
Aus der Abteilung für Orale Struktur- und Entwicklungsbiologie
der Medizinischen Fakultät Charité - Universitätsmedizin Berlin

DISSERTATION

**Beitrag zur pränatalen Morphogenese des Os hyoideum
der Wachtel (*Coturnix coturnix*)**

Computergestützte 3D-Rekonstruktionen
anhand von histologischen Serienschnitten

zur Erlangung des akademischen Grades
Doctor medicinae dentariae (Dr. med. dent.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät
Charité - Universitätsmedizin Berlin

von

Zahnärztin Lysann Schmidt
aus Berlin

Gutachter: 1. Prof. Dr. R. J. Radlanski
2. Priv.-Doz. Dr. med. J. Männer
3. Prof. Dr. med. W. Götz

Datum der Promotion: 04.02.2011

INHALTSVERZEICHNIS

1	 EINLEITUNG	6
	1.1 Einführung	6
	1.2 Fragestellung	7
2	 GRUNDLAGEN UND LITERATURÜBERSICHT	8
	2.1 Klassifikation der Vögel	8
	2.2 Lage- und Richtungsbezeichnungen am Vogelkörper	8
	2.3 Das Os hyoideum der Vögel	9
	2.3.1 Makroskopische Anatomie des Os hyoideum der Vögel	9
	2.3.2 Embryonale Entwicklung des Os hyoideum der Vögel und Zugehörigkeit der Anteile des Os hyoideum zu den Pharyngealbögen	16
	2.3.3 Die Zungenbeinmuskeln der Vögel	22
	2.4 Der Larynx der Vögel	26
	2.4.1 Makroskopische Anatomie des Larynx der Vögel	26
	2.4.2 Embryonale Entwicklung des Larynx der Vögel und Zugehörigkeit der Anteile des Larynx zu den Pharyngealbögen	32
	2.4.3 Die Kehlkopfmuskeln der Vögel	34
3	 MATERIAL UND METHODE	36
	3.1 Material	36
	3.2 Rekonstruktionstechnik	37

4	ERGEBNISSE	38
4.1	Vorbemerkungen	38
4.2	Wachtelembryo 57/02, HH32	38
4.2.1	Os hyoideum	40
4.2.2	Larynx	43
4.3	Wachtelembryo 85/02, HH33	44
4.3.1	Os hyoideum	45
4.3.2	Larynx	49
4.4	Wachtelembryo 87/02, HH35	49
4.4.1	Os hyoideum	51
4.4.2	Larynx	54
4.5	Wachtelembryo 39/01, HH36	55
4.5.1	Os hyoideum	56
4.5.2	Larynx	59
4.6	Wachtelembryo 40/01, HH38	60
4.6.1	Os hyoideum	61
4.6.2	Larynx	66
5	DISKUSSION	68
5.1	Material	68
5.2	Methode	68
5.3	Diskussion der Ergebnisse	69
5.3.1	Embryonale Entwicklung und anatomischer Aufbau des Os hyoideum der Wachtel	69
5.3.2	Embryonale Entwicklung und anatomischer Aufbau des Larynx der Wachtel	76

6	ZUSAMMENFASSUNG	80
7	SUMMARY	82
8	LITERATURVERZEICHNIS	84
9	DANKSAGUNG	92
10	LEBENS LAUF	93
11	ERKLÄRUNG	94

1 EINLEITUNG

1.1 Einführung

Die Embryologie als morphologische Wissenschaft erfuhr durch die Erfindung von Vergrößerungsinstrumenten im 17. Jahrhundert einen bedeutenden Zuwachs an Erkenntnissen (RÜSSE und SINOWATZ 1991). So untersuchte MALPIGHI in den Jahren 1672 und 1673 unter dem Mikroskop die Entwicklung des Hühnerembryos. Im Jahr 1900 erschien von KEIBEL und ABRAHAM die „Normentafel zur Entwicklungsgeschichte des Huhnes (*Gallus domesticus*)“. Schließlich beschrieben HAMBURGER und HAMILTON die Embryonalentwicklung des Huhnes im Jahr 1951: „A series of normal stages in the development of the chick embryo“. Darin erarbeiteten sie anhand von morphologischen Kriterien des Hühnerembryos 46 Normalstadien der Entwicklung.

Die Kenntnis der embryonalen Entwicklungsvorgänge ist ein wesentlicher Schlüssel für das Verständnis der ausgebildeten anatomischen Strukturen. Diese embryonalen Entwicklungsvorgänge sollen in der vorliegenden Arbeit speziell für das Os hyoideum der Wachtel (*Coturnix coturnix*) untersucht werden. Aufgrund der engen anatomischen Lagebeziehung findet auch die pränatale Morphogenese des Larynx Beachtung.

Anhand von computergestützten Schnittserienrekonstruktionen (GAUNT und GAUNT 1978, STREICHER et al. 1997, WENINGER et al. 1998), die letztlich auf die Wachstapfenmodelliermethode nach BORN (1883) zurückgehen, sollen räumliche und auch zeitliche Zusammenhänge in den Entwicklungsstadien der Wachtelembryonen dargestellt werden. Morphologisch bedeutsame Wachstumsvorgänge können somit aus jeder Perspektive betrachtet und untersucht werden. Fehlinterpretationen, die sich aus der Zweidimensionalität ergeben, lassen sich auf diese Weise reduzieren.

Die verwendeten anatomischen Begriffe richten sich nach der Nomina Anatomica Avium der Geflügelanatomie. Die Nomenklatur wurde 1979 publiziert (BAUMEL et al.). Für den Vergleich von anatomischen Strukturen zwischen Vogel und Mensch wurde auch die Nomina Anatomica der Humananatomie herangezogen.

1.2 Fragestellung

Die Darstellungen von Huhn und Wachtel erfolgten bisher nur schematisch, weshalb nachbarliche Beziehungen morphologischer Strukturen nur schwer oder gar nicht erkennbar sind. An räumlichen Darstellungen existiert bislang nur eine Übersicht über die Craniomorphogenese der Wachtel (MALCHAROWITZ 2004).

Die pränatale Morphogenese des Os hyoideum bzw. des Larynx der Wachtel findet in der Literatur wenig Beachtung und ist widersprüchlich dargestellt.

Das Ziel dieser Arbeit ist es deshalb, detaillierte Erkenntnisse zur embryonalen Entwicklung und zum anatomischen Aufbau des Os hyoideum sowie des Larynx der Wachtel zu gewinnen. Die morphologischen Strukturen werden hierbei während wichtiger embryonaler Entwicklungsstadien untersucht und mit Hilfe von Schnittserienrekonstruktionen räumlich dargestellt. Darüber hinaus sind die Fragen zu klären, inwieweit sich die Schnittserienrekonstruktionen für einen Vergleich mit der pränatalen Morphogenese des Os hyoideum (GERMELMANN 2008) und des Larynx des Menschen eignen, und in welchem Maße sie zur Aufklärung der widersprüchlichen Literaturangaben beitragen können.

2 GRUNDLAGEN UND LITERATURÜBERSICHT

2.1 Klassifikation der Vögel

Die Klasse der Vögel (*Aves*) zählt rund 8700 Arten. Die Systematik der Vögel unterscheidet rund 30 Ordnungen (NICKEL et al. 1992, HUMMEL 2000). Die Ordnung der Hühnervögel (*Galli*) unterteilt sich in 7 Familien, u. a. in die Familie der fasanenartigen Vögel. Dieser Familie ist die Erdwachtel (*Coturnix*) zugeordnet (KIWITT 2003). Die Gattung der Erdwachteln unterteilt sich in 9 Arten, u. a. in die Wachtel (*Coturnix coturnix*) und die domestizierte Japanwachtel (*Coturnix coturnix japonica*).

2.2 Lage- und Richtungsbezeichnungen am Vogelkörper

Die Lage- und Richtungsbezeichnungen am Vogelkörper sind jene, die auch in der Säugetieranatomie angewandt werden. Am Kopf gilt *rostral* für schnabelwärts und *caudal* für nachenwärts. *Lateral* bedeutet zur Außenseite, *medial* zur Mittellinie des Körpers gerichtet. Am Rumpf gilt *dorsal* für rückenwärts, *ventral* für bauchwärts, *cranial* für kopfwärts und *caudal* für schwanzwärts (**Abb. 1**). Die Axis rostrocaudalis verläuft von der Schnabelspitze sagittal durch den Körper bis zur Schwanzspitze (NICKEL et al. 1992, HUMMEL 2000).

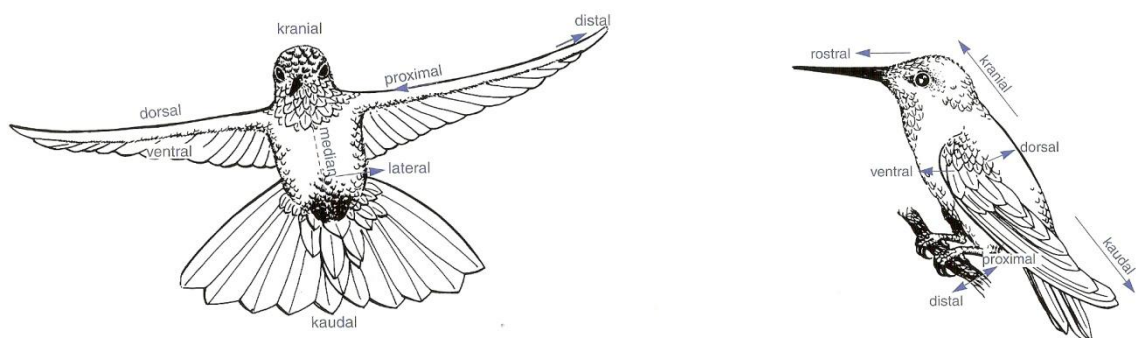


Abb. 1 Lage- und Richtungsbezeichnungen am Vogelkörper (HUMMEL 2000)

2.3 Das Os hyoideum der Vögel

2.3.1 Makroskopische Anatomie des Os hyoideum der Vögel

Da die Vögel einen relativ einheitlichen Körperbau aufweisen, wird das Os hyoideum, das Zungenbein, von den Autoren einerseits anhand des allgemeinen Vogeltypus beschrieben, andererseits steht die Morphologie des Huhnes im Mittelpunkt der Darstellung. Morphologische Besonderheiten der Wachtel werden entsprechend berücksichtigt.

Der Name Os hyoideum geht auf den griechischen Buchstaben υ (Ypsilon) zurück, da seine Gestalt einem U ähnelt.

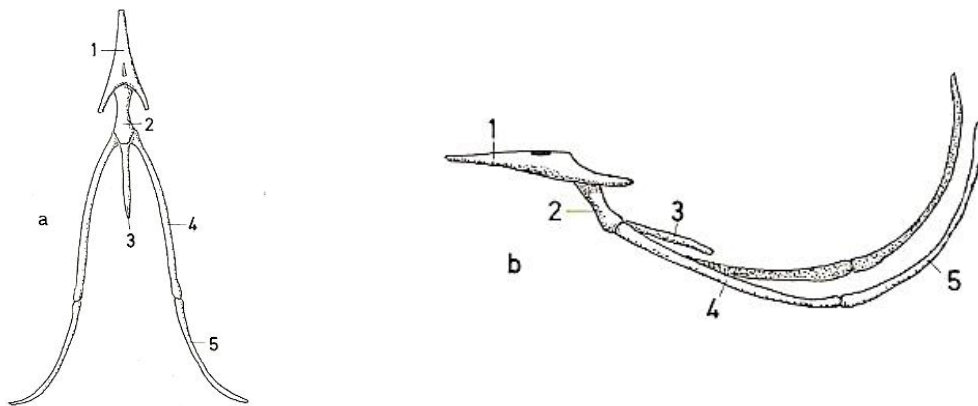


Abb. 2 Zungenbein einer Zuchtwachtel

a,b- Zuchtwachtel: a- in Dorsalansicht, b- in Seitenansicht;
 1- Os entoglossum, 2- Os basibranchiale rostrale, 3- Os basibranchiale caudale,
 4- Os ceratobranchiale, 5- Os epibranchiale
 (NICKEL et al. 1992)

Das Os hyoideum der Vögel besteht rostral aus einem unpaarigen Os entoglossum (HAMILTON 1952, FITZGERALD 1969, NICKEL et al. 1992, SALOMON 1993, HUMMEL 2000), auch „Paraglossum“ genannt (KALLIUS 1904, BOLK et al. 1936, IHLE et al. 1971, SALOMON 1993, KÖNIG und LIEBICH 2001).

Die Zunge der Vögel wird im Innern durch das Os entoglossum gestützt. Dadurch wird sie versteift und ist in sich nicht verformbar. Sie kann nur im Ganzen durch das Os hyoideum verschoben werden (NICKEL et al. 1992, SALOMON 1993, KÖNIG und LIEBICH 2001).

Die Wachtelzunge hat eine Länge von etwa 1 cm (FITZGERALD 1969).

Das Os entoglossum der Vögel entwickelt sich aus einer paarigen Anlage (KALLIUS 1904, IHLE et al. 1971, NICKEL et al. 1992), weshalb oftmals eine zentrale Öffnung erkennbar sein kann (NICKEL et al. 1992).

Die **Abb. 2** stellt die zentrale Öffnung des Os entoglossum einer Zuchtwachtel dar.

Beim Wellensittich bleibt das Os entoglossum paarig (NICKEL et al. 1992). In den meisten Fällen, so auch bei der Wachtel (**Abb. 2**), ist es pfeilartig spitz mit zwei nach caudal gerichteten Hörnern, den Cornua, an denen die Muskeln inserieren (KALLIUS 1904, FITZGERALD 1969, SCHWARZE und SCHRÖDER 1985, NICKEL et al. 1992, SALOMON 1993).

Das Os entoglossum ist teils knöchern, teils knorpelig (KALLIUS 1904, SCHWARZE und SCHRÖDER 1985, HILDEBRAND und GOSLOW 2004) und gelenkig mit dem Os basibranchiale rostrale verbunden (KALLIUS 1904, FITZGERALD 1969, SCHWARZE und SCHRÖDER 1985, SALOMON 1993, HUMMEL 2000).

In der Literatur wird das Os basibranchiale rostrale auch als „Basihyoideum“ (SCHWARZE und SCHRÖDER 1985, SALOMON 1993, HUMMEL 2000), „Basihyale“ (KALLIUS 1904) oder als „Copula 1“ (HAMILTON 1952, FITZGERALD 1969) beschrieben.

An dem Os basibranchiale rostrale sind die beiden zweigliedrigen Cornua branchialia angefügt (BOLK et al. 1936, HAMILTON 1952, IHLE et al. 1971, NICKEL et al. 1992, SALOMON 1993, HUMMEL 2000, KÖNIG und LIEBICH 2001, HILDEBRAND und GOSLOW 2004).

Das Os basibranchiale caudale ist mit dem Os basibranchiale rostrale gelenkig verbunden (SCHWARZE und SCHRÖDER 1985, SALOMON 1993, HUMMEL 2000).

Es hat ein knorpeliges und spitzes Ende (BOLK et al. 1936, SCHWARZE und SCHRÖDER 1985, HILDEBRAND und GOSLOW 2004).

Das Os basibranchiale caudale wird von den Autoren auch als „Urohyoideum“ (SALOMON 1993, HUMMEL 2000), „Urohyale“ (KALLIUS 1904, BOLK et al. 1936, KÖNIG und LIEBICH 2001), „Copula 2“ (HAMILTON 1952, FITZGERALD 1969) oder als „Carina“ (SCHWARZE und SCHRÖDER 1985) bezeichnet.

Das unpaarige zweigliedrige Basibranchiale der Vögel ist in der Vertikalebene abgewinkelt (NICKEL et al. 1992).

Im Alter von etwa 9 Bebrütungstagen liegt das Basibranchiale beim Hühnerembryo als einheitliche Knorpelstruktur vor (HAMILTON 1952, NICKEL et al. 1992).

Bei jungen Vögeln sind das Os basibranchiale rostrale und das Os basibranchiale caudale separate Knochen, während bei adulten Vögeln beide Basibranchialia fusioniert sind (KALLIUS 1904, NICKEL et al. 1992, SALOMON 1993, HUMMEL 2000).

BOLK et al. (1936) und IHLE et al. (1971) sprechen anstatt der Basibranchialia von einem Corpus hyoideum, dessen rostraler Anteil als Processus lingualis beschrieben wird (**Abb. 4**).

KALLIUS (1904) dagegen geht von einer knorpeligen Copula¹ aus, die zunächst aus einem einheitlichen Stück besteht. Durch den Ansatz der Cornua branchialia zerfällt sie in das Basihyale und das Urohyale. Mit der Copula sind die Cornua branchialia gelenkig verbunden.

Die Vögel besitzen ein Paar Cornua branchialia (KALLIUS 1904, BOLK et al. 1936, HAMILTON 1952, FITZGERALD 1969, IHLE et al. 1971, SCHWARZE und SCHRÖDER 1985, NICKEL et al. 1992, SALOMON 1993, HUMMEL 2000, KÖNIG und LIEBICH 2001, HILDEBRAND und GOSLOW 2004).

Im Gegensatz dazu setzt sich das Os hyoideum des Menschen aus dem Corpus und den paarigen Cornua maiora und Cornua minora zusammen (BERKOVITZ und MOXHAM 1988, SOBOTTA 1993, GRAY 1995, LIPPERT 1996, GERMELMANN 2008).

Die Cornua branchialia der Vögel sind stark gebogen und jeweils unterteilt in ein Os ceratobranchiale und ein Os epibranchiale (KALLIUS 1904, NICKEL et al. 1992, SALOMON 1993, HUMMEL 2000).

¹ Nach KALLIUS (1904) entspricht die Copula einer Mesenchymverdichtung zwischen den medialen Enden der 2. Pharyngealbögen.

IHLE et al. (1971) dagegen gehen davon aus, dass in der ventralen Medianlinie die Pharyngealbögen durch kleine Knorpelstücke, die Copulae, verbunden sind. Diese erstrecken sich von einem Pharyngealbogenpaar zum nächsten.

Das Os ceratobranchiale, in der Literatur auch als „Os ceratohyale“ (KÖNIG und LIEBICH 2001) oder als „Pharyngobranchiale“ (HAMILTON 1952) bezeichnet, ist mit dem Os epibranchiale knorpelig verbunden (BOLK et al. 1936, SALOMON 1993, HILDEBRAND und GOSLOW 2004).

HILDEBRAND und GOSLOW (2004) beschreiben darüber hinaus eine knorpelige Verbindung der Cornua branchialia zum Os basibranchiale rostrale.

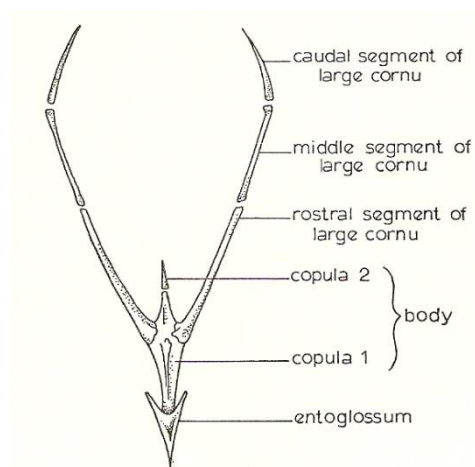


Abb. 3 Zungenbein der Wachtel
(FITZGERALD 1969)

Nach FITZGERALD (1969) bestehen die Cornua branchialia der Wachtel aus je drei Anteilen: einem rostralen, mittleren und caudalen Segment (**Abb. 3**).

Die Cornua branchialia umlaufen die Nackenfläche der Hirnkapsel seitlich, eine Verbindung zum Schädelknochen existiert nicht (FITZGERALD 1969, SCHWARZE und SCHRÖDER 1985, NICKEL et al. 1992).

Je weiter die Zunge der Vögel vorgestreckt werden kann (z. B. beim Kolibri und Specht), desto größer ist die Schlinge der beiden Cornua branchialia um die Nackenfläche bzw. nach unten in den Hals bis hin zur Stirn (**Abb. 4**). Die Schlinge wird im Augenblick der Zungenaktion gestreckt (MOLLER 1931, BOLK et al. 1936, IHLE et al. 1971, NICKEL et al. 1992).

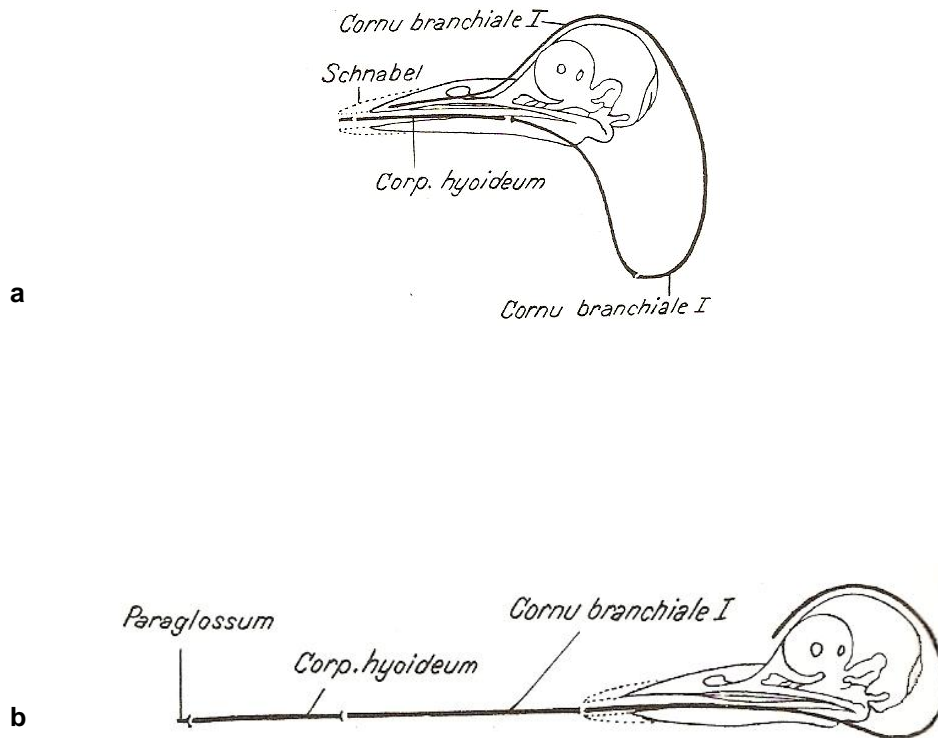
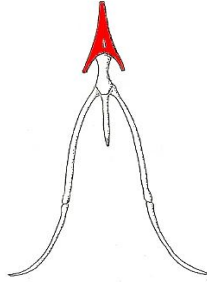
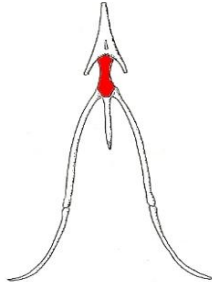
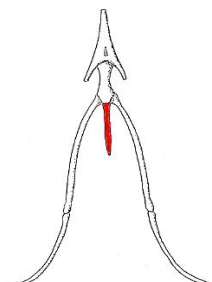
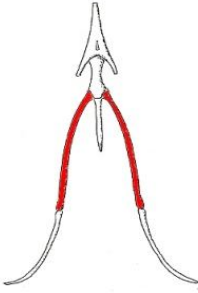
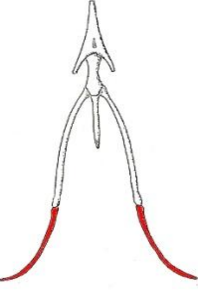



Abb. 4 Lage des Os hyoideum beim Specht (*Picus*)
a- bei zurückgezogener Zunge, b- bei ausgestreckter Zunge
(IHLE et al. 1971)

KALLIUS (1904) beschreibt, dass die Cornua branchialia der Vögel ursprünglich aus einer hyalinen Knorpelmasse bestehen. Im Rahmen des Wachstums zerfallen sie in das Os ceratobranchiale und das Os epibranchiale, die durch ein Gelenk getrennt sind. Die Cornua branchialia verknöchern als erste der Zungenbeinknorpel.

Zum besseren Verständnis hier nun die tabellarische Übersicht über den anatomischen Aufbau des Os hyoideum der Vögel:

Anatomischer Aufbau des Os hyoideum der Vögel	Autoren
<p><u>Synonyma:</u></p> <p>Os entoglossum</p>  <p>Os paraglossum/ Paraglossum</p>	<p>HAMILTON 1952, FITZGERALD 1969, SCHWARZE und SCHRÖDER 1985, NICKEL et al. 1992, SALOMON 1993, HUMMEL 2000</p> <p>KALLIUS 1904, BOLK et al. 1936, IHLE et al. 1971, SALOMON 1993, KÖNIG und LIEBICH 2001</p>
<p>Os basibranchiale rostrale</p> <p>Basihyoideum</p> <p>Basihyale</p>  <p>Copula 1</p> <p>Proc. lingualis</p>	<p>NICKEL et al. 1992, SALOMON 1993, HUMMEL 2000</p> <p>SCHWARZE und SCHRÖDER 1985, SALOMON 1993, HUMMEL 2000</p> <p>KALLIUS 1904, KÖNIG und LIEBICH 2001</p> <p>HAMILTON 1952, FITZGERALD 1969</p> <p>BOLK et al. 1936, IHLE et al. 1971</p>
<p>Os basibranchiale caudale</p> <p>Urohyoideum</p> <p>Urohyale</p>  <p>Copula 2</p> <p>Carina</p>	<p>NICKEL et al. 1992, SALOMON 1993, HUMMEL 2000</p> <p>SALOMON 1993, HUMMEL 2000</p> <p>KALLIUS 1904, BOLK et al. 1936, KÖNIG und LIEBICH 2001</p> <p>HAMILTON 1952, FITZGERALD 1969</p> <p>SCHWARZE und SCHRÖDER 1985</p>

Anatomischer Aufbau des Os hyoideum der Vögel	Autoren
<p>Cornua branchialia</p> <p>- <u>bestehend aus 2 Anteilen</u></p>	<p>BOLK et al. 1936, IHLE et al. 1971, HILDEBRAND und GOSLOW 2004</p>
<p>1. Os ceratobranchiale</p> <p>Os ceratohyale</p> <p>Pharyngobranchiale</p> 	<p>KALLIUS 1904, NICKEL et al. 1992, SALOMON 1993, HUMMEL 2000</p> <p>KÖNIG und LIEBICH 2001</p> <p>HAMILTON 1952</p>
<p>2. Os epibranchiale</p> <p>Os epihyale</p> <p>Epibranchiale</p> 	<p>KALLIUS 1904, NICKEL et al. 1992, SALOMON 1993, HUMMEL 2000</p> <p>KÖNIG und LIEBICH 2001</p> <p>HAMILTON 1952</p>
<p>- <u>bestehend aus 3 Anteilen</u></p> <p>rostrales Segment</p> <p>mittleres Segment</p> <p>caudales Segment</p> 	<p>FITZGERALD 1969</p>
<p>- <u>bestehend aus 2 oder 3 Anteilen</u></p>	<p>SCHWARZE und SCHRÖDER 1985</p>

Tab. 1 Übersicht über den anatomischen Aufbau des Os hyoideum der Vögel

2.3.2 Embryonale Entwicklung des Os hyoideum der Vögel und Zugehörigkeit der Anteile des Os hyoideum zu den Pharyngealbögen²

Die Vögel sind eine Klasse der Tetrapoden, welche Wirbeltiere mit vierbeinigen Vorfahren darstellen (HILDEBRAND und GOSLOW 2004).

Wie bei allen Wirbeltieren folgt auch die Morphogenese der Vögel der Entwicklung aus den Pharyngealbögen. IHLE et al. (1971), ROMER und PARSONS (1983) sowie HILDEBRAND und GOSLOW (2004) beschreiben die grundlegende Anzahl der Pharyngealbögen für kiefertragende Vertebraten mit sieben (**Abb. 5**).

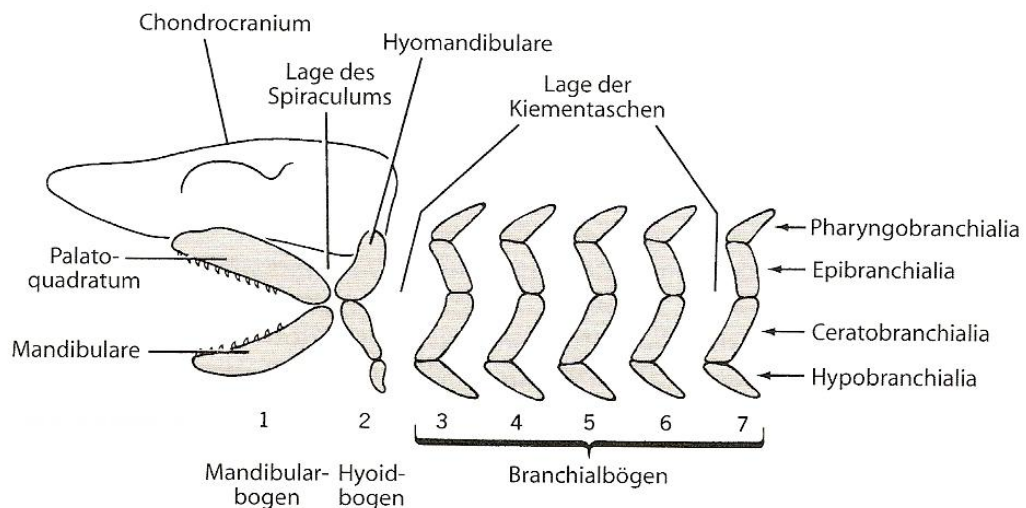


Abb. 5 Primitives Kiemenbogenskelett, gezeigt an einem schematisierten Elasmobranchier³ (HILDEBRAND und GOSLOW 2004)

² Die Pharyngealbögen werden in der Literatur teilweise auch als „Kiemenbögen“ beschrieben. Die Bezeichnung „Kiemenbögen“ geht darauf zurück, dass bei den Fischen und Amphibienlarven die Kiemenbögen Ausgangspunkt für die Entwicklung des Kiemenapparates sind (MOORE 1985, RÜSSE und SINOWATZ 1991). Bei landlebenden Wirbeltieren wird diese Kiemenskelettanlage zu Teilen des Os hyoideum, des Larynx und der Trachea umgebaut (RÜSSE und SINOWATZ 1991).

³ Elasmobranchii zählen zur Klasse der Knorpelfische, welche den kiefertragenden Vertebraten zugeordnet werden.

Die Entwicklung der Pharyngealbögen beginnt mit der Auswanderung von Zellen aus der Neuralleiste in die zukünftige Kopfregion (MOORE 1985).

Während der Ausbildung der Schlundtaschen und Schlundfurchen wird das Mesenchym, das das Epithel des Schlunddarms (cranialer Abschnitt des Vorderdarms) umgibt, zur Seite geschoben, und die Pharyngealbögen entstehen (RÜSSE und SINOWATZ 1991). Die Pharyngealbögen enthalten neben Mesenchym auch mesektodermale Zellen, die aus der Neuralleiste stammen. Aus dem lokalen Mesenchym bildet sich die Pharyngealbogenmuskulatur.

Aus dem Mesektoderm der Neuralleiste entstehen Skelettteile und Bindegewebe im Kopf- und vorderen Halsbereich (RÜSSE und SINOWATZ 1991, SCHNORR 1996). Neben der Muskelanlage enthält jeder Pharyngealbogen noch eine Knorpelspange, eine Pharyngealbogenarterie und einen Pharyngealbogennerv (MOORE 1985, RÜSSE und SINOWATZ 1991).

Die Zugehörigkeit der Anteile des Os hyoideum der Vögel zu den Pharyngealbögen wird in der Literatur unterschiedlich dargestellt.

Das Os entoglossum geht laut HAMILTON (1952), KÄMPFE et al. (1993), BELLAIRS und OSMOND (1998) sowie HILDEBRAND und GOSLOW (2004) aus dem 2. Pharyngealbogen hervor. Dagegen gehen KALLIUS (1904), IHLE et al. (1971) und NICKEL et al. (1992) von einer Neubildung bei den Vögeln aus, wonach die Entstehung nicht den Pharyngealbögen zugeordnet wird.

Einigkeit besteht in der Literatur dahingehend, dass das Os basibranchiale rostrale auf den 2. Pharyngealbogen zurückzuführen ist (HAMILTON 1952, NICKEL et al. 1992, KÄMPFE et al. 1993, BELLAIRS und OSMOND 1998, HILDEBRAND und GOSLOW 2004).

NICKEL et al. (1992), KÄMPFE et al. (1993) sowie HILDEBRAND und GOSLOW (2004) ordnen das Os basibranchiale caudale dem 2., HAMILTON (1952) und BELLAIRS und OSMOND (1998) dem 3. Pharyngealbogen zu.

Die Entstehung der Cornua branchialia geht laut KALLIUS (1904), HAMILTON (1952), BELLAIRS und OSMOND (1998) sowie HILDEBRAND und GOSLOW (2004) auf den 3. Pharyngealbogen zurück.

NICKEL et al. (1992) beschreiben hingegen die Entstehung aus dem 2. Pharyngealbogen, KÄMPFE et al. (1993) aus dem 3. und 4. Pharyngealbogen.

Laut IHLE et al. (1971) entwickeln sich der Corpus des Os hyoideum und die Cornua branchialia aus dem 2., 3. und 4. Pharyngealbogen.

Nach RÜSSE und SINOWATZ (1991) stammt das gesamte Os hyoideum aus dem 2. und 3. Pharyngealbogenknorpel.

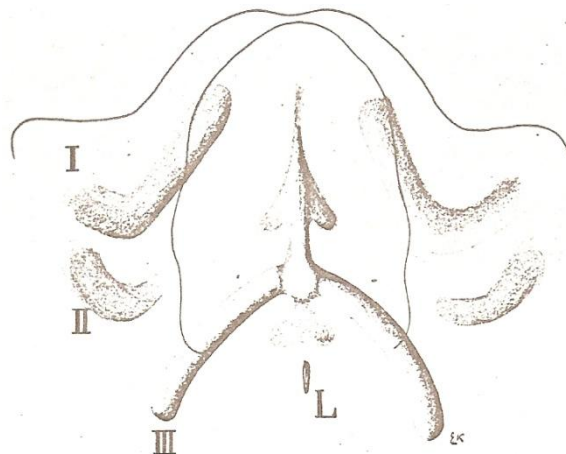


Abb. 6 Zeichnerische Rekonstruktion der Skelettanlagen des Mundbodens eines Sperlings (*Passer domesticus*)

Stadium V: 50-fache Vergrößerung. Die Anlagen der drei ersten Pharyngealbögen sind mit I, II, III bezeichnet. Die Pharyngealbögen und die zentral gelegene Copula liegen als vorknorpelige Strukturen vor. L- Kehlkopfeingang (KALLIUS 1904)

KALLIUS (1904) teilt die seitlichen mesenchymalen flügelartigen Fortsätze an der zentral gelegenen Copula (**Abb. 6**) sowie die Columella auris, das einzige Gehörknöchelchen der Vögel, dem 2. Pharyngealbogen zu (**Abb. 6 und 7**).

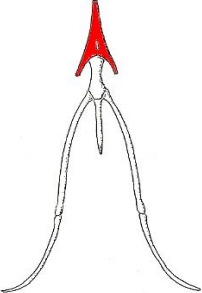
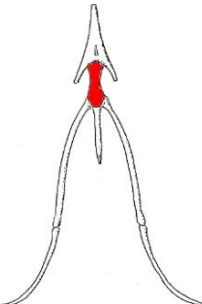
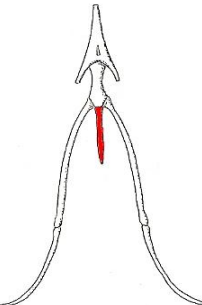
Er geht davon aus, dass sich der 2. Pharyngealbogenknorpel jeweils in seinem mittleren Abschnitt in der embryonalen Entwicklung der Vögel zurückgebildet hat. Der laterale Teil, die Columella auris, und der Ansatz an der Copula sind erhalten geblieben. Die mesenchymalen Fortsätze lösen sich auf, sobald sich hyaliner Knorpel in der Copula bildet. An deren Stelle entstehen dann die paarigen Anlagen des Paraglossum (**Abb. 7**). Der Copulaknorpel bildet sich als erste knorpelige Struktur des Zungenbeins. KALLIUS (1904) geht davon aus, dass am ausgebildeten Zungenbein der Vögel keine Anteile des 2. Pharyngealbogenknorpels zu finden sind. Ebenso beschreibt er, dass der 4. Pharyngealbogen der Vögel zwar als bindegewebige Verdichtung zu erkennen ist, aber knorpelige Anteile nicht entwickelt sind.

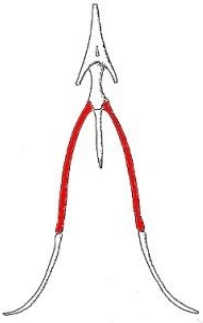
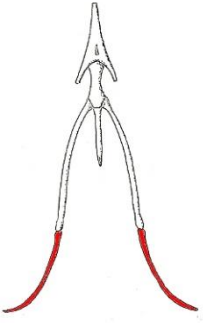


Abb. 7 Zeichnerische Rekonstruktion des Skeletts des Mundbodens eines Sperlings (*Passer domesticus*)

Stadium XV: 30-fache Vergrößerung. I- 1. Pharyngealbogen: Meckel'scher Knorpel, Os quadratum; II- 2. Pharyngealbogen: Columella auris; III- 3. Pharyngealbogen: Cornua branchialia; L- Larynx, S- Schädelbasis, Q- Os quadratum, P- Paraglossum (KALLIUS 1904)

Nachfolgend wird zusammenfassend ein tabellarischer Überblick der verschiedenen Theorien gegeben:

Teil des Os hyoideum	Zugehörigkeit zu den Pharyngealbögen	Autoren
<p><u>Synonyma:</u></p> <p>Os entoglossum/ Os paraglossum</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Neubildung bei den Vögeln, Entstehung nicht den Pharyngealbögen zugeordnet - 2. Pharyngealbogen 	<p>KALLIUS 1904, IHLE et al. 1971, NICKEL et al. 1992</p> <p>HAMILTON 1952, KÄMPFE et al. 1993, BELLAIRS und OSMOND 1998, HILDEBRAND und GOSLOW 2004</p>
<p>Os basibranchiale rostrale/ Copula 1/ Basihyale</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - 2. Pharyngealbogen - Entstehung aus der Copula 	<p>HAMILTON 1952, NICKEL et al. 1992, KÄMPFE et al. 1993, BELLAIRS und OSMOND 1998, HILDEBRAND und GOSLOW 2004</p> <p>KALLIUS 1904</p>
<p>Os basibranchiale caudale/ Copula 2/ Urohyale</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - 2. Pharyngealbogen - 3. Pharyngealbogen - Entstehung aus der Copula 	<p>NICKEL et al. 1992, KÄMPFE et al. 1993, HILDEBRAND und GOSLOW 2004</p> <p>HAMILTON 1952, BELLAIRS und OSMOND 1998</p> <p>KALLIUS 1904</p>

Teil des Os hyoideum	Zugehörigkeit zu den Pharyngealbögen	Autoren
<p>Cornua branchialia</p> <p>1. Os ceratobranchiale/ Pharyngobranchiale</p> 	<p>- 2. Pharyngealbogen</p> <p>- 3. Pharyngealbogen</p>	<p>NICKEL et al. 1992</p> <p>KALLIUS 1904, HAMILTON 1952, BELLAIRS und OSMOND 1998, HILDEBRAND und GOSLOW 2004</p>
<p>2. Os epibranchiale/ Epibranchiale</p> 	<p>- 2. Pharyngealbogen</p> <p>- 3. Pharyngealbogen</p>	<p>NICKEL et al. 1992</p> <p>KALLIUS 1904, HAMILTON 1952, BELLAIRS und OSMOND 1998, HILDEBRAND und GOSLOW 2004</p>
<p>3. Cornua branchialia (allgemein)</p>	<p>- 3. und 4. Pharyngealbogen</p>	<p>KÄMPFE et al. 1993</p>
<p>Corpus und Cornua branchialia</p>	<p>- 2., 3. und 4. Pharyngealbogen</p>	<p>IHLE et al. 1971</p>
<p>Os hyoideum (allgemein)</p>	<p>- 2. und 3. Pharyngealbogen</p>	<p>RÜSSE und SINOWATZ 1991</p>

Tab. 2 Übersicht über die Zugehörigkeit der Anteile des Os hyoideum der Vögel zu den Pharyngealbögen

2.3.3 Die Zungenbeinmuskeln der Vögel

Als Zungenbeinmuskeln wird eine Gruppe von Muskeln zusammengefasst, die den Zungenbeinapparat und damit die Zunge als Ganzes bewegen können (NICKEL et al. 1992, SALOMON 1993).

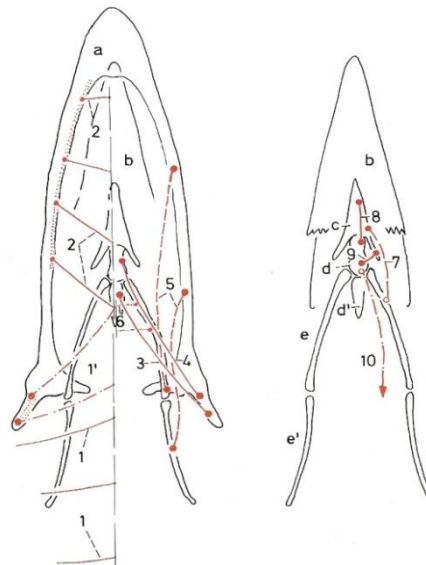


Abb. 8 Wirkungslinien der Halshaut- und der Zungenbeinmuskeln eines Huhnes

von links nach rechts: oberflächliche, mittlere und tiefe Lage (NICKEL et al. 1992)

a- Mandibula, b- Zunge, c- Os entoglossum, d- Os basibranchiale rostrale, d'- Os basibranchiale caudale, e,e'- Cornu branchiale, e- Os ceratobranchiale, e'- Os epibranchiale,

1- M. constrictor colli, 1'- seine Pars intermandibularis, 2- M. intermandibularis ventralis, 3- M. serpihyoideus, 4- M. stylohyoideus, 5- M. branchiomandibularis, 6- M. interceratobranchialis, 7- M. ceratoglossus, 8- M. hypoglossus rostralis, 9- M. hypoglossus obliquus, 10- M. cricohyoideus

Der M. hypoglossus rostralis, M. hypoglossus obliquus, M. ceratoglossus und der M. interceratobranchialis haben ihren Ursprung und Ansatz am Os hyoideum. Der M. serpihyoideus, M. stylohyoideus, M. branchiomandibularis und der M. genioglossus ziehen von der Mandibula an das Os hyoideum (**Abb. 8**).

Der M. genioglossus fehlt dem Huhn. Der M. intermandibularis ventralis und der M. intermandibularis dorsalis ziehen von der Mandibula an eine mediane Raphe im Kehlgang. Der M. intermandibularis dorsalis fehlt bei Huhn und Taube (NICKEL et al. 1992, SALOMON 1993).

Zum besseren Verständnis nachfolgend ein Überblick über die Zungenbeinmuskeln der Vögel mit jeweiliger Zuordnung zu den Zungenmuskeln und zu den oberen bzw. unteren Zungenbeinmuskeln des Menschen:

Muskel beim Vogel	Funktion	Autoren	vergleichender Muskel beim Menschen, dessen Funktion, Autoren
<p><u>Synonyma:</u></p> <p>M. intermandibularis ventralis</p> <p>M. mylohyoideus/ M. intermandibularis (Pars rostralis)</p> <p>M. mylohyoideus</p>	<p>der Muskel drückt die Zunge gegen den Gaumen</p>	<p>NICKEL et al. 1992, SALOMON 1993</p> <p>SCHWARZE und SCHRÖDER 1985</p> <p>FITZGERALD 1969</p>	<p>M. mylohyoideus (oberer Zungenbeinmuskel)</p> <p><u>Funktion:</u> hebt u. a. Mundboden und Zunge beim Schluckakt, senkt den Unterkiefer; SOBOTTA 1993</p>
<p>M. intermandibularis dorsalis (fehlt bei Huhn und Taube)</p> <p>M. mylohyoideus/ M. intermandibularis (Pars caudalis)</p> <p>M. mylohyoideus</p>	<p>bei Kontraktion des Muskels wird der Torus linguae gegen den Gaumen gedrückt, Seitwärtsziehen der Zunge</p>	<p>NICKEL et al. 1992, SALOMON 1993</p> <p>SCHWARZE und SCHRÖDER 1985</p> <p>FITZGERALD 1996</p>	<p>M. mylohyoideus (oberer Zungenbeinmuskel)</p> <p><u>Funktion:</u> hebt u. a. Mundboden und Zunge beim Schluckakt, senkt den Unterkiefer; SOBOTTA 1993</p>
<p>M. serpihyoideus</p>	<p>durch Muskelkontraktion wird die Kehlkopfkronen gegen das Mund/Schlundkopfdach gehoben und teils auch die Zunge zurückgezogen</p>	<p>NICKEL et al. 1992, SALOMON 1993</p>	<p>Evtl.: M. digastricus, Venter posterior (oberer Zungenbeinmuskel)</p> <p><u>Funktion:</u> Hebung bzw. Fixierung des Zungenbeins; SOBOTTA 1993</p>

Muskel beim Vogel	Funktion	Autoren	vergleichender Muskel beim Menschen, dessen Funktion, Autoren
<p>M. intercerato-branchialis</p> <p>M. keratohyoideus</p> <p>M. hyoideus transversus</p>	<p>bei Kontraktion werden die Zungenbeinäste einander genähert und damit Mund- und Schlundkopfboden gehoben und rostral verschoben</p>	<p>SCHWARZE und SCHRÖDER 1985, NICKEL et al. 1992, SALOMON 1993</p> <p>SCHWARZE und SCHRÖDER 1985</p> <p>FITZGERALD 1969</p>	<p>es existiert kein vergleichbarer Muskel</p>
<p>M. ceratoglossus</p> <p>M. keratoglossus</p> <p>M. styloentoglossum</p>	<p>zieht die Zunge zurück, eine einseitige Kontraktion bewirkt ein Seitwärtsziehen der Zunge, beidseitige Kontraktion bewirkt Ziehen der Zungenspitze nach unten</p>	<p>NICKEL et al. 1992, SALOMON 1993</p> <p>SCHWARZE und SCHRÖDER 1985</p> <p>FITZGERALD 1969</p>	<p>M. styloglossus (Zungenmuskel) <u>Funktion:</u> zieht die Zunge nach hinten oben (Saug- und Schluckakt); SOBOTTA 1993</p>
<p>M. hypoglossus rostralis</p> <p>M. hyoglossus rostralis</p> <p>M. copuloentoglossum</p>	<p>senkt die Zungenspitze</p> <p>Herabziehen der Zunge</p>	<p>NICKEL et al. 1992, SALOMON 1993</p> <p>SCHWARZE und SCHRÖDER 1985</p> <p>FITZGERALD 1969</p>	<p>M. chondroglossus (Zungenmuskel) <u>Funktion:</u> zieht den Zungengrund nach unten und hinten; SOBOTTA 1993</p>
<p>M. genioglossus (fehlt beim Huhn)</p>	<p>schwacher Vorführer des Zungenkörpers</p>	<p>NICKEL et al. 1992, SALOMON 1993</p>	<p>M. genioglossus (Zungenmuskel) <u>Funktion:</u> zieht die Zunge nach vorn und unten; SOBOTTA 1993</p>

Muskel beim Vogel	Funktion	Autoren	vergleichender Muskel beim Menschen, dessen Funktion, Autoren
<p>M. branchiomandibularis</p> <p>M. geniohyoideus</p>	<p>kräftigster Muskel des Zungenapparates, kann den Zungenbeinapparat und damit die Zunge vorstrecken</p>	<p>NICKEL et al. 1992, SALOMON 1993</p> <p>SCHWARZE und SCHRÖDER 1985</p>	<p>M. geniohyoideus (oberer Zungenbeinmuskel)</p> <p><u>Funktion:</u> unterstützt den M. mylohyoideus (Hebung der Zunge), fixiert das Zungenbein, senkt den Unterkiefer, hebt das Zungenbein; SOBOTTA 1993</p>
<p>M. stylohyoideus</p> <p>M. hyomandibularis/ M. stylohyoideus</p>	<p>wesentlicher Rückzieher der Zunge und damit für Nahrungstransport in der Mundhöhle bedeutsam, Heben des Zungenbeins</p>	<p>NICKEL et al. 1992, SALOMON 1993</p> <p>FITZGERALD 1969</p>	<p>M. stylohyoideus (oberer Zungenbeinmuskel)</p> <p><u>Funktion:</u> Fixierung des Zungenbeins, zieht dieses beim Schluckakt dorso-cranialwärts; SOBOTTA 1993</p>
<p>M. hypoglossus obliquus</p> <p>M. hypoglossus obliquus</p>	<p>wölbt den Zungenrücken hoch und ist damit beim Verschlingen von Nahrungsteilen behilflich</p>	<p>NICKEL et al. 1992, SALOMON 1993</p> <p>SCHWARZE und SCHRÖDER 1985</p>	<p>M. hypoglossus (Zungenmuskel)</p> <p><u>Funktion:</u> zieht den Zungengrund nach unten und hinten; SOBOTTA 1993</p>

Tab. 3 Übersicht über die Zungenbeinmuskeln der Vögel und Zuordnung zu den Zungenmuskeln sowie zu den oberen bzw. unteren Zungenbeinmuskeln des Menschen

2.4 Der Larynx der Vögel

2.4.1 Makroskopische Anatomie des Larynx der Vögel

Auch der Larynx, Kehlkopf, wird in der Literatur einerseits anhand des allgemeinen Vogeltypus beschrieben, andererseits findet die Morphologie des Huhnes große Beachtung. Morphologische Besonderheiten der Wachtel werden in den Beschreibungen berücksichtigt.

An die Choanenspalte der Vögel schließt sich der Larynx, der horizontal gestellt ist, an (FITZGERALD 1969, SCHWARZE und SCHRÖDER 1985, NICKEL et al. 1992, HUMMEL 2000, KÖNIG und LIEBICH 2001).

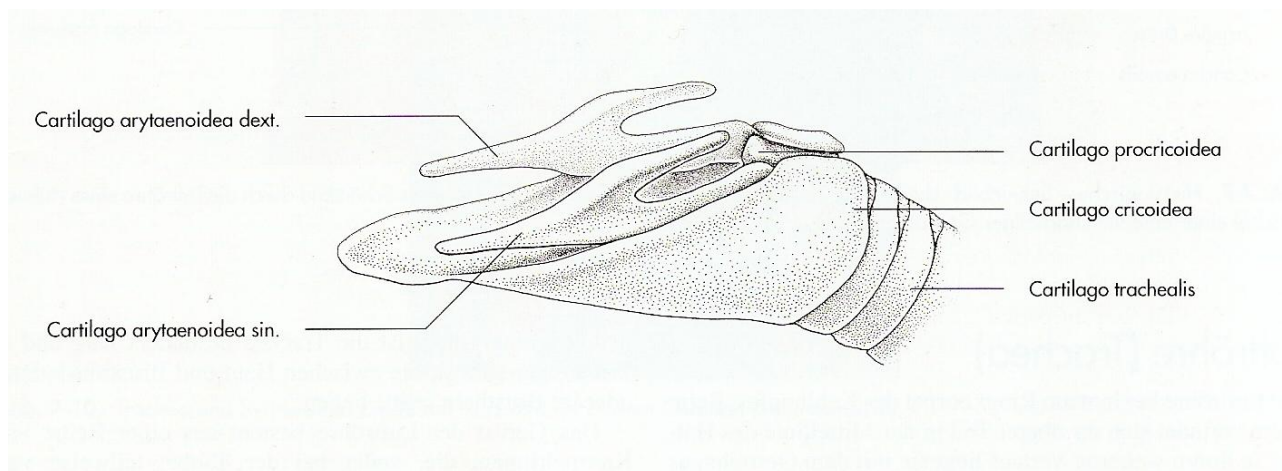


Abb. 9 Schematische Darstellung der Larynxknorpel des Huhnes (linke Lateralansicht)
(KÖNIG und LIEBICH 2001)

Der Larynx liegt caudal des Os hyoideum, ist aber nicht mit ihm durch Bänder verbunden (**Abb. 9** und **11**). Der Larynx dient dazu, die Respirationsluft durchströmen zu lassen (IHLE et al. 1971, SCHWARZE und SCHRÖDER 1985, NICKEL et al. 1992, HUMMEL 2000, KÖNIG und LIEBICH 2001).

In der Mitte des Kehlkopfwulstes liegt die Glottis, ein sagittal gestellter, spaltenförmiger Zugang zur Kehlkopfhöhle. Die Glottis stellt die Öffnung von der Trachea zum Pharynx dar (HAMILTON 1952, NICKEL et al. 1992, KÄMPFE et al. 1993, HUMMEL 2000, KÖNIG und LIEBICH 2001, HILDEBRAND und GOSLOW 2004).

Ein paariger und zwei unpaarige Larynxknorpel (**Abb. 9**) bilden das Stützgerüst des Larynx (NICKEL et al. 1992, SALOMON 1993, HUMMEL 2000, KÖNIG und LIEBICH 2001). Der unpaarige Ringknorpel, Cartilago cricoidea, umfasst mit einem langen, medianen, rinnenförmigen Corpus und zwei latero-caudal aufstrebenden Flügeln, Alae, die Kehlkopfhöhle von ventral und lateral (NICKEL et al. 1992, SALOMON 1993, HUMMEL 2000, KÖNIG und LIEBICH 2001). Die Flügel können artspezifisch auch selbständig vorkommen (NICKEL et al. 1992).

Der Ringknorpel ist beim Huhn etwa 15 - 18 mm lang und 11 - 13 mm breit (SALOMON 1993).

Nach SCHWARZE und SCHRÖDER (1985) besteht der Ringknorpel beim Huhn aus den unpaarigen dorsalen und ventralen sowie aus den paarigen seitlichen Teilstücken (**Abb 10**). Die seitlichen Teilstücke sind bei Huhn, Ente und Taube vom ventralen Teilstück getrennt, während sie bei der Gans mit diesem verschmelzen. Das dorsale und ventrale Teilstück verknöchern frühzeitig.

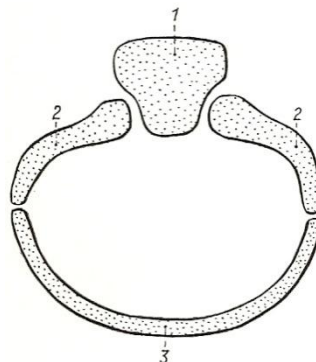


Abb. 10 Querschnitt durch den Ringknorpel des Huhnes (schematisch)
1- dorsales Teilstück; 2,2- seitliche Teilstücke; 3- ventrales Teilstück
(SCHWARZE und SCHRÖDER 1985)

NICKEL et al. (1992), SALOMON (1993), HUMMEL (2000) sowie KÖNIG und LIEBICH (2001) bezeichnen das dorsale Teilstück des Larynx als Cartilago procricoidea. Die Cartilago procricoidea ist einerseits mit den beiden Flügeln des Ringknorpels in den Articulationes procricocricoideae und andererseits mit dem paarigen Stellknorpel in je einer Articulatio procricoarytenoidea gelenkig verbunden (NICKEL et al. 1992). Der Knorpel ist kommaförmig und verknöchert bei adulten Vögeln meist vollständig (SALOMON 1993, KÖNIG und LIEBICH 2001).

Ebenso verknöchert der Ringknorpel beim adulten Tier größtenteils (NICKEL et al. 1992). Das schaufelförmige rostrale Ende, der Mittelabschnitt des caudalen Endes und ein schmaler Streifen zwischen dem Corpus und den Flügeln bleiben knorpelig und flexibel (SALOMON 1993).

Nach FITZGERALD (1969) besteht der Larynx der Wachtel nur aus dem unpaarigen Ringknorpel und dem paarigen Stellknorpel. Der Corpus des Ringknorpels verknöchert teilweise bei der jungen Wachtel.

Dem Ringknorpel schließen sich die Knorpelringe der Trachea an (FITZGERALD 1969, IHLE et al. 1971, SCHWARZE und SCHRÖDER 1985, NICKEL et al. 1992, SALOMON 1993, HUMMEL 2000, KÖNIG und LIEBICH 2001, HILDEBRAND und GOSLOW 2004). Nach FITZGERALD (1969) hat die Trachea der Wachtel eine Länge von etwa 6,3 cm und besteht aus ca. 90 Knorpelringen.

Der paarige Stellknorpel, Cartilago arytenoidea, besteht aus einem Corpus sowie den Fortsätzen, Processus rostralis und Processus caudalis, die nach cranial und caudal gerichtet sind (NICKEL et al. 1992, SALOMON 1993, HUMMEL 2000, KÖNIG und LIEBICH 2001).

FITZGERALD (1969) geht bei der Wachtel nur vom Corpus als ventrale Spange und dem Processus caudalis als dorsale Spange aus.

SCHWARZE und SCHRÖDER (1985) beschreiben beim Huhn ebenso nur den Corpus und den Processus caudalis des Stellknorpels.

Laut SCHWARZE und SCHRÖDER (1985), NICKEL et al. (1992) und SALOMON (1993) bleiben die Fortsätze des Stellknorpels beim adulten Vogel knorpelig, und der Corpus verknöchert meistens.

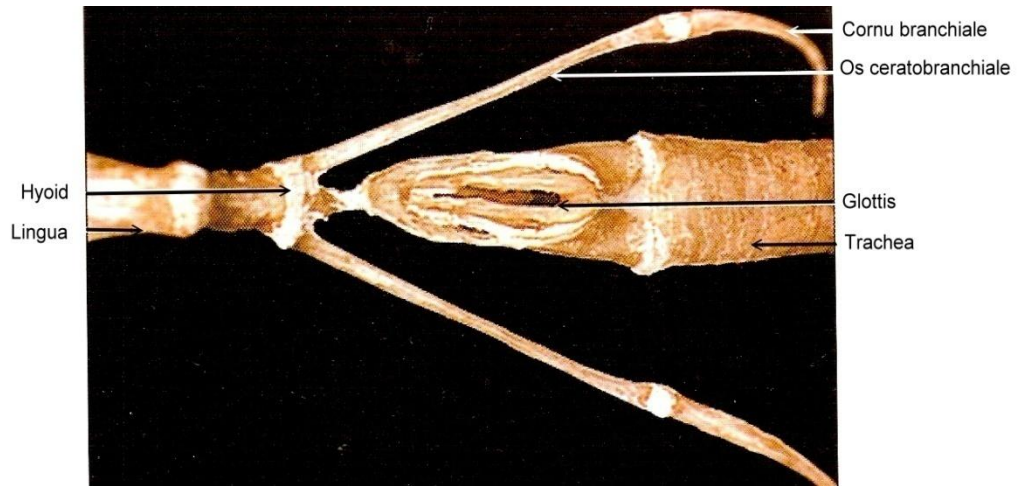
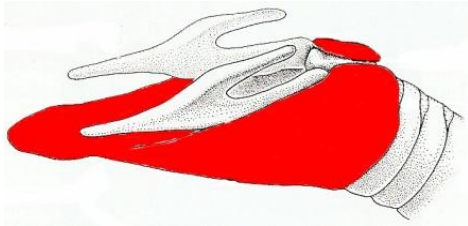

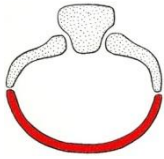
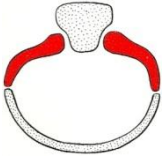
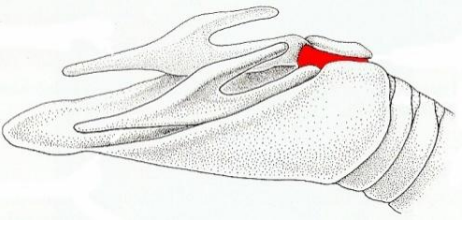


Abb. 11 Lage des Larynx im Bezug zum Os hyoideum und der Lingua eines Huhnes (Dorsalansicht)
(KÖNIG und LIEBICH 2001)

Der Schildknorpel, Cartilago thyroidea, die Epiglottis und die Stimmbänder fehlen dem nur der Atmung dienenden Larynx (FITZGERALD 1969, IHLE et al. 1971, SCHWARZE und SCHRÖDER 1985, NICKEL et al. 1992, SALOMON 1993, HUMMEL 2000, KÖNIG und LIEBICH 2001, HILDEBRAND und GOSLOW 2004).

Aufgrund der unterschiedlichen Darstellungen des anatomischen Aufbaus des Larynx der Vögel in der Literatur hier nun eine tabellarische Zusammenstellung:

Anatomischer Aufbau des Larynx der Vögel	Autoren
<p>Cartilago cricoidea</p>  <ul style="list-style-type: none"> - <u>bestehend aus 3 Anteilen</u> <ul style="list-style-type: none"> - Corpus - zwei latero-caudal aufstrebende Alae - <u>bestehend aus 4 Anteilen</u> <ul style="list-style-type: none"> - dorsales Teilstück (entspricht der Cartilago procricoidea)  - ventrales Teilstück (entspricht dem Corpus)  - paarige seitliche Teilstücke  	<p>FITZGERALD 1969, NICKEL et al. 1992, SALOMON 1993, HUMMEL 2000, KÖNIG und LIEBICH 2001</p> <p>SCHWARZE und SCHRÖDER 1985</p>

Anatomischer Aufbau des Larynx der Vögel	Autoren
<p>Cartilago arytenoidea</p>  <ul style="list-style-type: none"> - <u>bestehend aus 3 Anteilen</u> <ul style="list-style-type: none"> - Corpus - Processus rostralis - Processus caudalis - <u>bestehend aus 2 Anteilen</u> <ul style="list-style-type: none"> - Corpus (ventrale Spange) - Processus caudalis (dorsale Spange) 	<p>NICKEL et al. 1992, SALOMON 1993, HUMMEL 2000, KÖNIG und LIEBICH 2001</p> <p>FITZGERALD 1969, SCHWARZE und SCHRÖDER 1985</p>
<p>Cartilago procricoidea</p> 	<p>NICKEL et al. 1992, SALOMON 1993, HUMMEL 2000, KÖNIG und LIEBICH 2001</p>

Tab. 4 Übersicht über den anatomischen Aufbau des Larynx der Vögel

2.4.2 Embryonale Entwicklung des Larynx der Vögel und Zugehörigkeit der Anteile des Larynx zu den Pharyngealbögen

Aus der Laryngotrachealrinne (entodermale Anlage), die sich caudal der 4. Schlundtasche am Boden des Vorderdarms gebildet hat, entwickelt sich die epitheliale Auskleidung von Larynx, Trachea, Bronchien und Alveolen der Lunge einschließlich aller Drüsen (MICHEL 1983, RÜSSE und SINOWATZ 1991, KÄMPFE et al. 1993, SCHNORR 1996, BELLAIRS und OSMOND 1998).

Bindegewebe, Skelettelemente, Muskulatur und Gefäße dieser Organe gehen aus dem umgebenden Mesenchym hervor (RÜSSE und SINOWATZ 1991, SCHNORR 1996, BELLAIRS und OSMOND 1998).

Die Arytenoidknorpel bilden sich aus den paarigen Arytenoidwülsten, welche Mesenchymolster darstellen (RÜSSE und SINOWATZ 1991, SCHNORR und KRESSIN 2001).

Sie werden als Rudimente des 5. Pharyngealbogens angesehen (MICHEL 1983, SCHNORR 1996, SCHNORR und KRESSIN 2001).

KALLIUS (1904) ordnet die Arytenoidwülste dem 6. Pharyngealbogen zu.

Die Arytenoidwülste können vorübergehend so stark vergrößert sein, dass der Hohlraum des Larynx zu einem engen Spalt wird und es zu einer Verklebung des Epithels kommt (MICHEL 1983, RÜSSE und SINOWATZ 1991).

Laut BELLAIRS und OSMOND (1998) geschieht dies zwischen dem 8. und 11. Tag der Inkubation des Hühnerembryos.




Der Ringknorpel geht aus dem Mesenchym der 1. Trachealspange hervor (MICHEL 1983, RÜSSE und SINOWATZ 1991, SCHNORR 1996).

Die embryonale Entwicklung der Cartilago procricoidea wird in der Literatur nicht näher beschrieben.

IHLE et al. (1971) führen das Skelett des Larynx auf den 5. Pharyngealbogen zurück.

HAMILTON (1952), BELLAIRS und OSMOND (1998) beschreiben, dass sich zwischen dem 3. und 4. Tag der Inkubation des Hühnerembryos die Trachea entwickelt. Am 6. Tag der Inkubation verlängert sich die Trachea, und an ihrem vorderen Ende bildet sich der Larynx in Form der Arytenoidwülste aus. Am 11. Tag sind die Trachealknorpel zu erkennen.

Zur Verdeutlichung der Fakten hier nun die tabellarische Übersicht über die Zugehörigkeit der Anteile des Larynx zu den Pharyngealbögen:

Teil des Larynx	Zugehörigkeit zu den Pharyngealbögen	Autoren
Cartilago cricoidea 	- aus Mesenchym der 1. Trachelspange	MICHEL 1983, RÜSSE und SINOWATZ 1991, SCHNORR 1996
Cartilago arytenoidea 	- 5. Pharyngealbogen - 6. Pharyngealbogen	MICHEL 1983, SCHNORR 1996, SCHNORR und KRESSIN 2001 KALLIUS 1904
Cartilago procricoidea 	- findet in der Literatur keine Erwähnung	
Skelett des Larynx (allgemein)	- 5. Pharyngealbogen	IHLE et al. 1971

Tab. 5 Übersicht über die Zugehörigkeit der Larynxanteile zu den Pharyngealbögen

2.4.3 Die Kehlkopfmuskeln der Vögel

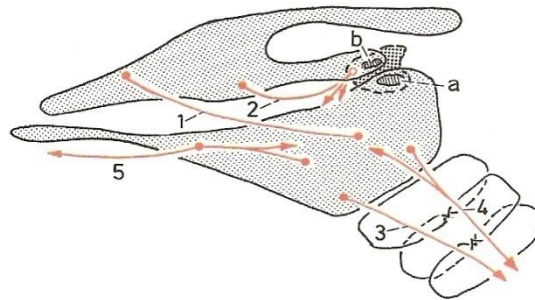


Abb. 12 Wirkungslinien der Kehlkopfmuskeln und Lage der Gelenke des Kehlkopfs des Huhnes
 1- M. dilatator glottidis, 2- M. constrictor glottidis, 3- M. tracheolateralis,
 4- M. sternohyoideus, 5- M. cricohyoideus
 a- Articulatio procricocricoidea, b- Articulatio procricoarytenoidea
 (NICKEL et al. 1992)

Der paarige Stellknorpel wird durch den M. dilatator glottidis und den M. constrictor glottidis bewegt (**Abb. 12**), wodurch die Glottis weit oder eng gestellt werden kann (NICKEL et al. 1992, SALOMON 1993, HUMMEL 2000, KÖNIG und LIEBICH 2001). Der M. cricohyoideus und die Mm. tracheales sorgen dafür, dass der Larynx gehoben oder gesenkt wird (NICKEL et al. 1992, SALOMON 1993, KÖNIG und LIEBICH 2001).

SCHWARZE und SCHRÖDER (1985) zählen den M. cricoarytenoideus medialis zum Verenger und den M. cricoarytenoideus lateralis zum Erweiterer des Kehlkopfeingangs. Den M. cricohyoideus bezeichnen die Autoren als M. hyolaryngeus, FITZGERALD (1969) spricht vom M. thyroentoglossum.

Nachfolgend ein Überblick über die Kehlkopfmuskeln der Vögel mit jeweiliger Zuordnung zu den Muskeln des Kehlkopfs des Menschen:

Muskel beim Vogel	Funktion	Autoren	vergleichender Muskel beim Menschen, dessen Funktion, Autoren
<p><u>Synonyma:</u></p> <p>M. dilatator glottides</p> <p>M. cricoarytenoideus lateralis</p>	<p>bei Kontraktion zieht er den paarigen Stellknorpel zur Seite und stellt die Glottis weit, Erweiterer des Kehlkopfeingangs</p>	<p>NICKEL et al. 1992, SALOMON 1993, HUMMEL 2000, KÖNIG und LIEBICH 2001</p> <p>SCHWARZE und SCHRÖDER 1985</p>	<p>M. cricoarytenoideus posterior</p> <p><u>Funktion:</u> Erweiterung der Stimmritze; SOBOTTA 1993</p>
<p>M. constrictor glottides</p> <p>M. cricoarytenoideus medialis</p>	<p>bei Kontraktion führt er den paarigen Stellknorpel und den Ringknorpel einwärts und engt damit die Glottis ein, Verengung des Kehlkopfeingangs</p>	<p>NICKEL et al. 1992, SALOMON 1993, HUMMEL 2000, KÖNIG und LIEBICH 2001</p> <p>SCHWARZE und SCHRÖDER 1985</p>	<p>M. cricoarytenoideus lateralis</p> <p><u>Funktion:</u> Verschluss der Stimmritze (Pars intermembranacea) SOBOTTA 1993</p>
<p>M. cricohyoideus</p> <p>M. hyolaryngeus</p> <p>M. thyroentoglossum</p>	<p>bei Kontraktion werden Zungenrund und Kehlkopf einander angenähert und hochgewölbt</p>	<p>NICKEL et al. 1992, SALOMON 1993, KÖNIG und LIEBICH 2001</p> <p>SCHWARZE und SCHRÖDER 1985</p> <p>FITZGERALD 1969</p>	<p>M. thyrohyoideus (unterer Zungenbeinmuskel)</p> <p><u>Funktion:</u> u. a. Hebung des Kehlkopfs, Hilfsmuskel beim Schluckakt und bei der Atmung; SOBOTTA 1993</p>

Tab. 6 Übersicht über die Kehlkopfmuskeln der Vögel mit jeweiliger Zuordnung zu den Muskeln des Kehlkopfs des Menschen

3 MATERIAL UND METHODE

3.1 Material

Für die vorliegende Studie wurden fünf Wachtelembryonen unterschiedlicher Entwicklungsstadien untersucht.

Diese stammen aus der Sammlung von Prof. Dr. R. A. Schneider, University of California at San Francisco.







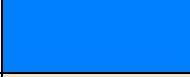

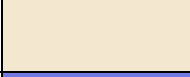





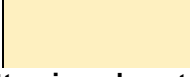

Wachtelembryo	Schnitttrichtung	Alter (Bebrütungstage)
QUA 57/02, HH32	frontal	7,5
QUA 85/02, HH33	frontal	7,5 - 8
QUA 87/02, HH35	frontal	8 - 9
QUA 39/01, HH36	sagittal	10
QUA 40/01, HH38	horizontal	12

Tab. 7 Untersuchte Präparate der verschiedenen Entwicklungsstadien mit Benennung der Schnitttrichtung parallel zur Frontal-, Sagittal- oder Horizontalebene, Angabe des Alters in Bebrütungstagen und jeweils das entsprechende Stadium nach HAMBURGER und HAMILTON (1951)

Für die Anfertigung der histologischen Schnittserien wurden die Präparate zunächst in Formaldehyd fixiert. Dem folgte die Überführung in alkoholische Lösung und anschließend die Entkalkung mit EDTA für ca. 30 - 45 Tage. Die Dehydratation erreichte man durch eine ansteigende Konzentration von Ethylalkohol, Methylbenzoat und Xylol. Aus den nach Standardverfahren in Paraffin eingebetteten Wachtelembryonen wurden histologische Schnittserien mit einer Schichtdicke von 10 µm angefertigt. Die Färbung der Präparate erfolgte mit Hämatoxylin-Eosin (H. E.).

3.2 Rekonstruktionstechnik

Zur Ermittlung der relevanten Schnittserienbereiche wurden die histologischen Schnitte lichtmikroskopisch analysiert und mit 2,5- bis 4-facher Vergrößerung dargestellt. Unter Verwendung der Software AnalySIS[®] 3.1 (SOFT IMAGING SYSTEM GmbH, Münster, Deutschland) wurden die histologischen Schnittbilder mit Hilfe des Lichtmikroskops (Zeiss, Jena) und einer Digitalkamera (ColorView IIIu, SOFT IMAGING SYSTEM GmbH, Münster, Deutschland) fotografiert. In Abhängigkeit von der realen Objektgröße wurden die einzelnen Fotoobjekte aus 2 bis 30 Einzelbildern mit Hilfe des Multiple Image Alignment (MIA) zu einer Bilddatei zusammengefügt. Die anschließende Bildbearbeitung und die Rekonstruktion der Schnittserien in 3D erfolgte ebenfalls mit der Software AnalySIS[®] 3.1. Diese Software basiert auf einem Triangulationsverfahren zur Oberflächenrekonstruktion. Die Oberflächen der Schnittserienrekonstruktionen lassen sich beliebig einfärben und schattieren. Die Darstellungen können in Umrissen, halbtransparent und unter einer beliebigen Orientierung im Raum betrachtet werden. Die Farbwahl für die verschiedenen anatomischen Strukturen richtet sich nach den Vorschlägen von BLECHSCHMIDT (1963):

Anatomische Struktur	Farbe	Anatomische Struktur	Farbe
Knochen		Arterie	
Meckel'scher Knorpel		Basis cranii	
Labyrinthus osseus		Muskel allgemein ⁴	
Os hyoideum		Lingua	
Epithel		Nerv	
Larynx		Columella auris	
Arytenoidwülste		Os quadratum	
Trachea		Cartilagine tracheales	

Tab. 8 Farbmodell für die Schnittserienrekonstruktionen der Wachtelembryonen

⁴ Aus Gründen der Übersichtlichkeit finden sich in den folgenden Abbildungen Modifikationen innerhalb des Farbtons für die einzelnen unterschiedlichen Muskeln.

4 ERGEBNISSE

4.1 Vorbemerkungen

Wie bereits erwähnt, wurden von fünf Wachtelembryonen Schnittserien rekonstruiert. Um Änderungen der Lagebeziehungen des knorpeligen Os hyoideum sowie des knorpeligen Larynx und deren Umgebungsstrukturen im zeitlichen Verlauf darstellen zu können, wurden u. a. auch der Meckel'sche Knorpel und die knorpelige Anlage des Os quadratum als Referenzstrukturen mit abgebildet. Das Os hyoideum stellt in den fünf untersuchten Entwicklungsstadien noch den knorpeligen Vorläufer des knöchernen Os hyoideum dar.

Zu den histologischen Darstellungen wurde zur Übersicht eine schematische Abbildung der betreffenden Wachtelembryonen hinzugefügt, in der eine in rot gezeichnete Linie die Schnittebene veranschaulicht. Alle Abbildungen wurden entsprechend mit einer Maßstabsmarkierung versehen.

4.2 Wachtelembryo 57/02, HH32

Der Wachtelembryo im Stadium HH32 hat ein Bebrütungsalter von etwa 7,5 Tagen. Alle Schnitte sind in H. E. gefärbt, die Schnittrichtung ist frontal. Der Höhenabstand zwischen den zur Rekonstruktion herangezogenen Schnitten beträgt 20 - 40 µm.

In den **Abb. 13** und **14** ist die Lagebeziehung des knorpeligen Os hyoideum zum Meckel'schen Knorpel und deren umgebenden Strukturen dargestellt.

Es sind die zur Zungenbeinmuskulatur gehörigen Muskeln, M. intermandibularis ventralis, M. branchiomandibularis, M. sternohyoideus, M. ceratoglossus, zu erkennen. Knochenbildung findet noch nicht statt.

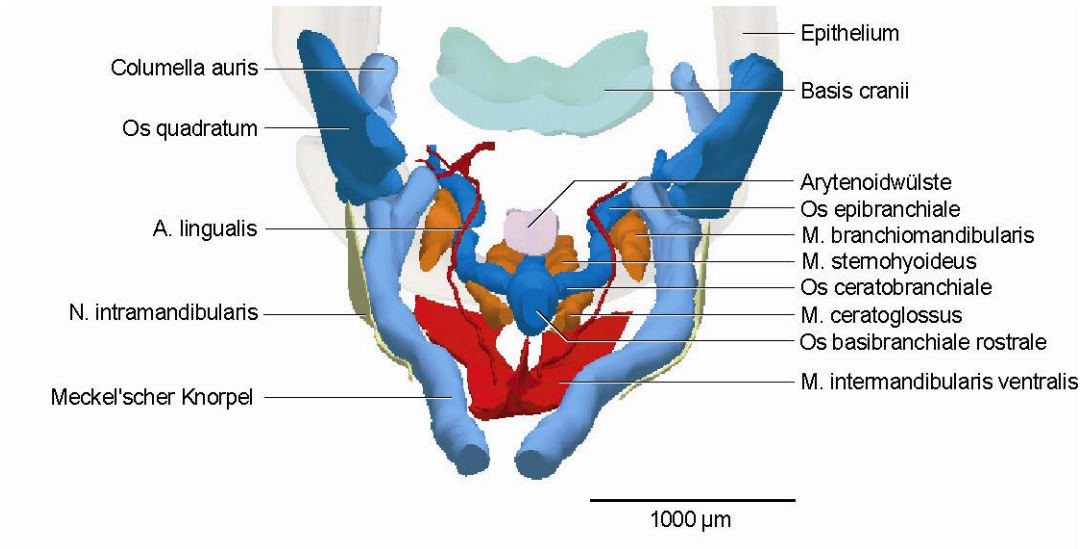


Abb. 13 QUA 57/02, HH32

Meckel'scher Knorpel, knorpelige Anlage des Os quadratum, knorpelige Anlage des Os hyoideum, Zungenbeinmuskulatur und umgebende Strukturen in ihren Lagebeziehungen zueinander.

Das Epithelium ist der Übersicht wegen nur auf den occipitalen Bereich begrenzt dargestellt. Schnittserienrekonstruktion in der Ansicht von anterior, 30° cranial.

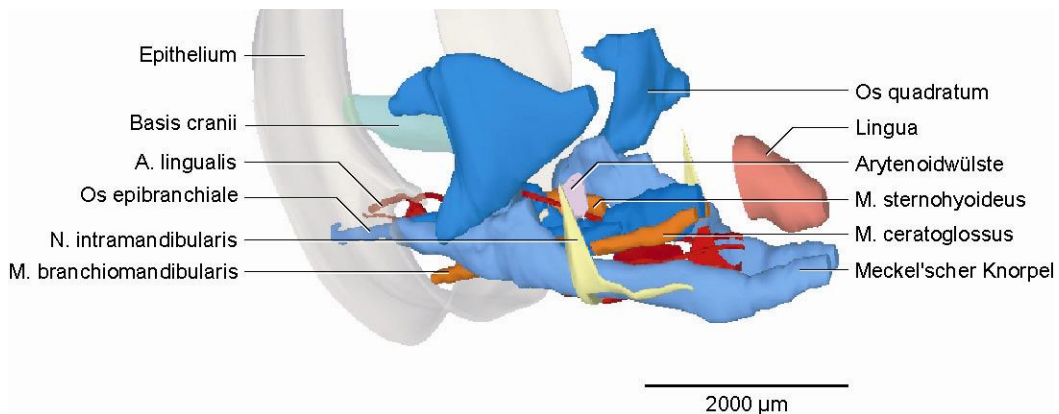


Abb. 14 QUA 57/02, HH32

Meckel'scher Knorpel, knorpelige Anlage des Os quadratum, knorpelige Anlage des Os hyoideum, Zungenbeinmuskulatur und umgebende Strukturen in ihren Lagebeziehungen zueinander.

Schnittserienrekonstruktion in der Ansicht von lateral, 30° frontal, 15° cranial.

4.2.1 Os hyoideum

Das Os hyoideum setzt sich in diesem Entwicklungsstadium der Wachtel aus dem Os basibranchiale rostrale, dem Os basibranchiale caudale und den Cornua branchialia, bestehend aus dem Os ceratobranchiale und dem Os epibranchiale, zusammen. Das Os entoglossum ist noch nicht entwickelt (**Abb. 15** und **16**).

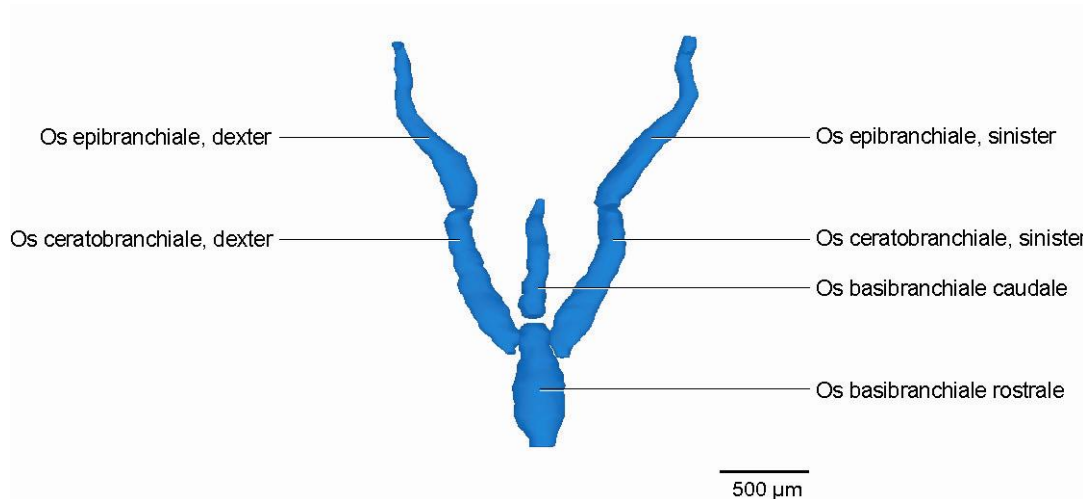


Abb. 15 QUA 57/02, HH32

Knorpelige Anlage des Os hyoideum.
Schnittserienrekonstruktion in der Ansicht von cranial.
Der untere Bildrand weist nach rostral.

Am Os basibranchiale rostrale sind die beiden zweigliedrigen Cornua branchialia angefügt. Das Os hyoideum hat in der Ansicht von cranial eine V-förmige Struktur.

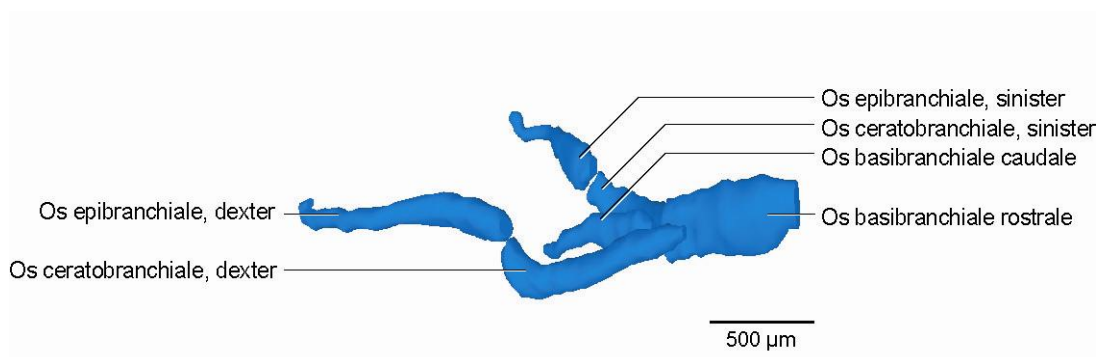


Abb. 16 QUA 57/02, HH32

Knorpelige Anlage des Os hyoideum.
Schnittserienrekonstruktion in der Ansicht von lateral, 30° frontal, 15° cranial.
Der rechte Bildrand weist nach rostral.

Das Os basibranchiale rostrale und das Os basibranchiale caudale sind etwa gleich lang. Das Os basibranchiale rostrale weist ungefähr das doppelte Volumen des Os basibranchiale caudale auf. Das Os basibranchiale caudale endet relativ spitz auf der Höhe des Übergangs vom Os ceratobranchiale zum Os epibranchiale. Beide sind bereits leicht in der Vertikalebene abgewinkelt.

Die Enden der Ossa epibranchialia sind hakenförmig und nach cranial gerichtet. Die Ossa epibranchialia sind im Vergleich zu den Ossa ceratobranchialia etwas länger. Die caudalen Enden der Ossa ceratobranchialia sind nach cranial gebogen.

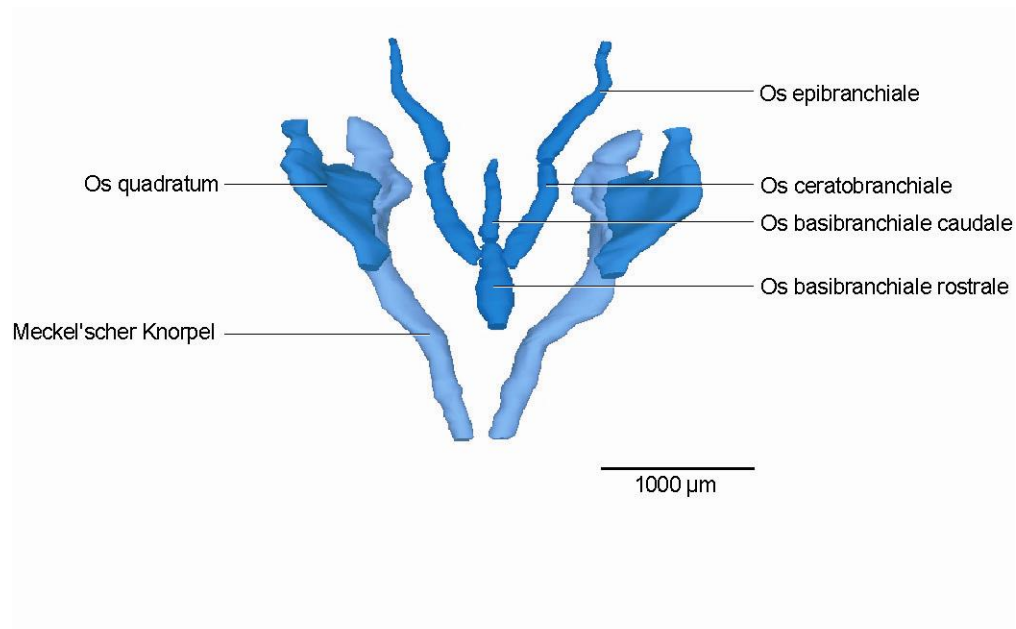


Abb. 17 QUA 57/02, HH32
Knorpelige Anlage des Os hyoideum, Meckel'scher Knorpel, knorpelige Anlage des Os quadratum.
Schnittserienrekonstruktion in der Ansicht von cranial.

Der Meckel'sche Knorpel weist ebenso wie das Os hyoideum eine V-förmige Struktur auf. Beide verlaufen in etwa parallel zueinander, wobei das rostrale Ende des Os basibranchiale rostrale sich auf Höhe des vorderen Drittels des Meckel'schen Knorpels befindet (**Abb. 17**).

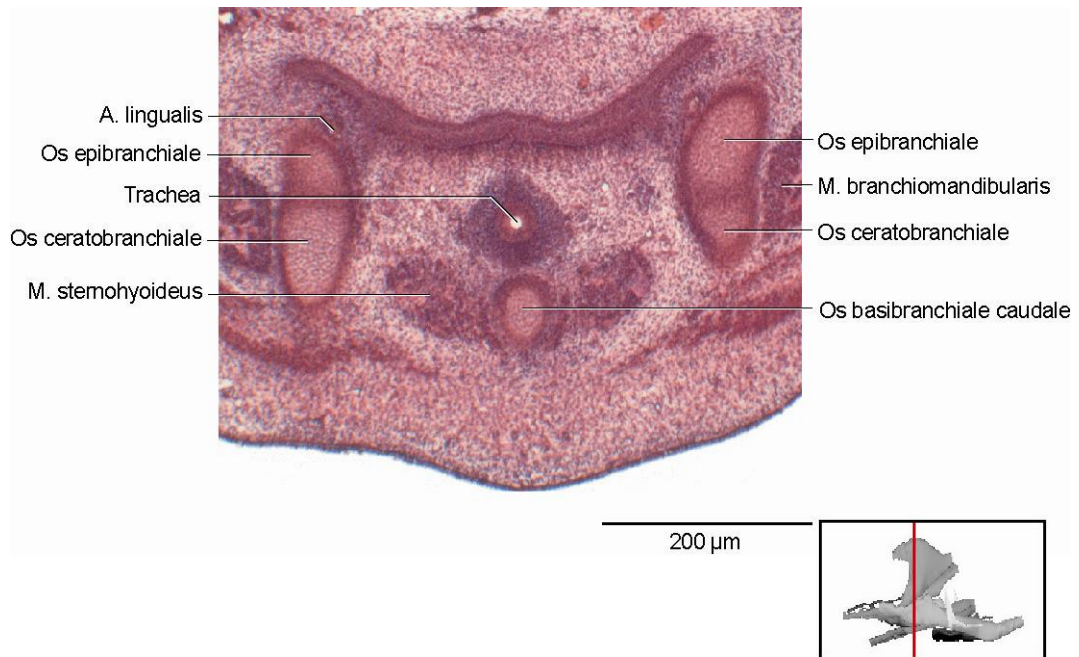


Abb. 18 QUA 57/02, HH32

Frontalschnitt auf Höhe der caudalen Region des Os basibranchiale caudale.

Die Lage des Schnittes ist durch die rote Markierung in der verkleinerten 3D-Rekonstruktion (vgl. Abb. 14) angegeben.

In der **Abb. 18** sind die beiden zweigliedrigen Cornua branchialia und deren Lagebeziehung zum Os basibranchiale caudale und zur Zungenbeinmuskulatur zu erkennen.

4.2.2 Larynx

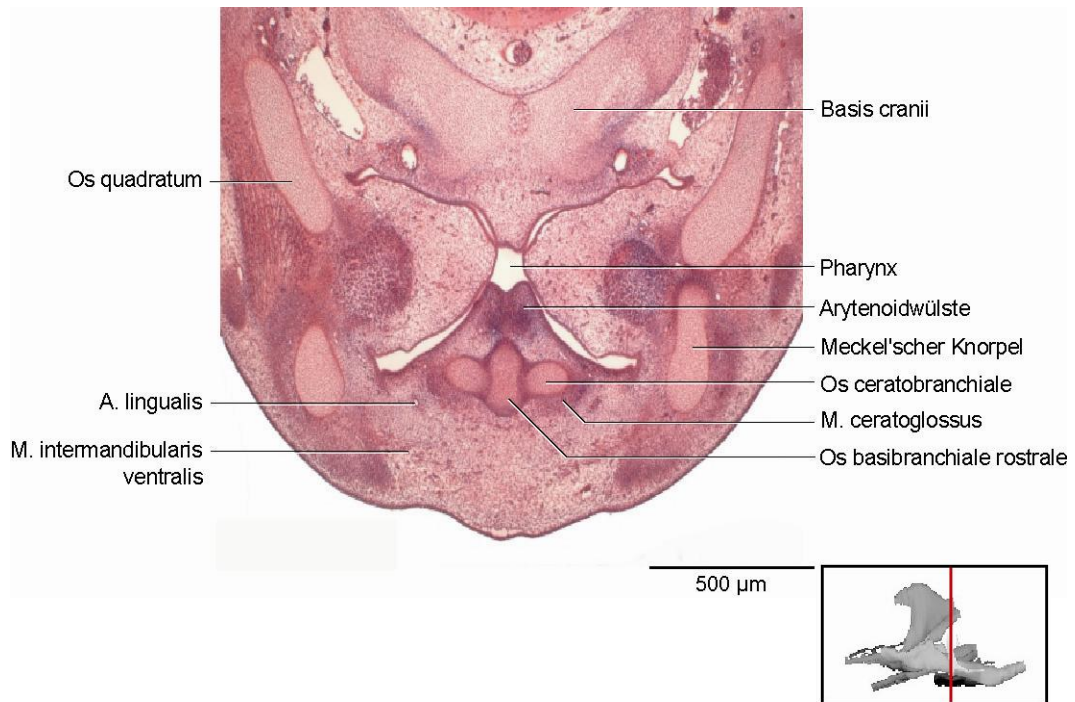


Abb. 19 QUA 57/02, HH32

Frontalschnitt auf Höhe der caudalen Region des Os basibranchiale rostrale.

Die Lage des Schnittes ist durch die rote Markierung in der verkleinerten 3D-Rekonstruktion (vgl. Abb. 14) angegeben.

Die Arytenoidwülste sind in diesem Stadium stark vergrößert. Der Hohlraum des Larynx stellt einen engen Spalt dar. Das Epithel ist verklebt. Knorpelgewebe im Bereich des Larynx ist nicht zu erkennen (**Abb. 19**).

4.3 Wachtelembryo 85/02, HH33

Der Wachtelembryo im Stadium HH33 hat ein Bebrütungsalter von etwa 7,5 - 8 Tagen. Alle Schnitte sind in H. E. gefärbt, die Schnittrichtung ist frontal. Der Höhenabstand zwischen den rekonstruierten Schnitten beträgt 20 - 40 μm .

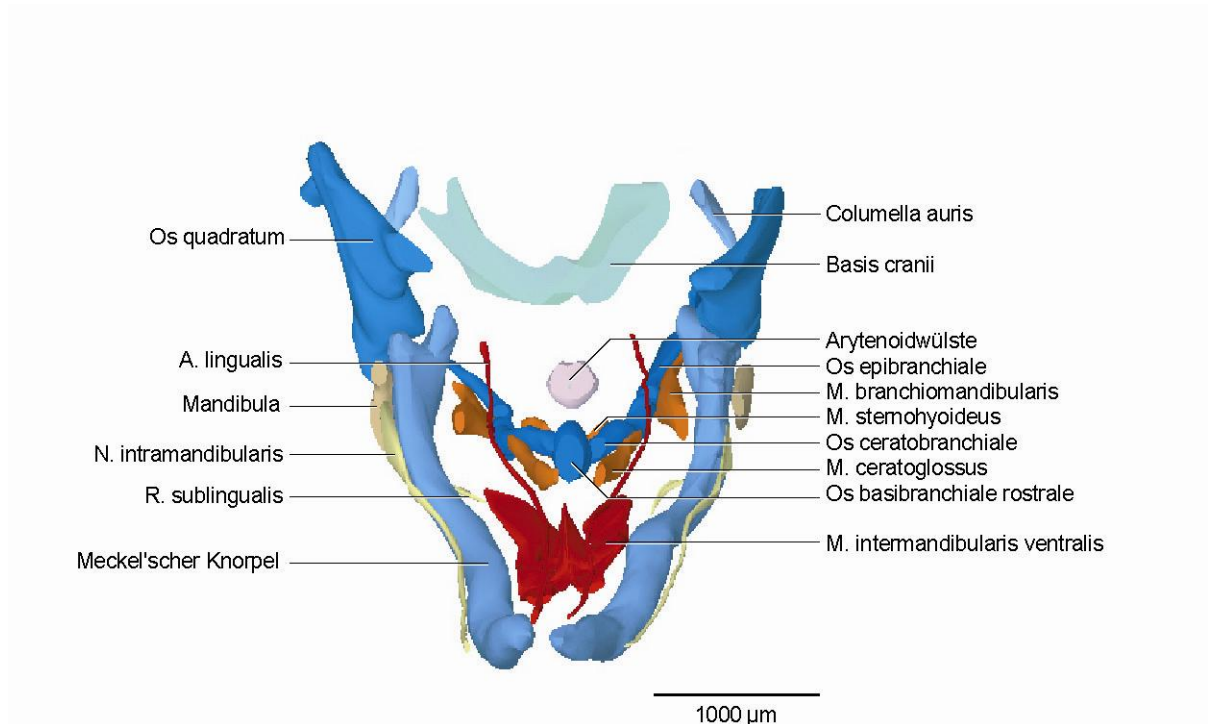


Abb. 20 QUA 85/02, HH33

Meckel'scher Knorpel, Mandibula, knorpelige Anlage des Os quadratum, knorpelige Anlage des Os hyoideum, Zungenbeinmuskulatur und umgebende Strukturen in ihren Lagebeziehungen zueinander.

Schnittserienrekonstruktion in der Ansicht von anterior, 30° cranial.

In den **Abb. 20** und **21** ist ein Wachstum des Meckel'schen Knorpels, des knorpeligen Os hyoideum, des knorpeligen Os quadratum und der Zungenbeinmuskulatur zu erkennen.

Das vordere Drittel des Meckel'schen Knorpels ist nach cranial gekrümmt. Das Os quadratum zeigt vor allem ein Wachstum nach cranial.

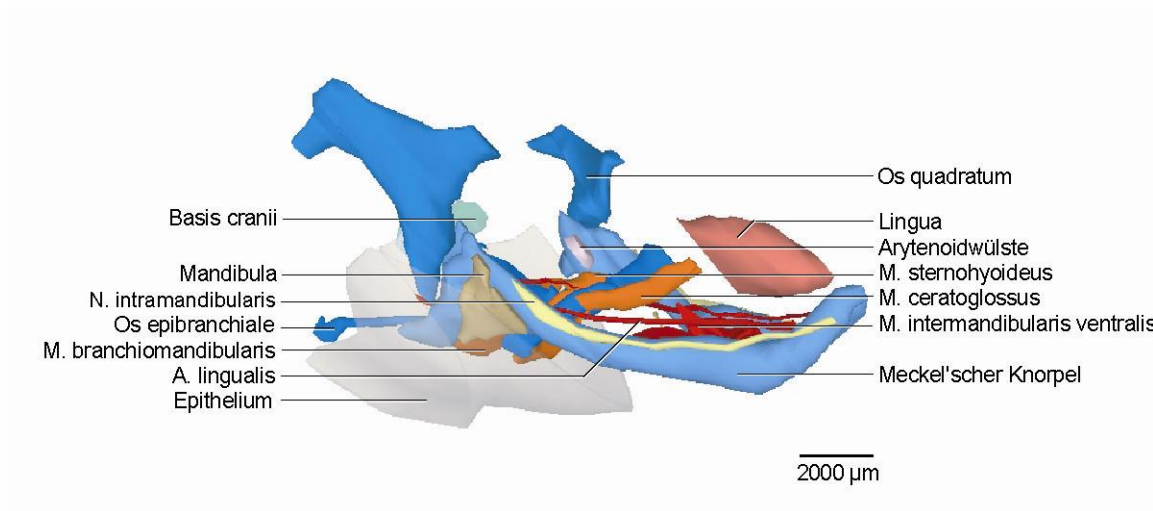


Abb. 21 QUA 85/02, HH33

Meckel'scher Knorpel, Mandibula, knorpelige Anlage des Os quadratum, knorpelige Anlage des Os hyoideum, Zungenbeinmuskulatur und umgebende Strukturen in ihren Lagebeziehungen zueinander.

Schnittserienrekonstruktion in der Ansicht von lateral, 30° frontal, 15° cranial.

Lateral des Meckel'schen Knorpels bildet sich durch desmale Ossifikation im caudalen Drittel der erste Deckknochen aus (**Abb. 20, 21, 27**). Auf die Darstellung der Ossifikation des knorpeligen Os quadratum wurde der Übersicht wegen verzichtet.

4.3.1 Os hyoideum

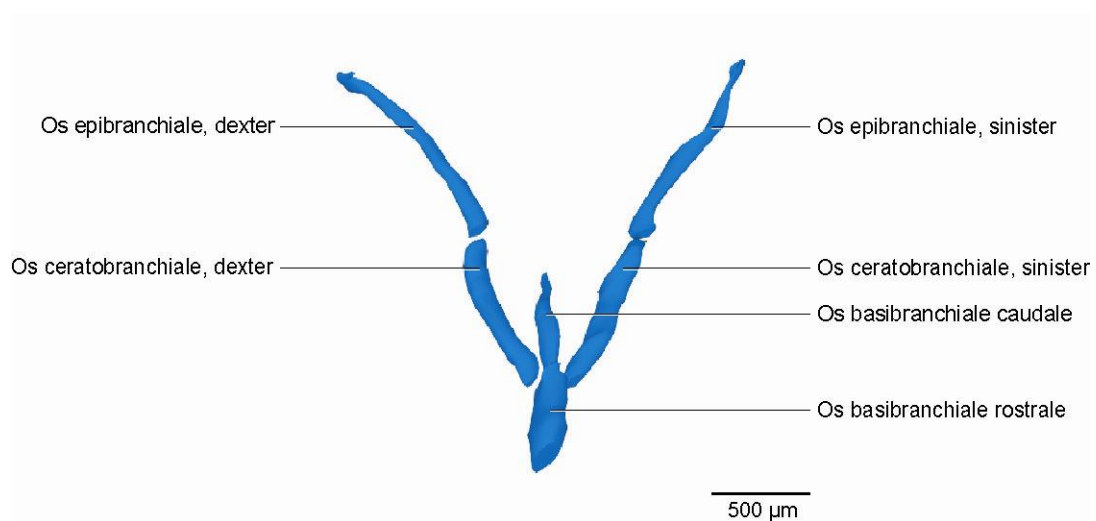


Abb. 22 QUA 85/02, HH33

Knorpelige Anlage des Os hyoideum.

Schnittserienrekonstruktion in der Ansicht von cranial.

Die Cornua branchialia zeigen ein deutliches Längenwachstum (**Abb. 22**). Sie sind schmaler geworden. Der Winkel zwischen ihnen wird größer. Die hakenförmigen Enden der Ossa epibranchialia haben an Größe zugenommen. Die Ossa ceratobranchialia wirken gestreckter, die caudalen Enden sind weniger stark nach cranial gebogen (**Abb. 23**).

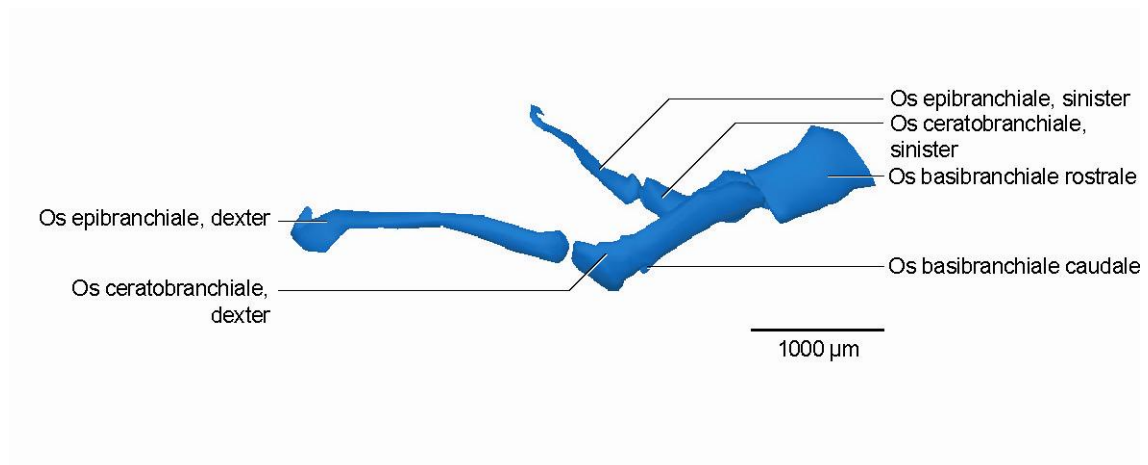


Abb. 23 QUA 85/02, HH33

Knorpelige Anlage des Os hyoideum.

Schnittserienrekonstruktion in der Ansicht von lateral, 30° frontal, 15° cranial.

Das Os entoglossum ist auch in diesem Entwicklungsstadium der Wachtel noch nicht abgrenzbar. Das Längenwachstum der Basibranchialia ist nur gering ausgeprägt.

Das Os basibranchiale caudale endet auf der Höhe des hinteren Drittels der Ossa ceratobranchialia. Die Abwinkelung der Basibranchialia von der Vertikalebene wird deutlicher.

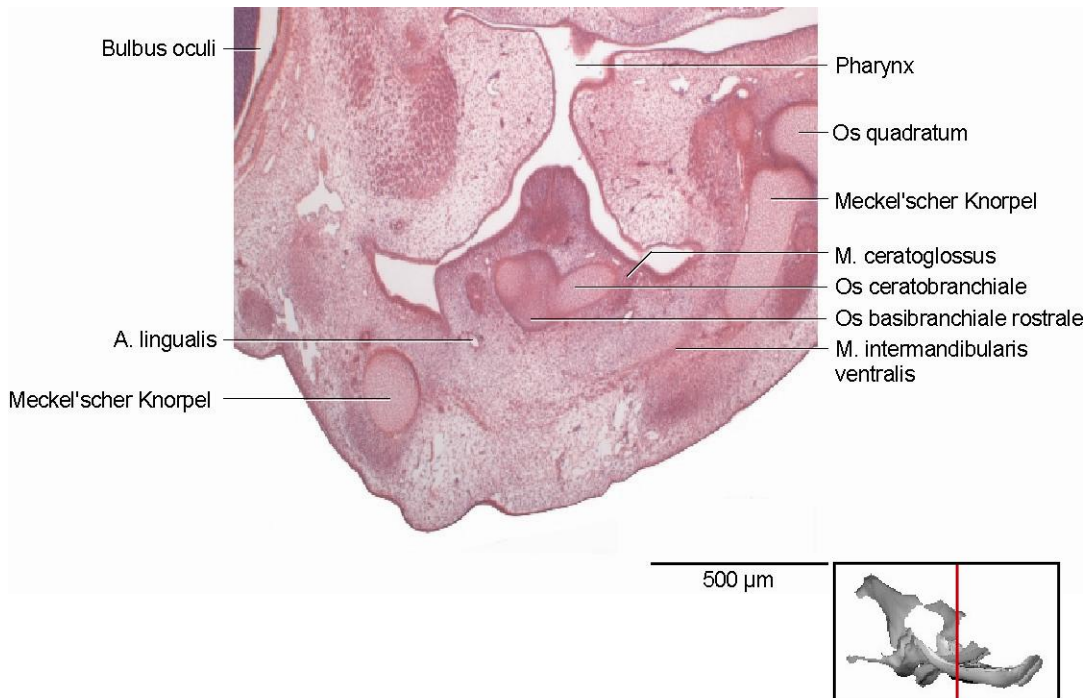


Abb. 24 QUA 85/02, HH33

Frontalschnitt auf Höhe des hinteren Drittels des Os basibranchiale rostrale.
 Aus technischen Gründen weicht die Schnittebene von der Frontalebene etwas ab.
 Die verkleinert dargestellte 3D-Rekonstruktion ist entsprechend rotiert.

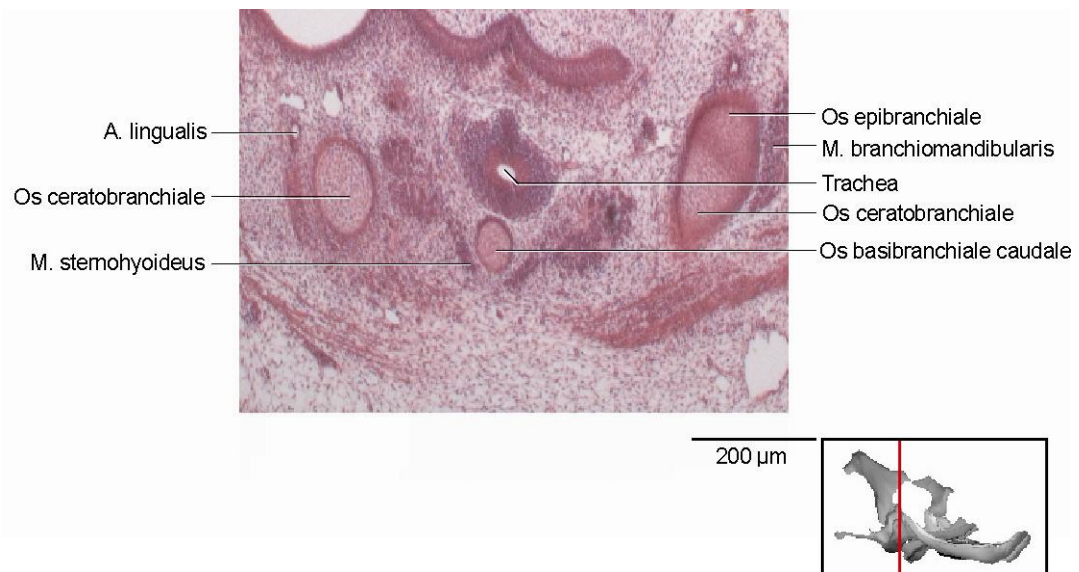


Abb. 25 QUA 85/02, HH33

Frontalschnitt auf Höhe der caudalen Region des Os basibranchiale caudale.

Die **Abb. 24** zeigt das Os basibranchiale rostrale, den Meckel'schen Knorpel mit der Mandibula, die knorpelige Anlage des Os quadratum sowie Teile der Zungenbeinmuskulatur. In der **Abb. 25** wird die Lagebeziehung der Cornua branchialia zum Os basibranchiale caudale deutlich.

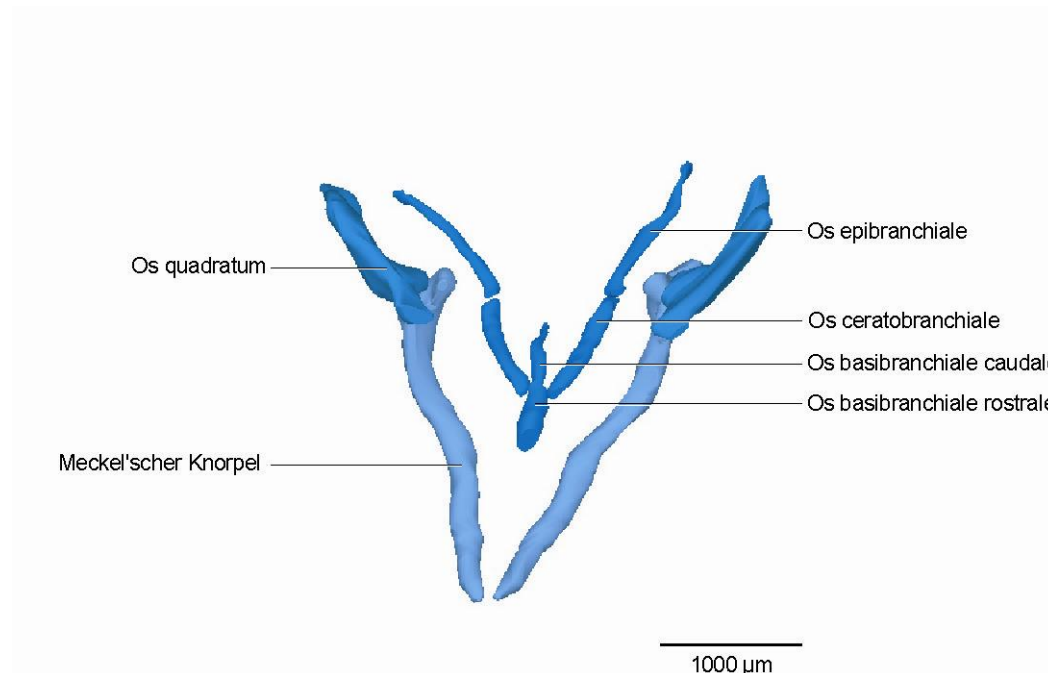


Abb. 26 QUA 85/02, HH33

Knorpelige Anlage des Os hyoideum, Meckel'scher Knorpel, knorpelige Anlage des Os quadratum.

Schnittserienrekonstruktion in der Ansicht von cranial.

Das Os hyoideum und der Meckel'sche Knorpel zeigen weiterhin eine V-förmige Struktur und verlaufen in etwa parallel zueinander (**Abb. 26**).

Das rostrale Ende des Os basibranchiale rostrale befindet sich in Höhe des mittleren Drittels des Meckel'schen Knorpels. Es ist ein deutlicher Längenzuwachs des Meckel'schen Knorpels erkennbar.

4.3.2 Larynx

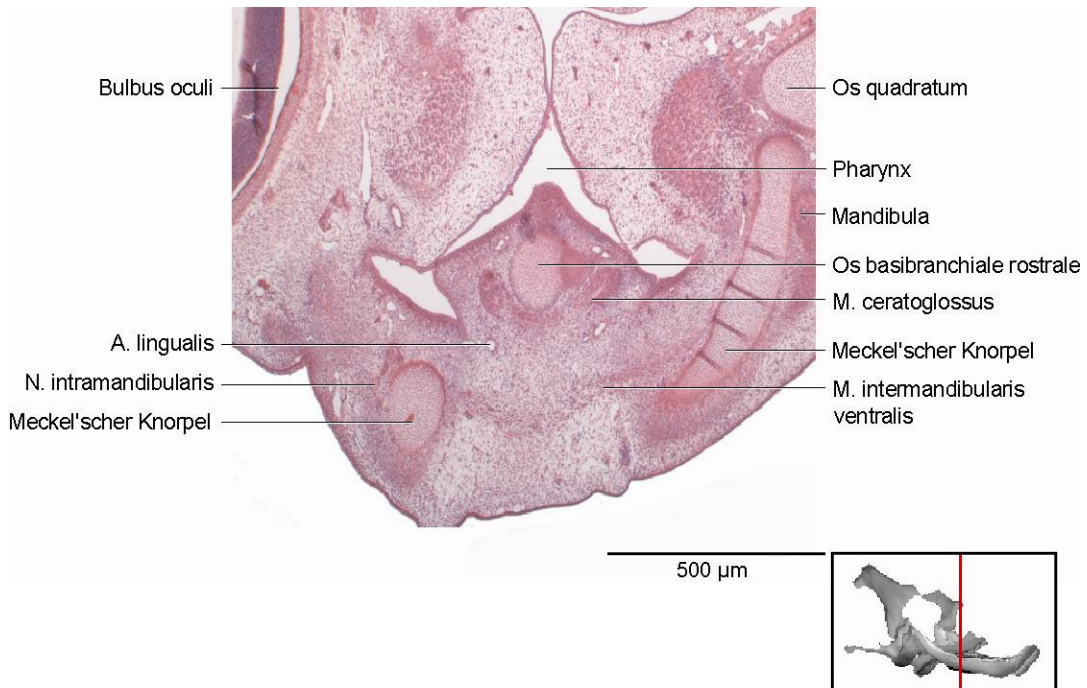


Abb. 27 QUA 85/02, HH33

Frontalschnitt auf Höhe der caudalen Region des Os basibranchiale rostrale.

Immer noch ist der Hohlraum des Larynx mit Epithel verschlossen. Die Arytenoidwülste umgeben weiterhin den Kehlkopfeingang. Knorpelgewebe im Bereich des Larynx ist nicht vorhanden (**Abb. 27**).

4.4 Wachtelembryo 87/02, HH35

Der Wachtelembryo im Stadium HH35 hat ein Bebrütungsalter von etwa 8 - 9 Tagen. Alle Schnitte sind in H. E. gefärbt, die Schnittrichtung ist frontal. Der Höhenabstand zwischen den rekonstruierten Schnitten beträgt 10 - 60 µm.

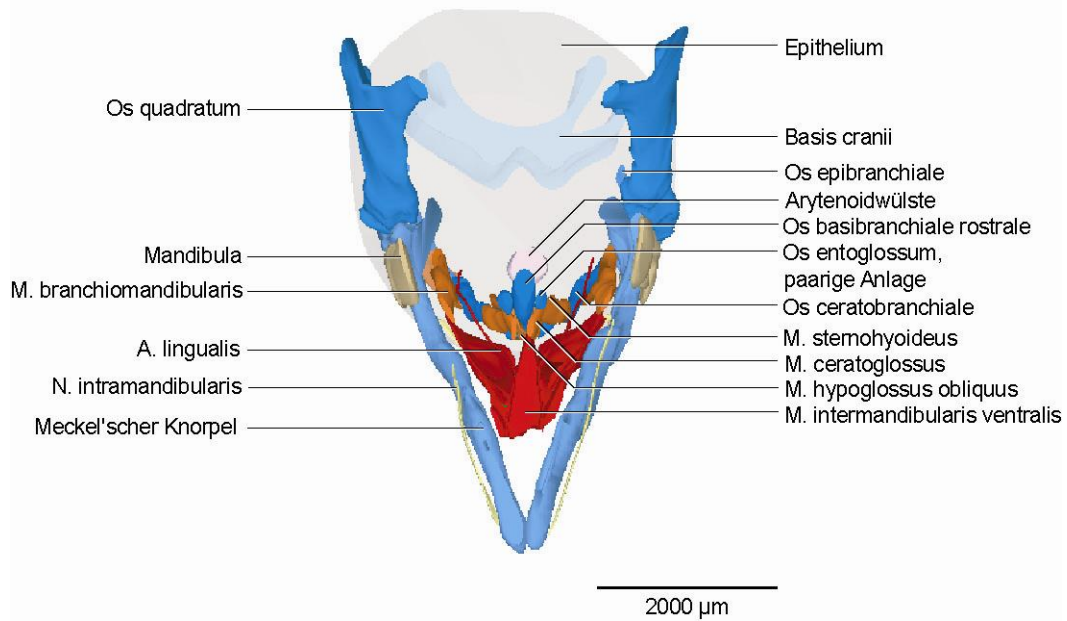


Abb. 28 QUA 87/02, HH35

Meckel'scher Knorpel, Mandibula, knorpelige Anlage des Os quadratum, knorpelige Anlage des Os hyoideum, Zungenbeinmuskulatur und umgebende Strukturen in ihren Lagebeziehungen zueinander. Schnittserienrekonstruktion in der Ansicht von anterior, 45° cranial.

Die Ossifikation lateral des Meckel'schen Knorpels schreitet nach cranial und rostral voran. Die Neigung des rostralen Drittels des Meckel'schen Knorpels nach cranial ist nicht mehr zu beobachten (**Abb. 28** und **29**).

Die zur Zungenbeinmuskulatur gehörenden Muskeln, M. intermandibularis ventralis, M. branchiomandibularis, M. sternohyoideus, M. ceratoglossus und erstmals der M. hypoglossus obliquus, sind zu erkennen.

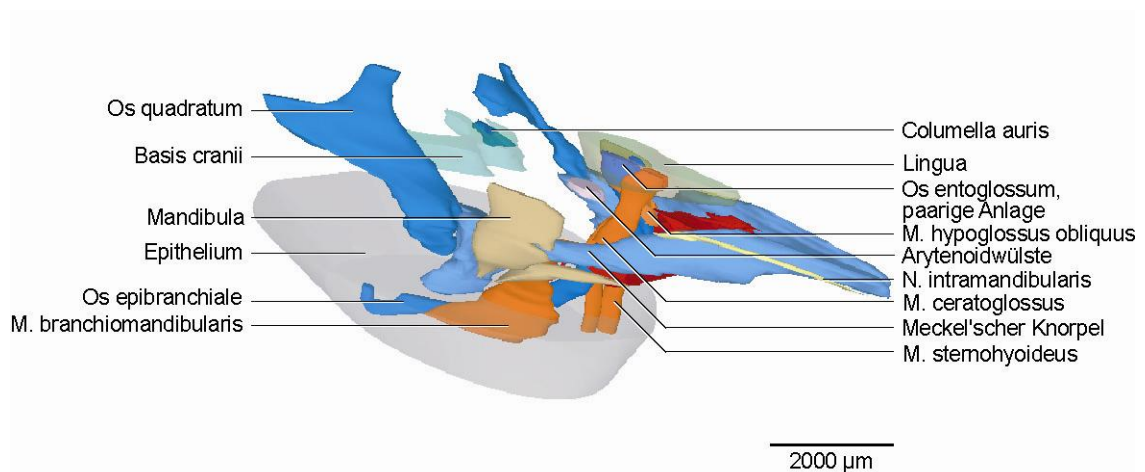


Abb. 29 QUA 87/02, HH35

Meckel'scher Knorpel, Mandibula, knorpelige Anlage des Os quadratum, knorpelige Anlage des Os hyoideum, Zungenbeinmuskulatur und umgebende Strukturen in ihren Lagebeziehungen zueinander. Schnittserienrekonstruktion in der Ansicht von lateral, 30° frontal, 15° cranial.

4.4.1 Os hyoideum

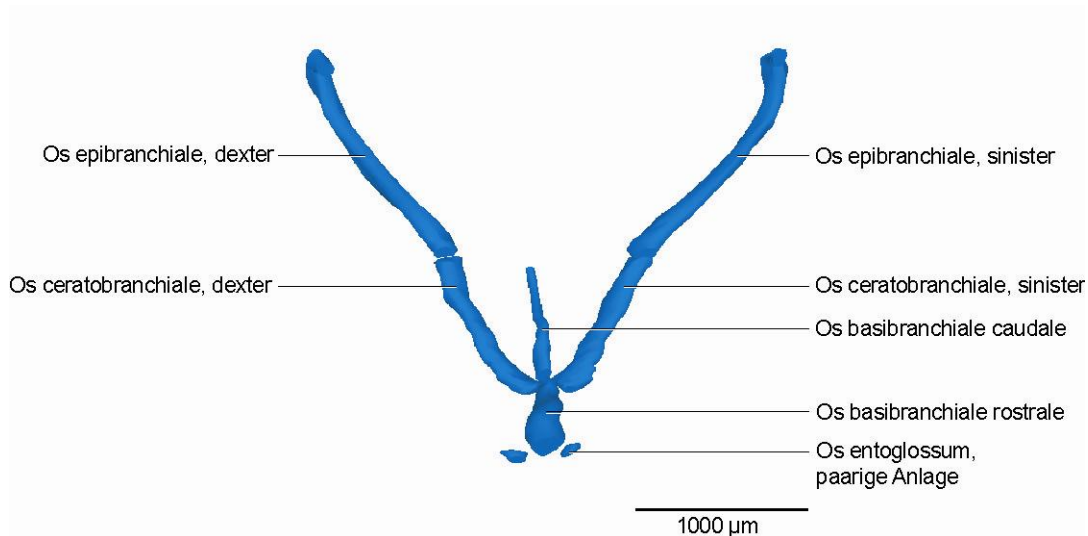


Abb. 30 QUA 87/02, HH35

Knorpelige Anlage des Os hyoideum.

Schnittserienrekonstruktion in der Ansicht von cranial.

In diesem Entwicklungsstadium des Wachtelembryos ist eine wesentliche Veränderung des Os hyoideum nachzuweisen: rostral des Os basibranchiale rostrale ist die paarige knorpelige Anlage des Os entoglossum zu erkennen (**Abb. 30** und **31**).

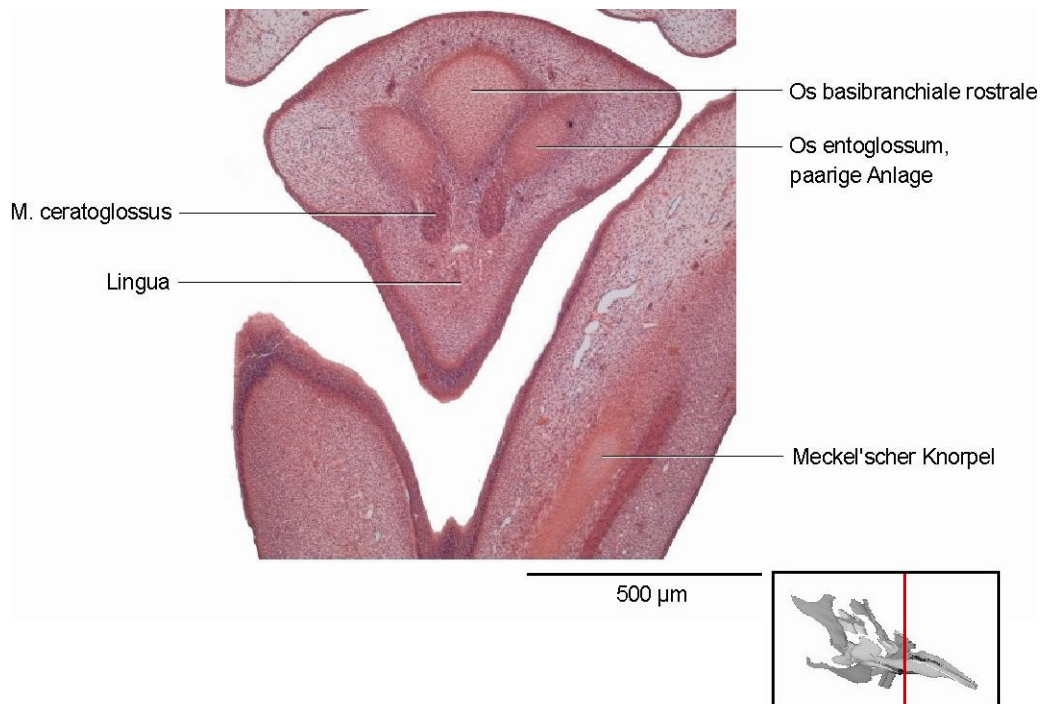


Abb. 31 QUA 87/02, HH35

Frontalschnitt auf Höhe des Os entoglossum.

Die **Abb. 31** macht die enge Lagebeziehung der paarigen Anlage des Os entoglossum mit dem Os basibranchiale rostrale deutlich sowie deren Lage in der Zunge des Wachtelembryos.

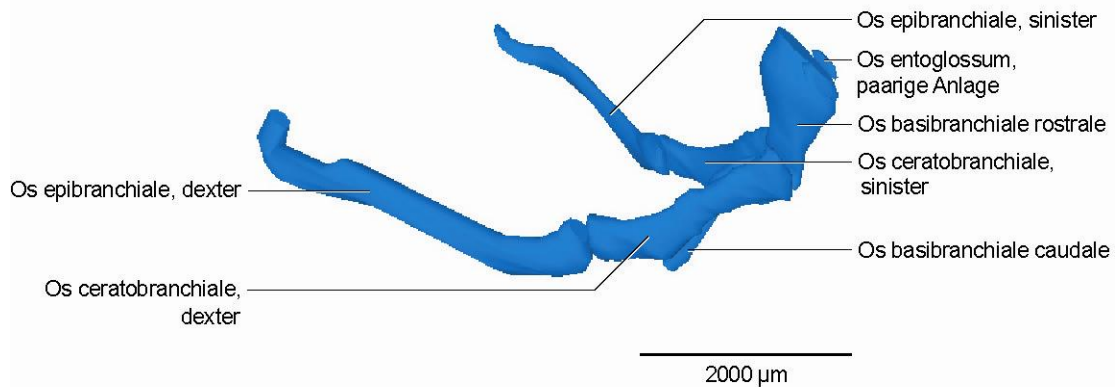


Abb. 32 QUA 87/02, HH35

Knorpelige Anlage des Os hyoideum.

Schnittserienrekonstruktion in der Ansicht von lateral, 30° frontal, 15° cranial.

Das Os basibranchiale caudale hat an Länge zugenommen. Das Längenwachstum des Os basibranchiale rostrale ist deutlich geringer ausgebildet. Das rostrale Ende ist stark verdickt, während das caudale Ende schlanker geworden ist (**Abb. 32**). Auffällig ist die starke Neigung nach cranial. Die zunehmende Abwinkelung der Basibranchialia von der Vertikalebene ist zu erkennen.

Auch die Cornua branchialia zeigen ein Längenwachstum, wobei dies bei den Ossa epibranchialia im stärkeren Maße ausgeprägt ist. Die hakenförmigen Enden der Ossa epibranchialia öffnen sich nach cranial. Die Cornua branchialia sind deutlich stärker gebogen als noch im vorigen Entwicklungsstadium der Wachtel.

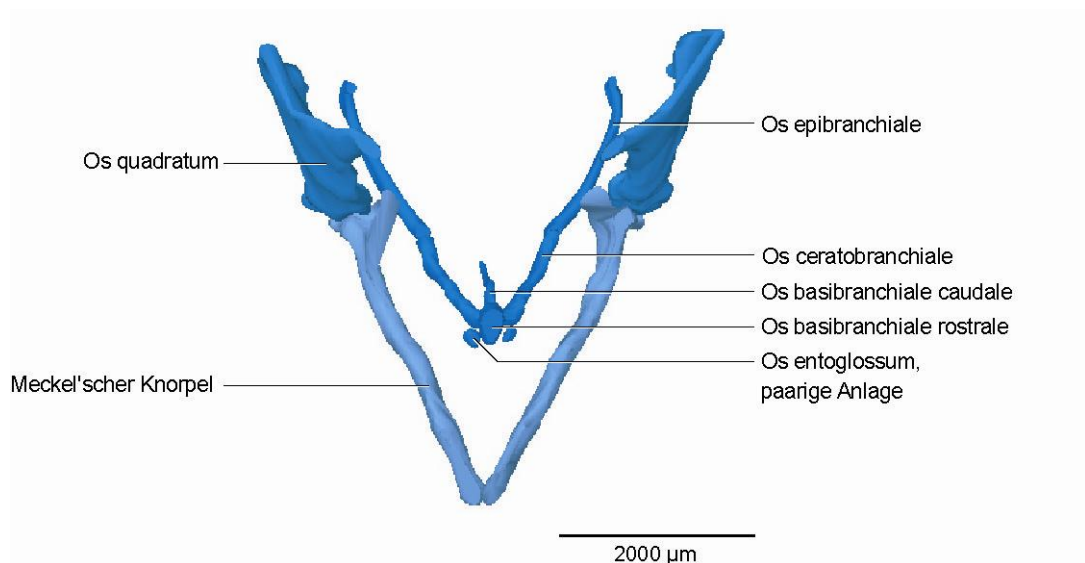


Abb. 33 QUA 87/02, HH35
Knorpelige Anlage des Os hyoideum, Meckel'scher Knorpel, knorpelige Anlage des Os quadratum.
Schnittserienrekonstruktion in der Ansicht von cranial.

Der Winkel zwischen den Cornua branchialia hat sich vergrößert. Der Meckel'sche Knorpel und das Os hyoideum verlaufen auch weiterhin in etwa parallel (**Abb. 33**).

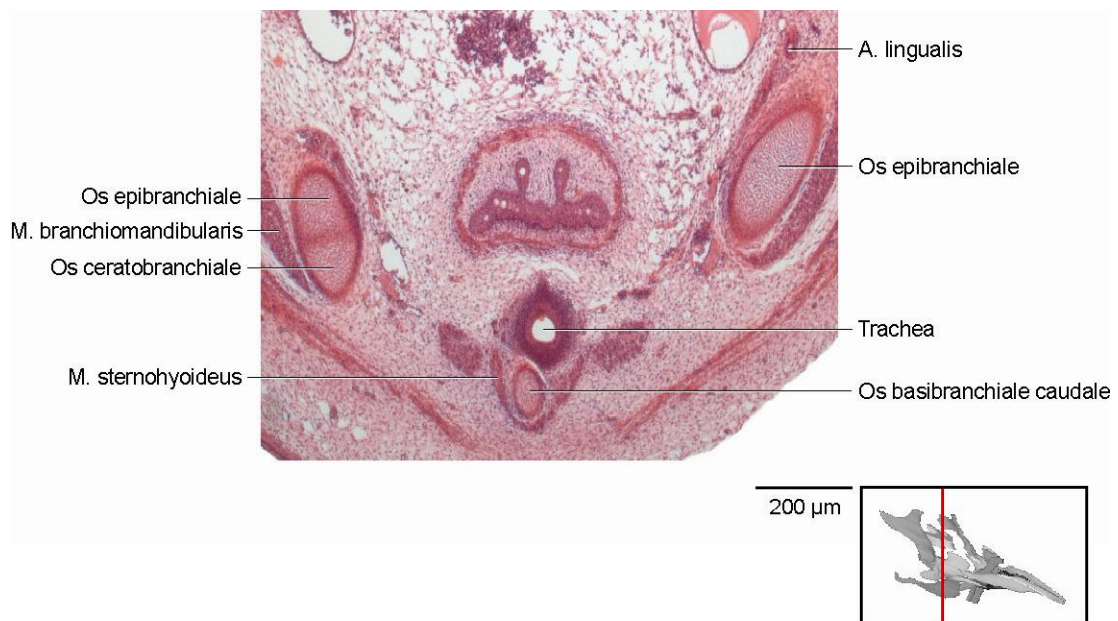


Abb. 34 QUA 87/02, HH35
Frontalschnitt auf Höhe der caudalen Region des Os basibranchiale caudale.

Die **Abb. 34** im Frontalschnitt stellt die Cornua branchialia, das Os basibranchiale caudale und Teile der Zungenbeinmuskulatur dar.

4.4.2 Larynx

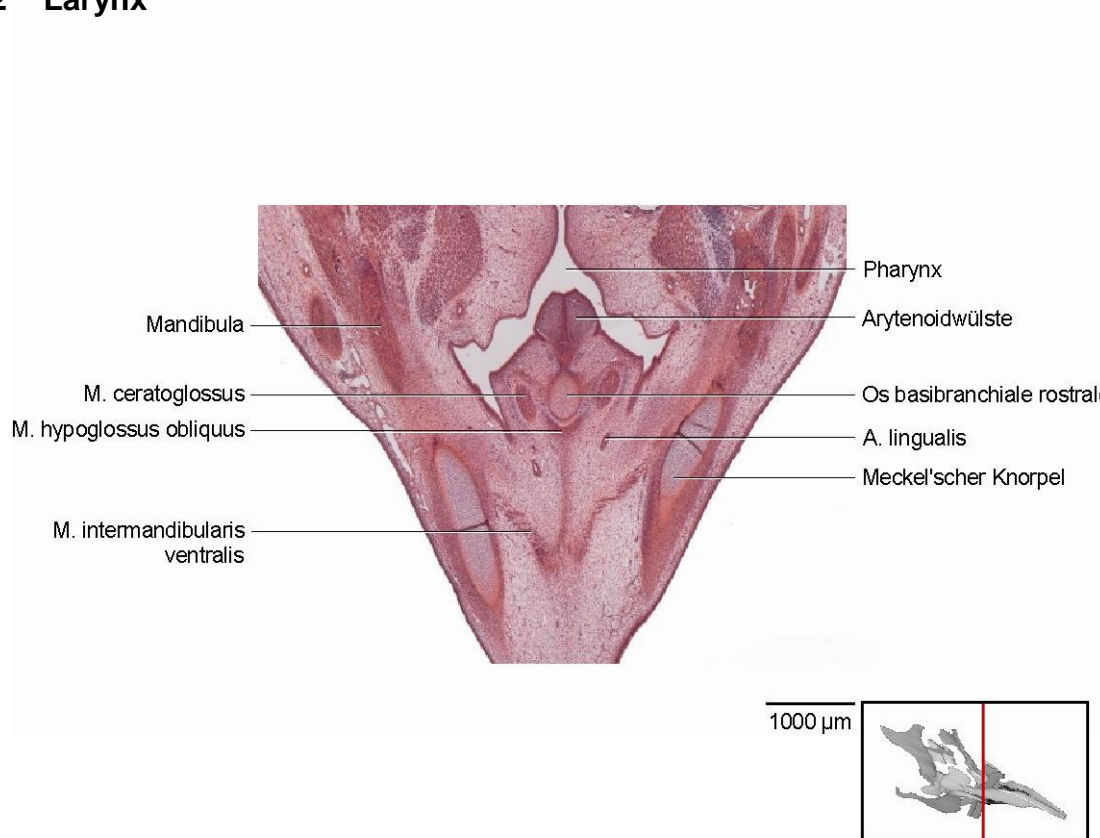


Abb. 35 QUA 87/02, HH35

Frontalschnitt auf Höhe der mittleren Region des Os basibranchiale rostrale.

Im Bereich des Larynx stellen sich auch in diesem Entwicklungsstadium der Wachtel keine wesentlichen Änderungen ein.

Die Arytenoidwülste umgeben den Kehlkopfeingang. Knorpelgewebe ist im Bereich des Larynx nicht erkennbar (**Abb. 35**).

4.5 Wachtelembryo 39/01, HH36

Der Wachtelembryo im Stadium HH36 hat ein Bebrütungsalter von etwa 10 Tagen. Alle Schnitte sind in H. E. gefärbt, die Schnittrichtung ist sagittal. Der Höhenabstand zwischen den zur Rekonstruktion herangezogenen Schnitten beträgt 10 - 60 μm .

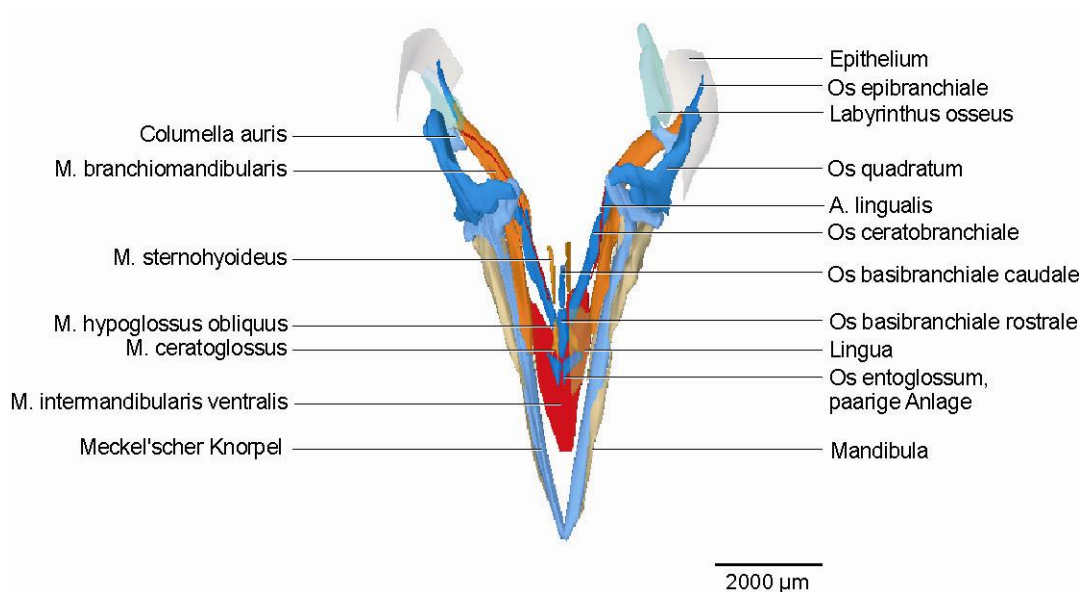


Abb. 36 QUA 39/01, HH36

Meckel'scher Knorpel, Mandibula, knorpelige Anlage des Os quadratum, knorpelige Anlage des Os hyoideum, Zungenbeinmuskulatur und umgebende Strukturen in ihren Lagebeziehungen zueinander. Schnittserienrekonstruktion in der Ansicht von anterior, 65° cranial.

Der Meckel'sche Knorpel stellt sich als lange, schlanke Struktur dar. Die Ossifikation beschränkt sich nicht mehr nur auf den lateralen Bereich des Meckel'schen Knorpels, sondern schreitet circular voran (**Abb. 36, 37 und 41**).

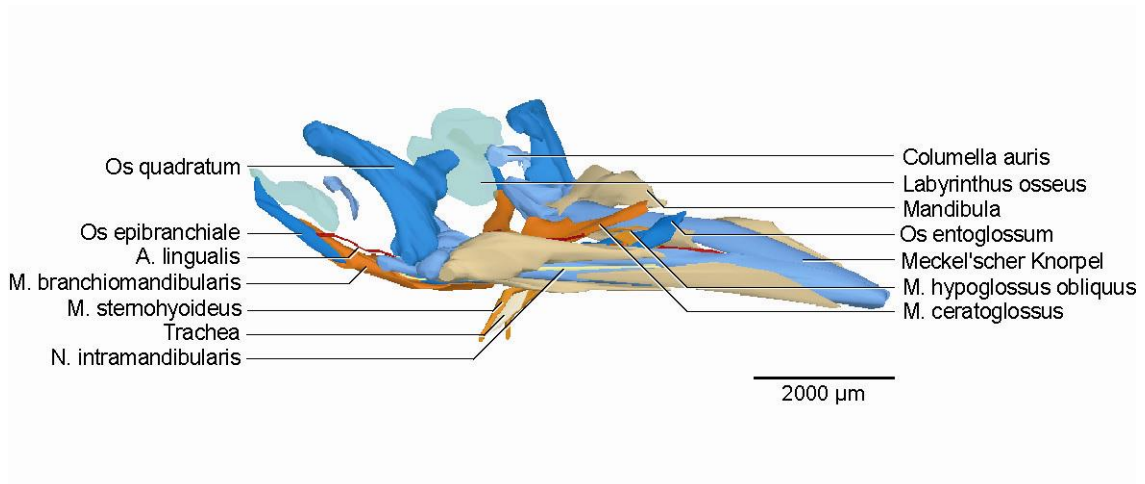


Abb. 37 QUA 39/01, HH36

Meckel'scher Knorpel, Mandibula, knorpelige Anlage des Os quadratum, knorpelige Anlage des Os hyoideum, Larynx, Zungenbeinmuskulatur und umgebende Strukturen in ihren Lagebeziehungen zueinander.

Schnittserienrekonstruktion in der Ansicht von lateral, 30° frontal, 15° cranial.

4.5.1 Os hyoideum

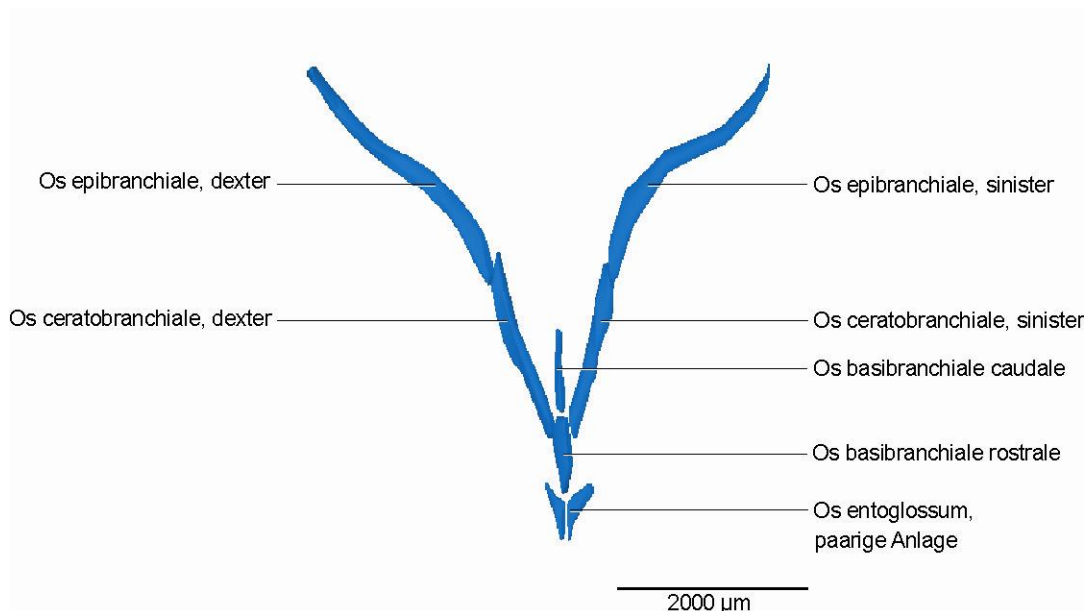


Abb. 38 QUA 39/01, HH36

Knorpelige Anlage des Os hyoideum.

Schnittserienrekonstruktion in der Ansicht von cranial.

Deutlich wird der stark ausgeprägte Längenzuwachs der Cornua branchialia. Die Ossa epibranchialia zeigen keine hakenförmigen Enden mehr. Der Winkel, den die Ossa epibranchialia miteinander bilden, wird größer (**Abb. 38**).

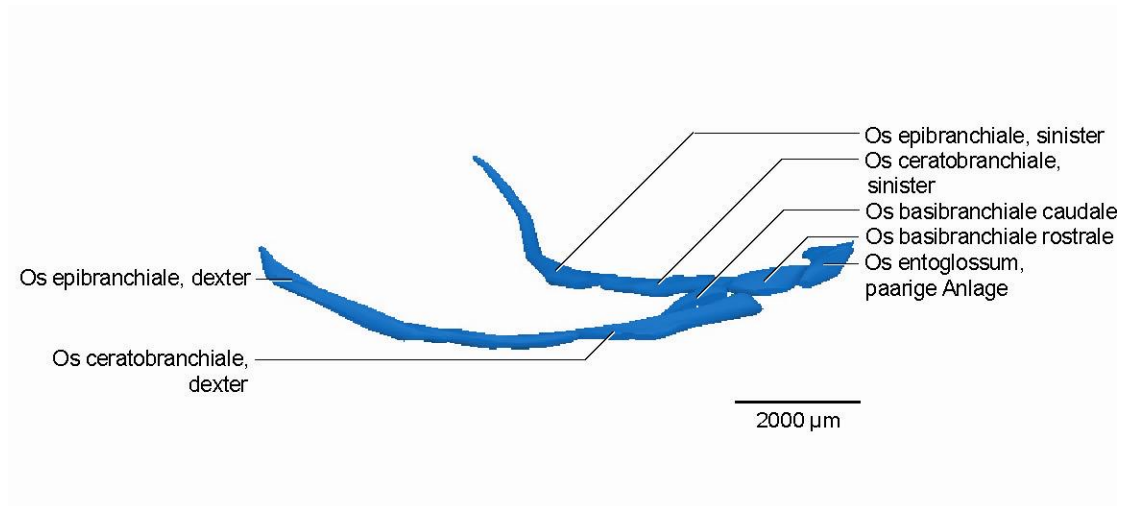


Abb. 39 QUA 39/01, HH36
Knorpelige Anlage des Os hyoideum.
Schnittserienrekonstruktion in der Ansicht von lateral, 30° frontal, 15° cranial.

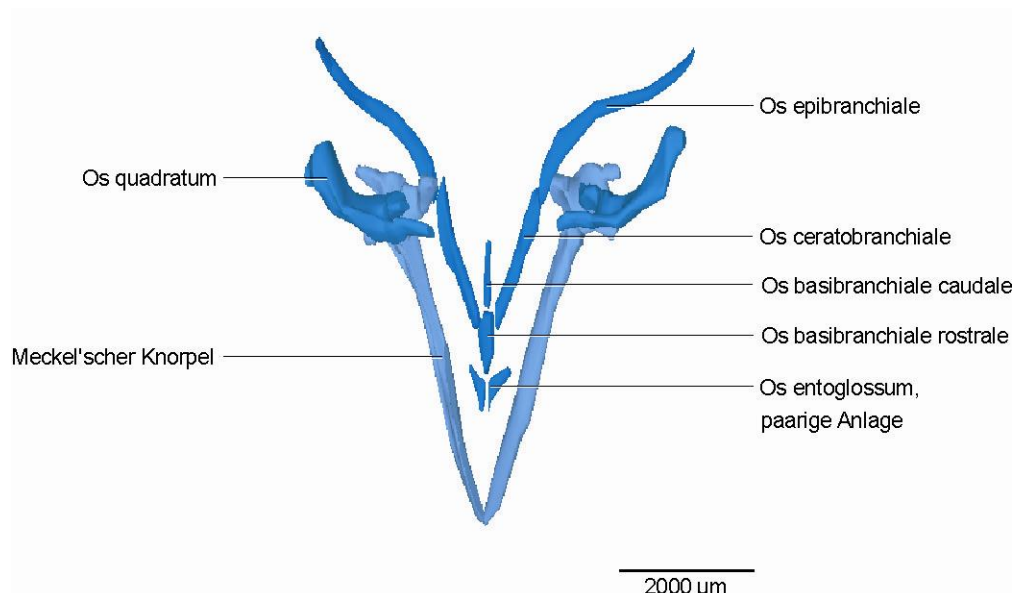


Abb. 40 QUA 39/01, HH36
Knorpelige Anlage des Os hyoideum, Meckel'scher Knorpel, knorpelige Anlage des Os quadratum.
Schnittserienrekonstruktion in der Ansicht von cranial.

Das Os entoglossum liegt rostral vom Os basibranchiale rostrale und noch als paarige Anlage vor. Nach caudal sind Hörner gerichtet, rostral endet die paarige Anlage spitz. Das Os basibranchiale rostrale ist schmaler geworden (**Abb. 39** und **40**).

Das Längenwachstum des Meckel'schen Knorpels liegt hinter dem des Os hyoideum. Der Winkel, den die Ossa ceratobranchialia und auch die Schenkel des Meckel'schen Knorpels miteinander bilden, wird spitzer (**Abb. 40**).

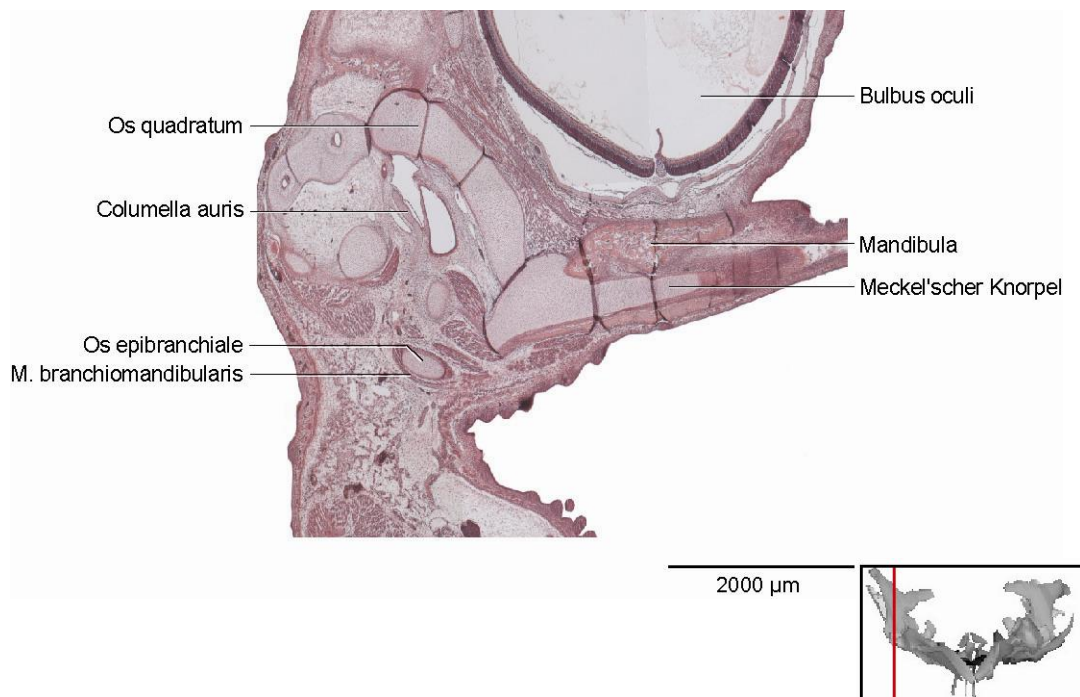


Abb. 41 QUA 39/01, HH36
Sagittalschnitt auf Höhe der Columella auris.

4.5.2 Larynx

In diesem Stadium ist erstmals beim Wachtelembryo Trachealknorpel zu erkennen. Die Arytenoidwülste sind immer noch stark vergrößert. Der Hohlraum des Larynx stellt weiterhin einen engen Spalt dar. Knorpelgewebe im Bereich des Larynx ist nicht ausgebildet (**Abb. 42**).

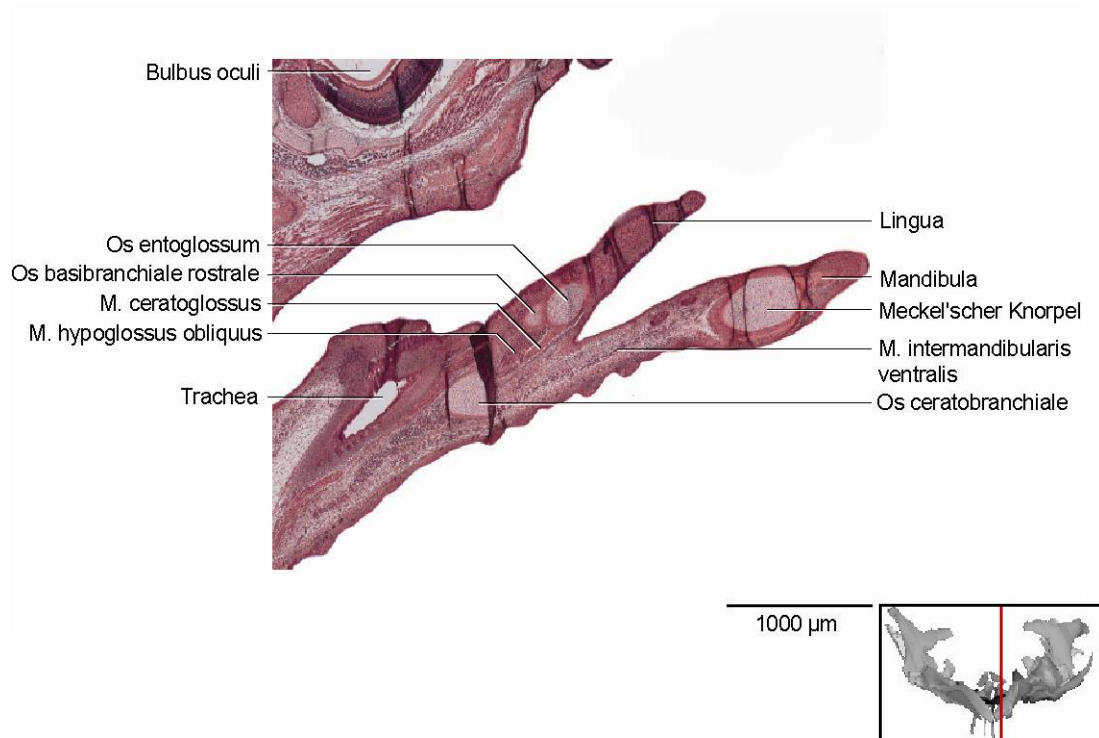


Abb. 42 QUA 39/01, HH36
Sagittalschnitt auf Höhe des Os entoglossum.

4.6 Wachtelembryo 40/01, HH38

Der Wachtelembryo im Stadium HH38 hat ein Bebrütungsalter von etwa 12 Tagen. Alle Schnitte sind in H. E. gefärbt, die Schnittrichtung ist horizontal. Der Höhenabstand zwischen den rekonstruierten Schnitten beträgt 10 - 60 μm .

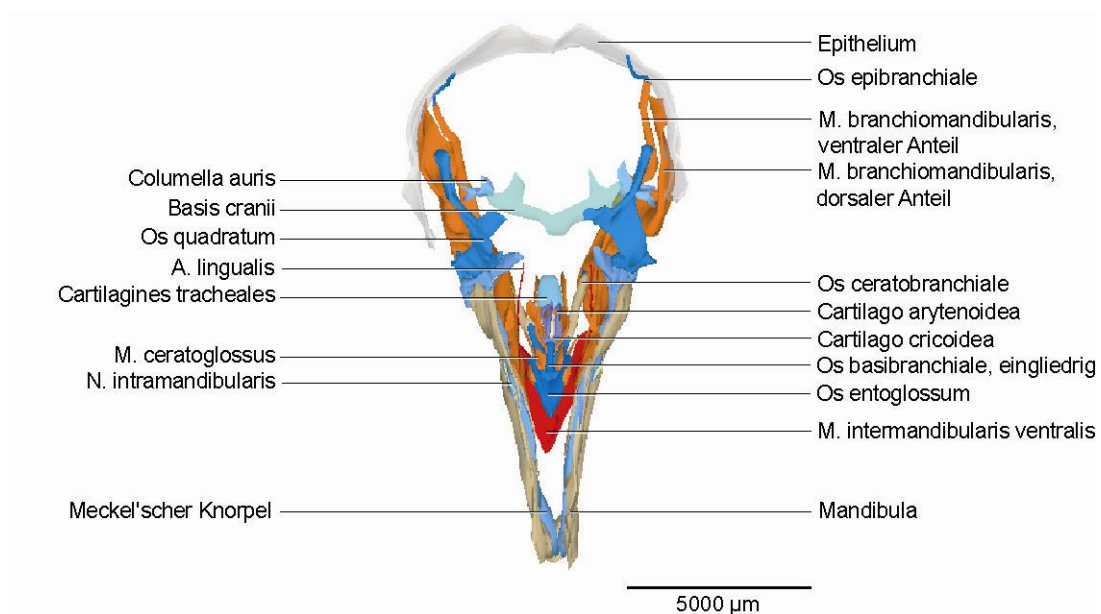


Abb. 43 QUA 40/01, HH38

Meckel'scher Knorpel, Mandibula, knorpelige Anlage des Os quadratum, knorpelige Anlage des Os hyoideum, knorpelige Anlage des Larynx, Zungenbeinmuskulatur und umgebende Strukturen in ihren Lagebeziehungen zueinander.

Schnittserienrekonstruktion in der Ansicht von anterior, 75° cranial.

Mit Hilfe des Epithels, das auf den occipitalen Bereich begrenzt dargestellt ist, wird deutlich, dass die Cornua branchialia sich dem Hirnschädel seitlich anlegen (**Abb. 43** und **44**). Sie sind nicht mit dem Schädelknochen verbunden, was sich im histologischen Befund zeigt. In den Schnittserienrekonstruktionen wurde der Schädelknochen nicht mit dargestellt.

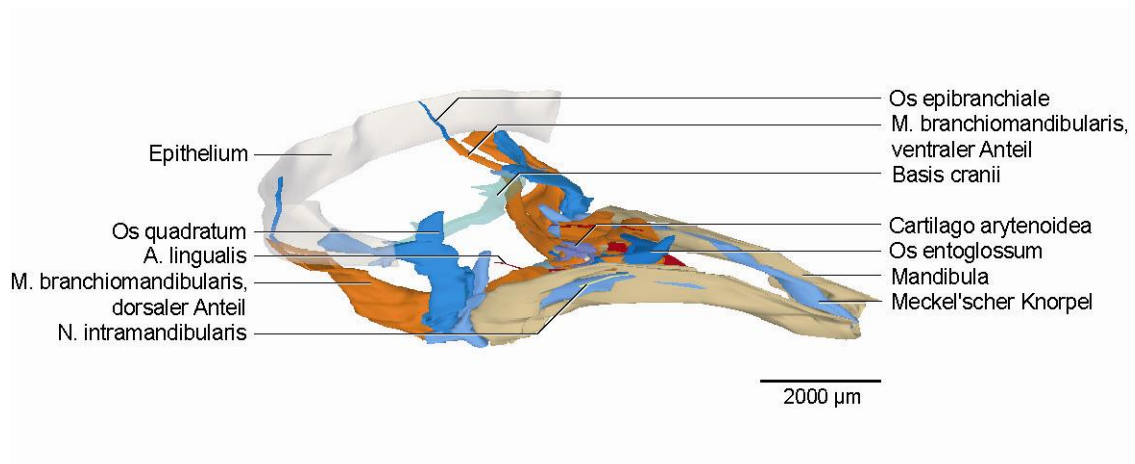


Abb. 44 QUA 40/01, HH38

Meckel'scher Knorpel, Mandibula, knorpelige Anlage des Os quadratum, knorpelige Anlage des Os hyoideum, knorpelige Anlage des Larynx, Zungenbeinmuskulatur und umgebende Strukturen in ihren Lagebeziehungen zueinander.

Schnittserienrekonstruktion in der Ansicht von lateral, 30° frontal, 30° cranial.

4.6.1 Os hyoideum

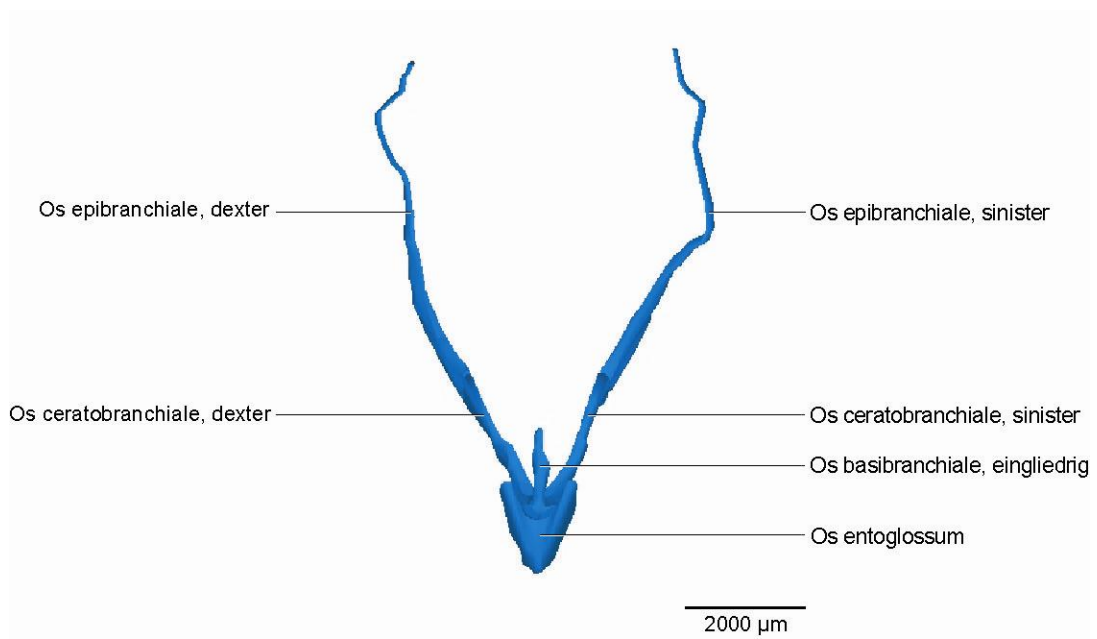


Abb. 45 QUA 40/01, HH38

Knorpelige Anlage des Os hyoideum.

Schnittserienrekonstruktion in der Ansicht von cranial.

Eine wesentliche Veränderung wird am Os entoglossum deutlich. Die paarigen Anlagen sind fusioniert. Rostral, zum Basibranchiale hin, befindet sich eine Einziehung (**Abb. 46**). Das Os entoglossum ist pfeilartig spitz mit zwei nach caudal gerichteten Cornua. Eine zentrale Öffnung ist nicht zu erkennen (**Abb. 45**).

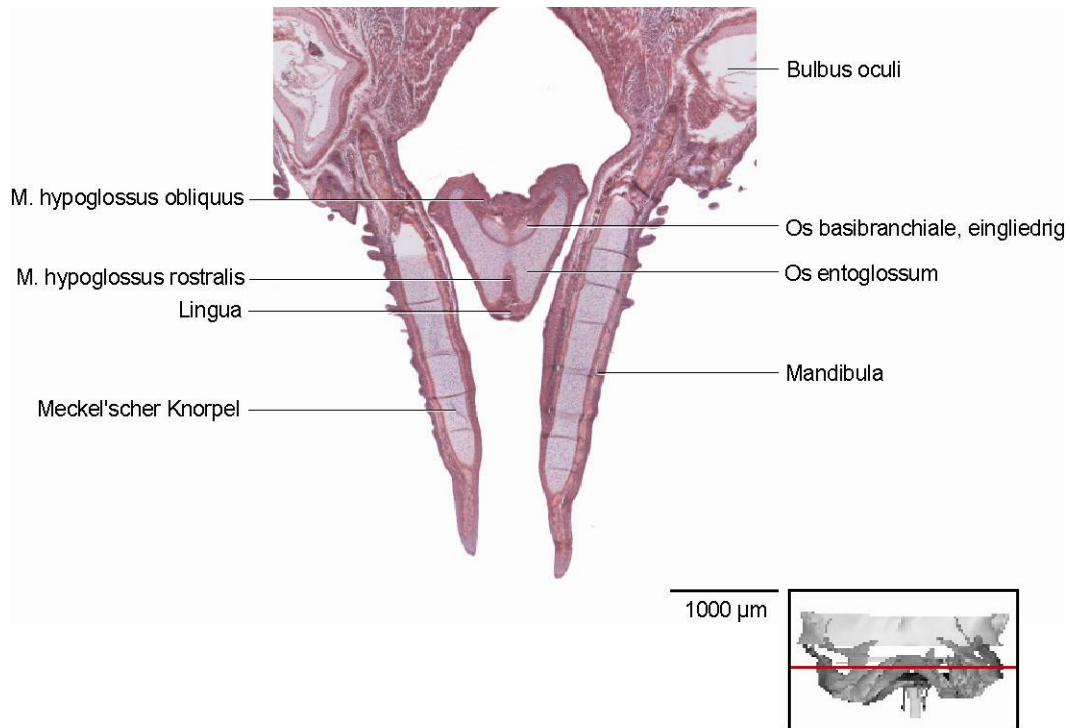


Abb. 46 QUA 40/01, HH38
Horizontalschnitt auf Höhe des Os entoglossum.

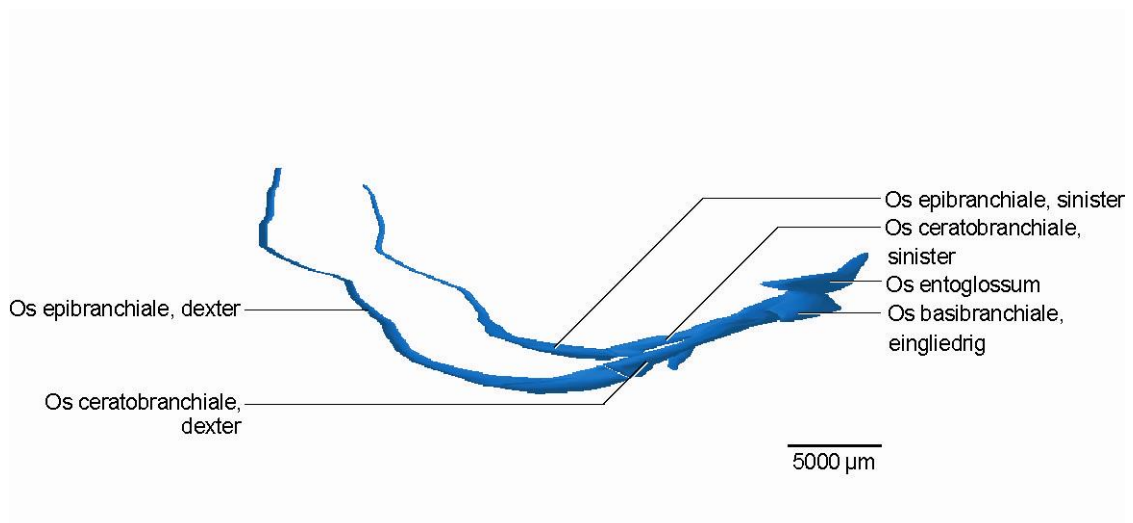


Abb. 47 QUA 40/01, HH38
Knorpelige Anlage des Os hyoideum.
Schnittserienrekonstruktion in der Ansicht von lateral, 30° frontal, 15° cranial.

Eine weitere Veränderung zeigt sich am bisher zweigliedrigen Basibranchiale. Das Os basibranchiale rostrale und das Os basibranchiale caudale sind fusioniert (**Abb. 45** und **47**). Im Bereich der Fusionsstelle beider anatomischen Strukturen ist eine Einziehung zu beobachten.

Das eingliedrige Basibranchiale endet caudal spitz auf Höhe der hinteren Hälfte der Ossa ceratobranchialia. Rostral weist es eine Verdickung auf. Cranial davon befindet sich das Os entoglossum (**Abb. 47** und **48**). Das eingliedrige Basibranchiale ist in der Vertikalebene abgewinkelt. Das Längenwachstum der Ossa epibranchialia ist am stärksten ausgeprägt. Sie sind bereits mehr als doppelt so lang wie die Ossa ceratobranchialia. Die Cornua branchialia sind stark gebogen.

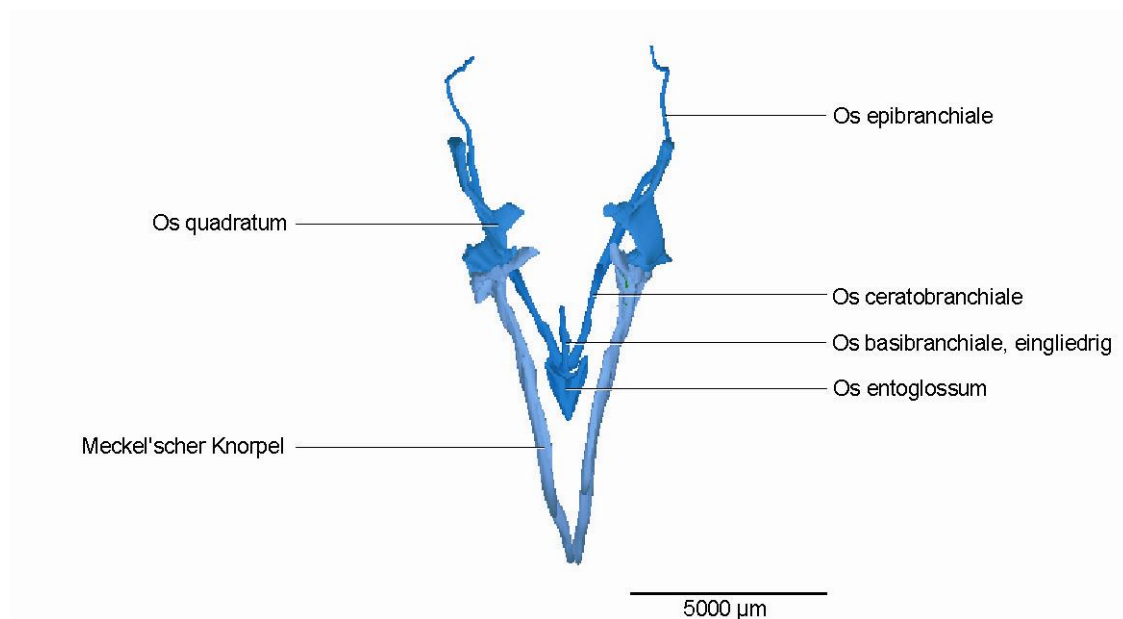


Abb. 48 QUA 40/01, HH38
Knorpelige Anlage des Os hyoideum, Meckel'scher Knorpel, knorpelige Anlage des Os quadratum.
Schnittserienrekonstruktion in der Ansicht von cranial.

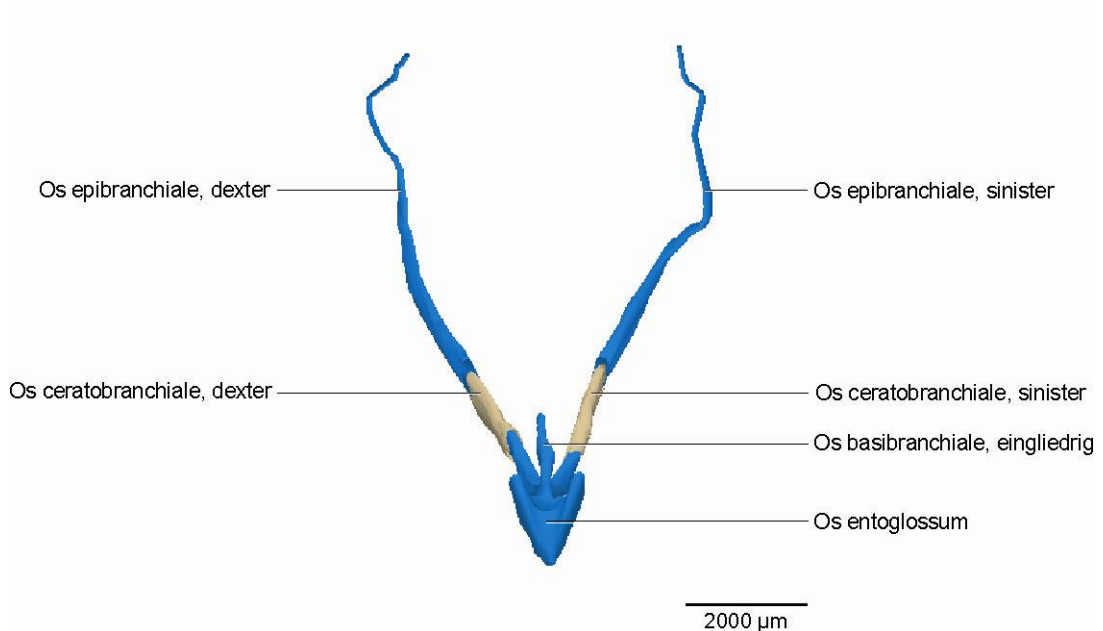


Abb. 49 QUA 40/01, HH38

Knorpelige Anlage des Os hyoideum mit beginnender chondraler Ossifikation der Ossa ceratobranchialia.
Schnittserienrekonstruktion in der Ansicht von cranial.

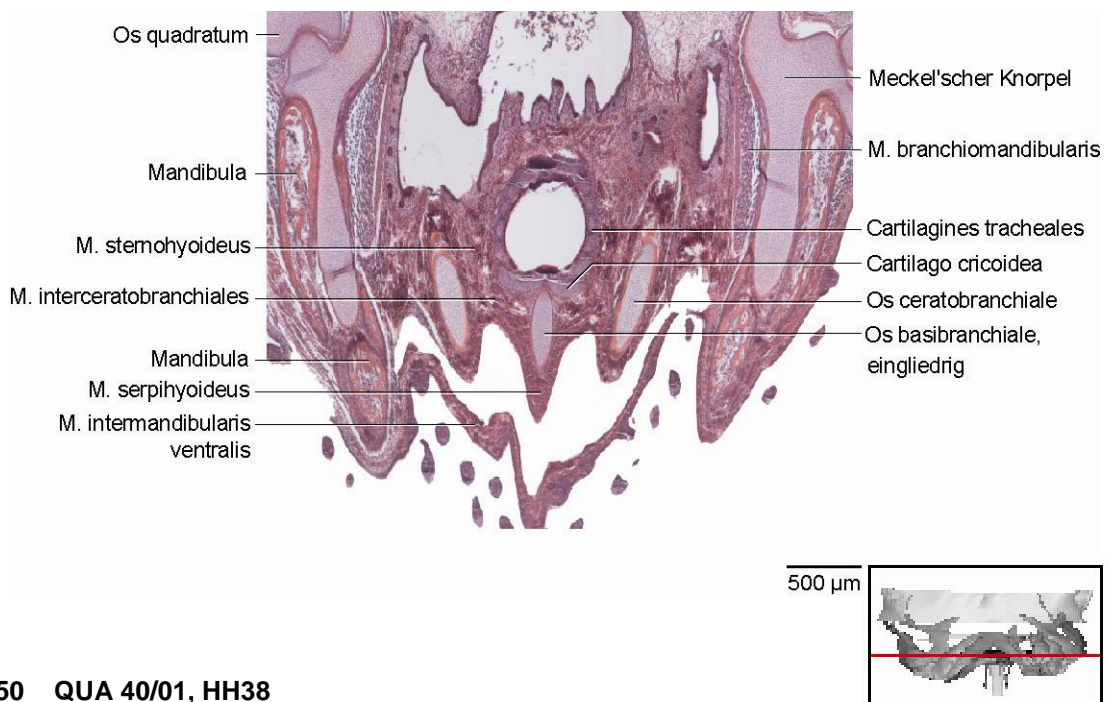


Abb. 50 QUA 40/01, HH38

Horizontalschnitt auf Höhe der Ossa ceratobranchialia.

In den **Abb. 49** und **50** ist die beginnende chondrale Ossifikation an den Ossa ceratobranchialia des Os hyoideum zu erkennen.

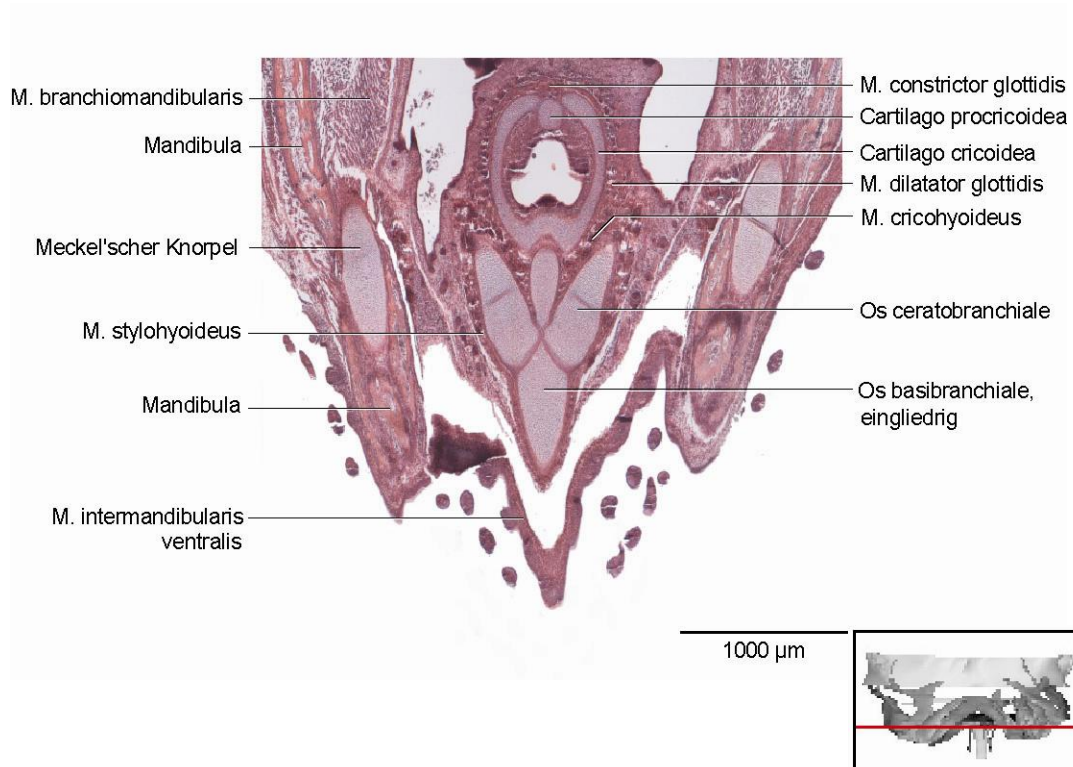


Abb. 51 QUA 40/01, HH38
 Horizontalschnitt auf Höhe des eingliedrigen Os basibranchiale.

Die **Abb. 43, 44, 46, 50** und **51** zeigen die zur Zungenbeinmuskulatur gehörigen Muskeln, M. ceratoglossus, M. branchiomandibularis, M. intermandibularis ventralis, M. hypoglossus obliquus, M. hypoglossus rostralis, M. interceratobranchialis, M. serpihyoideus und M. stylohyoideus.

4.6.2 Larynx

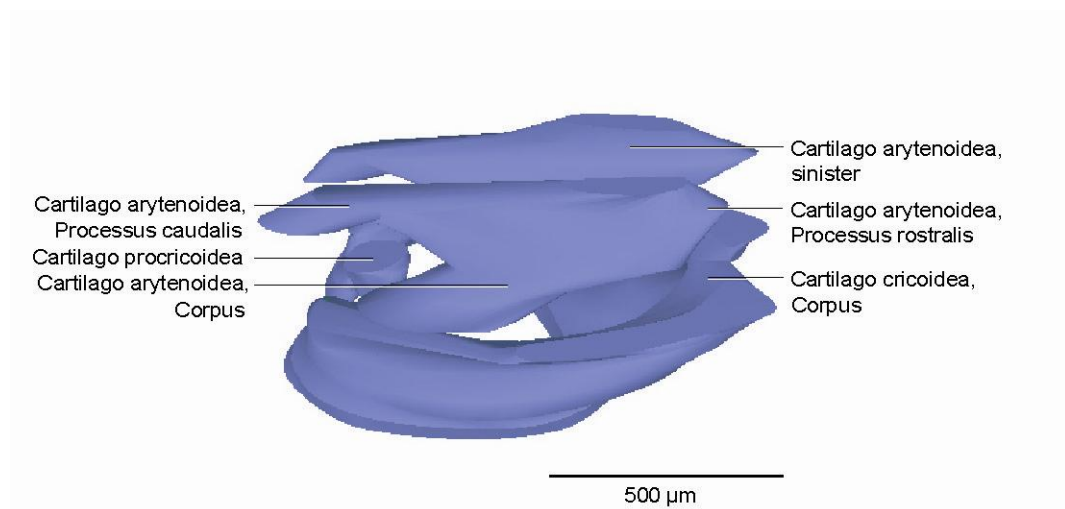


Abb. 52 QUA 40/01, HH38
Knorpelige Anlage des Larynx.
Schnittserienrekonstruktion in der Ansicht von lateral, 30° cranial.

In diesem Entwicklungsstadium sind erstmalig die Larynxknorpel zu beobachten. Der Ringknorpel, Cartilago cricoidea, umfasst mit seinem Corpus die Kehlkopfhöhle von ventral und lateral. Die latero-caudal aufstrebenden Alae sind nicht zu erkennen. Die Cartilago procricoidea stellt sich punktförmig dar. An dem paarigen Stellknorpel, Cartilago arytenoidea, sind der Corpus, der Processus rostralis und der Processus caudalis ersichtlich (**Abb. 52**).

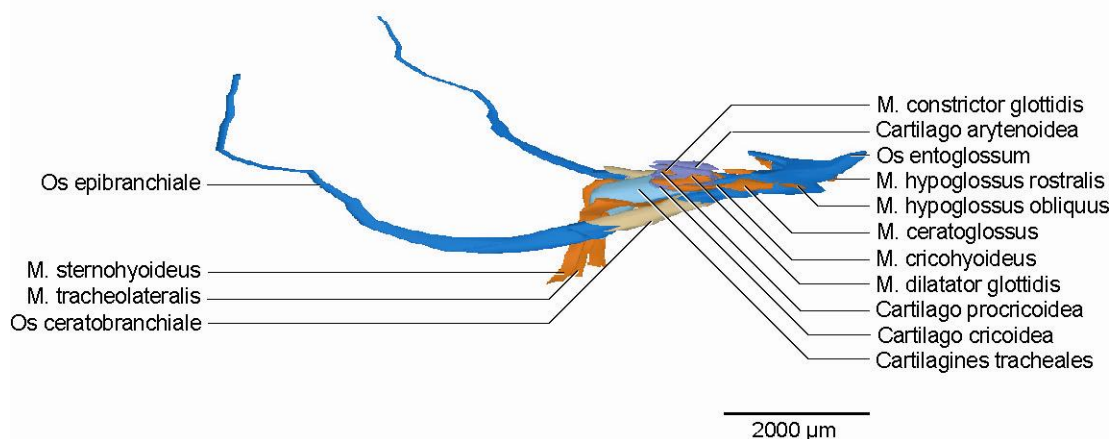


Abb. 53 QUA 40/01, HH38
Knorpelige Anlage des Os hyoideum mit beginnender Ossifikation der Ossa ceratobranchialia, knorpelige Anlage des Larynx, Zungenbein- und Kehlkopfmuskulatur, Cartilagines tracheales.
Schnittserienrekonstruktion in der Ansicht von lateral, 30° frontal, 25° cranial.

Die **Abb. 53** und **54** machen die Lagebeziehung der knorpeligen Anlage des Larynx zum knorpeligen Os hyoideum und zu den Knorpelringen der Trachea, Cartilagine tracheales, deutlich. Dem Ringknorpel schließen sich die Knorpelringe der Trachea an. Eine Ossifikation des Larynx ist nicht zu beobachten. Es sind die zur Kehlkopfmuskulatur gehörigen Muskeln, M. dilatator glottidis, M. constrictor glottidis und M. cricohyoideus, zu erkennen.

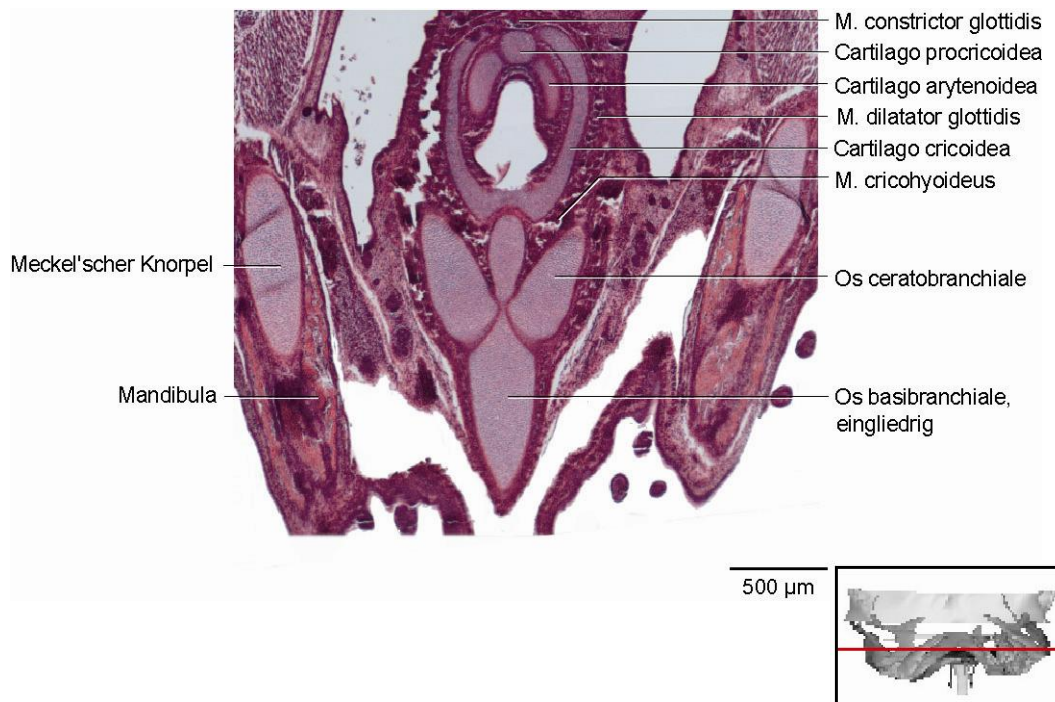


Abb. 54 QUA 40/01, HH38
 Horizontalschnitt auf Höhe des Larynx.

5 DISKUSSION

5.1 Material

Die Einordnung der untersuchten Wachtelembryonen erfolgte anhand der von HAMBURGER und HAMILTON (1951) beschriebenen Entwicklungsstadien während des zeitlichen Ablaufs der Embryonalentwicklung beim Huhn (HAMILTON 1952).

In der vorliegenden Arbeit wurde nicht ein einzelnes Individuum in verschiedenen Reifestadien untersucht, sondern es wurden histologische Schnittserien verschiedener Individuen zu unterschiedlichen Reifegraden zur Untersuchung herangezogen. Dadurch ergibt sich grundsätzlich das Problem der Vergleichbarkeit.

Die Einteilung der Embryogenese in Stadien nach morphologischen Kriterien besitzt gegenüber der Angabe der Inkubationsdauer (in Tagen) den Vorteil, dass die Embryonen besser verglichen werden können, weil durchaus individuelle Unterschiede der Reife existieren. Es ist weiterhin zu berücksichtigen, dass es beim Fixieren der Präparate zu geringen Dimensionsänderungen wie der Schrumpfung kommen kann (BUJARD 1911, MONTAGNON 1987).

5.2 Methode

Mit Hilfe von 3D-Rekonstruktionstechniken ist es möglich, zeitlich umschriebene Wachstumsprozesse anatomischer Objekte räumlich darzustellen. Fehlinterpretationen, die sich aus der Zweidimensionalität ergeben, lassen sich auf diese Weise reduzieren. HIS (1868) entwickelte zur plastischen Rekonstruktion die Modellierung in Gips und BORN führte 1883 die Wachsplattenmodellierung ein. BLECHSCHMIDT modifizierte 1954 diese Methode.

Heute werden computergestützte 3D-Programme zur Rekonstruktion histologischer Schnittserien angewandt (RADLANSKI und JÄGER 1990). Die Software AnalySIS 3.1[®] der Soft Imaging System GmbH (Münster, Deutschland) ermöglicht es, die knorpelige Anlage des Os hyoideum und des Larynx der Wachtel unter einer beliebigen Orientierung im Raum als einzelne Strukturen sowie auch mit den Umgebungsstrukturen darzustellen, um so Vergleiche ziehen zu können. Es wird ein anschaulicher Einblick in den komplexen Entwicklungsprozess geliefert.

5.3 Diskussion der Ergebnisse

5.3.1 Embryonale Entwicklung und anatomischer Aufbau des Os hyoideum der Wachtel

Die Literaturübersicht macht deutlich, dass über die embryonale Entwicklung und über den anatomischen Aufbau des Os hyoideum der Vögel, d. h., auch der Wachtel, keine einheitliche wissenschaftliche Meinung existiert.

Mit dieser Arbeit sollen detaillierte Erkenntnisse zu diesen Themen gewonnen werden, Differenzen aufgezeigt und Anstöße für weitere wissenschaftliche Studien gegeben werden.

Mit Hilfe der Schnittserienrekonstruktionen konnte dargestellt werden, dass sich das knorpelige Os hyoideum im jüngsten untersuchten Entwicklungsstadium der Wachtel (HH32, etwa 7,5 Bebrütungstage) aus dem Os basibranchiale rostrale, dem Os basibranchiale caudale und den Cornua branchialia zusammensetzt.

Im Alter von etwa 8 bis 9 Bebrütungstagen (HH35) ist die paarige Anlage des Os entoglossum erstmals zu erkennen, die von KALLIUS (1904), HAMILTON (1952), IHLE et al. (1971), NICKEL et al. (1992) beschrieben wird.

Das Os hyoideum des Menschen hingegen entsteht in der 6. Embryonalwoche (O'RAHILLY und MÜLLER 2001, SPERBER 2001, SADLER 2006, GERMELMANN 2008). Laut GERMELMANN (2008) liegt es anfangs in Form dreier separater Knorpel vor, zwei Cornua maiora und dem Corpus. Der Corpus weist keine Anzeichen einer vorangegangenen Fusion auf. Erst ab der 8. Embryonalwoche sind die Cornua minora abgrenzbar (GERMELMANN 2008).

Die paarige Anlage des Os entoglossum der Wachtel ist im Alter von etwa 12 Bebrütungstagen (HH38) fusioniert. Eine zentrale Öffnung, wie von NICKEL et al. (1992) erwähnt, ist nicht zu erkennen.

Die von NICKEL et al. (1992) beschriebene Form des Os entoglossum der Wachtel, pfeilartig spitz mit zwei nach caudal gerichteten Hörnern, spiegelt sich in diesem Stadium wider.

Ebenso ist eine Art gelenkige Verbindung zum Os basibranchiale rostrale erkennbar (KALLIUS 1904, FITZGERALD 1969, SCHWARZE und SCHRÖDER 1985, SALOMON 1993, HUMMEL 2000).

Bis zum Entwicklungsstadium HH36 (etwa 10 Bebrütungstage) liegen das Os basibranchiale rostrale und das Os basibranchiale caudale als separate knorpelige Anteile des Os hyoideum vor. Im Alter von etwa 12 Bebrütungstagen (HH38) sind beide Anteile fusioniert. An der Fusionsstelle stellt sich eine Einziehung dar.

Die Abwinkelung in der Vertikalebene (NICKEL et al. 1992) ist deutlich erkennbar.

Die von HAMILTON (1952) sowie NICKEL et al. (1992) beschriebene einheitliche Knorpelstruktur des Os basibranchiale rostrale und des Os basibranchiale caudale eines Hühnerembryos im Alter von etwa 9 Bebrütungstagen ist beim Wachtelembryo nicht zu beobachten.

Ebenso nicht vorhanden ist die von FITZGERALD (1969) erwähnte Form der Copula 1 und Copula 2, bei der die Copula 2 nur einen nach caudal gerichteten Fortsatz darstellt. Der Auffassung von KALLIUS (1904), dass zunächst eine einheitliche knorpelige Copula existiert, die durch den Ansatz der Cornua branchialia in zwei Anteile zerfällt, kann nicht widersprochen werden. Bereits im jüngsten Stadium liegt das Basibranchiale zweigliedrig vor.

Die Cornua branchialia sind bereits im jüngsten Stadium (HH32) in je zwei Anteile unterteilt (HAMILTON 1952, NICKEL et al. 1992, SALOMON 1993, HUMMEL 2000, KÖNIG und LIEBICH 2001, HILDEBRAND und GOSLOW 2004): die Ossa ceratobranchialia und die Ossa epibranchialia. Die Ossa ceratobranchialia setzen an dem Os basibranchiale rostrale an, was die folgende zusammenfassende Abbildung (**Abb. 55**) veranschaulicht.

Die von KALLIUS (1904) beschriebene ursprüngliche einheitliche Knorpelmasse der Cornua branchialia, die im Rahmen des Wachstums in zwei Anteile zerfällt, kann nicht ausgeschlossen werden.

Die Einteilung der Cornua branchialia in drei Anteile (FITZGERALD 1969) kann so nicht bestätigt werden, was u. a. auf den Polymorphismus der Wachtelspezies zurückzuführen ist.

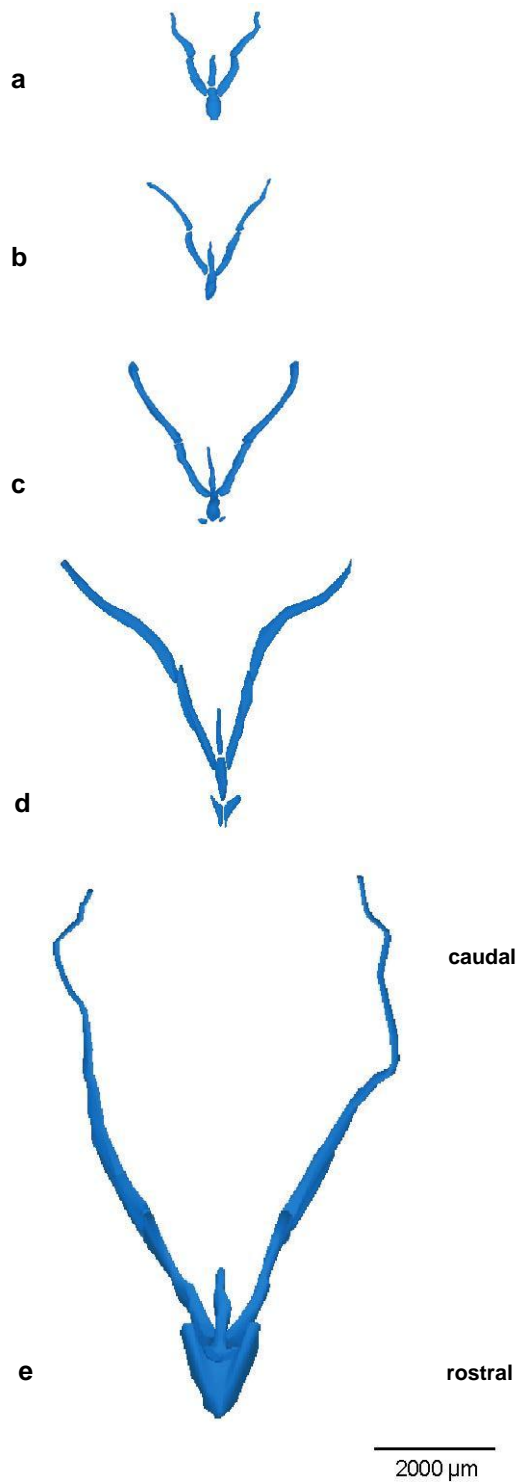


Abb. 55 QUA 57/02, HH32 bis QUA 40/01, HH38

a- QUA 57/02, HH32; b- QUA 85/02, HH33; c- QUA 87/02, HH35; d- QUA 39/01, HH36
e- QUA 40/01, HH38

Darstellung der Gestaltenvielfalt des Os hyoideum. Alle Schnittserienrekonstruktionen sind im gleichen Maßstab abgebildet.

Schnittserienrekonstruktionen in der Ansicht von cranial.

Die Cornua branchialia sind, wie im Entwicklungsstadium HH38 der Wachtel (QUA 40/01) ersichtlich ist, stark gebogen. Eine Verbindung zum Schädelknochen existiert nicht (FITZGERALD 1969, SCHWARZE und SCHRÖDER 1985, NICKEL et al. 1992).

Anhand der Schnittserienrekonstruktionen wird deren enormer Längenzuwachs deutlich. Im Alter von etwa 7,5 Bebrütungstagen des Wachtelembryos sind die Ossa ceratobranchialia und die Ossa epibranchialia in etwa gleich lang, während im Alter von etwa 12 Bebrütungstagen die Ossa epibranchialia auf mehr als das Doppelte der Ossa ceratobranchialia angewachsen sind.

Bereits im jüngsten Stadium (HH32) ist, wie von KALLIUS (1904), FITZGERALD (1969), SALOMON (1993) und HUMMEL (2000) beschrieben, eine Art gelenkige Verbindung zwischen den Anteilen der Cornua branchialia sowie zum Os basibranchiale rostrale zu erkennen, die in den folgenden Stadien noch deutlicher wird (z. B. HH38).

Bis zum Entwicklungsstadium HH38 haben sich die zur Zungenbeinmuskulatur gehörigen Muskeln, M. ceratoglossus, M. branchiomandibularis, M. intermandibularis ventralis, M. hypoglossus obliquus, M. hypoglossus rostralis, M. interceratobranchialis, M. serpihyoideus und M. stylohyoideus, ausgebildet. Der M. intermandibularis dorsalis und der M. genioglossus fehlen (NICKEL et al. 1992, SALOMON 1993).

Der Beginn der Ossifikation des Os hyoideum der Wachtel wird von den Autoren nicht beschrieben. Bis zum Entwicklungsstadium HH38 liegen alle Anteile des Os hyoideum noch als knorpelige Vorläufer des knöchernen Os hyoideum vor. Anhand der Schnittserienrekonstruktionen ist aber zu erkennen, dass die Ossifikation des Os hyoideum im Alter von etwa 12 Bebrütungstagen (HH38) an den Ossa ceratobranchialia einsetzt. Das Os hyoideum der Wachtel ossifiziert wie beim Menschen chondral.

Beim Menschen ossifizieren nach BERKOVITZ und MOXHAM (1988) sowie GRAY (1995) am Os hyoideum als erstes die Cornua maiora kurz vor der Geburt, gefolgt vom Corpus um den Zeitpunkt der Geburt. Die Cornua minora ossifizieren nicht vor der Pubertät.

Laut GERMELMANN (2008) ist bis zur 18. Schwangerschaftswoche noch keine Ossifikation am Os hyoideum erkennbar.

Die vorliegenden Ergebnisse unterstützen die Annahme von KALLIUS (1904), der davon ausgeht, dass die Zungenbeinhörner der Wachtel als erste der Zungenbeinknorpel verknöchern.

Während die Ossifikation des Os hyoideum der Wachtel erst im Stadium HH38 einsetzt, ist die desmale Ossifikation der Mandibula bereits schon im Alter von etwa 7,5 - 8 Bebrütungstagen (HH33) im caudo-lateralen Bereich des Meckel'schen Knorpels zu beobachten. Bis zum Alter von etwa 12 Bebrütungstagen (HH38) haben sich fünf paarige Deckknochen ausgebildet, die sich zu einem Knochenstab zusammenlegen und den Meckel'schen Knorpel umgeben (SCHWARZE und SCHRÖDER 1985, NICKEL et al. 1992, SALOMON 1993).

Beim Menschen setzt die desmale Ossifikation der Mandibula im Bereich des Foramen mentale ein und breitet sich von dort in posteriorer Richtung gleichmäßig aus. Dabei entstehen erste Ossifikationszentren im Bereich des Foramen mentale ab einer Größe des Embryos von 15,6 mm SSL⁴ (RADLANSKI et al. 2003).

Die beiden Anteile des Meckel'schen Knorpels des Menschen wurden bisher in drei verschiedenen Formen rekonstruiert. Sie stellten sich in der Horizontalebene als U- oder Lyraform bzw. als eine sich nach anterior verjüngende V-Form dar (RADLANSKI et al. 1994).

Die Anteile des Meckel'schen Knorpels der untersuchten Wachtelembryonen bilden in der vorliegenden Studie konstant eine V-Form. In keinem Entwicklungsstadium lässt sich eine Fusion der beiden Anteile des Meckel'schen Knorpels im Bereich der Symphysis mandibulae feststellen.

Auch BRANDT (1997) und RADLANSKI et al. (2003) beobachteten beim Menschen keine derartige Fusion.

⁴ Die Scheitel-Steiß-Länge (SSL) wird vom Scheitel bis zum Mittelpunkt zwischen beiden Gesäßerhebungen gemessen (LANGMANN 1989). Die Relation von Scheitel-Steiß-Länge und dem Alter von Embryonen und Feten stellen MOORE (1985) und HINRICHSSEN (1990) gegenüber.

Anhand der vorliegenden Ergebnisse fällt es jedoch weiterhin schwer, eindeutig festzulegen, aus welchen Pharyngealbögen die einzelnen Anteile des Os hyoideum der Wachtel entstehen. Ob es sich beim Os entoglossum um eine Neubildung bei den Vögeln handelt, die Entstehung also nicht den Pharyngealbögen zugeordnet wird (KALLIUS 1904, IHLE et al. 1971, NICKEL et al. 1992) oder ob die knorpeligen Anteile des Os entoglossum aus dem 2. Pharyngealbogen hervorgehen (HAMILTON 1952, KÄMPFE et al. 1993, BELLAIRS und OSMOND 1998, HILDEBRAND und GOSLOW 2004), kann nicht eindeutig geklärt werden.

Mit Hilfe der Schnittserienrekonstruktionen wird aber deutlich, dass das Os entoglossum erst im Alter von etwa 8 - 9 Bebrütungstagen (HH35) des Wachtelembryos (QUA 87/02) angelegt wird, während die anderen Anteile des knorpeligen Os hyoideum bereits schon im jüngsten Stadium (HH32) entwickelt sind (QUA 57/02).

Eine genaue Zuordnung der Basibranchialia zu den Pharyngealbögen ist nicht möglich. Hierfür müssten noch frühere Stadien zu Beginn der Pharyngealbogenentstehung betrachtet werden. Aufgrund der Lage kann man sie jedoch auf den 2. oder 3. Pharyngealbogen zurückführen. Es kann aber auch nicht ausgeschlossen werden, dass sich die Basibranchialia aus der von KALLIUS (1904) beschriebenen Copula entwickeln, die sich ventral der Pharyngealbögen bildet.

Auch beim Menschen gehen die Meinungen zur Entwicklung des Corpus des Os hyoideum weit auseinander. BOENIG und BERTOLINI (1971), STARCK (1975), KOEBKE (1978), KITAMURA (1989), ROHEN (1994), GRAY (1995), O'RAHILLY und MÜLLER (2001) sowie GERMELMANN (2008) gehen davon aus, dass der Corpus nur aus dem 3. Pharyngealbogen entsteht, wobei auch eine Entwicklung aus der von WEISSENBERG (1931), GRAY (1995) und BENNINGHOFF (2003) beschriebenen Copula nicht ausgeschlossen werden kann.

Dies widerspricht der Theorie, dass sich der craniale Anteil aus dem 2. Pharyngealbogen und der caudale Anteil des Corpus aus dem 3. Pharyngealbogen ableitet (MARJORIE 1985, BERKOVITZ und MOXHAM 1988, ENLOW 1990, SPERBER 2001, MEIKLE 2002, SADLER 2006).

Die Entstehung der Zungenbeinhörner der Wachtel ist auf Grund ihrer Lage in den Schnittserienrekonstruktionen auf den 2. oder 3. Pharyngealbogen eingrenzbar. Aber auch der Auffassung von KALLIUS (1904) kann nicht widersprochen werden, wonach am ausgebildeten Os hyoideum des Vogels keine Anteile eines 2. Pharyngealbogenknorpels zu finden sind. Demnach sind die Zungenbeinhörner der Wachtel auf den 3. Pharyngealbogen zurückzuführen, wie auch die Cornua maiora des menschlichen Os hyoideum (BERKOVITZ und MOXHAM 1988, ENLOW 1990, GRAY 1995, BENNIGHOFF 2003, GERMELMANN 2008).

Die Cornua minora des Os hyoideum des Menschen leiten sich hingegen aus dem 2. Pharyngealbogen ab (BERKOVITZ und MOXHAM 1988, ENLOW 1990, GRAY 1995, SPERBER 2001, BENNIGHOFF 2003, GERMELMANN 2008).

Einigkeit besteht in der Literatur nur dahingehend, dass sich die Columella auris der Vögel aus dem 2. Pharyngealbogen ableiten lässt (KALLIUS 1904, HAMILTON 1952, BELLAIRS und OSMOND 1998). Ihre Lage in den Schnittserienrekonstruktionen und die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit unterstützen diese Annahme.

5.3.2 Embryonale Entwicklung und anatomischer Aufbau des Larynx der Wachtel

Sowohl die embryonale Entwicklung als auch der anatomische Aufbau des Larynx der Wachtel werden in der Literatur widersprüchlich dargestellt. Mit Hilfe der vorliegenden Ergebnisse sollen auch hierbei bestehende Differenzen aufgezeigt und detaillierte Erkenntnisse zu diesen Themen gewonnen werden.

Anhand der Schnittserienrekonstruktionen ist zu beobachten, dass sich der knorpelige Larynx im Alter von etwa 12 Bebrütungstagen (HH38) des Wachtelembryos (QUA 40/01) ausgebildet hat. Er setzt sich aus dem unpaarigen Ringknorpel, Cartilago cricoidea, dem paarigen Stellknorpel, Cartilago arytenoidea, und aus der unpaarigen Cartilago procricoidea zusammen (NICKEL et al. 1992, SALOMON 1993, HUMMEL 2000, KÖNIG und LIEBICH 2001).

Der Schildknorpel, Cartilago thyroidea, die Epiglottis und die Stimmbänder fehlen (FITZGERALD 1969, IHLE et al. 1971, SCHWARZE und SCHRÖDER 1985, NICKEL et al. 1992, SALOMON 1993, HUMMEL 2000, KÖNIG und LIEBICH 2001, HILDEBRAND und GOSLOW 2004).

Der Larynx ist nicht mit dem Os hyoideum durch Bänder verbunden (IHLE et al. 1971). Der Auffassung von FITZGERALD (1969), der nur von dem unpaarigen Ringknorpel und dem paarigen Stellknorpel ausgeht, kann man sich nicht anschließen.

Es haben sich im Entwicklungsstadium HH38 die zur Kehlkopfmuskulatur gehörigen Muskeln, M. dilatator glottidis, M. constrictor glottidis und der M. cricohyoideus, ausgebildet (SCHWARZE und SCHRÖDER 1985, NICKEL et al. 1992, SALOMON 1993, KÖNIG und LIEBICH 2001).

Die mediane rinnenförmige Corpusstruktur des Ringknorpels (NICKEL et al. 1992, SALOMON 1993, HUMMEL 2000, KÖNIG und LIEBICH 2001) ist in Ansätzen zu erkennen. Die latero-caudal aufstrebenden Alae sind jedoch bis zum Entwicklungsstadium HH38 nicht ausgebildet.

Der Ringknorpel umfasst die Kehlkopfhöhle von ventral und lateral. Ihm schließen sich die Knorpelringe der Trachea an (FITZGERALD 1969, IHLE et al. 1971, SCHWARZE und SCHRÖDER 1985, NICKEL et al. 1992, SALOMON 1993, HUMMEL 2000, KÖNIG und LIEBICH 2001, HILDEBRAND und GOSLOW 2004), die erstmals im Stadium HH36 (QUA 39/01) ersichtlich sind.

Dies unterstützt die Auffassung von HAMILTON (1952), BELLAIRS und OSMOND (1998), dass etwa am 11.Tag der Inkubation des Hühnerembryos die Trachealknorpel zu erkennen sind.

Aufgrund der Lagebeziehung des Ringknorpels zu den Trachealknorpeln kann man sich den Meinungen von MICHEL (1983), RÜSSE und SINOWATZ (1991), SCHNORR (1996) anschließen, wonach der Ringknorpel aus dem Mesenchym der 1. Tracheal-spange hervorgeht.

Die von NICKEL et al. (1992), SALOMON (1993), HUMMEL (2000) beschriebene typische Struktur des paarigen Stellknorpels, bestehend aus dem Corpus, dem Processus rostralis und dem Processus caudalis, ist im Stadium HH38 erkennbar.

Bereits im jüngsten untersuchten Entwicklungsstadium (HH32) sind die Arytenoidwülste ausgebildet (QUA 57/02). Die Annahme von BELLAIRS und OSMOND (1998), dass sich am 6. Tag der Inkubation die Arytenoidwülste entwickeln, wird dahingehend bestätigt.

Nach MICHEL (1983), SCHNORR (1996) sowie SCHNORR und KRESSIN (2001) werden die Arytenoidwülste als erste Anlage des Larynx angesehen, was durch die vorliegenden Ergebnisse unterstützt wird.

Der Theorie von RÜSSE und SINOWATZ (1991), SCHNORR und KRESSIN (2001), wonach die Arytenoidknorpel aus den paarigen Arytenoidwülsten entstehen, kann man sich aufgrund deren Lage anschließen.

Bei den Menschen bilden sich die Arytenoidwülste in der 5. Schwangerschaftswoche aus (MOORE 1985). Sie werden ebenfalls als erste Anlage des Larynx angesehen.

Die Arytenoidwülste des Wachtelembrjos werden nach MICHEL (1983), SCHNORR (1996) und SCHNORR und KRESSIN (2001) auf den 5. Pharyngealbogen zurückgeführt.

Nach KALLIUS (1904) gehen sie aus dem 6. Pharyngealbogen hervor.

Anhand der Ergebnisse ist eine genaue Zuordnung der Arytenoidwülste zu den Pharyngealbögen nicht möglich. Hierfür müssten jüngere Entwicklungsstadien der Wachtel betrachtet werden.

MOORE (1985) und LANGMAN (1989) gehen davon aus, dass die knorpeligen Anteile des 4. und 6. Pharyngealbogen des Menschen verschmelzen und die Kehlkopfknorpel bilden. Der Epiglottisknorpel stammt laut MOORE (1985) hingegen aus dem 3. und 4. Pharyngealbogen.

Beim Hühnerembryo verschließt sich etwa zwischen dem 8. und 11. Tag der Inkubation das Lumen des Larynx zeitweise epithelial (BELLAIRS und OSMOND 1998).

Am Wachtelembryo ist dies etwa zwischen 7,5 und 10 Bebrütungstagen zu beobachten.

Beim Menschen hingegen ist der untere Teil des Larynx durch Epithelverklebungen zwischen der 7. und 10. Schwangerschaftswoche verschlossen. In der 10. Woche wird er rekanalisiert und Kehlkopfknorpel sind ersichtlich (MOORE 1985).

Die Cartilago procricoidea, das dorsale Teilstück des Larynx (NICKEL et al. 1992, SALOMON 1993, HUMMEL 2000, KÖNIG und LIEBICH 2001), stellt sich im Alter von etwa 12 Bebrütungstagen (HH38) des Wachtelembryos punktförmig dar.

Die von KÖNIG und LIEBICH (2001) beschriebene kommaförmige Struktur ist nicht erkennbar. Man kann zu der Annahme tendieren, dass die Cartilago procricoidea aufgrund der engen Lagebeziehung zum Ringknorpel und zu den Trachealknorpeln auch aus dem Mesenchym der 1. Trachealspange hervorgeht.

Eine Ossifikation des knorpeligen Larynx ist bis zum Alter von etwa 12 Bebrütungstagen (HH38) des Wachtelembryos nicht zu beobachten.

Der Schildknorpel, der Ringknorpel und Teile der Stellknorpel des Menschen hingegen verknöchern ab dem 20. Lebensjahr. Während die Epiglottis, die Stimmfortsätze der Stellknorpel und die meisten kleinen Knorpel des Larynx zu elastischen Knorpeln werden (LIPPERT 1996).

Die pränatale Morphogenese des Os hyoideum und des Larynx der Wachtel anhand von Schnittserienrekonstruktionen wiederzugeben, erwies sich als eine effiziente Methode, morphologische Entwicklungsprozesse und Veränderungen anschaulich darzustellen.

Damit wurde gleichzeitig die Möglichkeit geschaffen, die pränatale Morphogenese des Os hyoideum bzw. des Larynx des Menschen mit der der Wachtel vergleichen zu können.

6 ZUSAMMENFASSUNG

Das Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die pränatale Morphogenese des Os hyoideum und des Larynx der Wachtel (*Coturnix coturnix*) zu untersuchen. Zum besseren Verständnis der komplexen Entwicklungsvorgänge lag der Schwerpunkt der Befunderhebung auf der entsprechenden dreidimensionalen Darstellung. Fünf Wachtel-embryonen wurden hierbei mit einem Bebrütungsalter von etwa 7,5 bis 12 Tagen (HH32 bis HH38) histologisch untersucht und computertechnisch rekonstruiert, was einen Vergleich mit der pränatalen Morphogenese des Os hyoideum und des Larynx des Menschen ermöglichte.

Das Os hyoideum der Wachtel setzt sich im Bebrütungsalter von etwa 7,5 Tagen (HH32) aus dem Os basibranchiale rostrale, dem Os basibranchiale caudale und den Cornua branchialia zusammen. Im Alter von etwa 8 bis 9 Bebrütungstagen (HH35) ist die paarige Anlage des Os entoglossum erstmals zu erkennen, die im Alter von etwa 12 Bebrütungstagen (HH38) fusioniert ist. Dies unterstützt die Theorie, dass es sich beim Os entoglossum um eine Neubildung bei den Vögeln handelt, die Entstehung also nicht den Pharyngealbögen zugeordnet wird. Bis zum Entwicklungsstadium HH36 (etwa 10 Bebrütungstage) liegen das Os basibranchiale rostrale und das Os basibranchiale caudale als separate knorpelige Anteile des Os hyoideum vor. Im Alter von etwa 12 Bebrütungstagen (HH38) sind beide Anteile fusioniert. Aufgrund der Lage kann man sie auf den 2. oder 3. Pharyngealbogen zurückführen. Allerdings kann auch eine Entwicklung aus der von einigen Autoren beschriebenen Copula, die sich ventral der Pharyngealbögen entwickelt, nicht ausgeschlossen werden.

Die beiden Cornua branchialia sind stark gebogen und unterteilt in ein Os ceratobranchiale und ein Os epibranchiale. Sie setzen an dem Os basibranchiale rostrale an und sind nicht mit dem Schädelknochen verbunden. Ihre Entstehung ist auf Grund ihrer Lokalisation auf den 2. oder 3. Pharyngealbogen eingrenzbar. Aber auch der in der Literatur beschriebenen Auffassung, dass am ausgebildeten Os hyoideum des Vogels keine Anzeichen eines 2. Pharyngealbogenknorpels zu finden sind, kann nicht widersprochen werden.

Beim Wachtelembryo liegen bis zum Entwicklungsstadium HH38 alle Anteile des Os hyoideum noch als knorpelige Vorläufer des knöchernen Os hyoideum vor.

Die chondrale Ossifikation setzt im Alter von etwa 12 Bebrütungstagen (HH38) an den Ossa ceratobranchialia ein.

Der Larynx der Wachtel ist erst im Alter von etwa 12 Bebrütungstagen (HH38) ausgebildet. Er besteht aus dem unpaarigen Ringknorpel, Cartilago cricoidea, dem paarigen Stellknorpel, Cartilago arytenoidea, und aus der unpaarigen Cartilago procricoidea. Der Schildknorpel, Cartilago thyroidea, die Epiglottis und die Stimmbänder fehlen dem nur der Atmung dienenden Larynx. Dem Ringknorpel schließen sich die Knorpelringe der Trachea an. Die Arytenoidwülste, die bereits im jüngsten Entwicklungsstadium HH32 ersichtlich sind, stellen sich als erste Anlage des Larynx dar. Die in der Literatur vertretene Theorie, dass die Arytenoidknorpel aus den paarigen Arytenoidwülsten entstehen, kann durch die vorhandenen Ergebnisse anhand ihrer Lokalisation bestätigt werden. Ebenso kann man dazu tendieren, dass der Ringknorpel und die Cartilago procricoidea aus dem Mesenchym der 1. Trachealspange hervorgehen. Eine Ossifikation des knorpeligen Larynx ist bis zum Alter von etwa 12 Bebrütungstagen (HH38) des Wachtelembryos nicht zu beobachten.

Obwohl sich in der vorliegenden Arbeit die pränatalen Morphogenesen des Os hyoideum und des Larynx bei der Wachtel bzw. beim Menschen unterschiedlich darstellten, konnten Ergebnisse herausgearbeitet werden, die es erlauben, die Wachtel als Experimentaltier für weiterführende wissenschaftliche Untersuchungen zu nutzen.

7 SUMMARY

The aim of this thesis was to study the prenatal morphogenesis of the anlage of the hyoid bone and the larynx of the quail.

In order to give a better impression of the complex developmental processes, the main focus was on raising findings by means of 3D-reconstructions from histological serial sections. For this purpose, five quail embryos at breeding stages from 7.5 to 12 days (HH32 to HH38) were examined histologically and reconstructed by 3D-media. This way it was possible to compare the results to the same structures in human specimens.

The anlage of the hyoid bone of a quail at a breeding stage of 7.5 days (HH32) consists of the anlagen of the os basibranchiale rostrale, the os basibranchiale caudale and the cornua branchialia. At the breeding stage of 8 to 9 breeding days (HH35), the twins of the anlage of the os entoglossum can be viewed for the first time, while those of the stages at 12 breeding days (HH38) have fused. This supports the theory that the os entoglossum reflects a new formation of structures in these birds. Thus, it may not be a structure originating from the pharyngeal arches. Up to the anlagen of the developmental stage of 10 breeding days (HH36), the os basibranchiale rostrale and the os basibranchiale caudale are present as separate cartilaginous parts of the later hyoid bone. At the stage of 12 breeding days (HH38), both parts have fused. Due to their position, they may be traced back to the 2nd and 3rd pharyngeal arch. However, as quoted by some authors, the copula, which develops ventrally to the pharyngeal arches, might also be the starting point of the development.

Both cornua branchialia, consisting of the os ceratobranchialia and the os epibranchialia, show a strong curve. They start at the os basibranchiale rostrale and are not fused to the skull bone. Their emergence may be located due to their position at the 2nd or 3rd pharyngeal arch. Literature quotes that there is no indication of a bone derived 2nd pharyngeal arch in a fully developed hyoid bone of the bird, which can be supported by this study.

Up to developmental stage HH38, all parts of the hyoid bone remain present as cartilaginous anlagen in the quail embryo. The chondral ossification at the ossa ceratobranchialia starts at a stage of 12 breeding days (HH38).

The larynx of the quail has fully developed at 12 breeding days (HH38). It consists of the unpaired cricoid cartilage cartilago cricoidea, the twin arytenoid cartilage cartilago arytenoidea and the unpaired cartilago procricoidea. The thyroid cartilage cartilago thyroidea, the epiglottis and the ligamentum vocale are missing in the larynx which only presents a structure for breathing in the bird. Beyond the cricoid cartilage cartilago cricoidea, there are the cartilaginous rings of the trachea. The arytenoid ridges, which may be viewed already at the earliest developmental stage, HH32, are the first anlage of the larynx. The theory quoted in literature that the arytenoid cartilages develop from the twin arytenoid ridges may be confirmed by the results gathered in this study. Furthermore, the results allow to argue that the cartilago cricoidea and the cartilago procricoidea have their developmental starting point in the mesenchym of the 1st tracheal arch. An ossification of the cartilaginous larynx could not be viewed up to the stage of 12 breeding days (HH38) in the quail embryo.

Although there are differences concerning the prenatal morphogenesis of the hyoid bone, respectively the larynx of the quail and the human, this study was able to present the quail as a means of experimental model for further studies.

8 LITERATURVERZEICHNIS

Baumel, J.J., King, A.S., Lucas, A.M., Breazile, J.E., Evans, H.E. (eds.):

Nomina Anatomica Avium

Academic Press, London, New York, Toronto, Sydney, San Francisco, 1979

Bellairs, R., Osmond, M.:

The Atlas of Chick Development

Department of Anatomy and Developmental Biology, University College London, 1998

Benninghoff, A.:

Anatomie

Band 1, Urban & Fischer, 16. Auflage, München, 2003

Berkovitz, B.K.B., Moxham, B.J.:

A textbook of head and neck anatomy

Wolfe Publishing Ltd, Barcelona, 1988

Blechs Schmidt, E.:

Rekonstruktionsverfahren mit Verwendung von Kunststoffen. Ein Verfahren zur Ermittlung und Rekonstruktion von Entwicklungsbewegungen

Z Anat Entwicklgesch 118, 170-174, 1954

Blechs Schmidt, E.:

Der menschliche Embryo

Schattauer, Stuttgart, 1963

Boenig, H., Bertolini, R.:

Leitfaden der Entwicklungsgeschichte des Menschen

Georg Thieme Verlag, Leipzig, 1971

Bolk, L., Göppert, E., Kallius, E., Lubosch, W.:

Handbuch der vergleichenden Anatomie der Wirbeltiere

Urban & Schwarzenberg, München, 1936

Born, G.:

Die Plattenmodellirmethode

Arch Mikr Anat 22, 584-599, 1883

Brandt, J.:

Beiträge zur Embryonalentwicklung der Symphysis des Menschen

Zahnmed Diss, FU Berlin, 1997

Bujard, E.:

Reconstructions plastiques des glandes salivaires du foetus humain de 10 semaines environ

Anat Anz 38, 115-134, 1911

Enlow, D.H.:

Facial growth

Saunders, Philadelphia, 1990

Fitzgerald, T.C.:

The Coturnix Quail, Anatomie and Histologie

The Iowa State University Press, Ames, Iowa, 1969

Gaunt, P.N., Gaunt, W.A.:

Three dimensional reconstruction in biology

Pittman Medical Publications, London, 1978

Germelmann, A.-R.:

Beitrag zur pränatalen Morphogenese des Os hyoideum des Menschen

Zahnmed Diss, Medizinische Fakultät Charité - Universitätsmedizin Berlin, 2008

Gray, H.:

Anatomy of the human body

Lea & Febiger, Philadelphia, 1995

Hamburger, V., Hamilton, H.L.:

A series of normal stages in the development of the chick embryo

J Morphol 88, 49-92, 1951

Hamilton, H.L.:

Lillie's Development of the Chick

Henry Holt and Company, New York, 1952

Hildebrand, M., Goslow, G.E.:

Vergleichende und funktionelle Anatomie der Wirbeltiere

Springer, Berlin, 2004

Hinrichsen, K.V.:

Human embryology

Springer, Berlin, 1990

His, W.:

Untersuchungen über die erste Anlage des Wirbeltierleibes

Vogel, Leipzig, 1868

Hummel, G.:

Anatomie und Physiologie der Vögel

Eugen Ulmer, Stuttgart, 2000

Ihle, J.E.W., van Kampen, P.N., Nierstrasz, H.F., Versluys, J.:

Vergleichende Anatomie der Wirbeltiere

Springer, Berlin, Reprint, 1971

Kämpfe, L., Kittel, R., Klapperstück, J.:

Leitfaden der Anatomie der Wirbeltiere

Gustav Fischer, Stuttgart, 1993

Kallius, E.:

Beiträge zur Entwicklung der Zunge

Anat H, Abt 1, 85/86 Heft (28. Bd. H. 2/3) , 1904

Keibel, F., Abraham, K.:

Normentafel zur Entwicklungsgeschichte des Huhnes (*Gallus domesticus*)

Gustav Fischer, Jena, 1900

Kitamura, H.:

Embryology of the mouth and related structures

Maruzen Co. Ltd., Tokyo, 1989

Kiwitt, R.:

Wachteln

Eugen Ulmer, Stuttgart, 2003

Koebke, J.:

Some observations on the development of the human hyoid bone

Anat Embryol 153, 279-286, 1978

König, H.E., Liebich, H.G.:

Anatomie und Propädeutik des Geflügels

Schattauer, Stuttgart, 2001

Langman, J.:

Medizinische Embryologie

Thieme, Stuttgart, 1989

Lippert, H.:

Lehrbuch Anatomie

Urban & Schwarzenberg, München, 1996

Malcharowitz, K.:

Beiträge zur pränatalen Craniomorphogenese der Wachtel (*Coturnix coturnix*)
Zahnmed Diss, Medizinische Fakultät Charité - Universitätsmedizin Berlin, 2004

Malpighi, M.:

De ovo incubato
Martyn, London, 1672

Malpighi, M.:

Dissertatio epistolica de formatione pulli in ovo
Martyn, London, 1673

Marjorie, A.:

Farbatlas der Embryologie
Schattauer, Stuttgart, 1985

Meikle, M.C.:

Craniofacial development, growth and evolution
Bateson Publishing, Bressingham, Norfolk, England, 2002

Michel, G.:

Kompendium der Embryologie der Haustiere
Gustav Fischer, Stuttgart, 1983

Moller, W.:

Biol Gen VI, 4. VII, 1931

Montagnon, J.:

Problèmes posés par la détermination de l'âge des embryos et foetus humains
Acta Anat 130, 64, 1987

Moore, K.L.:

Embryologie des Menschen
Schattauer, Stuttgart, 1985

Nickel, R., Schummer, A., Seiferle, E.:

Lehrbuch der Anatomie der Haustiere, Bd. 5
Paul Parey, Berlin, Hamburg, 1992

Radlanski, R.J., Jäger, A.:

Computergestützte 3D-Rekonstruktionen zur Darstellung embryonaler
Gestaltentwicklung
Wiss Z Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald, Med Reihe, 39-40, 1990

Radlanski, R.J., Kjaer, I., Vastardis, H., Renz, H.:

Morphometric studies on the fetal development of the human mandible
Fortsch Kieferorthop 55 (2), 77-83, 1994

Radlanski, R.J., Renz, H., Klarkowski, M.C.:

Bone remodeling of the human mandible during prenatal development
Anat Embryol (Berl) 207 (3), 221-232, 2003

O’Rahilly, R., Müller, F.:

Human embryology & teratology
Third Edition, Wiley-Liss, New York, 2001

Rohen, J.W.:

Anatomie für Zahnmediziner
Schattauer, Stuttgart, 1994

Romer, A.S., Parsons, T.S.:

Vergleichende Anatomie der Wirbeltiere
Paul Parey, Berlin, Hamburg, 1983

Rüsse, I., Sinowatz, F.:

Lehrbuch der Embryologie der Haustiere
Paul Parey, Berlin, Hamburg, 1991

Sadler, T.W.:

Medical embryology

10th Edition, Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, 2006

Salomon, F.V.:

Lehrbuch der Geflügelanatomie

Gustav Fischer, Stuttgart, 1993

Schnorr, B.:

Embryologie der Haustiere

Enke, Stuttgart, 1996

Schnorr, B., Kressin, M.:

Embryologie der Haustiere

Enke, Stuttgart, 2001

Schwarze, E., Schröder, L.:

Kompendium der Geflügelanatomie

Gustav Fischer, Jena, 1985

Sobotta, J.:

Atlas der Anatomie des Menschen, Bd. 1

Urban & Schwarzenberg, München, 1993

Soft Imaging System GmbH:

AnalySIS® 3.1 Benutzerhandbuch 3D-Bearbeitung

Soft Imaging System GmbH, Münster, 2000

Sperber, G.H.:

Craniofacial development

Hamilton: BC Decker, London, 2001

Starck, D.:

Embryologie

Thieme, Stuttgart, 1975

Streicher, J., Weninger, W.J., Müller, G.B.:

External marker-based automatic congruencing: A new method of 3D reconstruction from serial sections

The Anatomical Record 148: 583-602, 1997

Weissenberg, R.:

Grundzüge der Entwicklungsgeschichte des Menschen in vergleichender Darstellung

Georg Thieme Verlag, Leipzig, 1931

Weninger, W.J., Meng, S., Streicher, J., Müller, G.B.:

A new episcopic method for rapid 3D reconstruction: applications in anatomy and embryology

Anat Embryol 197: 341-348, 1998

9 DANKSAGUNG

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. Dr. Ralf J. Radlanski für das mir entgegengebrachte Vertrauen bei der Überlassung des Themas dieser Dissertation.

Er hat sich immer die Zeit genommen, mich in zahlreichen Diskussionen an die wissenschaftliche Denk- und Arbeitsweise heranzuführen. Sein fundiertes Wissen und seine konstruktive Kritik haben entscheidend zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen.

Weiterhin danke ich Prof. Dr. R. A. Schneider, University of California at San Francisco, für die Bereitstellung der Wachtelembryonen unterschiedlicher Entwicklungsstadien, welche seiner Sammlung entstammen.

Den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Abteilung Experimentelle Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde möchte ich ebenfalls danken für die freundliche Arbeitsatmosphäre und die wertvollen Hilfestellungen. Insbesondere möchte ich mich bei Frau Irene Schwarz und Frau Barbara Danielowski für die stets anregende und kompetente Unterstützung am Mikroskop bzw. am Computer bedanken. Desweiteren möchte ich mich bei Herrn Dr. Herbert Renz, der mir immer hilfsbereit zur Seite stand, bedanken. Besonderer Dank gebührt auch Frau Beate Lion (Sekretariat Prof. Dr. Dr. R. J. Radlanski) für ihre inhaltliche und organisatorische Unterstützung.

Schließlich möchte ich meinen Eltern sowie Herrn G. Pawlik für alles, was sie mir ermöglicht haben, danken.

10 LEBENSLAUF

Mein Lebenslauf wird aus Datenschutzgründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht mit veröffentlicht.

11 ERKLÄRUNG

„Ich, Lysann Schmidt, erkläre, dass ich die vorgelegte Dissertationsschrift mit dem
Thema:

**Beitrag zur pränatalen Morphogenese des Os hyoideum der Wachtel
(Coturnix coturnix)**

Computergestützte 3D-Rekonstruktionen anhand von histologischen
Serienschnitten

selbst verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt,
ohne die (unzulässige) Hilfe Dritter verfasst und auch in Teilen keine Kopien anderer
Arbeiten dargestellt habe.“

Berlin, den 29.06.2010

(Lysann Schmidt)