

4 ERGEBNISSE

4.1 Vorbemerkungen

Wie bereits oben erwähnt, wurden acht der untersuchten Embryonen/Feten zur dreidimensionalen Rekonstruktion herangezogen.

Eine Gesamtdarstellung des Viscerocraniums der jeweiligen Embryonen und Feten war für die räumliche Zuordnung notwendig, so konnten Änderungen der Lagebeziehung des Os hyoideum und seiner Umgebungsstrukturen im zeitlichen Verlauf dargestellt werden.

Obwohl es sich bei den Darstellungen eigentlich nur um den knorpeligen Vorläufer des knöchernen Os hyoideum handelt und in diesen Stadien natürlich noch kein „os“ vorhanden ist, wird die Bezeichnung Os hyoideum hier für die Vorstufe verwendet.

Ähnliches gilt für die meisten anderen Knochen, wie z.B. das Os occipitale, das auch enchondral entsteht und bei den meisten Embryonen und Feten überwiegend noch knorpelig vorliegt.

Bei den histologischen Bildern wurde zur Übersicht eine schematische Abbildung der betreffenden Embryonen/Feten von anterior hinzugefügt, in der eine in rot dargestellte Linie die Schnittebene darstellt.

Die 3D-Darstellungen wurden entweder von lateral, anterior, cranial oder in seltenen Fällen zur besseren Übersicht von caudal dargestellt, die Gesamtansicht des Os hyoideum immer von cranial.

Die Vermessung der knorpeligen Anteile des Os hyoideum fand nach folgendem Schema statt:

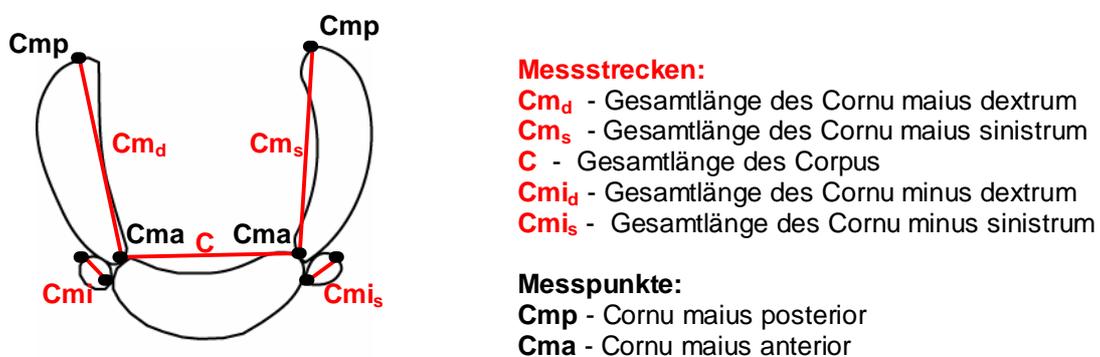


Abb. 9 Schematische Darstellung der Vermessungslinien und -punkte des Os hyoideum

Jede Abbildung wurde entsprechend mit einer Maßstabsmarkierung von 500 µm bis 5000 µm versehen. Aufgrund des Größenunterschieds der acht herangezogenen

Embryonen war eine Darstellung in gleicher Vergrößerung nicht möglich. Die anatomischen Strukturen wurden gemäß der Nomina Anatomica (MICHLER, BENEDIUM 1981) bezeichnet.

Im Folgenden werden nun alle bearbeiteten Embryonen und Feten besprochen.

4.2 Embryo 19 mm SSL, 6.-7. Woche (CHR 220687)

Der jüngste Embryo hat eine Scheitel-Steiß-Länge von 19 mm, was der 6. bis 7. Schwangerschaftswoche entspricht. Alle Schnitte sind mit H.E. gefärbt, die Schnitt-richtung ist hier sagittal.

Der Höhenabstand zwischen den zur Rekonstruktion herangezogenen Schnitten beträgt 40 µm.

Die erste Abbildung zeigt die Gesamtansicht des Embryos von lateral, hierbei fällt die starke Neigung des Kopfes nach ventral auf, die durch die Darstellung des Epithelverlaufes unterstrichen wird. Die in gelb dargestellten Nerven und Ganglien sind hier noch verhältnismäßig groß ausgebildet. Knochenbildung findet nur im anterioren Bereich von Mandibula und Maxilla statt.

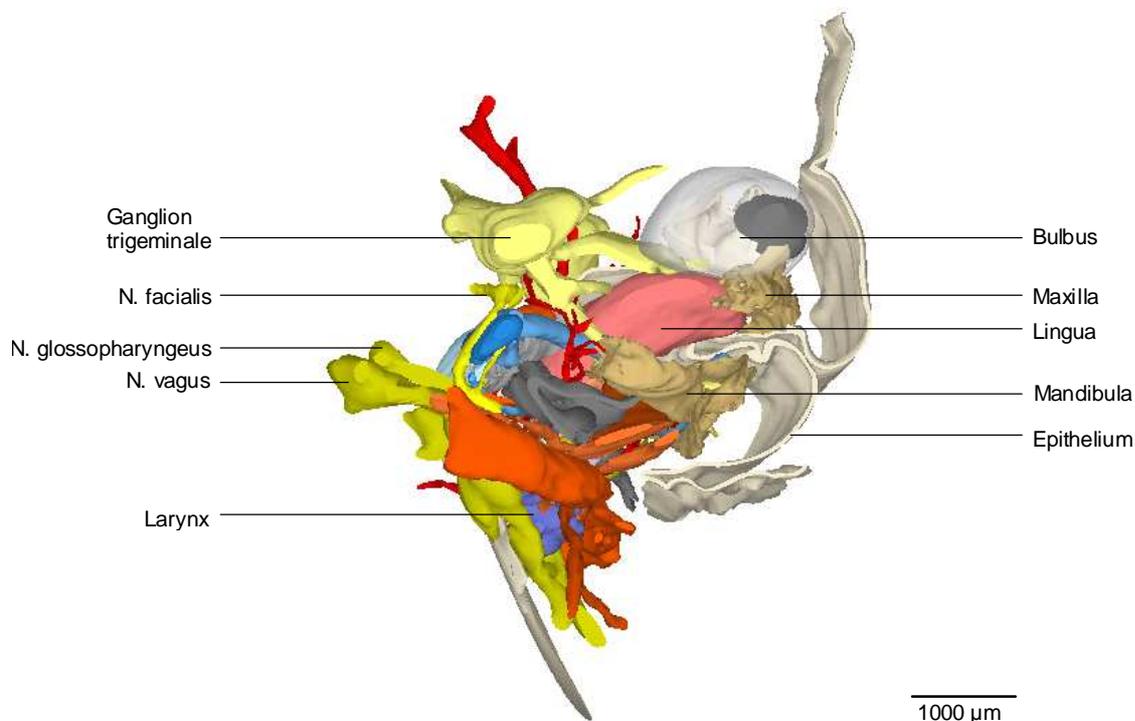


Abb. 10 Embryo 19 mm CRL, 7. Woche (CHR 220687)
3D-Rekonstruktion, Gesamtdarstellung der Region des Viscerocraniums
Ansicht von lateral

4.2.1 Os hyoideum

Die folgenden Abbildungen stellen die Lagebeziehung des Os hyoideum zum Meckel'schen Knorpel sowie zur infra- und suprahyalen Muskulatur dar (**Abb. 11** und **12**).

Abb. 11 zeigt von cranial nach caudal den Meckel'schen Knorpel, dorsal davon Incus und Stapes, den Processus styloideus, das Os hyoideum und den Larynx. Der Stapes ist in diesem Stadium schon vollständig von den übrigen knorpeligen Strukturen des zweiten Pharyngealbogens getrennt.

Weiterhin sind die zur suprahyalen Muskulatur gehörigen Muskeln, M. stylohyoideus, M. digastricus, M. mylohyoideus und M. hyoglossus, sowie die zur infrahyalen Muskulatur gehörigen Muskeln, M. omohyoideus und M. thyrohyoideus zu erkennen.

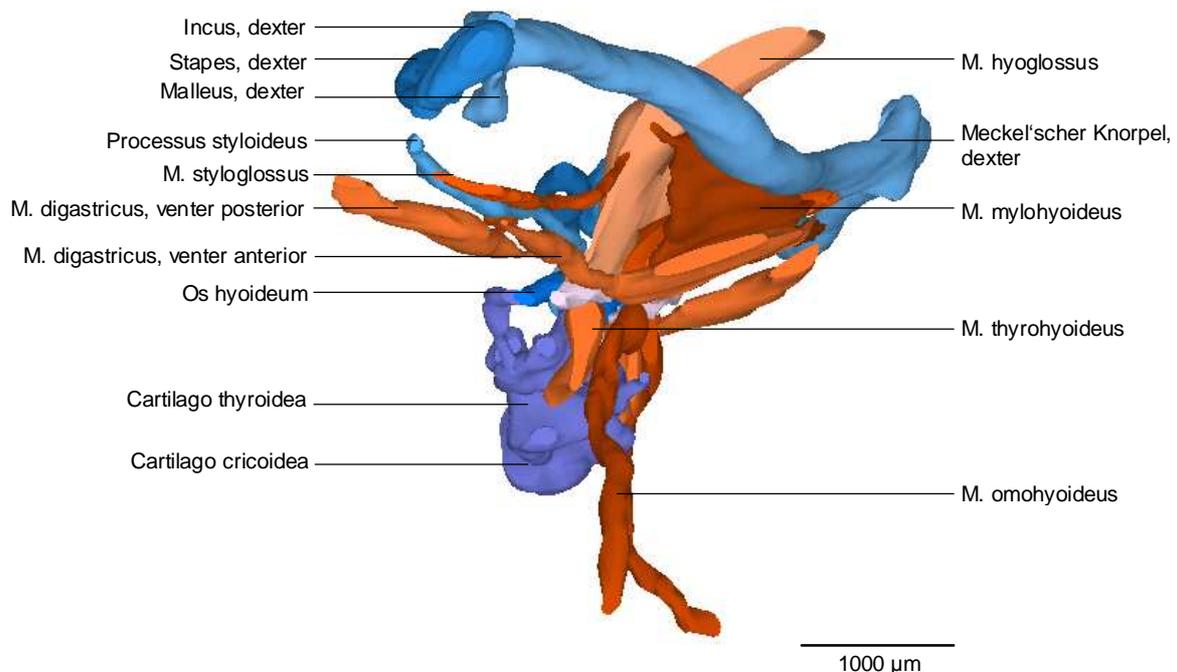


Abb. 11 Embryo 19 mm CRL, 7. Woche (CHR 220687)

3D-Rekonstruktion, Darstellung der suprahyalen und infrahyalen Muskulatur
Ansicht von lateral

Die knorpeligen Anteile des Reichert'schen Knorpels und des Meckel'schen Knorpels verlaufen parallel. Der Winkel, den jeweils beide Knorpel des ersten und zweiten Pharyngealbogens hier bilden, ist stumpf, der des Reichert'schen Knorpels liegt nahezu bei 180° (**Abb. 12**).

Der caudalste Anteil des Reichert'schen Knorpels, der hier mit dem caudalen Anteil des Processus styloideus bezeichnet wurde, reicht bis zum Treffpunkt des Cornu

maius und des Corpus ossis hyoidei. An dieser Stelle befindet sich beim adulten Os hyoideum das Cornu minus.

Die Länge vom am weitesten posterior gelegenen Punkt des Meckel'schen Knorpels (P_M) zum am weitesten anterioren Punkt (A_M) beträgt 2,4 mm, beim Reichert'schen Knorpel, gemessen vom dorsalsten Punkt des Processus styloideus (P_R) zum am weitesten ventral gelegenen Punkt (A_R) beträgt hier 1,6 mm²¹. Der Abstand der posterioren Anteile der beiden paarigen Knorpel liegt beim Meckel'schen Knorpel bei 3,95 mm und beim Reichert'schen Knorpel bei 3,65 mm (**Abb. 12**).

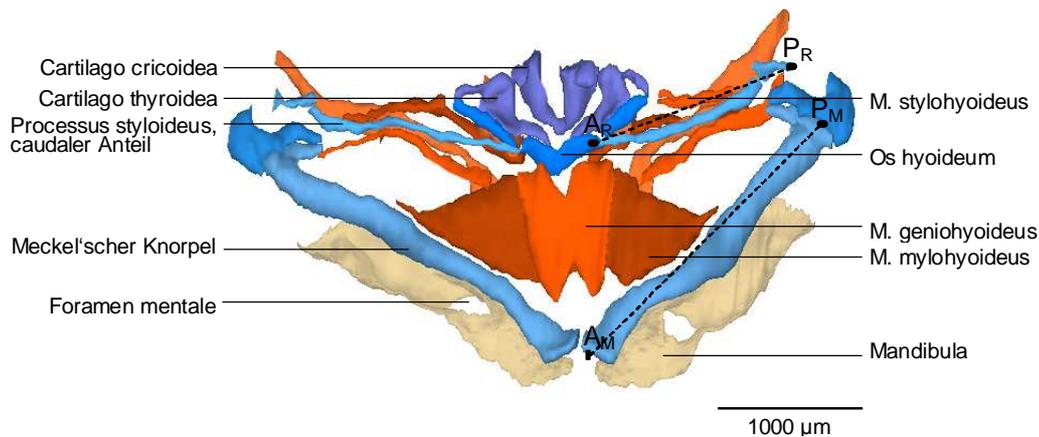


Abb. 12 Embryo 19 mm CRL, 7. Woche (CHR 220687)

3D-Rekonstruktion, Darstellung der suprahyalen und infrahyalen Muskulatur
Ansicht von cranial

Anmerkung: diese Abbildung zeigt hier zur besseren Übersicht die zur Vermessung der Knorpel verwendeten Punkte:

- P_R = posteriorster Punkt des Reichert'schen Knorpels
- A_R = anteriorster Punkt des Reichert'schen Knorpels
- P_M = posteriorster Punkt des Meckel'schen Knorpels
- A_M = anteriorster Punkt des Meckel'schen Knorpels

Das histologische Bild (**Abb. 13**) zeigt den Corpus ossis hyoidei, den Meckel'schen Knorpel, umgeben von der knöchernen Mandibula, sowie Anteile des Larynx im Sagittalschnitt. Der M. geniohyoideus verläuft von der ventralen Fläche der knorpeligen Vorstufe des Os hyoideum zur Lingualfläche des Meckel'schen Knorpels.

²¹ Der Punkt A_R befindet sich hier am Treffpunkt von Cornu maius und Corpus ossis hyoidei. Somit entspricht die Länge des Reichert'schen Knorpels in der Sagittalen gemessen noch der Gesamtlänge des Processus styloideus, da die restlichen Strukturen des Reichert'schen Knorpels hier noch nicht abgrenzbar sind.



Abb. 13 Embryo 19 mm CRL, 7. Woche (CHR 220687)
Sagittalschnitt auf Höhe des Corpus ossis hyoidei

Wie sich mit Hilfe der dreidimensionalen Darstellung gut verdeutlichen lässt, ist in diesem Stadium noch kein Cornu minus ossis hyoidei abgrenzbar (**Abb. 14**). Die Cornua maiora und der Corpus ossis hyoidei liegen als ihre knorpeligen Vorstufen, als drei separate längliche Knorpel vor, die zusammen ein „V“ bilden und kaum Ähnlichkeit mit der adulten Form des Os hyoideum aufweisen.

Die Gesamtlänge des rechten Cornu maius beträgt 0,61 mm, die des linken 0,44 mm, die Länge des Corpus liegt bei 0,59 mm.

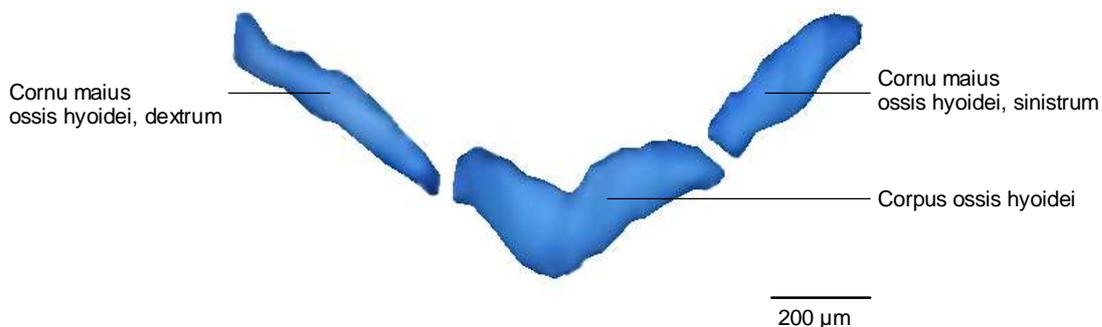


Abb. 14 Embryo 19 mm CRL, 7. Woche (CHR 220687)
3D-Rekonstruktion, Darstellung des knorpeligen Os hyoideum
Ansicht von cranial

4.2.2 Reichert'scher Knorpel

In der Region des zweiten Pharyngealbogens zeigt sich hier eine knorpelige Struktur, die parallel zum Knorpel des ersten Pharyngealbogens, dem Meckel'schen Knorpel, verläuft, hierbei handelt es sich um den Reichert'schen Knorpel (**Abb. 12 und 15**). Der Stapes ist, wie schon bei **Abb. 11** beschrieben, von den übrigen knorpeligen Strukturen des zweiten Pharyngealbogens separiert und soll deswegen im Folgenden getrennt von den Segmenten des Reichert'schen Knorpels betrachtet werden. Der dünne, längliche Reichert'sche Knorpel weist in diesem Stadium eine Unterbrechung auf (**Abb. 15 und 16**).

Auf Grund der Muskelansätze (**Abb. 11**) handelt es sich bei dem kurzen dorsalen Segment um den cranialen Anteil des Processus styloideus, das weiter ventral gelegene lange dünnere Segment verläuft bis zum Treffpunkt des Cornu maius mit dem Corpus ossis hyoidei (**Abb. 15 und 17**). Dieses Segment bildet wohl die knorpelige Vorstufe des caudalen Anteils des Processus styloideus und des Ligamentum stylohyoideum. Außerdem spricht viel dafür, dass aus dem ventralsten Anteil das Cornu minus ossis hyoidei entsteht.

Im Vergleich zum Meckel'schen Knorpel ist die Breite des Reichert'schen Knorpels hier nur etwa ein Drittel so dick.

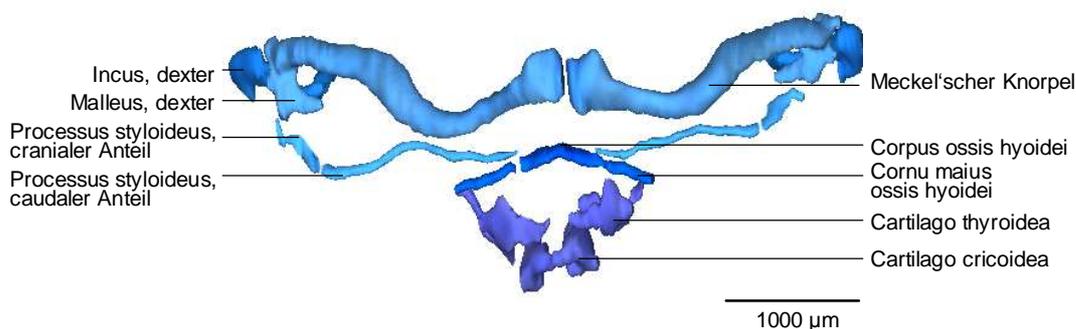


Abb. 15 Embryo 19 mm CRL, 7. Woche (CHR 220687)

3D-Rekonstruktion, Ansicht von anterior

Der caudale Anteil des Reichert'schen Knorpels reicht bis an den Corpus ossis hyoidei.

Der Verlauf von Reichert'schem und Meckel'schem Knorpel ist noch weitestgehend parallel.

4.2.3 Processus styloideus und Ligamentum stylohyoideum

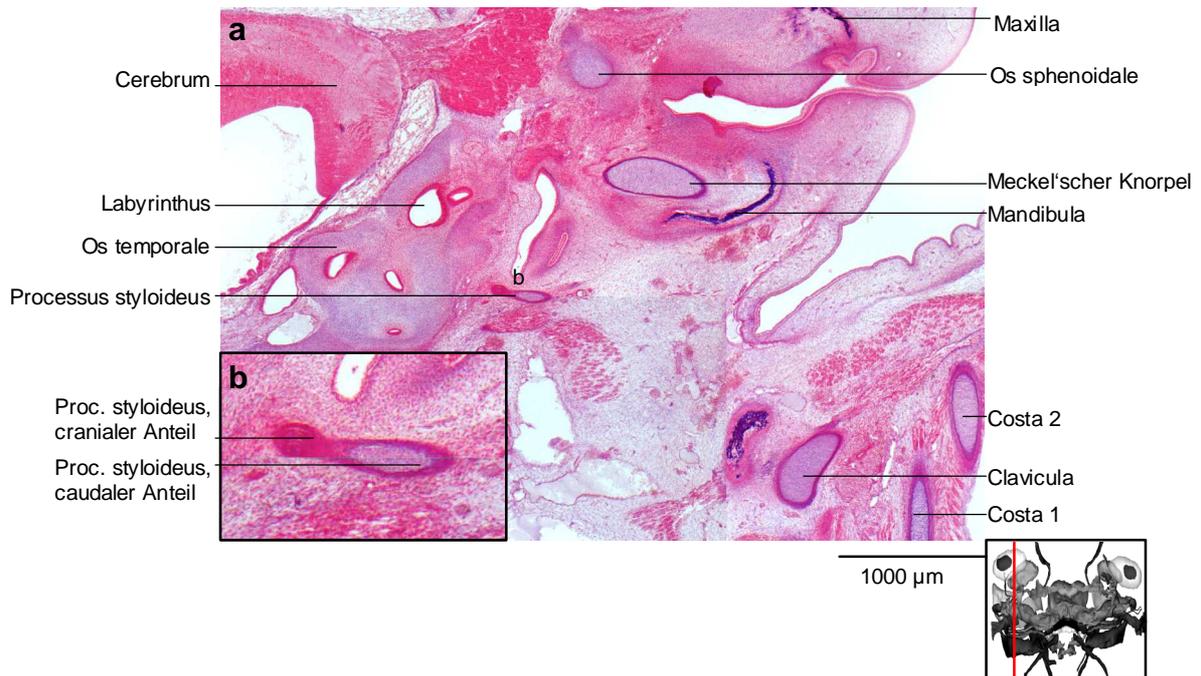


Abb. 16 Embryo 19 mm CRL, 7. Woche (CHR 220687)

Sagittalschnitt auf Höhe des Innenohres

a Übersicht

b dreifache Vergrößerung: Cranialer und caudaler Anteil des Processus styloideus

Die Abbildung zeigt die erste Segmentierung des Reichert'schen Knorpels, hier die beiden knorpeligen Anteile des späteren Processus styloideus.

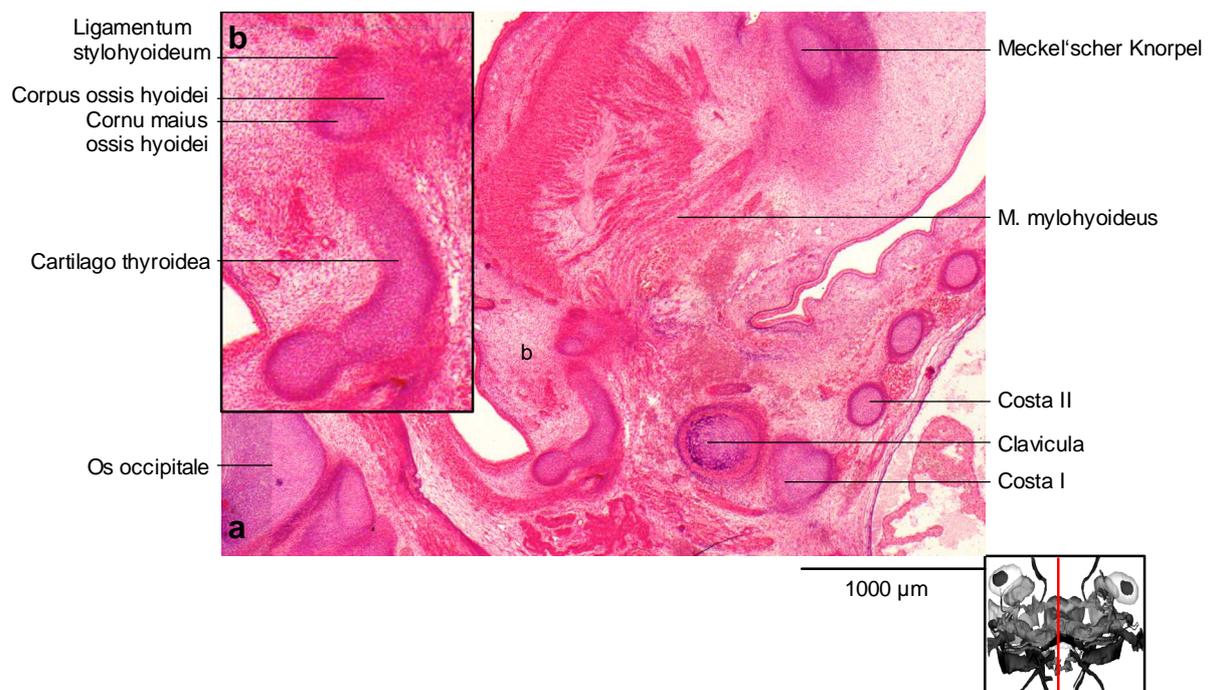


Abb. 17 Embryo 19 mm CRL, 7. Woche (CHR 220687)

Sagittalschnitt auf Höhe des Treffpunktes von Cornu maius und Corpus ossis hyoidei

a Übersicht

b zweifache Vergrößerung

4.3 Embryo 22 mm SSL, 7. Woche (EMM 150787)

Der zweite rekonstruierte Embryo hat eine Scheitel-Steiß-Länge von 22 mm (7. Woche). Alle Schnitte sind mit H.E. gefärbt, die Schnittrichtung ist auch hier sagittal.

Der Höhenabstand zwischen den verwendeten Schnitten lag bei 60 µm.

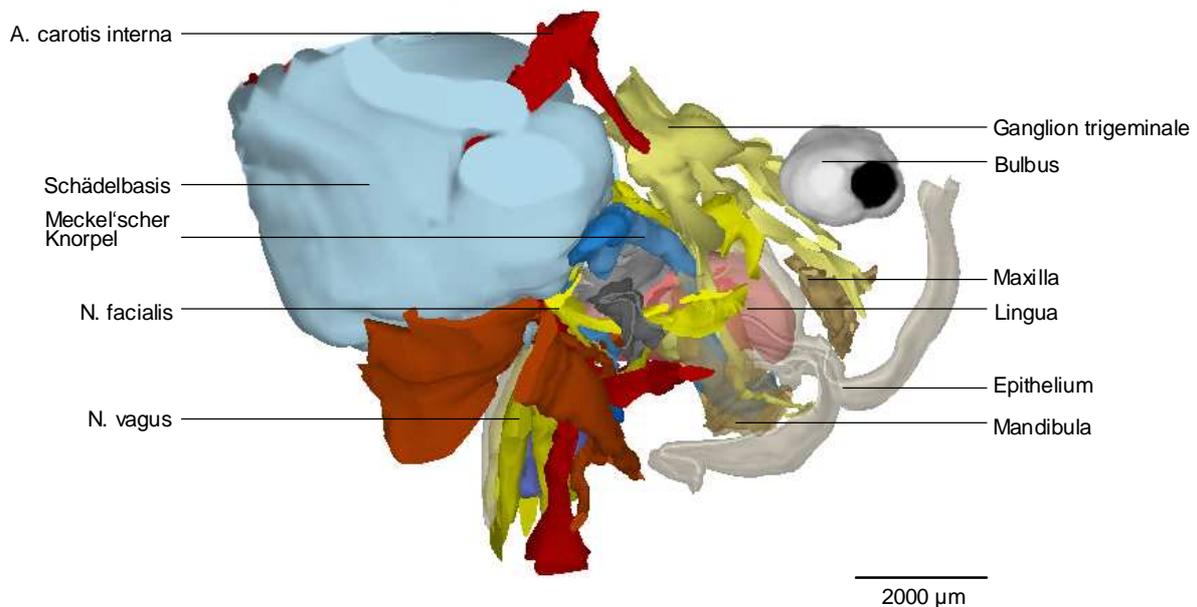


Abb. 18 Embryo 22 mm CRL, 7. Woche (EMM150787)
3D-Rekonstruktion, Gesamtdarstellung der Region des Viscerocraniums
Ansicht von lateral

4.3.1 Os hyoideum

Auch in diesem etwas fortgeschritteneren Stadium reicht der ventrale Anteil des Reichert'schen Knorpels bis an den Treffpunkt des Cornu maius und des Corpus ossis hyoidei heran. Ein Cornu minus ist noch nicht abzugrenzen, doch auch hier spricht die enge Lagebeziehung des ventralen Anteiles dafür, dass es sich bei diesem Knorpel um den Vorläufer des Cornu minus handelt, der noch mit dem Ligamentum stylohyoideum eine Einheit bildet. Das Ligamentum stylohyoideum ist wiederum mit dem caudalen Anteil des Processus styloideus verbunden (**Abb. 19 – 22**).

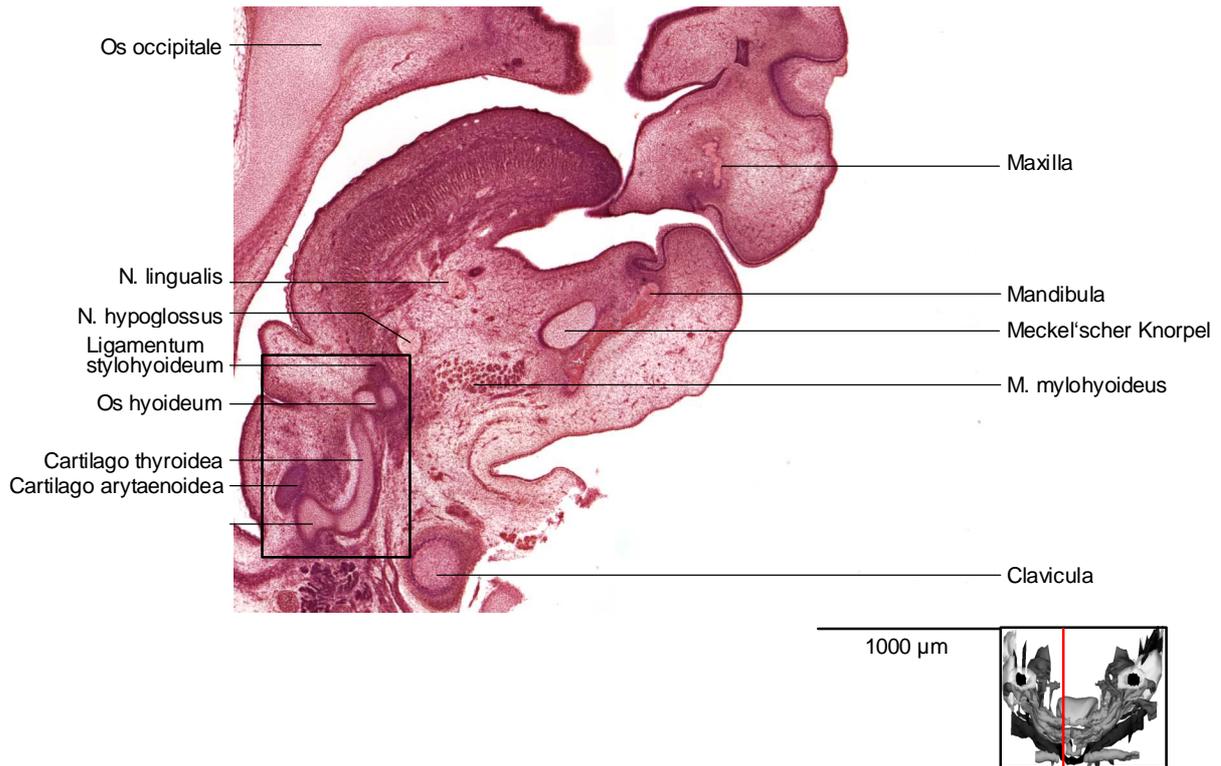


Abb. 19 Embryo 22 mm CRL, 7. Woche (EMM150787)

Sagittalschnitt auf Höhe des Treffpunktes von Cornu maius und Corpus ossis hyoidei

Die Lokalisation des cranialsten der drei Knorpel (hier mit Ligamentum stylohyoideum bezeichnet) spricht eigentlich dafür, dass es sich hierbei um das Cornu minus handelt, was sich jedoch durch die folgenden 3D-Rekonstruktionen nicht bestätigen lässt (Abb. 21 und 22).

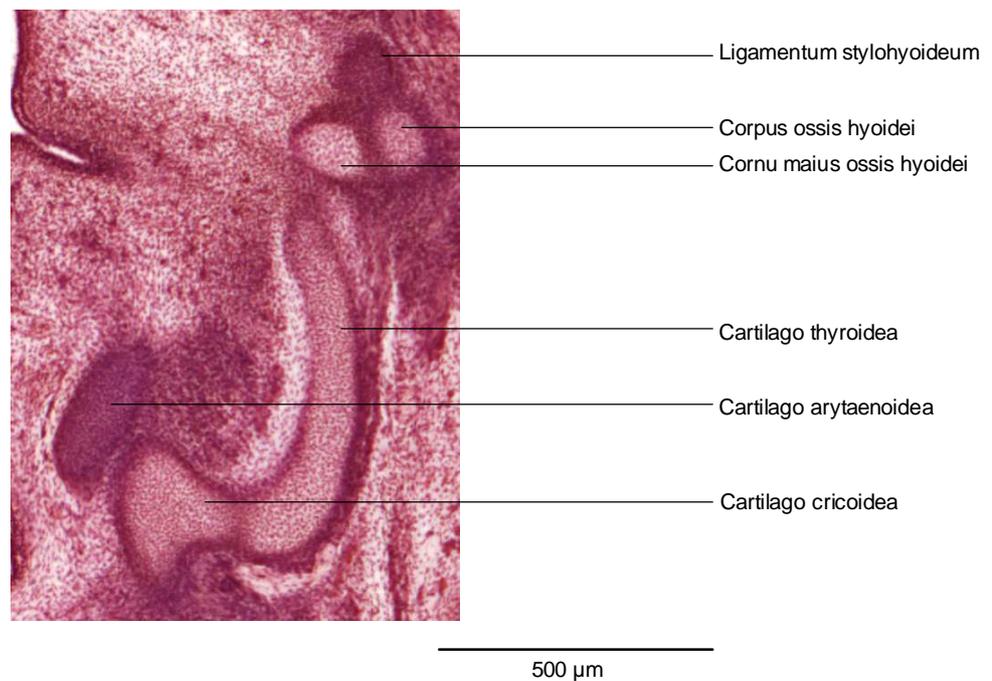


Abb. 20 Embryo 22 mm CRL, 7. Woche (EMM150787)

Ausschnitt der in Abb. 19 markierten Region, dreifach vergrößert

Auffällig in diesem Entwicklungsstadium ist, dass rechtsseitig noch das Cornu maius dextrum und der Corpus miteinander verbunden sind.

Im Vergleich zum vorherigen Embryo liegen alle drei Knorpel sehr viel enger zusammen. Die Form, die die drei Knorpel zusammen bilden, nähert sich hier schon leicht einer Parabel an. Der Corpus ähnelt einem Schild. Die Gesamtlänge des rechten und linken Cornu maius liegt bei 0,5 mm, die des Corpus bei 0,7 mm.

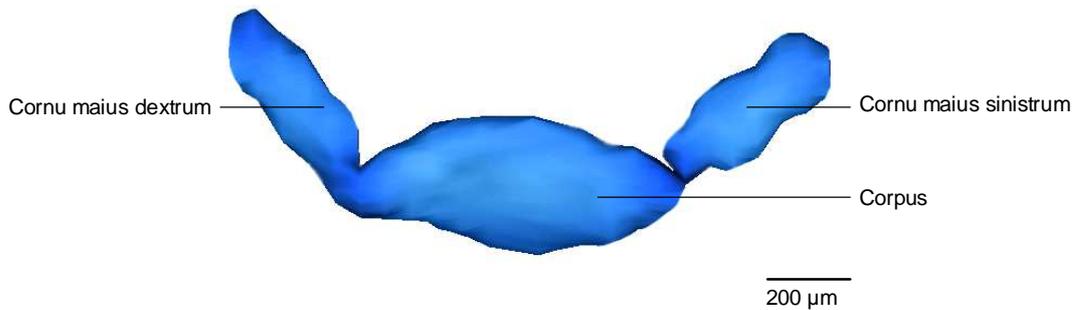


Abb. 21 Embryo 22 mm CRL, 7. Woche (EMM 150787)
3D-Rekonstruktion, Darstellung von cranial
Os hyoideum

Das Cornu maius dextrum ist nur hier mit dem Corpus verbunden, das Cornu maius sinistrum nicht. Ein Cornu minus ossis hyoidei ist in diesem Stadium noch nicht sichtbar.

4.3.2 Reichert'scher Knorpel

Die Länge des Reichert'schen Knorpels beträgt bereits 2,2 mm, die des Meckel'schen Knorpels 3,1 mm. In der Transversalen gemessen misst die Länge des Meckel'schen Knorpels 5,2 mm, die des Reichert'schen Knorpels liegt bei 4,7 mm.

Der Winkel, den die paarigen Anteile der beiden Knorpel bilden, ist weiterhin stumpf, ihr Verlauf zueinander parallel (**Abb. 22**).

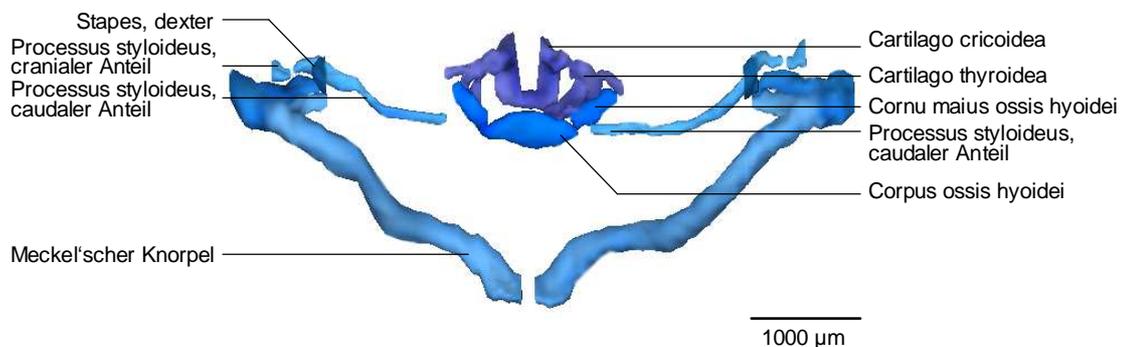


Abb. 22 Embryo 22 mm CRL, 7. Woche (EMM 150787)
3D-Rekonstruktion, Darstellung von cranial
Meckel'scher Knorpel, Anteile des Reichert'schen Knorpels und des Larynx

4.3.3 Processus styloideus und Ligamentum stylohyoideum

Auch bei diesem Embryo ist die Zusammensetzung des Processus styloideus aus zwei Bestandteilen deutlich im histologischen Schnitt zu sehen (**Abb. 23**), dieses wird durch die 3D-Rekonstruktion in der vorangegangenen **Abb. 22** noch besser veranschaulicht. Das kürzere craniale Segment lagert sich von caudal der Schädelbasis an, das caudale Segment, zieht sich bis zum Kontaktpunkt des Cornu maius und des Corpus ossis hyoidei hin.

Weiterhin verdeutlicht diese Abbildung (**Abb. 23**) bereits die große räumliche Entfernung des Stapes zu den beiden knorpeligen Vorstufen des Processus styloideus und damit zu den übrigen Knorpeln des zweiten Pharyngealbogens.

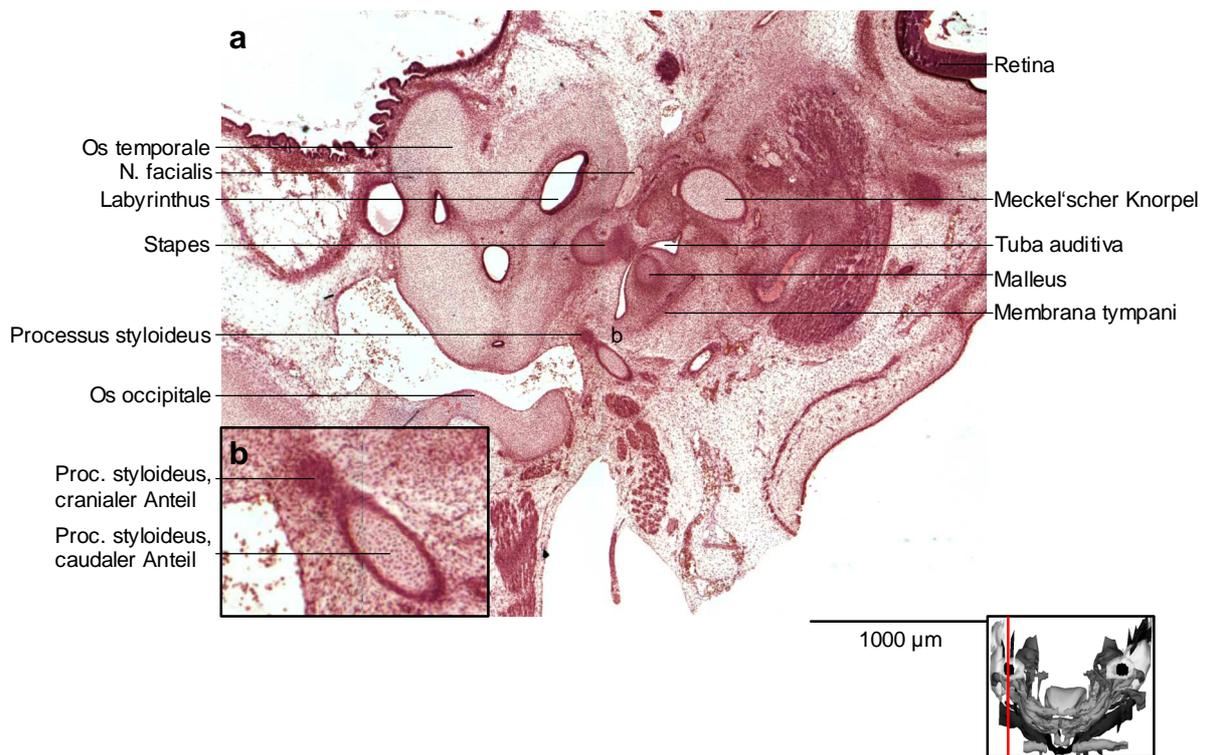


Abb. 23 Embryo 22 mm CRL, 7. Woche (EMM 150787)

Sagittalschnitt in Höhe der späteren Cavitas tympani

a Übersicht

b 3-fache Vergrößerung: Cranialer und caudaler Anteil des Processus styloideus

Darstellung der beiden knorpeligen Anteile des Processus styloideus.

4.4 Embryo 25 mm SSL, 7.- 8. Woche (JOS 080289)

Dieser Embryo mit einer Scheitel-Steiß-Länge von 25 mm (7. – 8. Woche) wurde im Gegensatz zu den vorherigen horizontal geschnitten, was die histologische Darstellung des Os hyoideum und des Processus styloideus übersichtlicher gestaltet. Auch diese Präparate wurden mit H.E. eingefärbt. Der Höhenabstand der zur 3D-Rekonstruktion verwendeten Schnitte lag bei 40 µm.

4.4.1 Os hyoideum

Wie **Abb. 24 bis 26** zeigen, ist in diesem Stadium immer noch kein Cornu minus ossis hyoidei sichtbar. Die Cornua maiora und der Corpus sind nicht miteinander verbunden, liegen aber sehr eng zusammen.

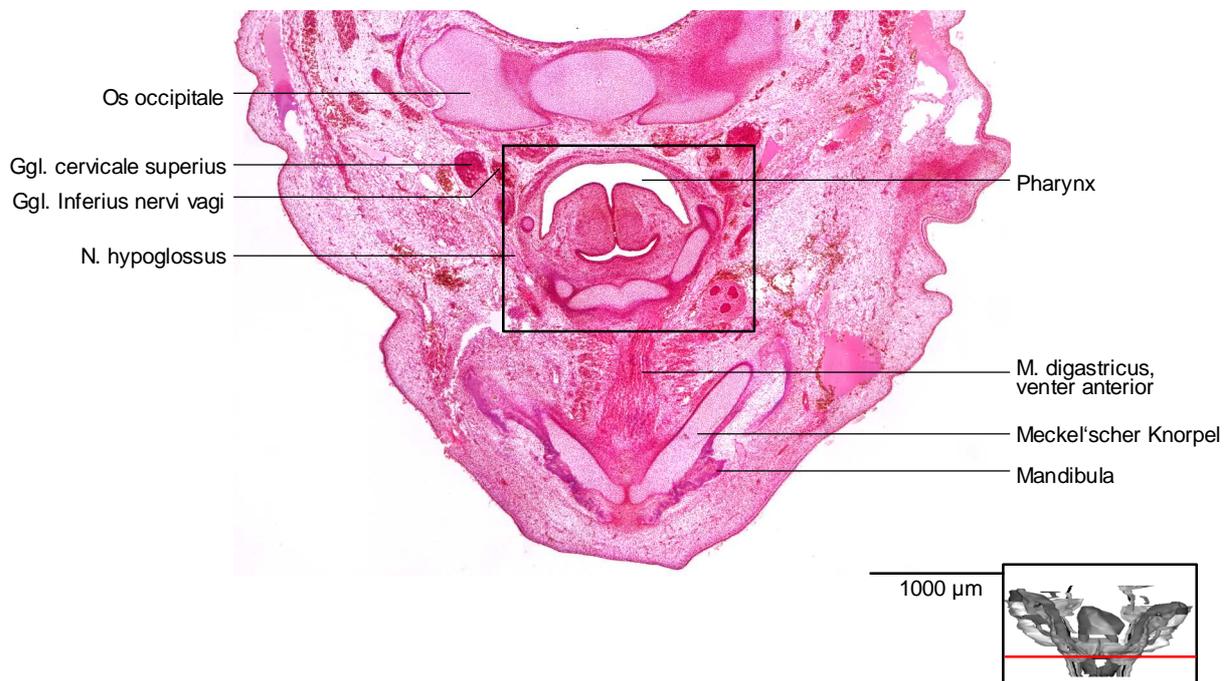


Abb. 24 Embryo 25 mm SSL, 7.-8. Woche (JOS 080289)
Horizontalschnitt auf Höhe des Os hyoideum

Eine detaillierte Beschreibung des Os hyoideum schließt sich in der nachfolgenden Vergrößerung an.

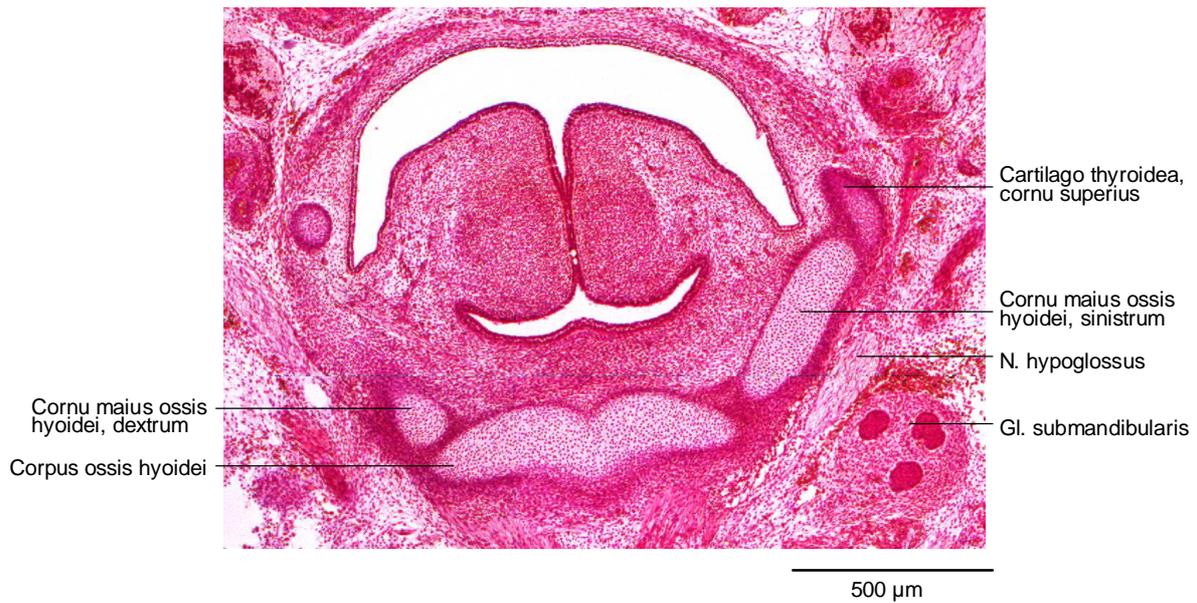


Abb. 25 Embryo 25 mm SSL, 7.-8. Woche (JOS 080289)
 Ausschnitt der in Abb. 24 markierten Region, dreifach vergrößert
 Darstellung des Corpus ossis hyoidei und der Cornua maiora

Die Gesamtlänge des rechten Cornu maius liegt hier bei 0,52 mm, die des linken bei 0,54 mm und die des Corpus ossis hyoidei bei 0,77 mm. Die Schildform des Corpus ist in diesem Stadium schon deutlicher zu erkennen, medial deutet sich eine Leiste an. Die Cornua maiora zeigen nach dorsal und sind stabförmig. In der Aufsicht ist schon eine leichte Parabelform zu erahnen (**Abb. 26**).

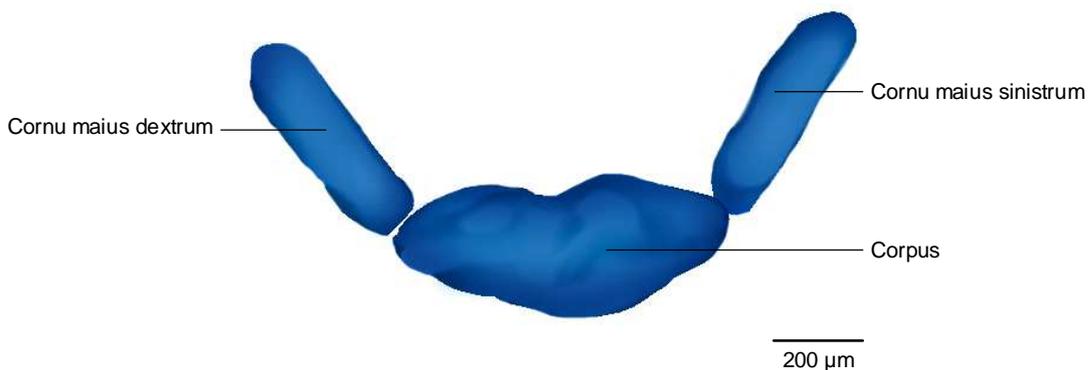


Abb. 26 Embryo 25 mm CRL, 7.- 8. Woche (JOS 080289)
 3D-Rekonstruktion, Darstellung von cranial
 Os hyoideum

4.4.1 Reichert'scher Knorpel

In diesem fortgeschrittenen Stadium zeigt sich im Knorpel des zweiten Pharyngeal- bogens eine weitere Teilung. Somit liegen nun vier Segmente paarig vor: Dies sind der Stapes, die beiden Anteile des Processus styloideus und am weitesten caudal gelegen ein neues Segment, das von der Lage her dem Vorläufer des späteren Li- gamentum stylohyoideum entsprechen dürfte – dem epihyalen Knorpel.

Auch dieses caudalste Segment des Reichert'schen Knorpels steht in enger Verbin- dung mit dem Treffpunkt des Cornu maius und des Corpus ossis hyoidei, der Positi- on des adulten Cornu minus (**Abb. 27 und 28**).

Die Länge des Meckel'schen Knorpels in der Sagittalen misst 4 mm, die des Rei- chert'schen Knorpels 3,16 mm (**Abb. 27**). Der Abstand der beiden posterioren Punk- te ist beim Meckel'schen Knorpel 4,49 mm, beim Reichert'schen Knorpel 4,46 mm. Der Winkel, den beide paarigen Knorpel bilden, ist beim Reichert'schen Knorpel jetzt schon nahezu rechtwinkelig, beim Meckel'schen Knorpel bereits spitzwinkelig (**Abb. 28**).

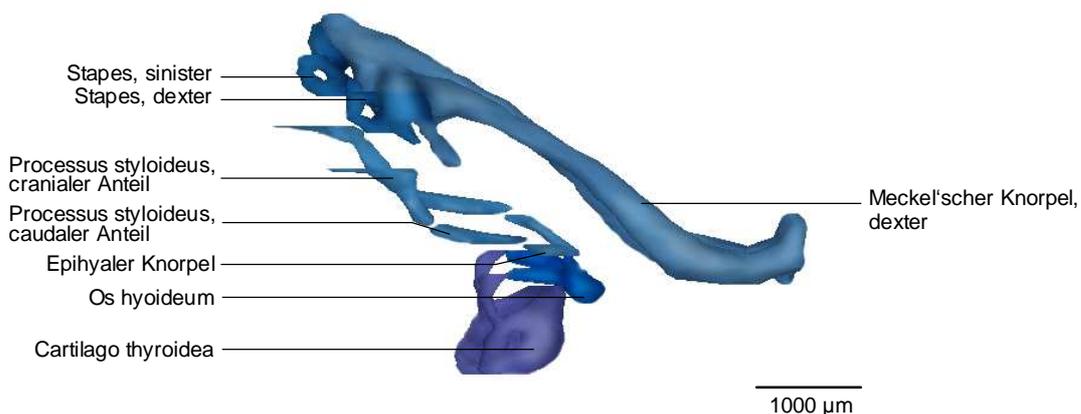


Abb. 27 Embryo 25 mm CRL, 7.- 8. Woche (JOS 080289)

3D-Rekonstruktion, Darstellung von lateral

Meckel'scher Knorpel, Anteile des Reichert'schen Knorpels und des Larynx

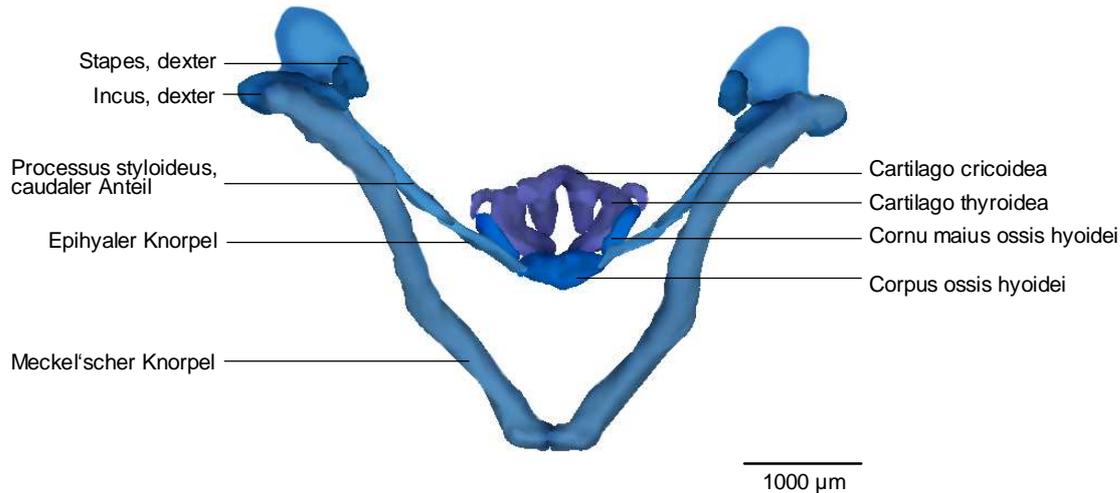


Abb. 28 Embryo 25 mm CRL, 7.- 8. Woche (JOS 080289)

3D-Rekonstruktion, Darstellung von cranial

Meckel'scher Knorpel, drei Anteile des Reichert'schen Knorpels und des Larynx

4.4.2 Processus styloideus und Ligamentum stylohyoideum

Hier liegt der Reichert'sche Knorpel in drei Segmenten vor, da der Stapes hier ja getrennt vom Reichert'schen Knorpel behandelt wird. Der Processus styloideus setzt sich weiterhin aus zwei knorpeligen Vorstufen zusammen (**Abb. 27, 28 und 29**), einem basalen cranialen Anteil, der eine Kegelform aufweist (tympanohyalen Knorpel) und einem caudalen Anteil, der stabförmig ist (stylohyalen Knorpel). Die Gesamtlänge beider Anteile beträgt 2,5 mm²². Der Vorläufer des Ligamentum stylohyoideum ist in diesem Stadium erstmals als ein separater Knorpel nachweisbar, der epihyale Knorpel (**Abb. 29 und 30**).

²² Da sich die Gesamtlänge des Reichert'schen Knorpels nun nicht mehr allein aus den beiden Anteilen des Processus styloideus zusammensetzt, wird ab hier noch eine zusätzliche Messung für die Gesamtlänge des Processus styloideus vorgenommen.

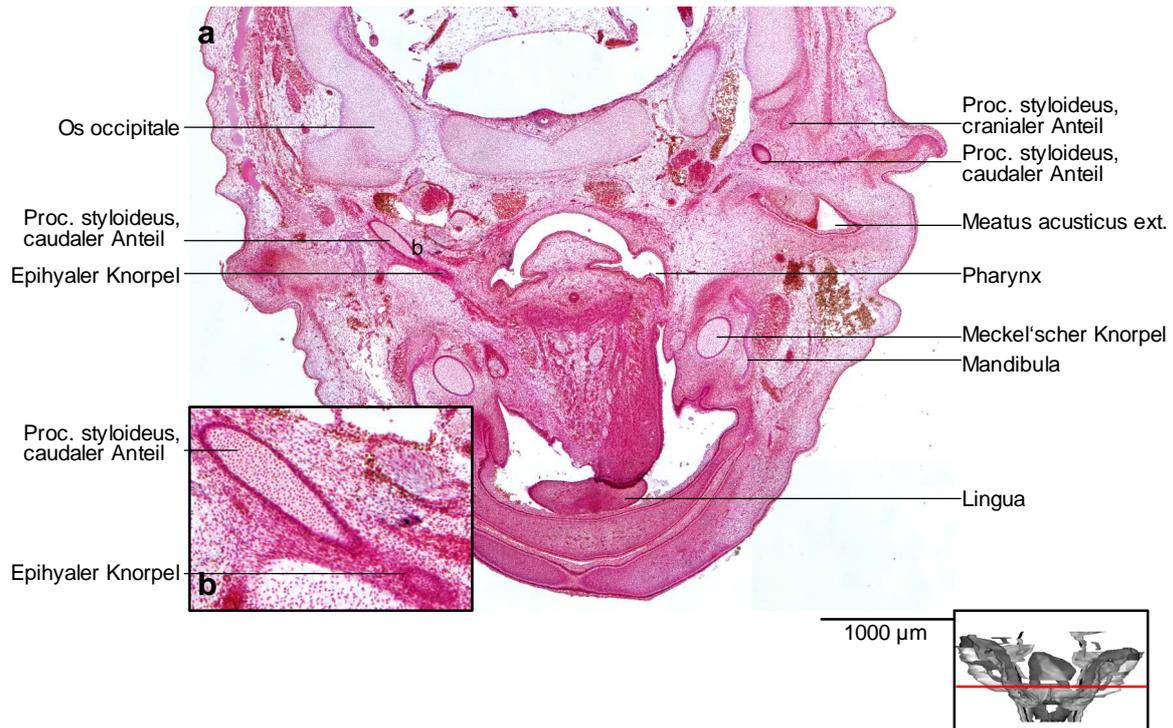


Abb. 29 Embryo 25 mm CRL, 7.-8. Woche (JOS 080289)

Horizontalschnitt in Höhe des Os occipitale

a Übersicht

b dreifache Vergrößerung: Caudaler Anteil des Processus styloideus und epiphyaler Knorpel

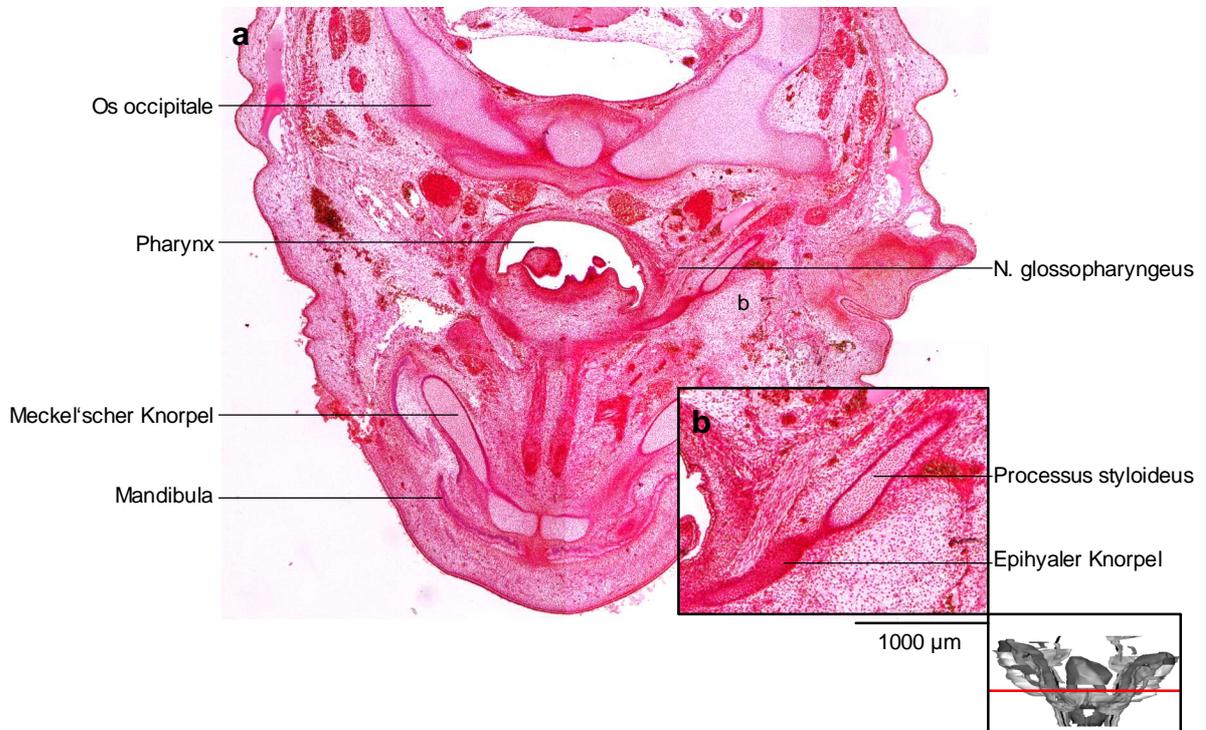


Abb. 30 Embryo 25 mm CRL, 7.-8. Woche (JOS 080289)

Horizontalschnitt in Höhe des Os occipitale

a Übersicht

b dreifache Vergrößerung: Caudaler Anteil des Processus styloideus und epiphyaler Knorpel

4.5 Embryo 30 mm CRL, 8. Woche (T61)

Dieser Embryo mit einer Scheitel-Steiß-Länge von 30 mm aus der Sammlung von Prof. Heikinheimo der University of Turku liegt auch in einer horizontalen Schnittserie vor, die Schnitte wurden mit verschiedenen Färbungen eingefärbt.

Die histologischen Schnitte, die für die 3D-Rekonstruktion benutzt wurden, hatten einen Höhenabstand von 40 µm.

4.5.1 Os hyoideum

Die folgende Abbildung stellt das Os hyoideum mit der supra- und infrahyalen Muskulatur dar und seine Lagebeziehung zu Meckel'schen Knorpel, Mandibula und Processus styloideus (**Abb. 31**).

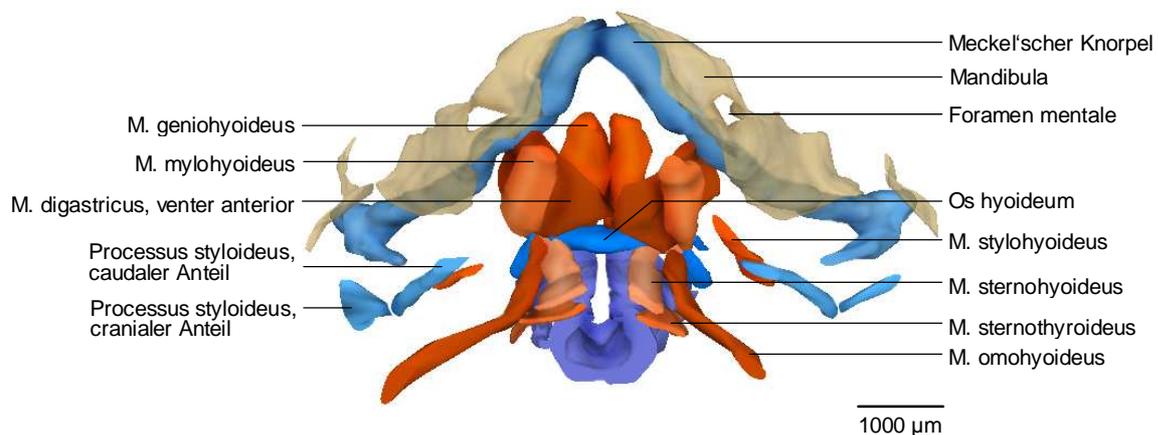


Abb. 31 Embryo 30 mm CRL, 8. Woche (T61)
3D-Rekonstruktion, Darstellung der supra- und infrahyalen Muskulatur
Ansicht von caudal

Der Corpus und die Cornua maiora ossis hyoidei liegen weiterhin als drei separate Knorpel vor, die wie das histologische Bild zeigt (**Abb. 32 und 33**), eine Art gelenkige Verbindung miteinander aufweisen.

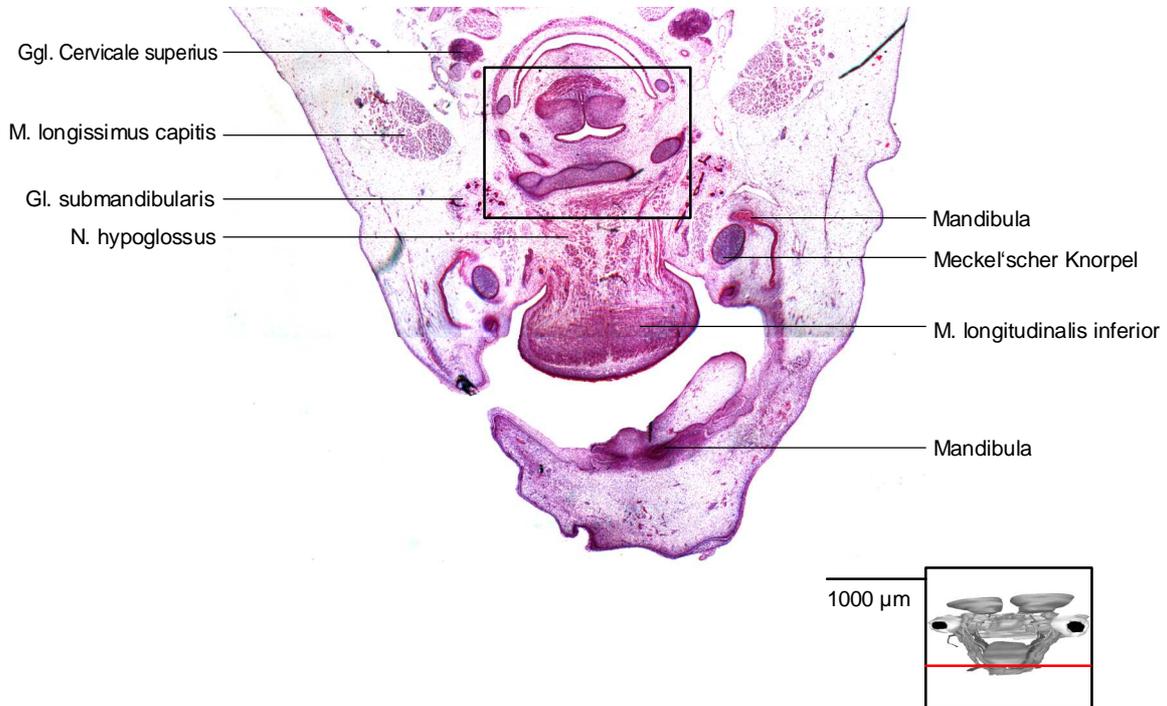


Abb. 32 Embryo 30 mm CRL, 8. Woche (T61)
 Horizontalschnitt auf Höhe des Corpus ossis hyoidei



Abb. 33 Embryo 30 mm CRL, 8. Woche (T61)
 Die in Abb. 32 markierte Region, dreifache Vergrößerung
 Corpus und Cornua maiora ossis hyoidei

In diesem Stadium ist zum ersten Mal eine kleine knorpelige Struktur in der Region des Treffpunktes von Cornu maius und Corpus ossis hyoidei nachweisbar. Mit Hilfe der dreidimensionalen Rekonstruktion wird deutlich, dass es sich dabei um die knorpelige Vorstufe des Cornu minus ossis hyoidei handelt (**Abb. 34**).

Das Cornu minus ossis hyoidei befindet sich hier auf der Bahn der gedanklich verlängerten Linie des caudalen Anteils des Processus styloideus (**Abb. 36**).

Die Gesamtlänge des Cornu maius dextrum beträgt 0,83 mm, die des Cornu maius sinistrum 0,94 mm, die Länge des Corpus liegt bereits bei 1,24 mm. Die Gesamtlänge des rechten Cornu minus misst 0,15 mm, die des linken 0,35 mm.

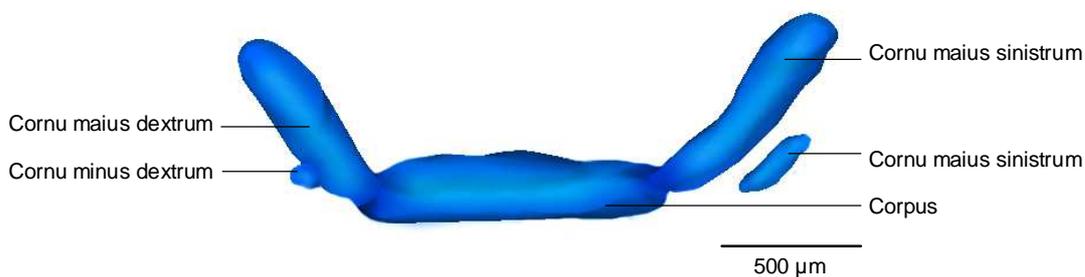


Abb. 34 Embryo 30 mm CRL, 8. Woche (T61)
3D-Rekonstruktion, Darstellung von cranial
Os hyoideum

4.5.2 Reichert'scher Knorpel

Der Reichert'sche und der Meckel'sche Knorpel verlaufen annähernd parallel (**Abb. 31 und 35**). Die Länge des Meckel'schen Knorpels beträgt in diesem Stadium 5,15 mm, die des Reichert'schen Knorpels 3,58 mm, der Abstand der paarigen Knorpel zueinander liegt beim Meckel'schen Knorpel bei 6,77 mm und beim Reichert'schen Knorpel bei 6,55 mm.

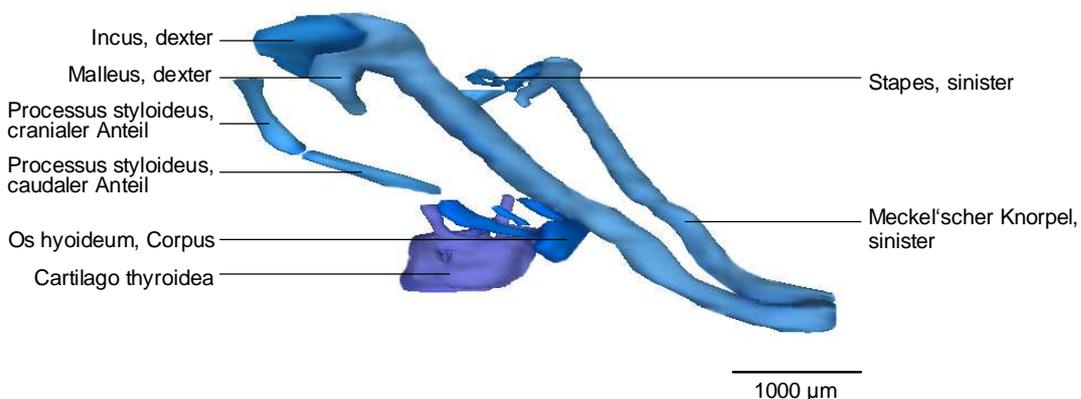


Abb. 35 Embryo 30 mm CRL, 8. Woche (T61)
3D-Rekonstruktion, Darstellung von cranial
Meckel'scher Knorpel, Anteile des Reichert'schen Knorpels, Os hyoideum und Larynx.

4.5.3 Processus styloideus und Ligamentum stylohyoideum

Auch bei diesem Embryo liegt die Anlage des Processus styloideus in Form zweier separater Knorpelanteile vor, einem kegelförmigen cranialen Anteil, der sich an die Schädelbasis anlagert und einem längeren dünneren, der zum Os hyoideum zieht. Die Gesamtlänge des Processus styloideus beträgt hier nun 2,16 mm. Ein Knorpel als Vorstufe des Ligamentum stylohyoideum ist nicht sichtbar (**Abb. 36 und 37**).

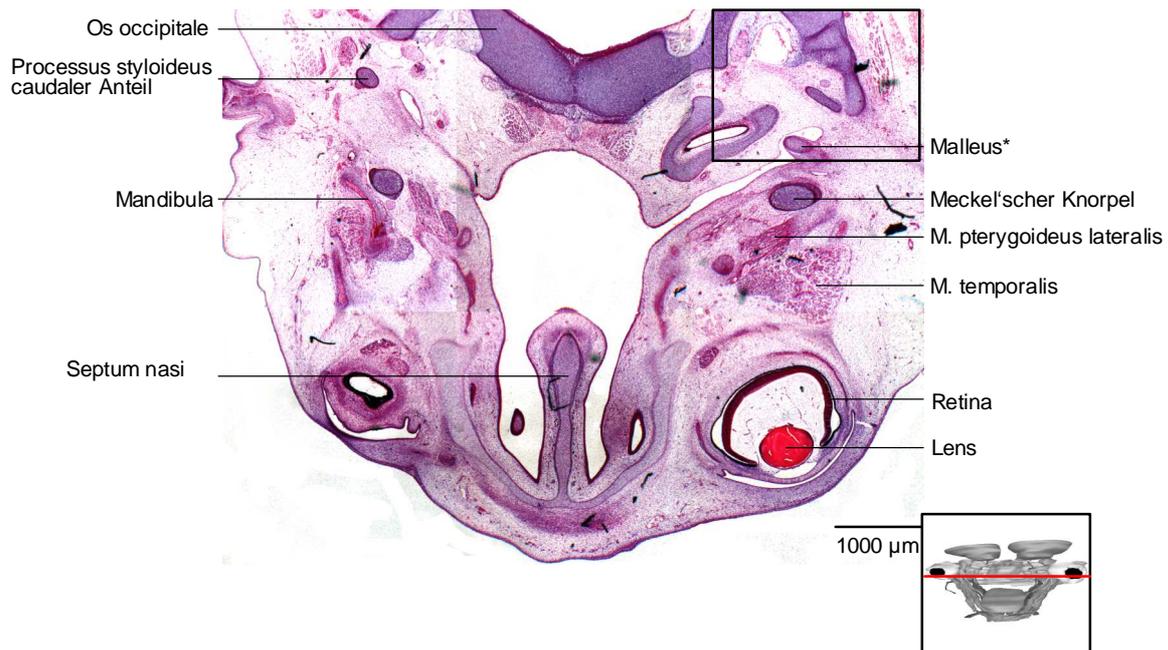


Abb. 36 Embryo 30 mm CRL, 8. Woche (T61)

Horizontalschnitt auf Höhe der Bulbi oculi.

*Malleus: eigentlich handelt es sich hierbei weiterhin um den Meckel'schen Knorpel, allerdings ist hier der posteriore Anteil angeschnitten, der den späteren Malleus bildet.

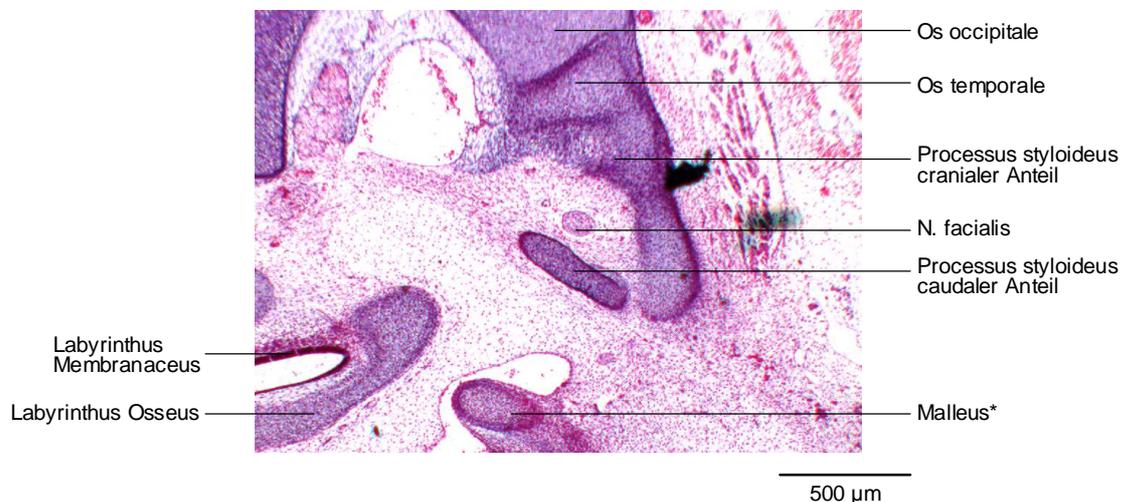


Abb. 37 Embryo 30 mm CRL, 8. Woche (T61)

Die in Abb. 36 markierte Region, dreifache Vergrößerung

4.6 Fetus 53 mm CRL, 9. Woche (HAN 040389)

Dieser Fetus hat eine Scheitel-Steiß-Länge von 53 mm (9. Woche) und wurde wiederum sagittal geschnitten. Die zur dreidimensionalen Rekonstruktion herangezogenen Schnitte hatten einen Höhenabstand von 30 µm.

Der Hals ist in diesem Stadium im Vergleich zu den vorherigen Stadien aufgerichtet, die Epithelfalte geglättet²³.

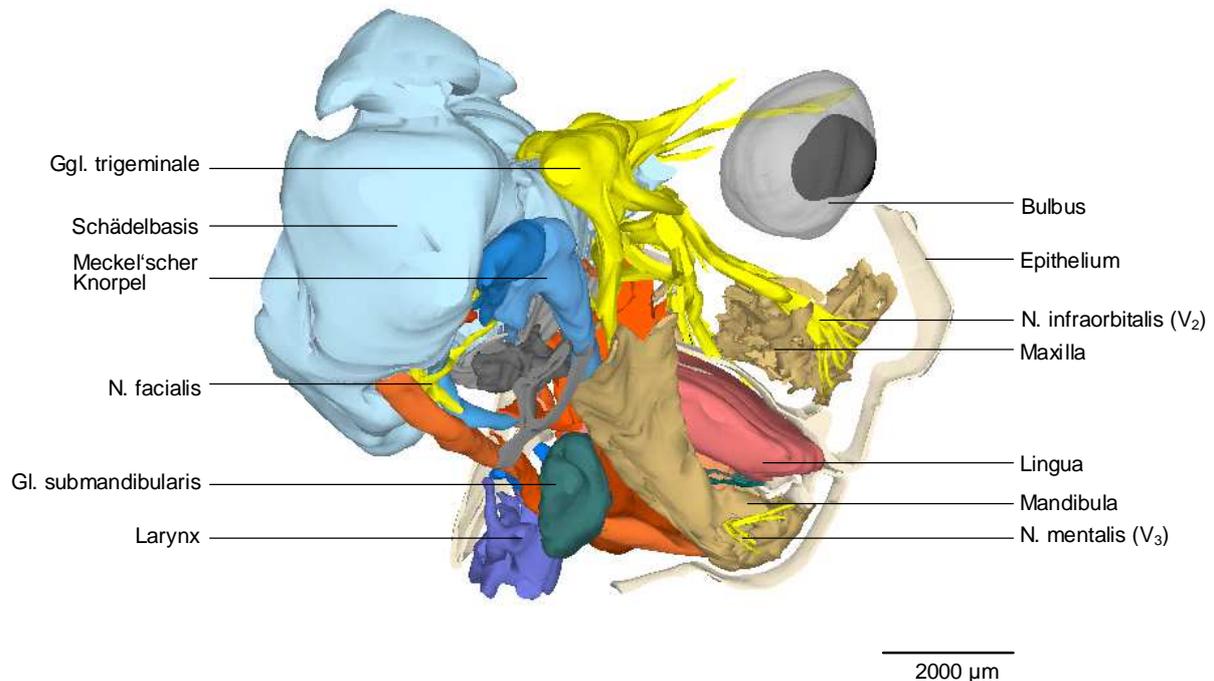


Abb. 38 Fetus 53 mm CRL, 9. Woche (HAN 040389)
3D-Rekonstruktion, Gesamtdarstellung der Region des Viscerocraniums
Ansicht von lateral

4.6.1 Os hyoideum

Die folgende Abbildung zeigt bei diesem Fetus das Os hyoideum zusammen mit dem Meckel'schen Knorpel, der Mandibula sowie der suprahyalen Muskulatur (**Abb. 39**). Im nachfolgenden histologischen Schnitt fällt die stark konkave Form des Corpus ossis hyoidei auf, die Schildform ist in diesem Stadium schon sehr ausgeprägt (**Abb. 40**).

²³ Beispielsweise im Vergleich mit dem auch sagittal geschnittenen Embryo von 19 mm SSL (CHR 220687) in Abb. 11.

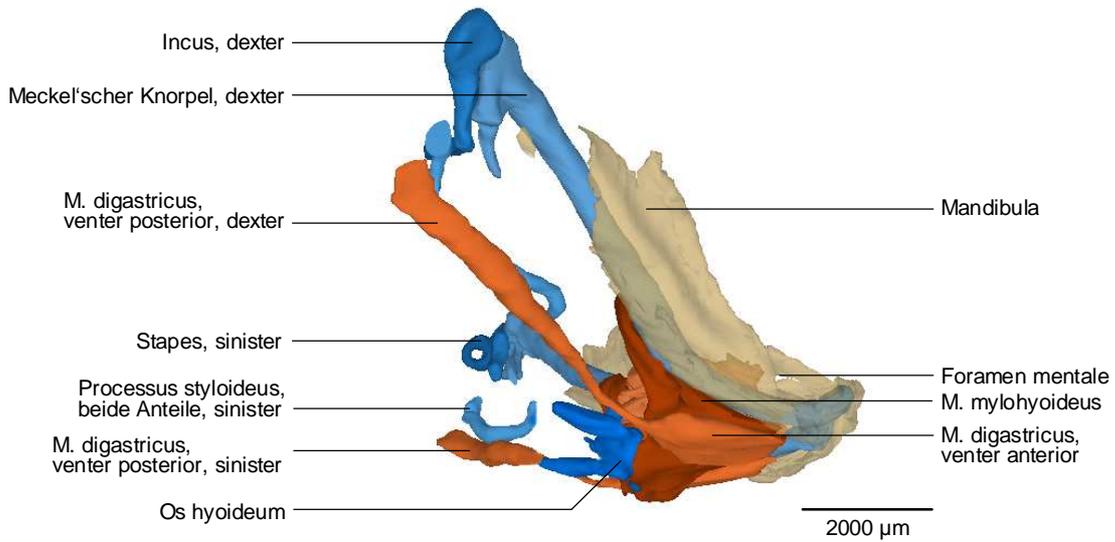


Abb. 39 Fetus 53 mm CRL, 9. Woche (HAN 040389)
 3D-Rekonstruktion, Darstellung der suprahyalen Muskulatur
 Ansicht von lateral, 30° caudal

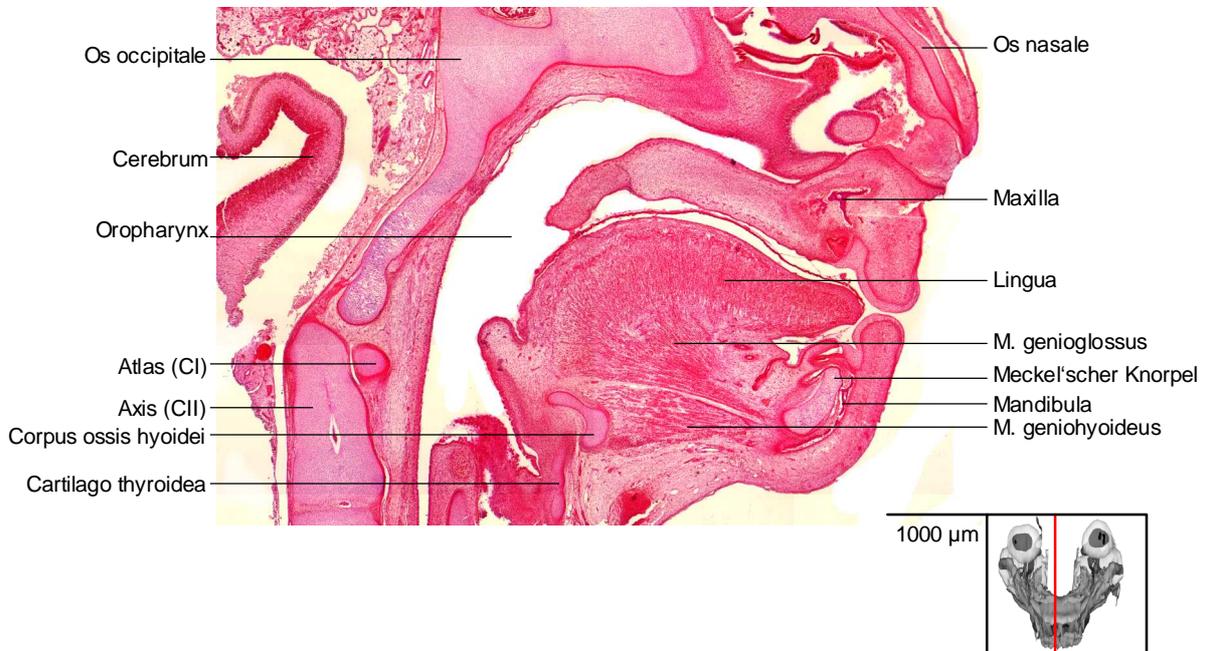


Abb. 40 Fetus 53 mm CRL, 9. Woche (HAN 040389)
 Sagittalschnitt auf Höhe des Corpus ossis hyoidei

Das Os hyoideum setzt sich weiterhin aus fünf separaten Knorpeln zusammen, jeweils zwei Cornua maiora und minora sowie dem Corpus, wie es auch im histologischen Schnitt (**Abb. 41 und 42**) und noch anschaulicher in der 3D-Rekonstruktion (**Abb. 43**) zu sehen ist.



Abb. 41 Fetus 53 mm CRL, 9. Woche (HAN 040389)
Sagittalschnitt auf Höhe des Treffpunktes von Cornu maius und Corpus ossis hyoidei

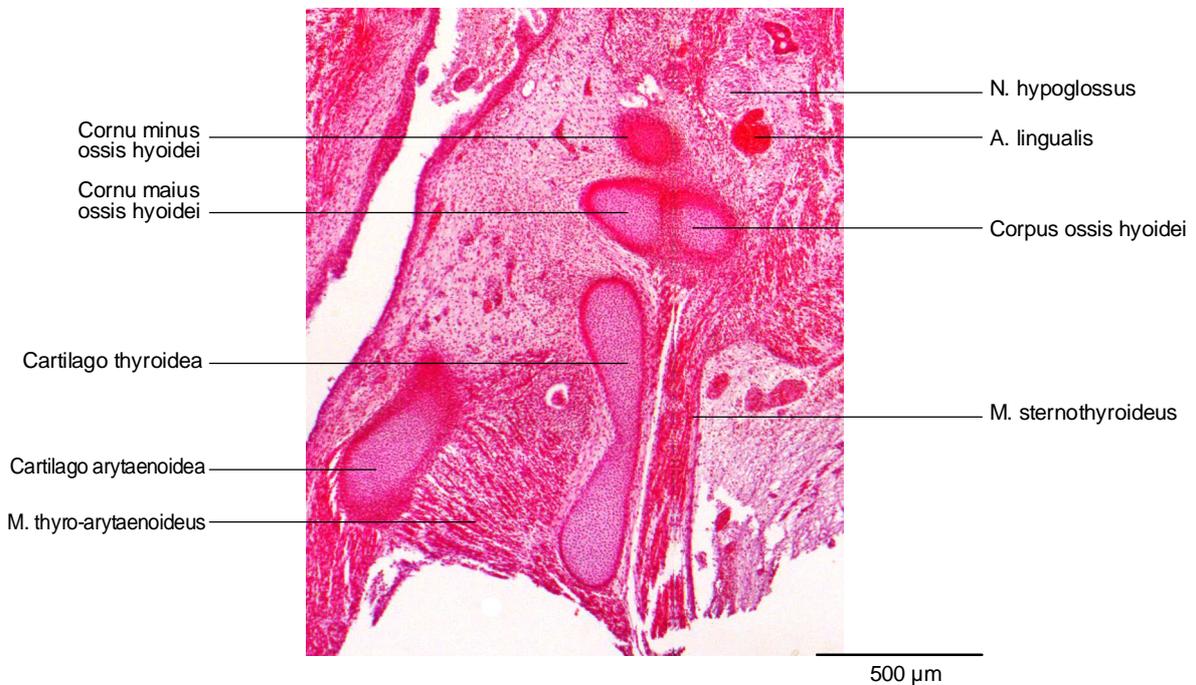


Abb. 42 Fetus 53 mm CRL, 9. Woche (HAN 040389)
Die in Abb. 41 markierte Region, dreifache Vergrößerung

Darstellung der drei Anteile des Os hyoideum: Corpus, Cornua maius und minus sinistra.

Die Cornua minora befinden sich auf Höhe des Treffpunktes von Cornu maius und Corpus, lateral der Cornua maiora und haben bereits eine annähernd runde Form. Die Gesamtlänge des Cornu maius dextrum beträgt 0,98 mm, die des Cornu maius sinistrum 1,05 mm, die Länge des Corpus liegt bei 1,31 mm. Die Gesamtlänge des rechten Cornu minus misst 0,29 mm und die des linken 0,44 mm. In der Aufsicht von cranial ist wiederum eine Parabelform zu erkennen.

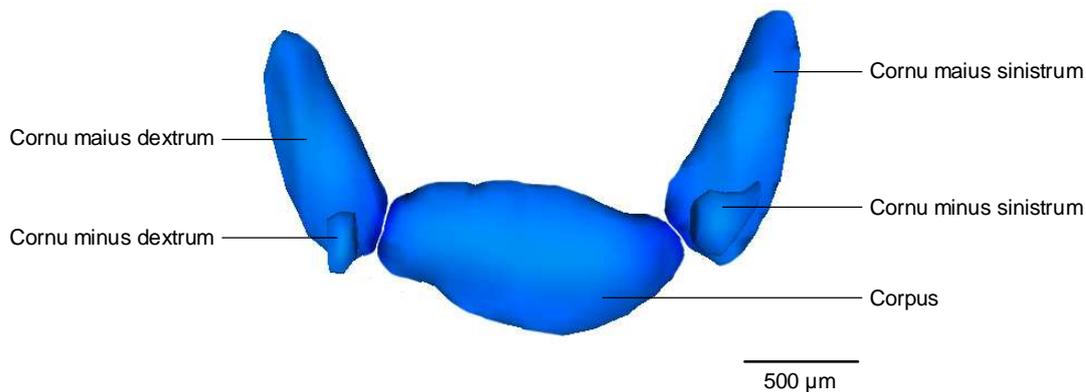


Abb. 43 Fetus 53 mm CRL, 9. Woche (HAN 040389)
 3D-Rekonstruktion
 Darstellung von cranial
 Os hyoideum

4.6.2 Reichert'scher Knorpel

Eine Parallelität zwischen Reichert'schen und Meckel'schen Knorpel ist in diesem Stadium kaum noch zu entdecken. Der Abstand zwischen dem caudalsten Punkt des Processus styloideus und dem Cornu minus hat sich stark vergrößert.

Die drei Knorpel, die nun zum Reichert'schen Knorpel gehören, sind hier die beiden Anteile des Processus styloideus und das Cornu minus ossis hyoidei.

Die Dicke des Reichert'schen Knorpels ist mittlerweile schon halb so groß wie die des Meckel'schen Knorpels (**Abb. 44 und 45**).

Die Länge des Meckel'schen Knorpels beträgt in der Sagittalen 6,68 mm, die des Reichert'schen Knorpels 4,13 mm, der Abstand in der Horizontalen liegt beim Meckel'schen Knorpel bei 7,39 mm, ähnlich beim Reichert'schen Knorpel bei 7,11 mm.

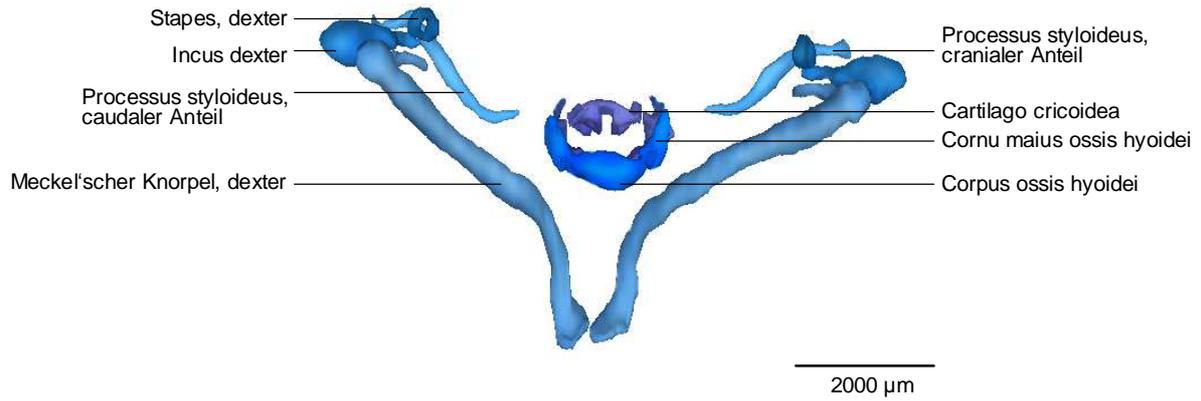


Abb. 44 Fetus 53 mm CRL, 9. Woche (HAN 040389)
 3D-Rekonstruktion
 Darstellung von cranial
 Meckel'scher Knorpel, Processus styloideus, Larynx und Os hyoideum

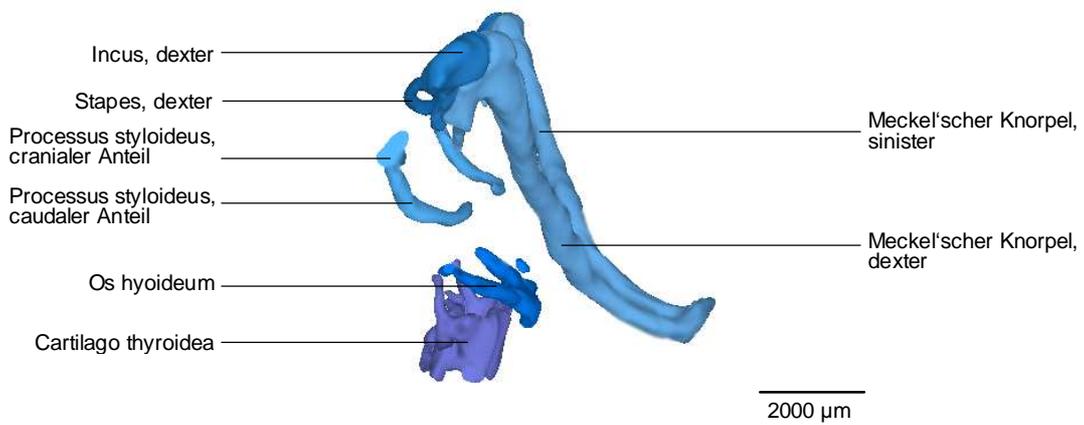


Abb. 45 Fetus 53 mm CRL, 9. Woche (HAN 040389)
 3D-Rekonstruktion
 Darstellung von lateral
 Meckel'scher Knorpel, Processus styloideus, Larynx und Os hyoideum

4.6.3 Processus styloideus und Ligamentum stylohyoideum

Genau wie in den vorherigen Stadien setzt sich der Processus styloideus aus zwei Anteilen zusammen (**Abb. 44, 45 und 46**). Seine Gesamtlänge beträgt 2,57 mm. Eine knorpelige Anlage für das Ligamentum stylohyoideum ist auch in diesem Stadium nicht mehr zu sehen.



Abb. 46 Fetus 53 mm CRL, 9. Woche (HAN 040389)
Sagittalschnitt auf Höhe des Felsenbeins

Darstellung der drei Gehörknöchelchen und des cranialen und caudalen Anteiles des Processus styloideus.

4.7 Fetus 56 mm CRL, 9.-10. Woche (THE 230494)

Dieser Fetus mit einer Scheitel-Steiß-Länge von 56 mm (9.-10. Woche) liegt in einer horizontalen Schnittserie vor, die zusätzlich zu der Standardfärbung H.E. mit Doga, Elastica-Trichrom, Feulgen und Trichrom eingefärbt wurde. Die zur 3D-Rekonstruktion herangezogenen Schnitte hatten einen Höhenabstand von 100 µm.

4.7.1 Os hyoideum

Die folgende Abbildung stellt das Os hyoideum mit seinen umgebenden Strukturen, dem Meckel'schen Knorpel mit der ihn umgebenden Mandibula, dem Processus styloideus, dem Larynx sowie der supra- und infrahyalen Muskulatur dar.

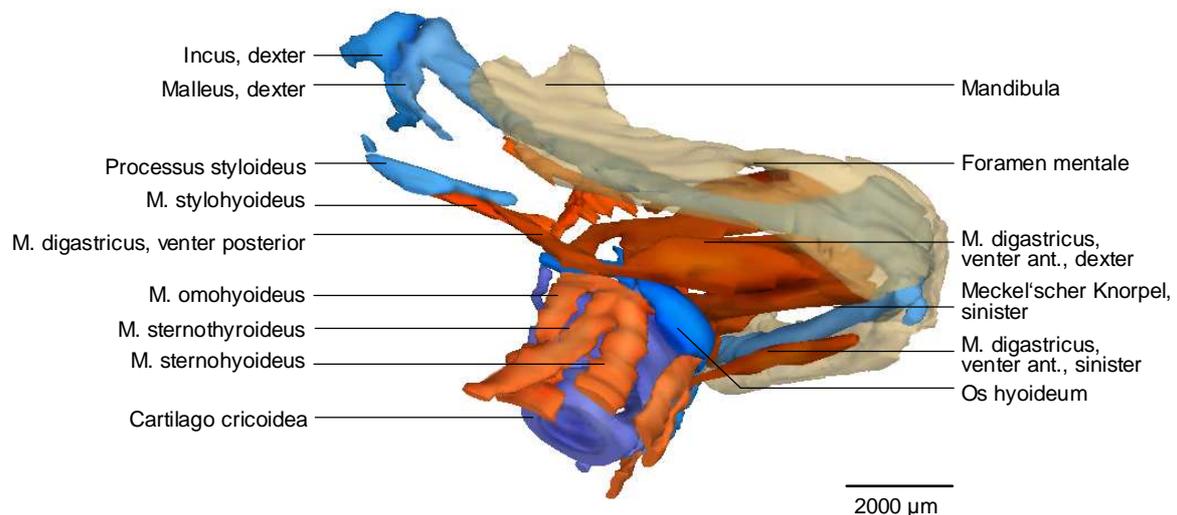


Abb. 47 Fetus 56 mm CRL, 9.-10. Woche (THE 230494)

3D-Rekonstruktion, Ansicht von lateral, 45° caudal

Darstellung der infra- und suprahyalen Muskulatur mit dem Meckel'schen Knorpel, der Mandibula, dem Processus styloideus und dem Larynx

Wie auf **Abb. 48** sehr gut zu erkennen, ist der Kontakt zwischen dem Cornu maius und dem Corpus ossis hyoidei enger geworden, doch immer noch voneinander abgrenzbar. Somit setzt sich das Os hyoideum in diesem Stadium weiterhin aus fünf Knorpeln zusammen. Die Länge des Corpus beträgt 1,6 mm, die des rechten Cornu maius 1,89 mm, des linken 1,98 mm, der größte Längenabstand des rechten Cornu minus beträgt 0,41 mm und der des linken 0,42 mm. Die Form dieses knorpeligen Os hyoideum ähnelt hier deutlich einer Parabel. Der Corpus ist schildförmig und konkav, die Cornua maiora zeigen nach dorsal und enden knotenförmig (**Abb. 49**).

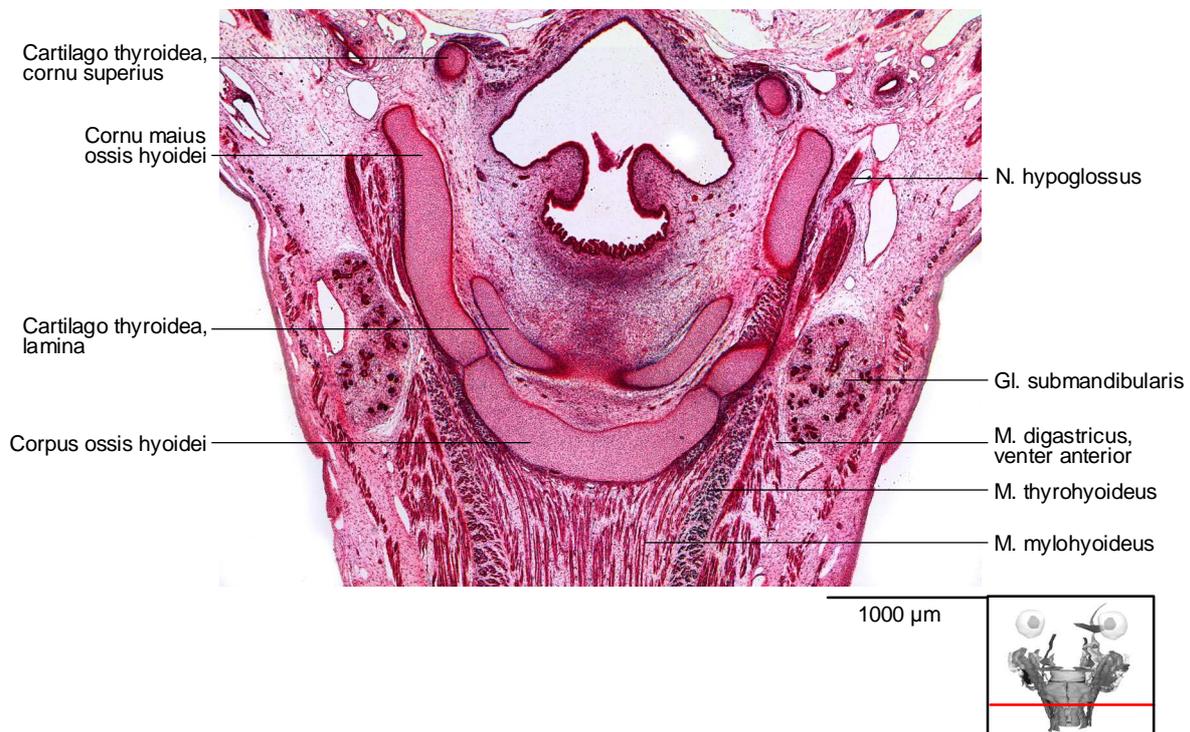


Abb. 48 Fetus 56 mm CRL, 9.-10. Woche (THE 230494)
 Horizontalschnitt auf Höhe des Os hyoideum

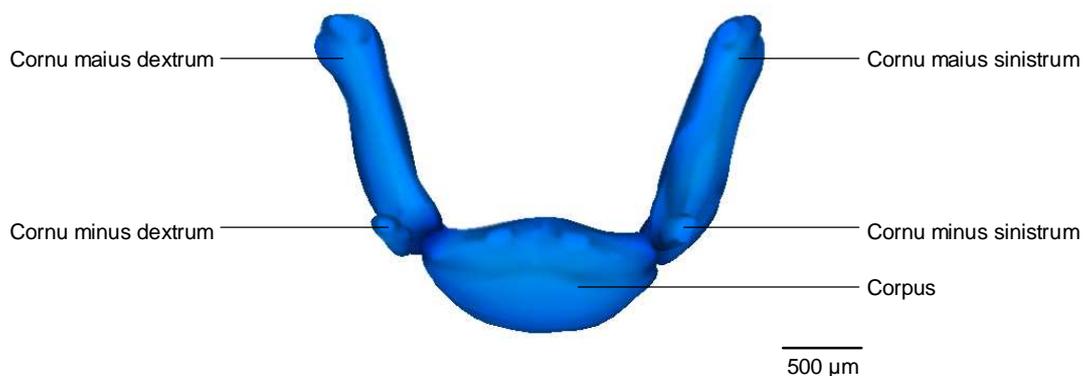


Abb. 49 Fetus 56 mm CRL, 9.-10. Woche (THE 230494)
 3D-Rekonstruktion, Darstellung von cranial Os hyoideum

4.7.2 Reichert'scher Knorpel

Sowohl der Verlauf des paarigen Meckel'schen Knorpels als auch der des Reichert'schen Knorpels bilden nun einen spitzen Winkel, wobei der des Meckel'schen Knorpels deutlich spitzer ist.

Die Länge des Meckel'schen Knorpels in der Sagittalen liegt bei 10,17 mm, in der Horizontalen bei 8,62 mm. Der Reichert'sche Knorpel misst sagittal 5,59 mm, horizontal 7,36 mm.

Der Meckel'sche Knorpel ist im Vergleich zu den vorherigen Stadien gegenüber den anderen knorpeligen Strukturen merklich ausgedünnt, der Reichert'sche Knorpel nimmt im Vergleich dazu an Dicke zu (**Abb. 50**).

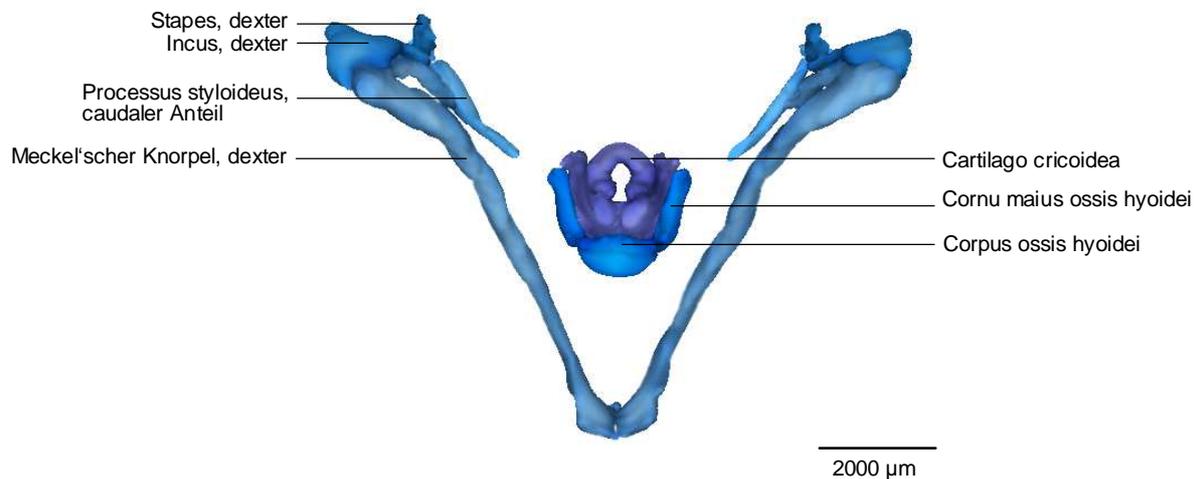


Abb. 50 Fetus 56 mm CRL, 9.-10. Woche (THE 230494)

3D-Rekonstruktion, Darstellung von cranial

Meckel'scher Knorpel, Os hyoideum, Anteile des Larynx und des Reichert'schen Knorpels

4.7.3 Processus styloideus und Ligamentum stylohyoideum

Auch noch in diesem Stadium sind zwei Anteile des Processus styloideus abgrenzbar, wobei sich diese einander annähern. Die Gesamtlänge beider knorpeligen Anteile zusammen beträgt 2,9 mm (**Abb. 50, 51 und 52**).

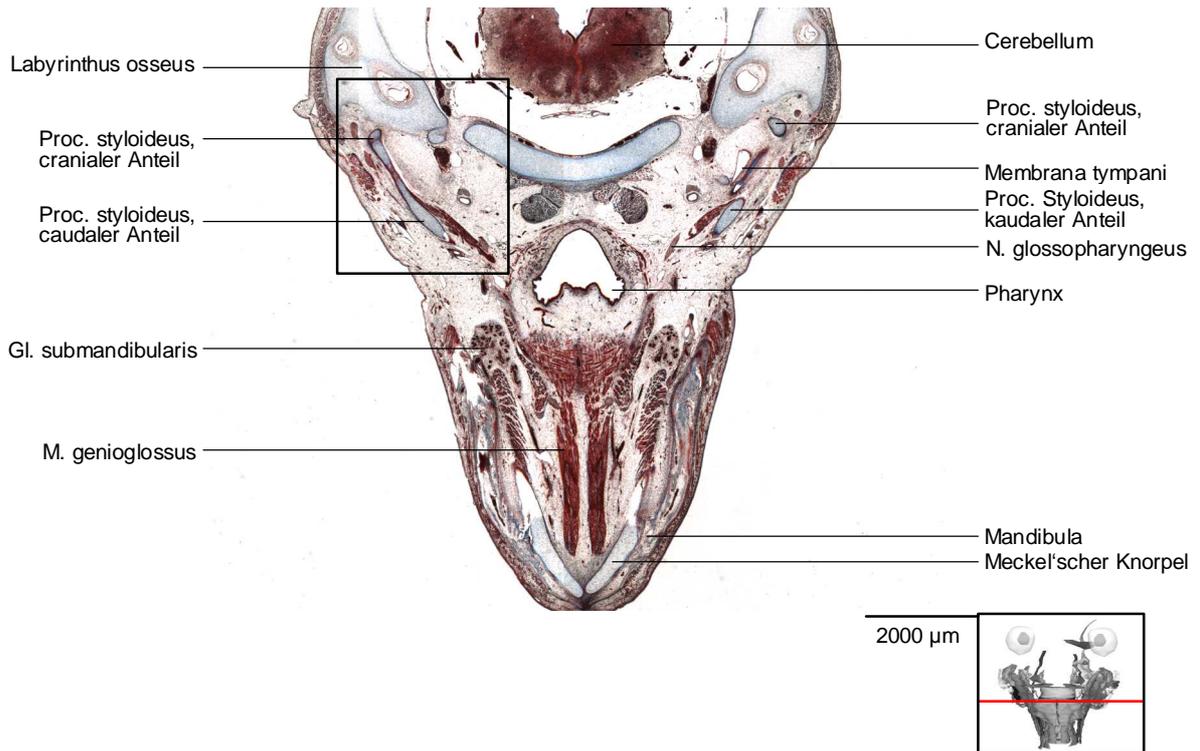


Abb. 51 Fetus 56 mm CRL, 9.-10. Woche (THE 230494)
 Horizontalschnitt auf Höhe des knöchernen Labyrinthes
 Färbung Azan

Darstellung des cranialen und caudalen Anteil des Processus styloideus (Cartilago tympanohyale und stylohyale).

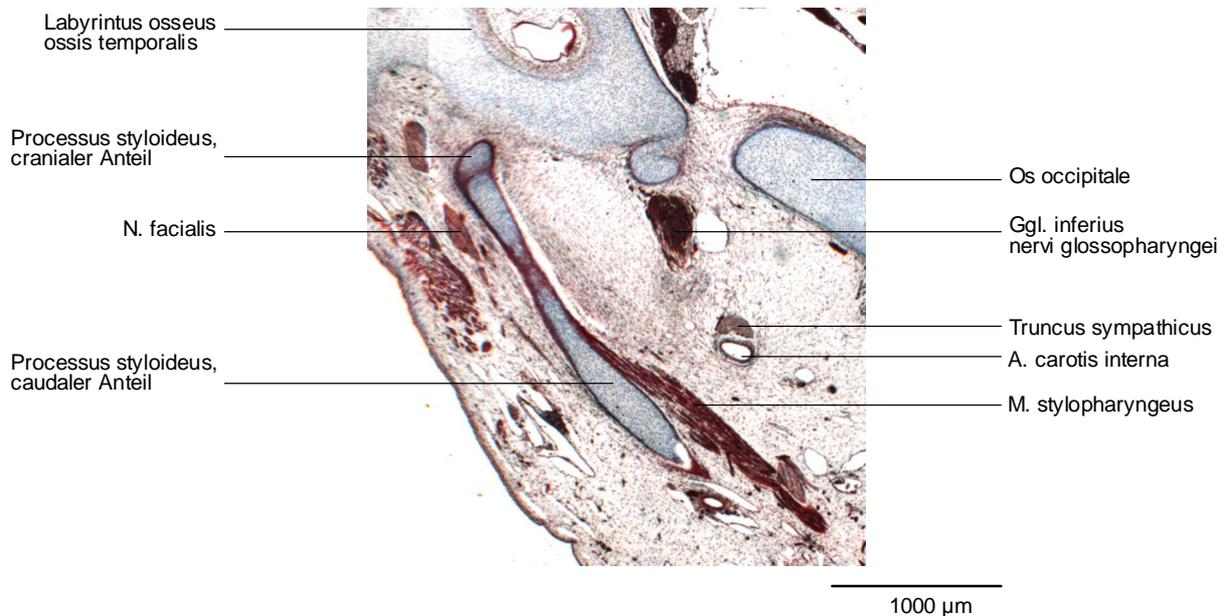


Abb. 52 Fetus 56 mm CRL, 9.-10. Woche (THE 230494)
 Die in Abb. 51 markierte Region, dreifache Vergrößerung

Darstellung des cranialen und caudalen Anteil des Processus styloideus und des Ansatzes des M. stylopharyngeus.

4.8 Fetus 87 mm CRL, 12. Woche (DES 200597)

Dieser Fetus von 87 mm Scheitel-Steiß-Länge (der 12. Schwangerschaftswoche entsprechend) liegt wiederum in einer horizontalen Schnittserie vor. Die Schnitte wurden mit H.E., Domagk, Elastica-Trichrom, Feulgen und Trichrom eingefärbt. Der Höhenabstand in der 3D-Rekonstruktion liegt bei 100 µm.

4.8.1 Os hyoideum

Im Folgenden wird das Os hyoideum des Feten mit seinen Umgebungsstrukturen im Dreidimensionalen dargestellt. Die Mandibula wurde zur besseren Übersicht transparent gestaltet (**Abb. 53 und 54**).

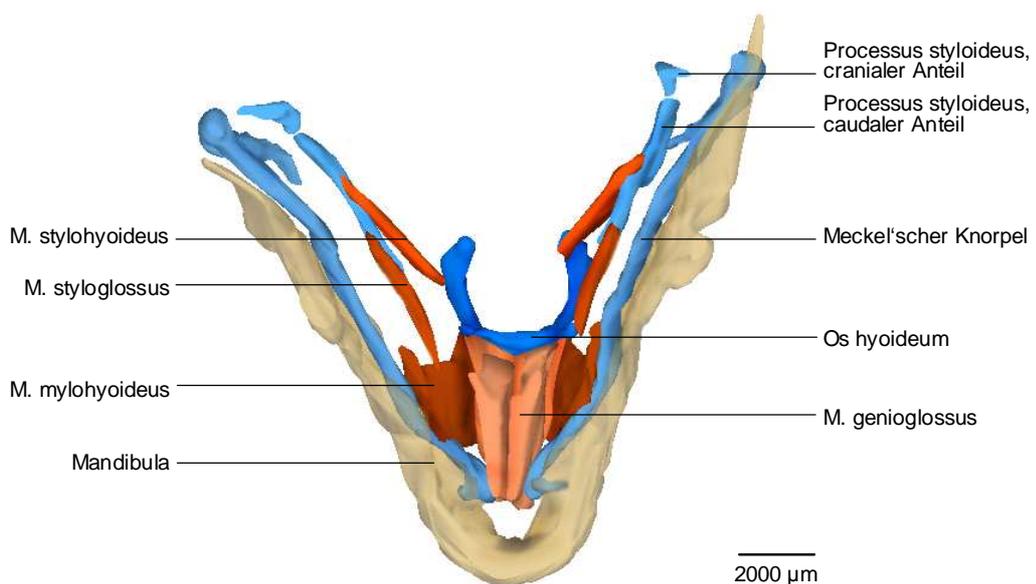


Abb. 53 Fetus 87 mm CRL, 12. Woche (DES 200597)
 3D-Rekonstruktion, Darstellung der suprahyalen Muskulatur
 Ansicht von cranial

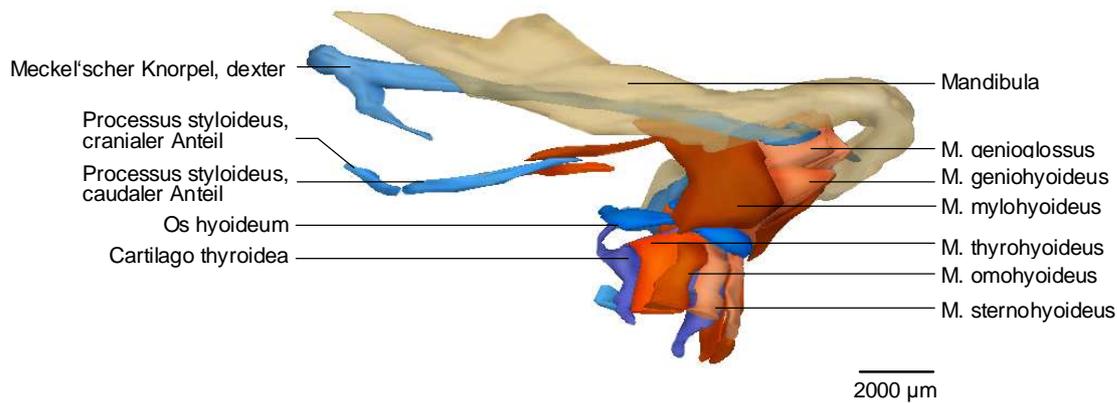


Abb. 54 Fetus 87 mm CRL, 12. Woche (DES 200597)
 3D-Rekonstruktion, Darstellung der suprahyalen Muskulatur
 Ansicht von lateral, 30° caudal

Auffällig ist bei diesem Fetus die ausgeprägte Hufeisenform des Os hyoideum. Es setzt sich weiterhin aus fünf Knorpeln zusammen. Der Corpus hat eine konkave Schildform, die Cornua maiora zeigen nach dorsal, sind dort leicht verdickt und bei diesem Fetus im Vergleich zu den bisherigen nach innen gebogen. Die Cornua minora befinden sich am Treffpunkt von Cornu maius und Corpus und sind kugelig. Die Gesamtlänge des Corpus liegt bei 2,42 mm, die des rechten Cornu maius bei 2,75 und des linken bei 2,78 mm. Die Länge der Cornua minora liegt rechtsseitig bei 0,33 mm und linksseitig bei 0,23 mm (**Abb. 55 und 56**).



Abb. 55 Fetus 87 mm CRL, 12. Woche (DES 200597)
 Horizontalschnitt auf Höhe des Os hyoideum
 Darstellung des Corpus und der Cornua minora und maiora ossis hyoidei

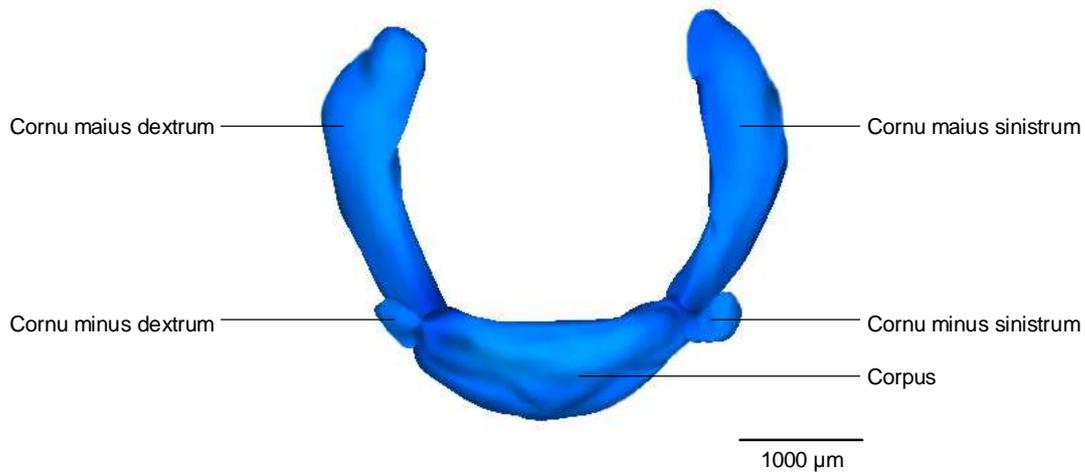


Abb. 56 Fetus 87 mm CRL, 12. Woche (DES 200597)
3D-Rekonstruktion, Darstellung von cranial
Os hyoideum

Man beachte die ausgeprägte Hufeisenform des Os hyoideum.

4.8.2 Reichert'scher Knorpel

Die beiden paarigen Anteile des Meckel'schen Knorpels bilden einen spitzen Winkel und verlaufen in der Aufsicht parallel zu den Anteilen des Reichert'schen Knorpels. Die Länge des Meckel'schen Knorpels in der Sagittalen misst 13,16 mm, die des Reichert'schen Knorpels hingegen nur 7,63 mm. In der Horizontalen liegt der Abstand der beiden dorsalsten Punkte beim Meckel'schen Knorpel bei 14,24 mm, beim Reichert'schen Knorpel sind es 11,43 mm. Die Dicke der Knorpel des ersten und zweiten Pharyngealbogens ist nun annähernd gleich groß (**Abb. 57 und 58**).

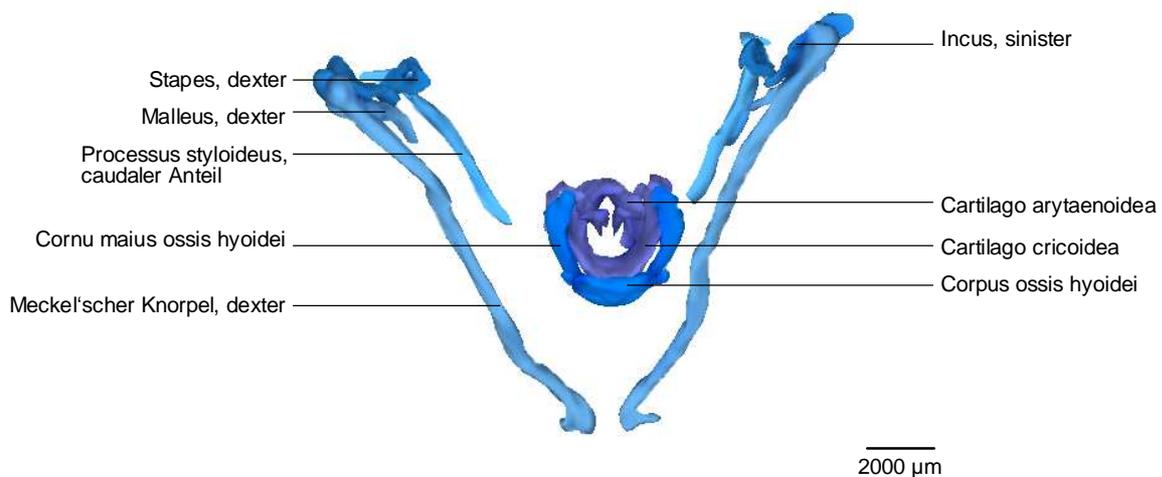


Abb. 57 Fetus 87 mm CRL, 12. Woche (DES 200597)
3D-Rekonstruktion, Darstellung von cranial
Meckel'scher Knorpel, Os hyoideum, Anteile des Larynx und des Reichert'schen Knorpels

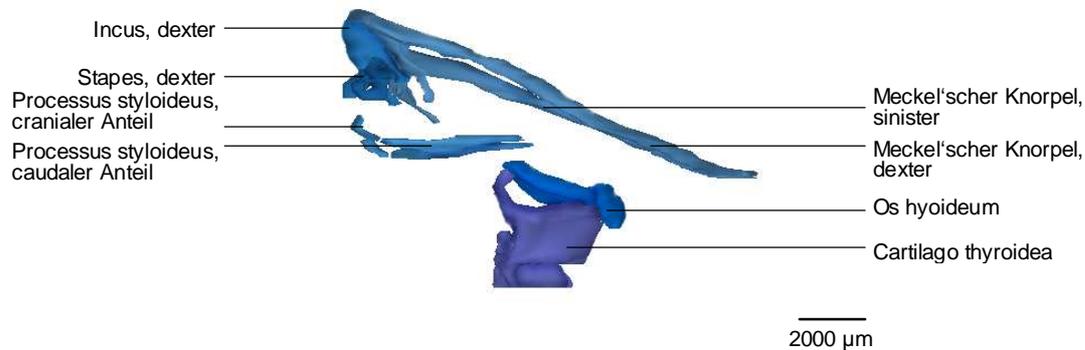


Abb. 58 Fetus 87 mm CRL, 12. Woche (DES 200597)
 3D-Rekonstruktion, Darstellung von lateral
 Meckel'scher Knorpel, Os hyoideum, Anteile des Larynx und des Reichert'schen Knorpels

4.8.3 Processus styloideus und Ligamentum stylohyoideum

Der Processus styloideus setzt sich in diesem Stadium wie bisher aus zwei knorpeligen Vorstufen zusammen, nämlich einem cranialen kegelförmigen Segment, das sich der Schädelbasis von caudal anlagert und einem caudalen längeren Segment, das stabförmig ist und nach anterior zum Cornu minus ossis hyoidei zeigt.

Die Gesamtlänge beider Segmente beträgt rechts 6,24 mm und links 5,14 mm (**Abb. 57, 58 und 59**).

Obwohl bei den vorherigen untersuchten Embryonen und Feten ab einer Scheitel-Steiß-Länge von 30 mm keine knorpelige Vorstufe des Ligamentum stylohyoideum (epihyalen Knorpel) mehr zu finden war, ist hier dorsal des caudalen Endes des Processus styloideus eine knorpelige runde Struktur zu sehen. Diese Struktur gehört weder zum cranial liegenden Processus styloideus, noch zum sich caudal von ihr befindlichen Os hyoideum. Es handelt sich hierbei wahrscheinlich um einen knorpeligen Einschluss im Ligamentum stylohyoideum, ein Relikt des epihyalen Knorpels (**Abb. 60**).

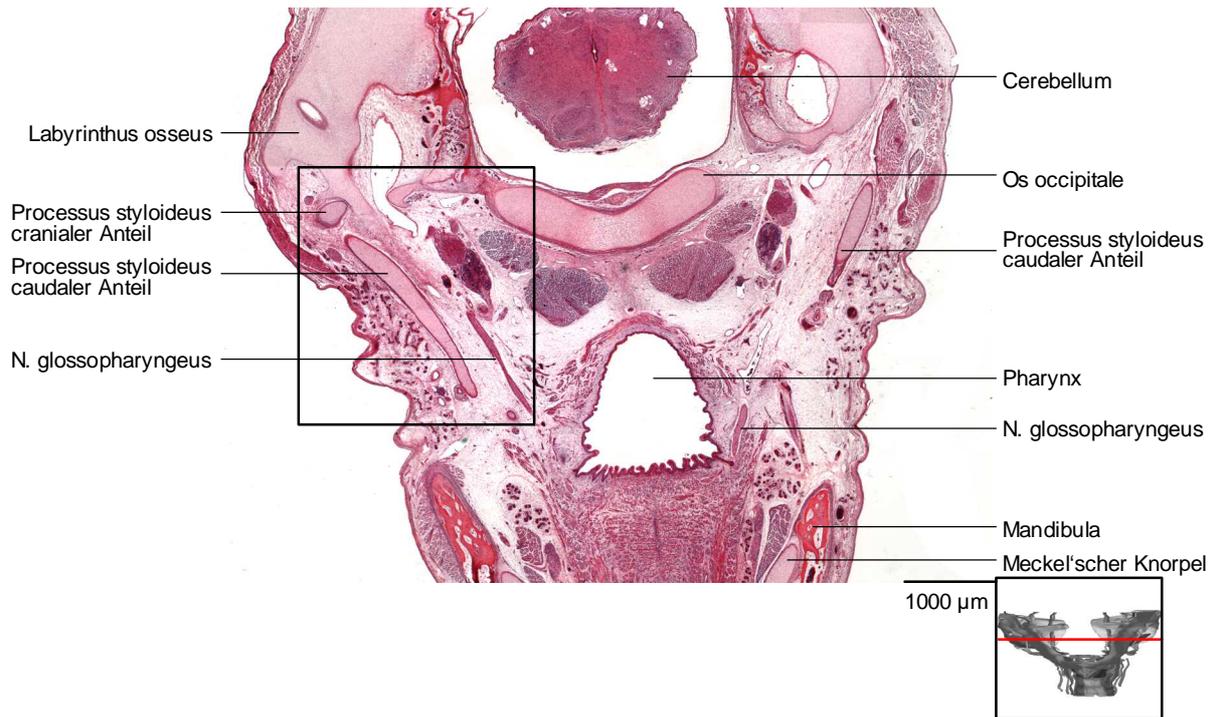


Abb. 59 Fetus 87 mm CRL, 12. Woche (DES 200597)
 Horizontalschnitt auf Höhe des Processus styloideus

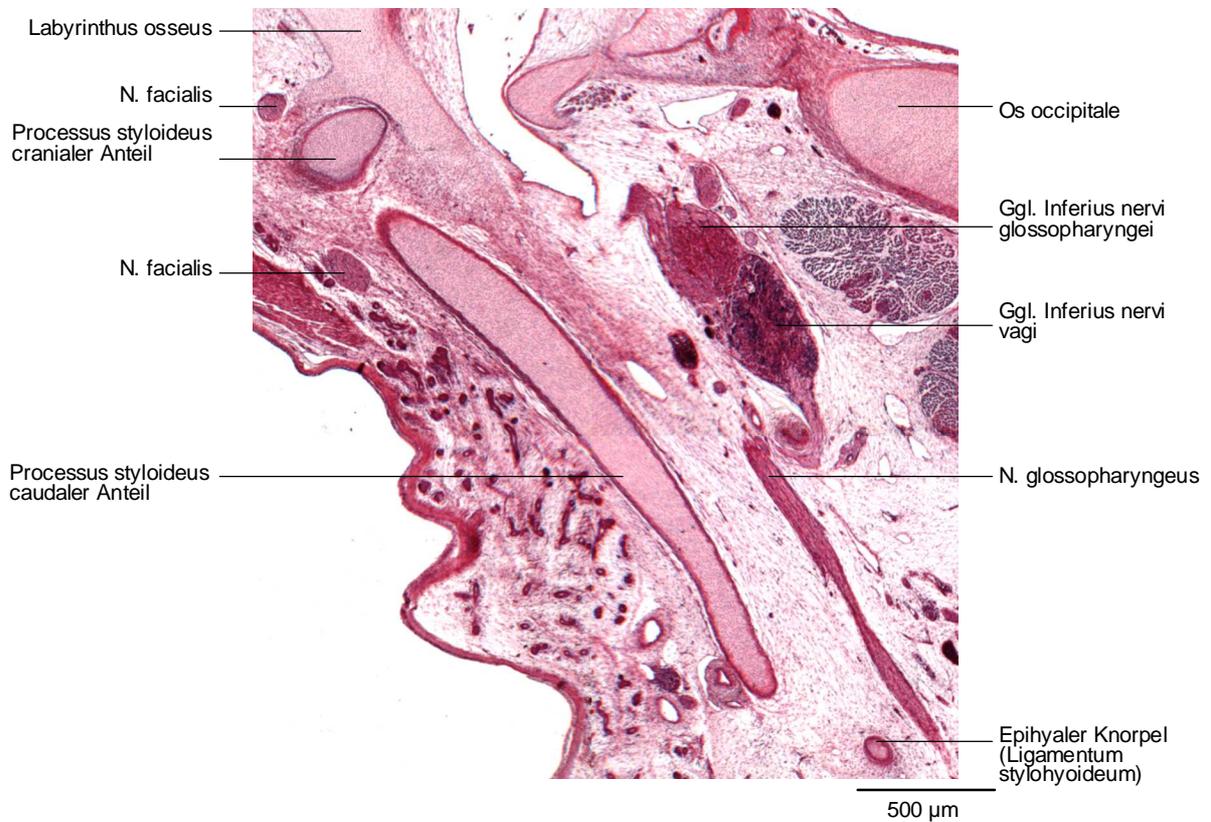


Abb. 60 Fetus 87 mm CRL, 12. Woche (DES 200597)
 Die in Abb.59 markierte Region, dreifache Vergrößerung

Darstellung des cranialen und caudalen Anteiles des Processus styloideus, des epihyalen Knorpels, sowie der Nervi facialis und glossopharyngeus.

4.9 Fetus 150 mm CRL, 18. Woche (T26)

Als letztes Untersuchungsobjekt wurde ein Fetus aus der Sammlung Prof. Heikinheimo der Universität Turku herangezogen. Auch in diesem fortgeschrittenem Stadium der 18. Schwangerschaftswoche waren noch keine Anzeichen der Verknöcherung des Os hyoideum oder der weiteren Anteile des Reichert'schen Knorpels zu sehen.

Der Fetus lag in einer sagittalen Schnittserie vor, die mit verschiedenen Färbungen versehen war (u.a. Azan, Trichrom-Färbung). Auf Grund der Größe des Feten wurde nur die Hälfte des Kopfes histologisch aufgearbeitet und ins Dreidimensionale projiziert.

Die folgenden dreidimensionalen Abbildungen wurden deswegen zum besseren Vergleich mit den vorherigen gespiegelt und zusammengefügt.

4.9.1 Os hyoideum

Die Form des Os hyoideum ähnelt bei diesem Fetus wiederum einer Parabel, der Corpus hat eine Schildform, die anterior eine transversale Leiste aufweist. Die Cornua maiora projizieren nach dorsal, im Vergleich zu den vorherigen Stadien zeigt sich aber keine Verdickung nach dorsal.

Die Cornua minora sind eiförmig und liegen weiterhin lateral der Cornua maiora am Treffpunkt mit dem Corpus.

Die Länge des Corpus liegt bei ca. 4 mm, die der Cornua maiora bei 3,62 mm und der Cornua minora bei 0,82 mm (**Abb. 61, 62 und 63**).

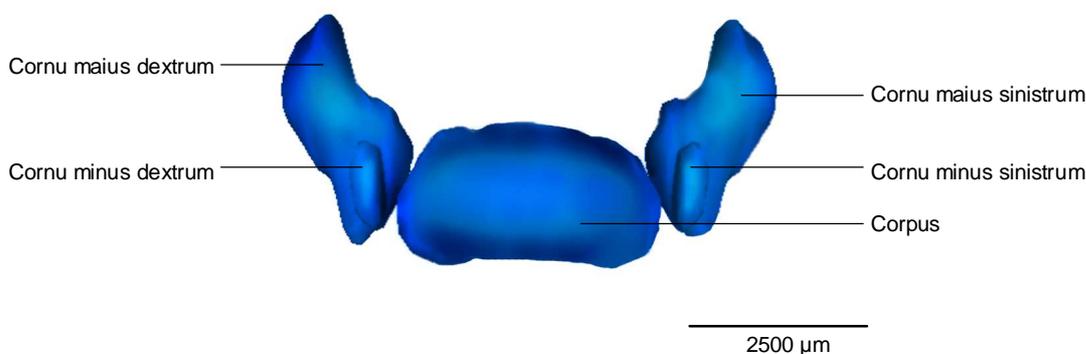


Abb. 61 Fetus 150 mm CRL, 18. Woche (T26)
3D-Rekonstruktion, Darstellung von cranial
Os hyoideum

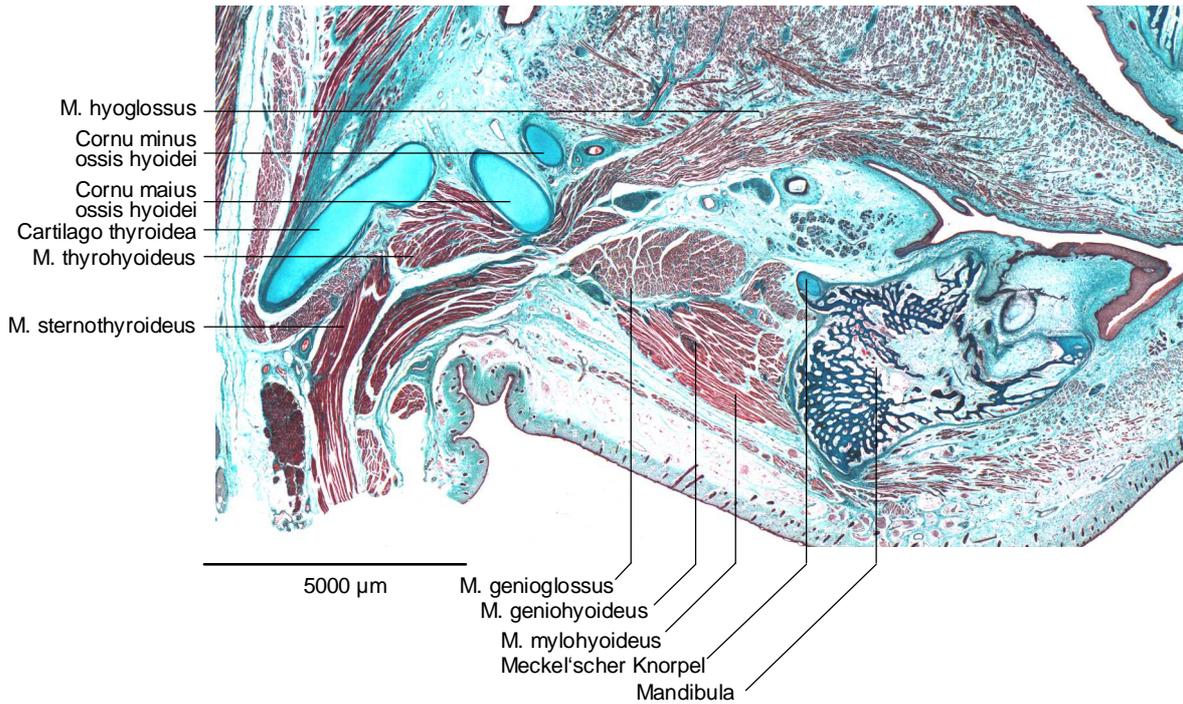


Abb. 62 Fetus 150 mm CRL, 18. Woche (T26)
 Sagittalschnitt auf Höhe der Cornua maius und minus ossis hyoidei
 Trichrom-Färbung

Darstellung der Cornua maius und minus sowie ihrer Umgebungsstrukturen Meckel'scher Knorpel, Mandibula, Larynx und der sie verbindenden Muskulatur.
 Man beachte die geringe Dicke des Meckel'schen Knorpels im Vergleich zum Os hyoideum und den vorherigen Stadien.

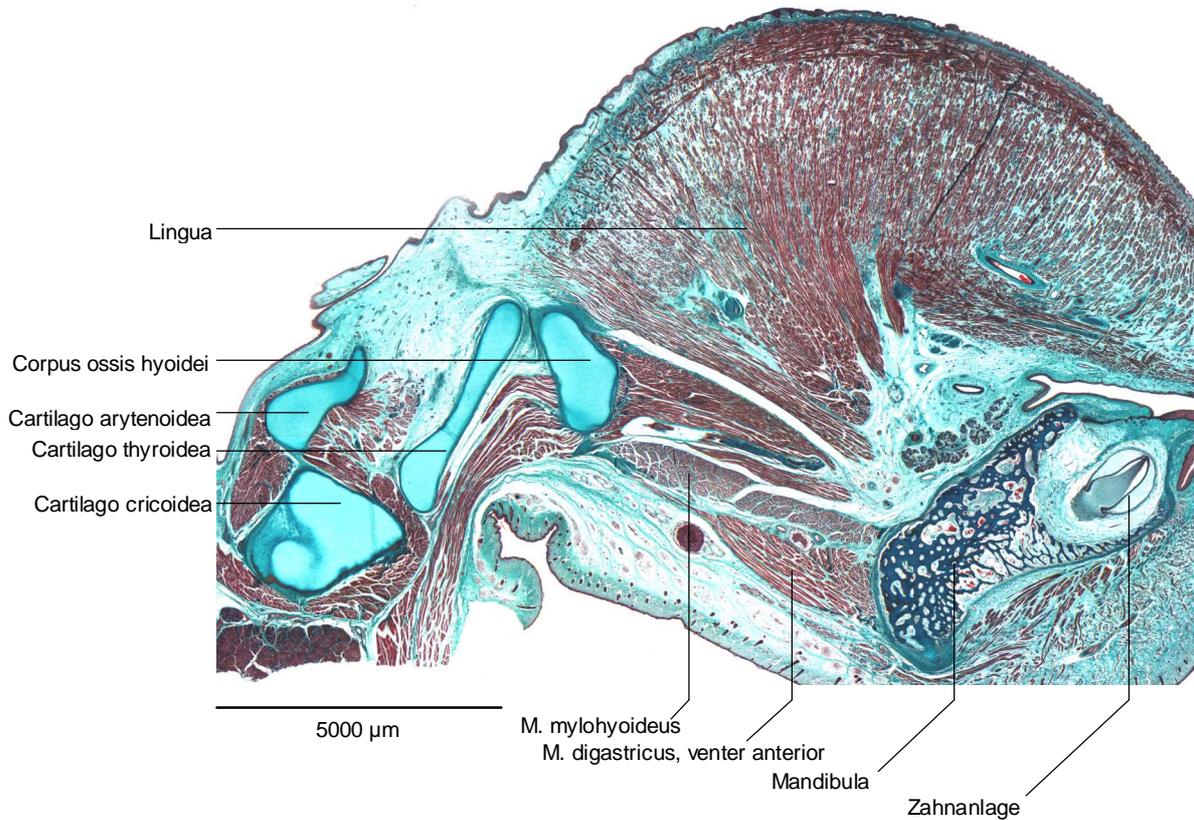


Abb. 63 Fetus 150 mm CRL, 18. Woche (T26)
 Sagittalschnitt auf Höhe des Corpus ossis hyoidei

4.9.2 Reichert'scher Knorpel

Da dieser Fetus nur zur Hälfte rekonstruiert wurde, konnte die Vermessung der Knorpel nur in der Sagittalen stattfinden. Die Länge des Meckel'schen Knorpels liegt bei 12,39 mm, die des Reichert'schen Knorpels bei 10,54 mm.

Die Dicke des Meckel'schen Knorpels ist mittlerweile kleiner als die des Reichert'schen Knorpels, er bildet sich zunehmend zurück (**Abb. 64**).

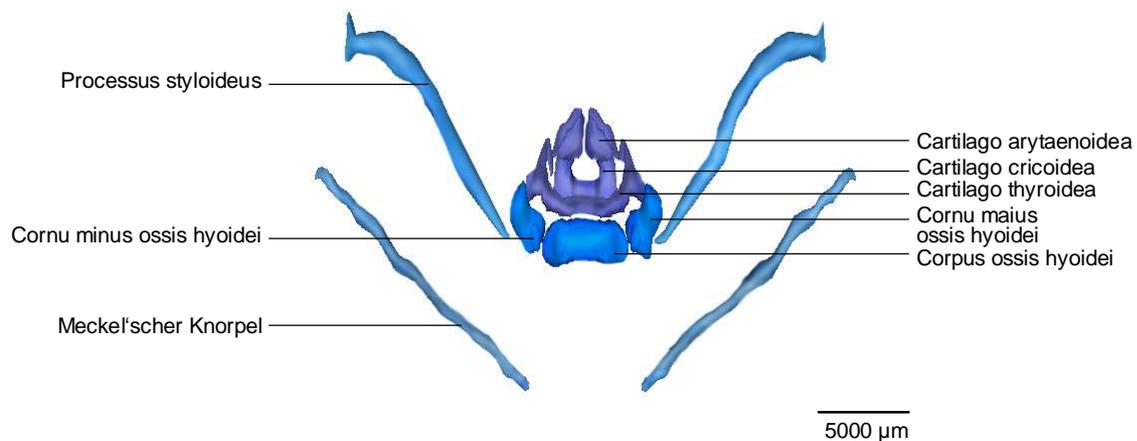


Abb. 64 Fetus 150 mm CRL, 18. Woche (T26)
 3D-Rekonstruktion, Darstellung von cranial
 Meckel'scher Knorpel, Os hyoideum, Anteile des Larynx und des Reichert'schen Knorpels

4.9.3 Processus styloideus und Ligamentum stylohyoideum

Eine Zweiteilung des Processus styloideus ist in diesem Stadium nicht mehr zu erkennen, auch ein Knorpel als Vorläufer des Ligamentum stylohyoideum ist nicht zu finden. Die Länge des Processus styloideus von der Schädelbasis aus gemessen liegt bei 9,96 mm, er reicht bis kurz vor das Cornu minus ossis hyoidei (**Abb. 64 und 65**).

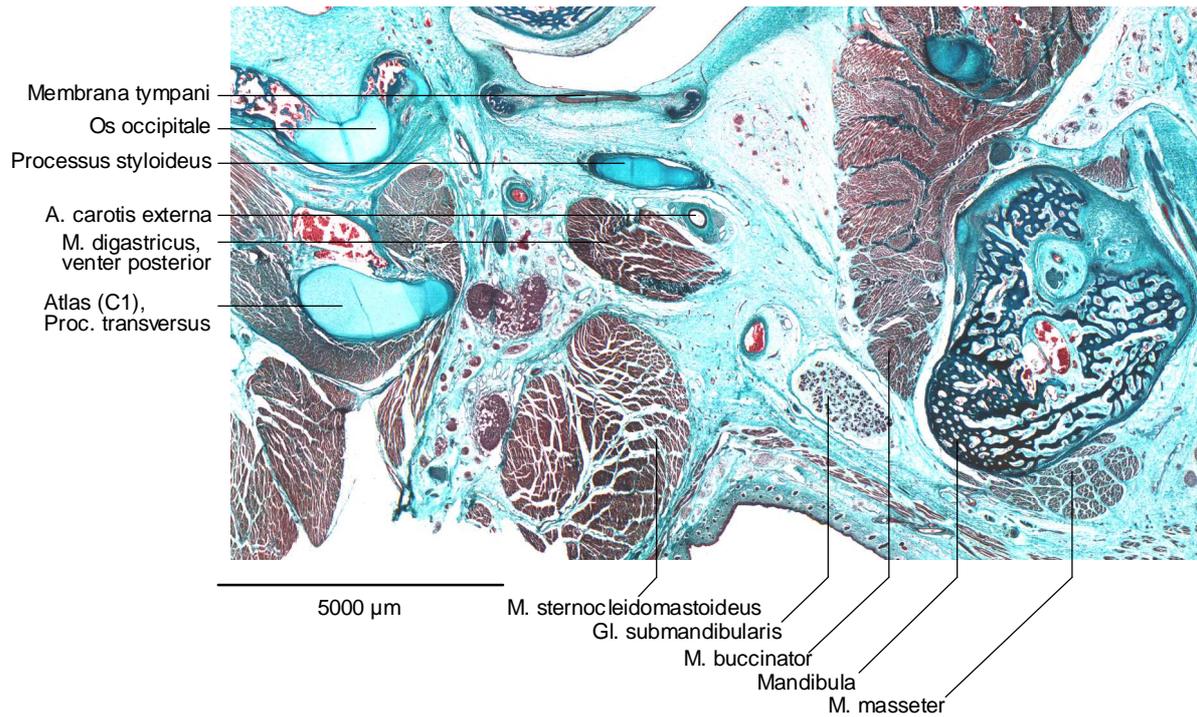


Abb. 65 Fetus 150 mm CRL, 18. Woche (T26)
Sagittalschnitt auf Höhe der Membrana tympani

4.10 Synoptische Befunddarstellung

4.10.1 Os hyoideum

Abschließend wird das Wachstum der einzelnen knorpeligen Anteile des Os hyoideum tabellarisch und grafisch zusammengefasst.

SSL (mm)	Corpus (µm)	Cornu maius re (µm)	Cornu maius li (µm)	Cornu minus re (µm)	Cornu minus li (µm)
19	591	611	442	-	-
22	783	505	501	-	-
25	773	522	554	-	-
30	1235	831	935	384	148
53	1314	978	1045	290	443
56	1634	1891	1979	412	422
87	2421	2752	2783	330	323
150	4000	3622	-	826	-

Tab. 6 Zusammenfassung der Messergebnisse der knorpeligen Anteile des Os hyoideum bei den rekonstruierten Embryonen und Feten

Im Vergleich zum Corpus und Cornu maius nimmt die Größe des Cornu minus nur geringfügig zu. Während es beim Corpus fast zu einer Versiebenfachung des größten Längenabstandes vom kleinsten zum größten Stadium kommt, beim Cornu maius zu einer Versechsfachung, kommt es beim Cornu minus nur zu einer Verdoppelung des größten Längenabstandes. Allerdings muss dabei berücksichtigt werden, dass das Cornu minus erst bei einer Scheitel-Steiß-Länge von 30 mm abgrenzbar war (Tab. 6, Abb. 66).

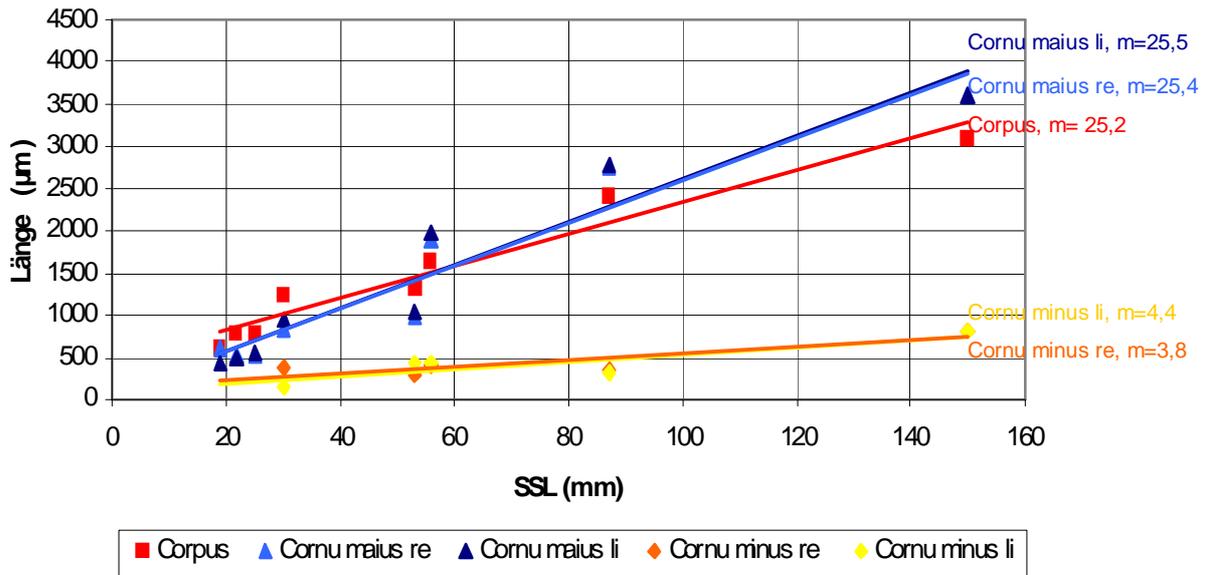


Abb. 66 Grafische Darstellung des Wachstums der einzelnen Anteile des Os hyoideum
Die Steigung (m) der Regressionsgeraden der unterschiedlichen Strukturen gibt den Wachstumsfortschritt an.

4.10.2 Reichert'scher Knorpel

In den frühen Stadien lagen nur zwei eng miteinander verbundene Segmente des Reichert'schen Knorpels vor²⁴, doch schon ab einer Scheitel-Steiß-Länge von 25 mm kam es zu einer Segmentierung des länglichen Knorpels in drei Anteile, die sich voneinander entfernten. Dementsprechend fällt es schwer, ab diesem Zeitpunkt die Veränderungen tabellarisch oder grafisch darzustellen, da eine Längenmessung des Reichert'schen Knorpels großen Ungenauigkeiten unterworfen wäre. Eine Orientierung in der Größenzunahme kann aber durch den Processus styloideus erreicht werden, der noch im spätesten Stadium (150 mm SSL, 18. Woche, T26, **Abb. 64**) fast der Länge des gesamten Knorpelkomplexes des Reichert'schen Knorpels entspricht.

SSL (mm)	Processus styloideus re (µm)	Processus styloideus li (µm)
19	1793	1596
22	1591	2124
25	2541	2400
30	2158	2172
53	3185	2677
56	2916	2895
87	6240	5135
150	9961	9961

Tab. 7 Zusammenfassung der Messergebnisse des Größenwachstums des Processus styloideus bei den rekonstruierten Embryonen und Feten

²⁴ Der Stapes wird hier nicht zum Reichert'schen Knorpel gezählt, nur der craniale und caudale Anteil des Processus styloideus.

Wie die tabellarische Zusammenfassung zeigt, nimmt der Processus styloideus in seinem Längenwachstum vom jüngsten Stadium zum ältesten um mehr als das fünf-fache zu (**Tab. 7**).

Nachfolgend wurde das Längenwachstum grafisch dargestellt, der Wachstumsfortschritt ist anhand der Steigung ablesbar (**Abb. 68**).

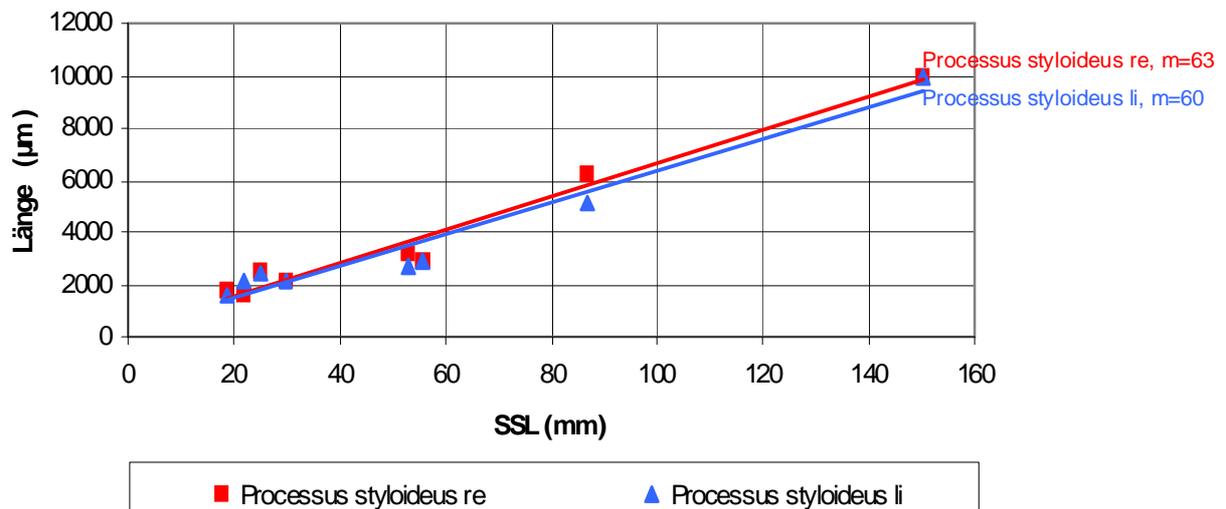


Abb. 67 Grafische Darstellung des Längenwachstums des rechten und linken Processus styloideus
Die Steigung (m) der Regressionsgeraden der unterschiedlichen Strukturen gibt den Wachstumsfortschritt an.