auf in die Carotiden (zum Kopf), die A. brachialis (zum Arm) und die A. subclavia, die den Rest des Gefäßes darstellt.

Definitive Blutgefäße bei den Vögeln:

Arteriae carotis (ziehen in den Kopf)
Truncus brachiocephalicus (der Arm und Kopf versorgende
Arterielle Gefäßstamm)
Arteria axilliaris (zieht in den Flügel)
Arteria pectoralis (zieht in die Brust)
Arteria subclavia
Arteria abdominalis
Arteria coeliaca

Vena jugularis (kommt aus dem Kopf)
Vena subclavia
Vena cava anterior
Vena pectoralis
Vena cava posterior
Vena pulmonalis

Bau und Funktion der Vogellunge

Die Vogellunge ist starr und mit einer Garnitur vorderer und hinterer Luftsäcke (aus Plattenepithel und Bindegewebe) verbunden.

Statt blind endigender Alveolen besitzt die Vogellunge durchgehende Luftkapillaren, die unidirektionell durchströmt werden. Die Luftsäcke wirken dabei als Blasebälge, die die Luft beim Ein- und Ausatmen von hinten nach vorne durch die parallel verlaufenden Parabronchien treiben. Untereinander stehen die Parabronchien über rechtwinklig von ihnen abzweigende Luftkapillaren in Verbindung. Der eigentliche Atemgasaustausch findet in den pfeifenförmigen Parabronchien statt.

Die höchst effiziente Strömungstechnik und die relativ kurzen Diffusionswege erlauben eine viel bessere O₂ Aufnahme. Dadurch können dann auch Langstreckenflüge ohne Probleme bewerkstelligt werden.

Siehe auch Wehner / Gehring S. 295

Reptilien- und Vogelmerkmale bei Archaeopteryx

Reptilienmerkmale

Zähne
Mittelhand- und Mittelfußknochen mehrheitlich nicht verwachsen
Finger mit Krallen
Rippen frei
Brustbein fehlt
viele freie Schwanzwirbel (20-21)

Vogelmerkmale

Schlüsselbeine zum Gabelbein (Furcula) verwachsen
langes nach hinten gerichtetes Schambein (Pubis)
Hinterzehe opponiert
Besitz von Federn

Befruchtung, Schalenbildung und Eiablage

Das reife Ei, welches in der Metaphase der 2. Meiose verharrt, wird durch Auftreffen eines Spermiums zum Ausstoßen des zweiten Polkörpers gebracht. Der haploide Eikern verschmilzt mit dem Spermakern. Die Besamung findet beim Übertritt des Eies (Ovulation) vom Eierstock in den Flimmertrichter des Oviducts (Ostium Tubae) statt.

Auf seiner Wanderung durch das Infundibulum und den Oviduct wird das Ei mit Eiweiß und einer Schalenhaut ausgestattet und gelangt schließlich zum Uterus. Hier bildet sich mithilfe der Schalendrüse die Kalkschale und das Ei kann durch die Kloake gelegt werden.

Allgemeine Merkmale der Vögel

mit Federn
biped
Flügel (umgebildete Vordergliedmaßen)
Oviparie
Synsacrum (aus dem Beckengürtel und der hinteren Wirbelsäule;
versteifte Rumpfkonstruktion als Gegenlager zur
Flugmuskulatur)
pneumatisierte Röhrenknochen (Leichtbauweise; teils sogar mit
eingewanderten Luftsäcken)
hohe Metabolismusrate und leistungsfähigster Atmenapparat im Tierreich
Flug- und Laufapparat vollständig getrennt

vom Wasser vollständig emanzipiert (aber Entwicklung trotzdem im wässrigen Millieu des Eies)

Vögel gehören mit den Reptilien und den Säugetieren zusammen zu den Amnioten

Bau der Beinextremitäten

Tibia und Fibula sind miteinander verwachsen. Dabei ist die Fibula sehr dünn, spitz auslaufend und stark reduziert.

In dieses Element (Zygopodium) wandern zusätzlich noch zwei proximale Tarsalknochen ein, nämlich das Tibiale und das Fibulare.

Somit entsteht ein Tibiotarsus.

Die distalen Tarsalia und Metatarsalia verwachsen zu einer neuen Struktur, dem Tarsometatarsus.

Das Femur ist äußerlich nicht mehr sichtbar und in den Körper miteinbezogen.

Bau des Beckengürtels

Der Beckengürtel ist mit einander verwachsenen Wirbeln zum Synsacrum verwachsen. Ischium und Pubis sind nach hinten gerichtet. Das Ilium ist der Wirbelsäule angelegt und mit dieser auch verwachsen.

Durch die miteinander verwachsenen letzten Schwanzwirbel wird das Pygostyl gebildet.

Bau des Schultergürtels

Die zwei Claviculae verwachsen zur Furcula, die auch mit dem Coracoid verwächst. Die Scapula ist langgestreckt. Am Sternum befindet sich als Ansatzstelle für die mächtige Flugmuskulatur ein Kamm, die Carina.

Rippen

Die Rippen haben Hakenfortsätze und nehmen damit Kontakt zu den Nachbarrippen auf. Sie besitzen zudem ein Intercostaljoint und sind mit der Wirbelsäule verwachsen.

Der Schädel ist tropobasisch, das bedeutet, dass verschiedene Knochenelemente reduziert vorliegen. Ebenso ist er mesokinetisch, dabei ist der Oberschnabel gelenkig und kann gegen den Schädel abgewinkelt werden.

Exkretionssystem

Die Tiere besitzen einen Metanephros, der aus intermediären Zellen der letzten drei Somiten vor der Kloake entsteht.

Aus einer Sprossung entsteht dann neues Nierengewebe.

Die Niere ist dreifach gelappt

Bei den Männchen liegen die Hoden (sehr groß) der Niere auf, münden aber getrennt von ihnen in die Kloake. Die Hoden sind in zweizahl vorhanden.

Bei den Weibchen existiert nur ein einziges Ovar. Der Müller'sche Gang mit dem Ostium Tubae ist auch in einzahl vorhanden.

Allgemein besitzen alle Vögel eine Kloake.

Chordata

Vertebrata

Aves

Entwicklung des Haushuhnes (*Gallus domesticus*)

Struktur eines Vogeleies

Der Furchungsmodus und die Entstehung der Keimblätter während der Gastrulation

Der Furchungsmodus ist meroblastisch und discoidal.

Die Furchung beschränkt sich auf das kleinere, scheibenförmige Areal, das als Keimscheibe am animalen Pol auf der Dotterkugel sitzt.

Die eigentliche Dotterkugel wird nicht gefurcht.

Die Keimblattentstehung während der Gastrulation:

Der Epiblast bildet das Ektoderm und das Mesoderm. Das Entoderm wird aus dem Hypoblasten gebildet.

Es kommt zur Polyinvagination und zur Bildung der Primitivrinne. Diese liegt seitlich der bilden Primitivfalten.

Die Primitivgrube entsteht dabei hinter dem Hensen'schen Knoten.

Durch die Polyinvagination entsteht das Mesoderm, das dann in die Subgerminalhöhle einwandert.

Der Periblast wird dann vielschichtig und die Subgerminalhöhle immer größer. Basal der Höhle entsteht eine Zellschicht von Vitellophagen. Diese sollen die Dotterzellen aufschließen und dann dem Embryo verfügbar machen.

Der Keim wächst dann weiter. Die Keimscheibe trübt sich und man kann dann zwei Zonen unterscheiden:

Die am Rand gelegene nicht durchscheinende Area opaca

Die zentral über der Höhle gelegene Area pellucida.

Diese ist lichtdurchscheinend.

Auf der Oberseite der Area pellucida findet jetzt eine Zellwanderung zur Medianen statt. Es entwickelt sich eine Primitivknospe, die sich weiter zum Primitivstreif entwickelt. Durch weitere Zellwanderungen wird der Streif zur Primitivrinne. Durch diese Rinne wandern die Zellen in die Höhle ein („Polyinvagination“).

Jetzt kommt es zur Entstehung der Keimblätter.

Aus dem Periblast entwickeln sich:

Epiblast	wird zum	Ektoderm
Mesoblast	wird zum	Mesoderm
Hypoblast	wird zum	Entoderm

In der Rinne liegt ein Determinations- bzw. Entwicklungszentrum, der Hensen'sche Knoten. Dieser Knoten wandert von anterior (also der Spitze der Rinne) nach posterior. Dabei macht der Streifen eine Veränderung durch. An der jeweiligen Stelle wo sich der Knoten gerade befindet, findet die Einwanderung von Zellen statt. Dabei laufen u.a. die Vorgänge der Einwanderung und der Differenzierung gleichzeitig ab („vorne Neurulation und hinten noch Polyinvagination“).

Wenn der Knoten abgewandert ist setzt eine weitere Differenzierung ein. Die Chorda spaltet sich ab und das Neuralrohr differenziert sich. Auf beiden Seiten der Chorda entstehen die Somiten- und Seitenplattenanlagen. Zu diesem Zeitpunkt ist der Darm durch die große Dottermenge noch flach. Er entwickelt sich dann weiter und umgibt langsam den kompletten Dotter. Dabei wird die Vitellophagenanzahl reduziert.

In der Area opaca differenziert sich die Area opaca vasculosa, in der sich schon nach einem Tag kleine Blutinseln bilden. Diese Blutinseln schließen sich zusammen zu einem Gefäßsystem und kontaktieren mit den Vitellinvenen und Arterien. So bildet sich ein extraembryonales Blutgefäßsystem das dann später der Erschließung des Dotters durch den Embryo dient.

Die Dotterarterien entstehen aus der Aorta dorsalis des Embryos und ziehen aus dem Embryo nach außen. Der Rückfluß des Blutes erfolgt über die zwei Dottervenen (Venae omphalo mesentericae), von denen die rechte bereits am dritten Tag zurückgebildet wird.

Die O₂ Versorgung erfolgt über spezielle embryonale Allantoisvenen.

Ursprung und Entstehungsweise der extraembryonalen Hüllen

Das Amnion bildet sich durch Auswachsen von Ekto- und Mesoderm.

Es wird im Allgemeinen von mesodermalem, der Seitenplatte entsprechenden Coelothel, das das Exocoel umschließt gebildet. Dabei bilden das somatische Mesodermblatt und Ektodermanteile eine Amnionfalte, die sich dann rings um den Embryo erhebt. Die Ränder wölben sich dann über dem Embryo zusammen, verwachsen und bilden so zwei, durch das extraembryonale Coelom voneinander getrennte Hüllen.

Der Keim wird bei genauerer Betrachtung der Vorgänge von vier Falten umhüllt. Dabei liegen jeweils eine vorne, hinten, links und rechts.

Das extraembryonale Coelom liegt zwischen der inneren Schutzhülle (Amnion) und der äußeren Schutzhülle (Serosa oder Chorion).

Die Amnionhöhle ist flüssigkeitsgefüllt wie auch das extraembryonale Coelom. Diese Bauweise dient zum Schutz des Embryos vor mechanischen Einflüssen.

Das mit Mesoderm umgebene Entoderm wächst dann auch bläschenförmig in den Exocoelraum ein und bildet so die Allantoisblase. Diese erreicht teils sehr große Ausmaße. In dieser Blase werden Stoffwechselabfälle des Embryos gelagert (Endlagerfunktion). Das Blutgefäßsystem, das den Dotter umhüllt legt sich dann ganz eng an die Allantoisblase und damit auch an die Kalkschale an. Durch fortlaufenden Kalkeinbau in den Embryo (Knochen etc.) wird die Kalkschale dann dünner und es kann ein Gasaustausch per Diffusion erfolgen.

Es entsteht dann auch ein Ductus omphalo mesentericus, also ein Dottergang vom Darm zum Dottersack. Es erfolgt jedoch keine Dotteraufnahme durch den Darm. Am Ende der Entwicklung wird der Dottersack dann in den Darm eingezogen, resorbiert und der Ductus verschlossen.

Die Allantoisblase reißt während des Schlüpfens vom Enddarm ab.

Der embryonale Blutkreislauf der Vögel

Über die Dotterarterien gelangt das Blut vom Herzen in die Area vasculosa und über die paarige Arteria umbilicalis in die Allantois. Die Vena umbilicalis führt es dann zum Herzen zurück. Vor dem Herzen liegen die Cardinalvenen, von denen die Vena cardinalis communis später zu den Ductus cuvieri wird.

Die Carotiden des Embryos ziehen in den Kopf, die Aorta dorsalis in den hinteren Bereich. Von den sechs embryonal angelegten Aortenbögen, die den Kiemenbögen entsprechen, werden während der Entwicklung der 1., 2. und 5. reduziert.

Unterschiede zwischen Amphibien und Vogelentwicklung

	Vogel	Amphib
Furchung	meroblastisch discoidal	holoblastisch radiär
Gastrulation	Urdarm noch offen	Urdarm schließt sich
Keimblattdifferenzierung	Bildung von embryonalen Anhangsorganen	keine Amnion, Serosa oder Allantois
Eistruktur	Kalkschale, dotterreich, mit Keimscheibe	Gallertartig, dotterarm, ohne Keimscheibe
Keim	mit Primitivstreifen, -falte, -grube, -platte Hensen'scher Knoten	Keine derartigen Differenzierungen
Anlagen	nur Rückenteil des Embryo wird gebildet. (Neuralrohr, Chorda, Somiten) Anlage über der ungefurchten Dotter- masse. Ventrale Teile der Keimblätter bleiben Flach über dem Dotter ausgebreitet.	Gesamter Dottervorrat wird direkt in die Furchungszellen eingelagert. Verdauung durch intrazelluläre Enzyme
Dottersack	Vorhanden	nicht entwickelt

Kiemenspalten	normal keine	Auswachsen von segmental hintereinanderliegenden Schlundtaschen.
Jungtier nach Schlüpfen	Grundbauplan fertig lungenatmend	Larve metamorphosiert kiemenatmend

Aufsichten und Querschnitte durch einen Vogelembryo

Aus der Seitenplatte bildet sich ein extraembryonales Coelom indem aus dem Splanchnocoel Mesenchymzellen in Richtung des Entoderm wandern.

Die Zellen legen sich der Darmwandung an und bilden eine Röhrenstruktur um den Darmstiel. Diese Struktur entwickelt sich zum Endocard.

Der Teil aus dem die Zellen ausgewandert sind verdickt sich und wird zum Epimyocard. Der Darm wird dann in der weiteren Entwicklung abgetrennt, die Teile schließen sich zusammen und hängen aber immer noch am oberen Teil des Splanchnocoels dran. Diese Struktur bezeichnet man als Mesocoel.

Somit wird ein früher, einfacher und mehrschichtiger Herzschlauch gebildet, der sehr wichtig für ein frühes Dottergefäßsystem ist.

Chordata

Vertebrata

Mammalia

Die verschiedenen Elemente der Säugetierwirbelsäule

Unterschied zwischen einer exokrinen und einer endokrinen Drüse (und Beispiele)

Die endokrinen Drüsen der Säugetiere

Die Atemmechanismen der Säuger

Die Gehörknöchelchen der Säuger und deren Herleitung aus Knochenelementen der niederen Wirbeltiere

Die Funktion der Säugerniere (ohne Nierenfortader !)