

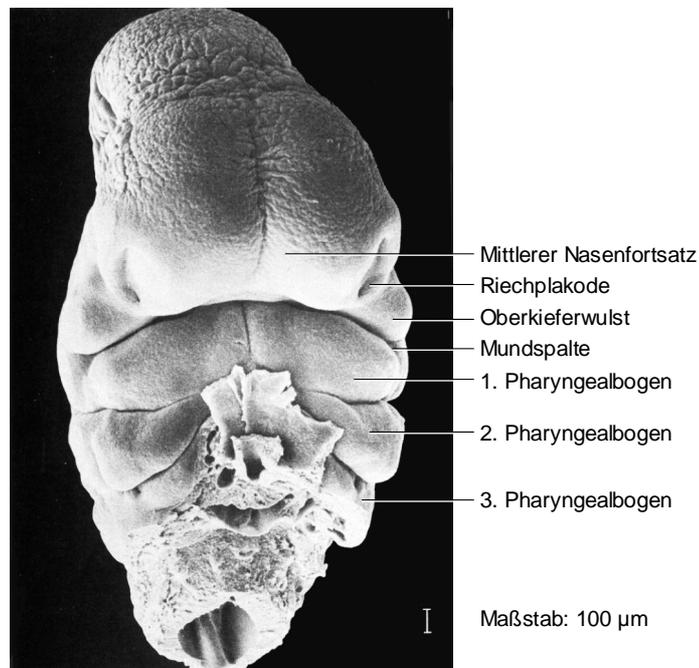
## 2 GRUNDLAGEN UND LITERATURÜBERSICHT

### 2.1 Entwicklungsvorgänge in den fünf Pharyngealbögen

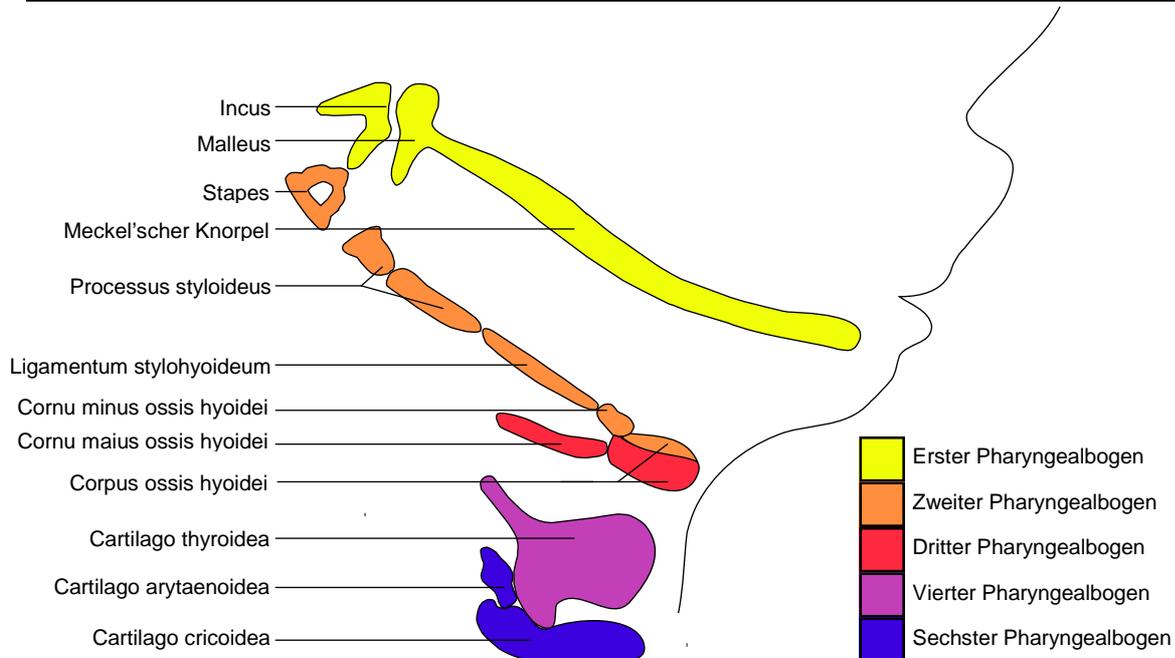
Wie schon in der Einführung beschrieben, bilden sich am Ende der vierten Woche die charakteristischen fünf Pharyngealbögen aus, die durch vier Pharyngealtaschen voneinander getrennt sind (SADLER 2005, SPERBER 2001). Sie verlaufen an beiden Seiten des Kopfes in dorsoventraler Richtung (BOENIG und BERTOLINI 1971).

Der erste Pharyngealbogen erscheint am 22. Tag, der zweite und dritte nacheinander am 24. Tag (27. Tag nach KITAMURA 1989) sowie der vierte und sechste am 29. Tag (MEIKLE 2002).

Jeder Pharyngealbogen wird außen von Ektoderm und innen von Entoderm des Vorderdarms überzogen. Im Inneren befindet sich eine mesenchymale Verdichtung, das Mesoderm. In die Pharyngealbögen wandern außerdem die dorsalen Neuralleistenzellen ein, die eine Rolle bei der Formgebung der Pharyngealbögen spielen (GRAHAM, SMITH 2001). Aus diesen Geweben entwickeln sich dann Muskeln, Knochen und Bindegewebe. Jeder Pharyngealbogen enthält eine Pharyngealbogenarterie, einen Knorpelkern und einen gemischt motorisch-sensiblen Nerven (MARJORIE 1985, MEIKLE 2002).



**Abb. 2 Vorderansicht des Kopfes und Halses eines menschlichen Embryos (8 mm SSL), ca. 6. Woche**  
 Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme, aus Hinrichsen (1985)



**Abb. 3 Gesamtansicht des Viscerocraniums von lateral**

Darstellung der sich aus den Pharyngealbögen ableitenden Knorpel

**Der erste Pharyngealbogen** liefert zwei knorpelige Zentren: Zum einen den Meckel'schen Knorpel, der kontinuierlich mit dem späteren Malleus (Hammer) verbunden ist und zum anderen den Incus (Amboss) - beide zusammen bilden dann das Hammer-Amboss-Gelenk (STARCK 1975).

Der Meckel'sche Knorpel erscheint zwischen dem 41. und 45. Tag post conceptionem (SPERBER 2001). Auf der bukkalen Seite des Knorpels entsteht durch desmale Ossifikation die Mandibula, die den N. alveolaris inferior (aus  $V_3$ ), die Zahnanlagen und Gefäße einschließt (BROOKES und ZIETMAN 1998, RADLANSKI und RENZ 2006). Der Meckel'sche Knorpel wird schließlich von Knochen umgeben und durchdrungen, aber selbst nicht vollständig in die Verknöcherung mit einbezogen (RANLY 1988). Sein größter Teil bildet sich später zurück, das dorsale Ende ossifiziert mit ca. vier Monaten zum Malleus. Ein Teil des Perichondriums bildet das Ligamentum sphenomandibulare (BROOKES und ZIETMAN 1998, ENLOW 1990). Nach GRAY (1995) beginnt die Ossifikation des Incus mit vier Monaten, ihre definitive Größe erreichen die Gehörknöchelchen bereits um die 23. Woche (AMIN und TUCKER 2006).

Folgende Muskeln entstehen aus dem ersten Pharyngealbogen: M. masseter, M. temporalis, M. pterygoideus lateralis und medialis, Venter anterior des M. digastricus, M. mylohyoideus, M. tensor veli palatini und M. tensor tympani (KITAMURA 1989, SPERBER 2001).

Der zum ersten Pharyngealbogen gehörige Nerv ist der dritte Ast des Nervus trigeminus, der N. mandibularis (V<sub>3</sub>), der die Muskulatur und Mukosa des ersten Pharyngealbogens innerviert (ENLOW 1990).

Der Knorpel des **zweiten Pharyngealbogens** (der Reichert'sche Knorpel) erscheint zwischen dem 45. und 48. Tag post conceptionem, also in der sechsten Schwangerschaftswoche, er ist dorsal mit der Ohrkapsel verbunden (O'RAHILLY und MÜLLER 2001, SADLER 2006, SPERBER 2001).

Aus ihm entstehen der Stapes des Mittelohrs, der Processus styloideus des Os temporale, das Ligamentum stylohyoideum sowie aus seinem ventralen Anteil das Cornu minus und der craniale Abschnitt des Zungenbeins (BENNINGHOFF 2003, BERKOVITZ und MOXHAM 1988, ENLOW 1990, FITZGERALD und FITZGERALD 1994, MARJORIE 1985, MEIKLE 2002, PSCHYREMBEL 2004, SADLER 2006, SPERBER 2001).

Nach O'RAHILLY und MÜLLER (2001) entstehen aus dem zweiten Pharyngealbogen außerdem der Griff des Malleus und der lange Schenkel des Incus.

Das Mesoderm des zweiten Pharyngealbogens wandert größtenteils aus und bildet die mimische Muskulatur, die direkt in die Haut inseriert. Die Muskeln des Kopfes entfernen sich von ihren Ursprung, dabei entsteht ein Attachment weit von ihrem zugehörigen Gebiet, aber nur bei der mimischen und der hypoglossalen Muskulatur kommt es dabei zur Wanderung einzelner Myoblasten (ENLOW 1990, NODEN, FRANCIS-WEST, 2006). Andere Muskeln, die aus dem zweiten Pharyngealbogen entstehen, sind der Venter posterior des M. digastricus, der M. stapedius und der M. stylohyoideus (FITZGERALD und FITZGERALD 1994). Alle Muskeln werden vom N. facialis (VII), dem Nerven des zweiten Pharyngealbogens, versorgt, somit kann die Zuordnung dieser Muskeln immer aufgrund ihrer Nervenversorgung, die vom Ursprungsbogen her erfolgt, rekonstruiert werden (SADLER 2006).

Im dritten bis sechsten Pharyngealbogen bilden sich die Knorpelkerne nur im ventralen Bereich der Bögen aus (GRAY 1995, MOORE 1985)<sup>5</sup>.

---

<sup>5</sup> Eine Erklärung könnte hierfür sein, dass sich der Atlas (C1) bei den frühen Stadien bereits auf Höhe des dritten Pharyngealbogens befindet (HINRICHSSEN 1986, STARCK 1975), beim Erwachsenen ist das Os hyoideum allerdings auf Höhe des dritten und vierten Halswirbels (C3-C4) abgesunken (BERKOVITZ, MOXHAM 1988). BLECHSCHMIDT (1978) beschrieb, dass das Os hyoideum als Komponente der absteigenden Eingeweide des Halses mit dem Diaphragma abwärts steigt (Descensus).

Der Knorpel des **dritten Pharyngealbogens** ossifiziert und bildet das Cornu maius und den *caudalen Anteil des Corpus ossis hyoidei* (BENNINGHOFF 2003, BERKOVITZ und MOXHAM 1988, ENLOW 1990, FITZGERALD und FITZGERALD 1994, MARJORIE 1985, MEIKLE 2002, PSCHYREMBEL 2004 und SADLER 2006, SPERBER 2001), bzw. nach BOENIG und BERTOLINI (1971), GRAY (1995), KITAMURA (1989), O'RAHILLY und MÜLLER (2001), STARCK (1975) und KOEBKE (1978) den *ganzen Corpus*. Aus dem Mesenchym des dritten Pharyngealbogens entsteht die Pharynxmuskulatur, die durch den N. glossopharyngeus (IX) innerviert wird.

Die Knorpel des 4. bis 6. Pharyngealbogens verschmelzen miteinander und bilden die Kehlkopfknorpel mit Ausnahme der Epiglottis (MARJORIE 1985).

Die Literatur ist sich vor allem bezüglich des Ursprungs der Epiglottis nicht einig. Laut MARJORIE (1985) bildet diese sich aus der Eminentia hypobranchialis des 3. und 4. Pharyngealbogens. Nach BROOKES und ZIETMAN (1989) und GRAY (1995) hingegen entwickelt sich aus dem Knorpel des **vierten Pharyngealbogens** die Epiglottis, sowie der Cartilago cuneiformis und der Cartilago thyroidea. KITAMURA (1989) ist aber der Meinung, dass sich die Epiglottis nur aus dem dritten Pharyngealbogen entwickelt.

Das Mesenchym des vierten Pharyngealbogens wandelt sich in den M. cricothyroideus, den M. constrictor pharyngis, den M. palatoquadratus, den M. levator veli palatini, die Uvula-Muskulatur und den M. palatoglossus der Zunge um. Der Nerv des vierten Pharyngealbogens ist der zehnte Hirnnerv, der N. vagus.

Der **fünfte Pharyngealbogen** verschwindet kurz nach seinem Erscheinen (MIETHKE 2000, SADLER 2006, SPERBER 2001), manche Autoren führen allerdings einen Teil des Ursprungs des Cartilago thyroidea auf ihn zurück (GRAY 1995, KITAMURA 1989).

Aus dem Knorpel des **sechsten Pharyngealbogens** entsteht schließlich der Cartilago arytenoideae und der Cartilago corniculata des Larynx und der Cartilago cricoidea (BROOKES und ZIETMAN 1998, SPERBER 2001). Die zugehörige Muskulatur ist die intrinsische Kehlkopfmuskulatur, die durch den N. vagus recurrens innerviert wird (SPERBER 2001). Häufig findet sich in den Lehrbüchern nur die vereinfachte Angabe, dass die Knorpel des Larynx aus dem vierten bis sechsten Pharyngealbogen entstehen (ENLOW 1990, MEIKLE 2002).

### 2.1.1 Unterschiede, speziell der Ossifikationsvorgänge, in den Pharyngealbögen

Die Entwicklungsvorgänge in den einzelnen Pharyngealbögen weisen nur wenige Gemeinsamkeiten auf; so enthält jeder Pharyngealbogen eine skelettale Komponente (Knorpelzentrum), eine muskuläre Komponente, eine Pharyngealbogenarterie sowie einen gemischt motorisch-sensiblen Nerv<sup>6</sup> (SADLER 2006, SPERBER 2001).

Allerdings bestehen wesentliche Unterschiede in der Morphogenese der Pharyngealbögen.

Zum einen ist die skelettale Komponente des ersten Pharyngealbogens weitaus größer als die der folgenden Pharyngealbögen. Ferner findet die Knorpelbildung im dritten bis sechsten Pharyngealbogen auch *nur* im ventralen Bereich statt (GRAY 1995, MOORE 1985), hingegen im ersten und zweiten Pharyngealbogen im gesamten Bereich.

Weitere Unterschiede sind in der Umwandlung der Knorpelanteile zu finden: Teilweise bilden sich die Knorpelanteile vollständig zurück, wie beispielsweise der Hauptteil des Meckel'schen Knorpels im ersten Pharyngealbogen. Es kann sich aber auch aus dem verbliebenen Perichondrium eines atrophierten Knorpels ein Ligament bilden, u.a. entsteht so wahrscheinlich das Ligamentum stylohyoideum im zweiten Pharyngealbogen. Dann wiederum kann der Knorpel enchondral ossifizieren (Os hyoideum im zweiten und dritten Pharyngealbogen) oder aber auch persistieren wie beim Larynx im vierten bis sechsten Pharyngealbogen.

Eine Ossifikation findet allerdings nur in den ersten drei Pharyngealbögen statt. Der erste Pharyngealbogen zeigt dabei im Gegensatz zu den folgenden beiden einen unterschiedlichen Ossifikationsmechanismus, dieser findet hier hauptsächlich desmal statt, beim zweiten und dritten Pharyngealbogen hingegen rein enchondral (FITZGERALD und FITZGERALD 1994). Bei der desmalen bzw. intramembranösen Ossifikation erfolgt die Verknöcherung auf bindegewebiger Grundlage, im Gegensatz zur chondralen bzw. enchondralen Ossifikation, der Verknöcherung auf knorpeliger Grundlage (SPERBER 2001).

---

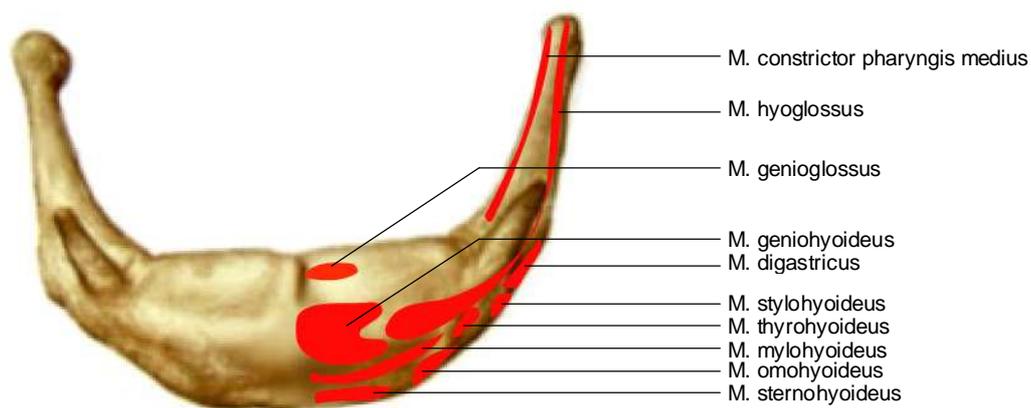
<sup>6</sup> Über die Entstehung der Venen ist in diesem Zusammenhang in der Literatur wenig beschrieben worden, bekannt ist aber, dass Gefäße zu Beginn der dritten Woche aus mesodermalen Zellhaufen entstehen, aus denen sich die primitiven Blutzellen (Hämocytoblasten) und die endothelbildenden Zellen (Angioblasten) bilden. Aus diesen entwickeln sich sogenannte Blutinseln, die später konfluieren. Die zentral gelegenen Zellen runden sich ab und differenzieren zu Vorläufern von Blutzellen, die peripheren zu abgrenzenden Endothelien. Durch die Vielzahl derartiger Kommunikationen entsteht ein Kapillarnetz (HINRICHSEN 1985).

## 2.2 Das Os hyoideum

### 2.2.1 Darstellung der adulten Form des Os hyoideum

Der Name Os hyoideum geht auf den griechischen Buchstaben υ (Ypsilon) zurück, da seine Gestalt einem U ähnelt. Das Os hyoideum liegt zwischen der Mandibula und dem Larynx, es ist durch die supra- und infrahyale Muskulatur an der Mandibula bzw. am Rumpfskelett (Sternum) und am Processus styloideus durch das Ligamentum stylohyoideum befestigt (BERKOVITZ und MOXHAM 1988, GRAY 1995, NAWRATH 1964). Von den frei auslaufenden Cornua maiora besteht eine sehnige Verbindung zum Schildknorpel (Ligamentum thyrohyoideum); mit der Epiglottis ist es durch das Ligamentum hyoepiglotticum verbunden. Außerdem setzt die Pharynxmuskulatur an ihm an, die aufwärts zur Schädelbasis führt (NAWRATH 1964, WHITE 1991).

Somit wird die Position des Os hyoideum erhalten durch die *zehn Muskeln* M. genioglossus, M. geniohyoideus, M. hyoglossus, M. constrictor pharyngis, M. mylohyoideus, M. omohyoideus, M. sternohyoideus, M. stylohyoideus, M. thyrohyoideus und M. digastricus<sup>7</sup>, zusätzlich durch die *drei Bänder* Ligamentum thyrohyoideum, Ligamentum stylohyoideum und das Ligamentum hyoepiglotticum (BERKOVITZ und MOXHAM 1988).



**Abb. 4 Os hyoideum, Ansicht von anterior**  
Darstellung der Muskelansätze und -ursprünge  
(modifiziert nach GRAY 1995 und Sobotta 1993)

<sup>7</sup> Der M. digastricus setzt indirekt durch eine Schlaufe am Corpus ossis hyoidei an, selten ist auch noch ein Levator für die Schilddrüse vorhanden (GRAY 1995, HIATT und, GARTNER 1982).

Das Os hyoideum ist der einzige Schädelknochen<sup>8</sup> der nicht mit einem anderen Knochen im direkten Kontakt steht, daher ist es frei für willkürliche und reflektorische Funktionen, den Schluckakt, die Phonation, die Mastikation und die Respiration (PSCHYREMBEL 2004, LIM 1987, NAWRATH 1964).

Seine Gestalt wird in den meisten Lehrbüchern als hufeisenförmig beschrieben (BENNINGHOFF 2003, BERKOVITZ und MOXHAM 1988, GRAY 1995, SHIMIZU et al. 2005), allerdings hat eine Untersuchung an 504 adulten Zungenbeinen von KOEBKE und SATERNUS (1979) gezeigt, dass der häufigste Typ parabelförmig ist, gefolgt von der Hyperbelform, nur 13% der Zungenbeine sind hufeisenförmig. Nach SHIMIZU et al. 2005 verändert sich die Gestalt des Os hyoideum durch funktionelle Adaptation.



**Abb. 5** Adultes Os hyoideum  
Ansicht von anterior (aus Sobotta 1993)

Das Os hyoideum setzt sich zusammen aus dem Corpus und den paarigen Cornua maiora und minora (BERKOVITZ und MOXHAM 1988, PSCHYREMBEL 2004).

Der **Corpus** ist rechteckig und leicht gebogen, so dass er von anterior konvex erscheint, von posterior glatt und konkav. Häufig ist eine mediane Leiste vorhanden, selten auch eine transversale (BERKOVITZ und MOXHAM 1988, GRAY 1995).

Die **Cornua maiora** zeigen nach dorsal (BERKOVITZ und MOXHAM 1988), verschmälern sich und enden knotenförmig, hier setzt das Ligamentum thyrohyoideum an (BERKOVITZ und MOXHAM 1988, GRAY 1995). Der Abstand von Cornu maius zu Cornu

<sup>8</sup> Die Zuordnung des Os hyoideum zu einer Knochengruppe fällt relativ schwer, es sollte hier aber zu den Schädelknochen gezählt werden (BENNINGHOFF 2003), da es wohl kaum zum Rumpfskelett zählt. Vielmehr stellt das Os hyoideum eine Verbindung zwischen Schädel und Rumpfskelett dar.

maius beträgt ca. 3 cm (GRAY 1995), die Gesamtlänge des Cornu maius 2,0 – 2,4 cm (LIM 1987).

Die ***Cornua minora*** befinden sich an der Verbindungsstelle zwischen Corpus und Cornu maius, ihre Form ist konisch, an der Basis sind sie bindegewebig mit dem Cornu maius verbunden (BERKOVITZ und MOXHAM 1988, GRAY 1995, KOEBKE 1978, KOEBKE und SATERNUS 1979, WHITE 1991). Die variabel ossifizierte Bestandteile dienen der Befestigung des Ligamentum stylohyoideum (WHITE 1991).

### **2.2.2 Embryonale Entwicklung des Os hyoideum**

Über die vorgeburtliche Entwicklung des Zungenbeins ist bisher in der Literatur wenig zu finden.

Nach O'RAHILLY und MÜLLER (2001) erscheint die mesenchymale Verdichtung für das zukünftige Os hyoideum mit sechs Wochen, nach SADLER (2006) und SPERBER (2001) handelt es sich dabei um den Knorpel des zweiten Pharyngealbogens (Reichert'scher Knorpel), der zwischen dem 45. und 48. Tag post conceptionem entsteht. GRAY (1995) nennt für den Beginn der knorpeligen Entwicklung des Zungenbeins die fünfte Fetalwoche, und gibt als einziger auch ein Ende der Knorpelentstehung an, welches im dritten bis vierten Schwangerschaftsmonat liegt.

Kurz vor der Geburt hat das Os hyoideum dann eine höhere und mehr anteriore Position. In der Kindheit steigt das Os hyoideum mit dem Larynx zusammen ab. Das Ligamentum stylohyoideum, befestigt am Cornu minus, geht in die mehr horizontal inklinierte Position des Processus styloideus über (GRAY 1995).

Es steht wohl fest, dass das Os hyoideum ein zusammengesetzter enchondraler Knochen ist, der sich aus dem zweiten und dritten Pharyngealbogen ableitet (SPERBER 2001). Welche Bestandteile des Os hyoideum allerdings aus welchen Pharyngealbögen entstehen, ist in der Literatur weniger eindeutig beschrieben.

### 2.2.3 Zugehörigkeit der Anteile des Os hyoideum zu den Pharyngealbögen

Beginnend mit dem kleinsten Anteil des knorpeligen Os hyoideum, dem **Cornu minus**, findet sich in der Literatur Einigkeit darüber, dass es sich vom zweiten Pharyngealbogen, dem Reichert'schen Knorpel ableitet (BENNINGHOFF 2003, BERKOVITZ und MOXHAM 1988, ENLOW 1990, FITZGERALD und FITZGERALD 1994, GRAY 1995, KITAMURA 1989, KOEBKE 1978, MARJORIE 1985, MEIKLE 2002, O'RAHILLY und MÜLLER 2001, PSCHYREMBEL 2004, SADLER 2006, SPERBER 2001, STARCK 1975).

Der Reichert'sche Knorpel ist im Gegensatz zum Meckel'schen Knorpel ein zusammengesetzter Knorpel, über dessen Anzahl von Segmenten hingegen kaum Übereinstimmungen in der Literatur zu finden sind. MEIKLE (2002), RODRÍGUEZ-VÁZQUEZ et al. (2006), SATYAPAL und KALIDEEN (2000) und SPERBER (2001) vertreten die Auffassung, dass sich das Cornu minus von dem am weitesten caudal liegenden Segment des Reichert'schen Knorpels, dem hypohyalen Knorpel, ableitet.

Bei der Entstehung des **Cornu maius** geht die herrschende Meinung in der Literatur davon aus, dass sich dieser Knorpel aus dem dritten Pharyngealbogen entwickelt (u.a. BENNINGHOFF 2003, BERKOVITZ und MOXHAM 1988, ENLOW 1990, GRAY 1995, MEIKLE 2002, SPERBER 2001 und STARCK 1975)

Über die Entstehung des dritten Pharyngealbogens ist dagegen noch weniger zu finden als über die des zweiten.

Zur Entwicklung des **Corpus** gehen die Meinungen weit auseinander, lassen sich aber grob zu drei Theorien zusammenfassen:

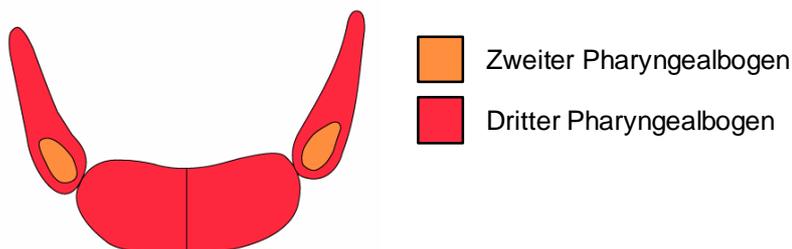
Nach der am häufigsten vertretenen Theorie entwickelt sich der Corpus sowohl aus dem zweiten, als auch aus dem dritten Pharyngealbogen. Dabei entsteht der craniale Anteil aus dem zweiten Pharyngealbogen (Reichert'scher Knorpel) und der caudale Anteil des Corpus aus dem dritten (BERKOVITZ und MOXHAM 1988, ENLOW 1990, FITZGERALD und FITZGERALD 1994, MARJORIE 1985, MEIKLE 2002, PSCHYREMBEL 2004, SADLER 2006, SPERBER 2001). Laut MEIKLE (2002) leitet sich der craniale Anteil des Corpus ossis hyoidei aus dem am weitesten caudal gelegenen Segment des Reichert'schen Knorpels ab, dem basihyalem Knorpel.

Somit würde das Os hyoideum nach dieser Auffassung aus **acht Knorpelanteilen** entstehen: Jeweils zwei für die paarigen Cornua maiora und minora, zwei für den cranialen Anteil des unpaarigen Corpus und weitere zwei für den caudalen Anteil. Für den cranialen und caudalen Anteil des Corpus kann von jeweils zwei Knorpelanteilen ausgegangen werden, da eine Fusion der ventralen paarigen Knorpel des zweiten und dritten Pharyngealbogens stattfindet (MEIKLE 2002), sind doch schließlich alle fünf Pharyngealbögen paarig angelegt und bilden hier einen unpaarigen Knochen.



**Abb. 6 Os hyoideum, Ansicht von anterior**  
Zugehörigkeit der Anteile des Os hyoideum zu den Pharyngealbögen  
Schematische Darstellung zur ersten Theorie

Ebenso häufig wird die Theorie vertreten, dass der Corpus allein aus dem dritten Pharyngealbogen entsteht (BOENIG und BERTOLINI 1971, GRAY 1995, KITAMURA 1989, KOEBKE 1978, O'RAHILLY und MÜLLER 2001, ROCHE-AG 1999, ROHEN 1994, STARCK 1975). Hierbei würde sich das Os hyoideum nur aus **sechs Knorpelanteilen** zusammensetzen: Wiederum jeweils zwei für die paarigen Cornua maiora und minora, aber nur zwei für den Corpus ossis hyoidei, der wiederum ventral fusioniert.



**Abb. 7 Os hyoideum, Ansicht von anterior**  
Zugehörigkeit der Anteile des Os hyoideum zu den Pharyngealbögen  
Schematische Darstellung zur zweiten Theorie

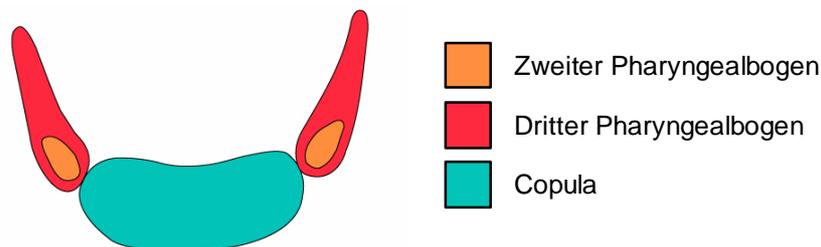
Als dritte Theorie schließlich vertritt WEISSENBERG (1931) die Ansicht, dass zwischen Cornu minus und maius ein unpaariges Verbindungsstück entsteht, das den Corpus

bildet. WEISSENBURG (1931) vergleicht dieses Verbindungsstück mit der **Copula**<sup>9</sup> der Selachier (Knorpelfische wie Rochen oder Haie).

Auch bei BENNINGHOFF (2003) entsteht der Corpus aus den sogenannten Copulae. Allerdings verwendet er hier den Plural, vorher erläuterte er, dass sich die Copula zwischen den ventralen Enden jeder Knorpelspange ausbildet und sich die aufeinander folgenden Copulae miteinander verbinden können. Nach seinen Ausführungen müssten sich also die Copulae des zweiten und dritten Pharyngealbogens miteinander verbinden.

GRAY (1995) greift diesen Gedanken auf, indem er mutmaßt, dass sich der Corpus alternativ aus einem Knorpel entwickeln könnte, der auf der Basis der Eminentia hypobranchialis und somit vom dritten Pharyngealbogen allein entsteht. Nach MARJORIE (1985) bildet sich die Eminentia hypobranchialis allerdings aus dem dritten *und* dem vierten Pharyngealbogen.

Somit würde sich das Os hyoideum nur aus **fünf Knorpelanteilen** zusammensetzen, wie bei den erst genannten Theorien jeweils zwei Knorpelanteile für die Cornua maiora und minora, aber nur einen Knorpel für den gesamten Corpus.



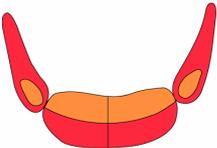
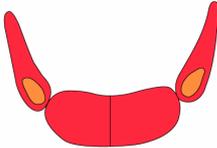
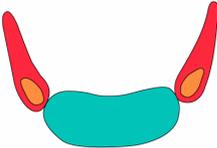
**Abb. 8 Os hyoideum, Ansicht von anterior**  
Zugehörigkeit der Anteile des Os hyoideum zu den Pharyngealbögen  
Schematische Darstellung zur dritten Theorie

<sup>9</sup> Erwähnung fand die Copula auch bei anderen Autoren, allerdings nicht im direkten Zusammenhang mit dem Os hyoideum:

„An der Ventralseite des Keimlings sind die Schlundbögen unter Ausschluss des ersten vereinigt und bilden am Boden der primären Mundhöhle einen Wulst, Copula“ (BOENIG, BERTOLINI 1971).

„At the roof of the midventral parts of the *second, third and fourth pharyngeal arches*, another prominent swelling occurs, the copula. This general region develops into the posterior third (root) of the tongue“ (ENLOW 1990).

Zum besseren Verständnis soll im Folgenden ein kurzer tabellarischer Überblick über die uneinheitliche Zuordnung der Anteile des Os hyoideum zu den Pharyngealbögen gegeben werden:

Zugehörigkeit zu den Pharyngealbögen	Autoren
<p>Cornu minus → zweiter Pharyngealbogen                      Cornu maius → dritter Pharyngealbogen                      Corpus → zusammengesetzt aus zweitem und drittem Pharyngealbogen:</p> 	<p>BERKOVITZ und MOXHAM 1988                      ENLOW 1990                      FITZGERALD und FITZGERALD 1994                      MARJORIE 1985                      MEIKLE 2002                      PSCHYREMBEL 2004                      SADLER 2006                      SPERBER 2001</p>
<p>Cornu minus → zweiter Pharyngealbogen                      Cornu maius → dritter Pharyngealbogen                      Corpus → dritter Pharyngealbogen</p> 	<p>BOENIG und BERTOLINI 1971                      GRAY 1995                      KITAMURA 1989                      KOEBKE <sup>10</sup>1978                      O'RAHILLY und MÜLLER 2001                      ROCHE-AG 1999                      ROHEN 1994                      STARCK 1975</p>
<p>Der Corpus ossis hyoidei entsteht aus einem zusätzlichem Knorpel (Copula, Eminentia hypobranchialis)</p> 	<p>BENNINGHOFF 2003<sup>11</sup>                      GRAY 1995                      WEISSENBERG 1931</p>

**Tab. 1** Drei verschiedene Theorien zur Entwicklung des Os hyoideum aus den Pharyngealbögen

<sup>10</sup> KOEBKE (1978) beschreibt zwei Meinungen zur Zusammensetzung des Corpus:

1. Der Corpus besteht nur aus dem ventralen Anteil des dritten Pharyngealbogens und
2. der Corpus setzt sich aus zwei Pharyngealbögen zusammen, dem zweiten und dem dritten.

<sup>11</sup> Bei BENNINGHOFF (2003) finden sich allein drei Theorien: im Text wird der Corpus der Copula zugeordnet, bei einer Abbildung allein dem dritten Pharyngealbogen und bei einer zusammenfassenden Tabelle nur dem zweiten Pharyngealbogen.

## 2.2.4 Ossifikation des Os hyoideum

Im Gegensatz zur desmalen Ossifikation der Mandibula, die bereits um die 7. Woche in utero nachweisbar ist (BERKOVITZ und MOXKAM 1992, DOSKOCIL 1988, KJAER et al. 1999, SPERBER 2001), findet die enchondrale Ossifikation des Os hyoideum sehr viel später statt.

Laut BERKOVITZ und MOXHAM (1988) und GRAY (1995) ossifizieren kurz vor der Geburt als erstes die Cornua maiora, der Corpus um den Zeitraum der Geburt und die Cornua minora nicht vor der Pubertät. BROOKES und ZIETMAN (1998) benennen für den Beginn der Ossifikation im knorpeligen Os hyoideum hingegen schon den 4. Monat in utero, an anderer Stelle aber auch den Zeitpunkt kurz vor der Geburt. SPERBER (2001) präzisiert den Beginn der Ossifikation des Cornu maius mit der 38. Woche, wiederum gefolgt vom Corpus und dem Cornu minus mit zwei Jahren nach der Geburt.

Zusammenfassend sind sich die Autoren nur darüber einig, dass das Os hyoideum, beginnend mit dem Cornu maius, kurz vor der Geburt anfängt zu ossifizieren und nach der Geburt größtenteils noch knorpelig ist.

Das Ende der Ossifikation des Os hyoideum wird bei BROOKES und ZIETMAN (1998) schon mit circa drei Jahren angegeben. Die Ossifikationszentren der Cornua minora erscheinen aber laut BERKOVITZ und MOXHAM (1988) und GRAY (1995) nicht vor der Pubertät, SPERBER (2001) nennt hingegen als Beginn zwei Jahre nach der Geburt, nach WHITE (1991) ossifizieren die Cornua minora nur teilweise.

Widersprüche finden sich vor allem auch bei der Anzahl der Ossifikationszentren<sup>12</sup>, dabei können grundsätzlich zwei Meinungen unterschieden werden:

BERKOVITZ und MOXHAM (1988), GRAY (1995) und WHITE (1991) beschreiben sechs Ossifikationszentren - ein Paar für den Corpus und je eines für jedes Horn.

BROOKES und ZIETMAN (1998), die als einzige die Ossifikationszentren auch zeichnerisch darstellen, geben acht Ossifikationszentren an - eines für jedes Horn und vier für den Corpus.

---

<sup>12</sup> Der Terminus Ossifikationszentrum wird benutzt für Osteoblasten und Kapillaren, die in den Knorpel einwandern (O'RAHILLY, MÜLLER 2001).

Die Fusion der einzelnen Bestandteile des Os hyoideum findet laut SPERBER (2001) in „früher Kindheit“ statt, nach BROOKES und ZIETMAN (1998) erst mit 14 Jahren.

Das Cornu minus ist aber eventuell nur bindegewebig mit dem Cornu maius verbunden (SPERBER 2001). Auch nach KOEBKE und SATERNUS (1979) kann die Verknöcherung der Verbindung zwischen Corpus und Cornu maius auch noch in den höchsten Altersklassen ausbleiben oder nur partiell erfolgen. NAWRATH (1964) findet röntgenologisch eine Unterbrechung der Struktur zwischen Corpus und Cornu maius.

Nach SHIMIZU et al. (2005) entstehen die Veränderungen im Gelenk zwischen Corpus und Cornu maius durch funktionelle Adaption, nach KOEBKE und SATERNUS (1979) fungiert der Schluckakt als gelenkerhaltender Reiz, bleibt dieser aus (wie beispielsweise bei der Laryngoptosis<sup>13</sup> im Alter), kommt es zur Ankylose des Gelenkes.

---

<sup>13</sup> Laryngoptosis: Altersbedingtes Absinken des Kehlkopfes mit vermindertem Heben beim Schluckakt (ROCHE-AG 1999).

## 2.3 Der Reichert'sche Knorpel

### 2.3.1 Strukturen, die sich aus dem Reichert'schen Knorpel entwickeln

Bei der Betrachtung der embryonalen Entwicklungsvorgänge des Os hyoideum fielen einige Widersprüche in der Beschreibung des Knorpels des zweiten Pharyngealbogens, dem Reichert'schen Knorpel, auf. Deswegen erscheint es angebracht, sich mit der vorhandenen Literatur dieser Region näher auseinander zu setzen.

Nach ENLOW (1990), BROOKES und ZIETMAN (1998), PSCHYREMBEL (2004), SADLER (2006) und SPERBER (2001) leiten sich aus dem Knorpel des zweiten Pharyngealbogens der Stapes des Mittelohrs, der Processus styloideus des Os temporale, das Ligamentum stylohyoideum, das Cornu minus und der craniale Anteil des Corpus ossis hyoidei ab (siehe auch **Abb. 3**, S.11).

MARJORIE (1985) nennt ebenfalls diese Strukturen, mit Ausnahme des Ligamentum stylohyoideum.

Laut O'RAHILLY und MÜLLER (2001) kommen noch zwei weitere Knochen hinzu, bzw. deren Anteile – der Griff des Malleus und der lange Schenkel des Incus. Sie zählen jedoch den cranialen Anteil des Corpus nicht hinzu.

Auch FITZGERALD und FITZGERALD (1994) nennen noch zusätzlich den Incus des Mittelohrs, allerdings nicht das Cornu minus ossis hyoidei.

Bei BOENIG und BERTOLINI (1971), GRAY<sup>14</sup> (1995), HINRICHSEN (1990), KITAMURA (1989) und ROHEN (1994) leiten sich aus dem zweiten Pharyngealbogen zusätzlich der Stapes, sowie der Processus styloideus, das Ligamentum stylohyoideum und das Cornu minus ossis hyoidei, nicht aber der Corpus ab.

Diese Theorie wird von RODRÍGUEZ-VÁZQUEZ (2005) nach einer Untersuchung von 20 Embryonen verschiedener Stadien (32 – 56 Tage) bestätigt: Er kam zu dem Ergebnis, dass der Stapes aus dem Mesenchym des zweiten Pharyngealbogens entsteht, allerdings wahrscheinlich nicht aus dem Reichert'schen Knorpel ("According to the observations reported here, the stapes will develop from the cranial mesenchyme of the second arch, which becomes rapidly differentiated from the cranial end of Reichert's

---

<sup>14</sup> GRAY (1995) trennt den Stapes aber von den Strukturen, die sich aus dem Reichert'schen Knorpel ableiten.

cartilage by the interhyale. I cannot therefore agree with claims that Reichert's cartilage is the source of the stapes"). Bei einer folgenden Studie über den Reichert'schen Knorpel (2006) zählte er, wie bei den vorher genannten Autoren, noch den Processus styloideus, das Ligamentum stylohyoideum und das Cornu minus ossis hyoidei hinzu.

STARCK (1975) trennt sowohl den Stapes, als auch das Cornu minus ossis hyoidei vom Reichert'schen Knorpel, aus dem sich seiner Meinung nach nur der Processus styloideus entwickelt. Alle drei Knochen entstehen nach seiner Ansicht aus dem zweiten Pharyngealbogen. Der Stapes steht hier nur primär mit dem Reichert'schen Knorpel in Verbindung. Diese Verbindung löst sich aber im Gegensatz zu der Kontinuität zwischen Malleus und Meckel'schen Knorpel sehr viel früher.

KITAMURA (1989) zählt zum Processus styloideus, Ligamentum stylohyoideum und Cornu minus ossis hyoidei den Reichert'schen Knorpel als zusätzlichen Knorpel, der sich vom zweiten Pharyngealbogen ableitet, hinzu.

Bei SATYAPAL und KALIDEEN (2000) setzt sich der Processus styloideus aus *zwei Anteilen* des Reichert'schen Knorpels zusammen, weiterhin entstehen auch ihrer Meinung nach das Ligamentum stylohyoideum und das Cornu minus ossis hyoidei aus dem Reichert'schen Knorpel.

Auffällig ist, dass keinesfalls Einigkeit darüber besteht, ob sich alle knöchernen Strukturen des zweiten Pharyngealbogens direkt aus dem Reichert'schen Knorpel entwickeln, wie sich anhand der Aussagen von GRAY (1995), KITAMURA (1989), RODRÍGUEZ-VÁZQUEZ (2005) und STARCK (1975) zeigt. Ein Knorpel, der aus dem zweitem Pharyngealbogen entsteht, muss demnach nicht unbedingt aus dem Reichert'schen Knorpel entstehen.

Die Problematik über die Zugehörigkeit der Anteile des Os hyoideum zu den Pharyngealbögen wurde weiter oben bereits dargelegt, aber auch bei den Gehörknöchelchen sind ähnliche Differenzen zu finden, rechnen doch FITZGERALD und FITZGERALD (1994) und O'RAHILLY und MÜLLER (2001) auch den Incus des Mittelohrs zum zweiten Pharyngealbogen hinzu.

Nachfolgend wurde zusammenfassend ein tabellarischer Überblick der verschiedenen Theorien angefertigt:

Abgeleitete Strukturen aus dem zweiten Pharyngealbogen	Autoren
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Stapes</li> <li>2. Processus styloideus</li> <li>3. Ligamentum stylohyoideum</li> <li>4. Cornu minus ossis hyoidei</li> <li>5. Cranialer Anteil des Corpus ossis hyoidei</li> </ol>	ENLOW 1990 BROOKES und ZIETMAN 1998 PSCHYREMBEL 2004 SADLER 2006 SPERBER 2001 <sup>15</sup>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Incus</li> <li>2. Stapes</li> <li>3. Ligamentum stylohyoideum</li> <li>3. Cranialer Anteil des Corpus</li> </ol>	FITZGERALD und FITZGERALD 1994
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Stapes</li> <li>2. Processus styloideus</li> <li>3. Ligamentum stylohyoideum</li> <li>4. Cornu minus ossis hyoidei</li> </ol>	BENNINGHOFF 2003 GRAY 1995 HINRICHSEN 1990 KITAMURA 1989 RODRÍGUEZ-VÁZQUEZ et al. 2005/06 ROHEN 1994
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Griff des Malleus</li> <li>2. Langer Schenkel des Incus</li> <li>3. Stapes</li> <li>4. Processus styloideus</li> <li>5. Ligamentum stylohyoideum</li> <li>6. Cornu minus ossis hyoidei</li> </ol>	O'RAHILLY und MÜLLER 2001
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Stapes</li> <li>2. Processus styloideus</li> <li>3. Cornu minus ossis hyoidei</li> <li>4. Cranialer Anteil des Corpus</li> </ol>	MARJORIE, A. 1985
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Cranialer Anteil des Proc. styloideus</li> <li>2. Caudaler Anteil des Proc. styloideus</li> <li>3. Ligamentum stylohyoideum</li> <li>4. Cornu minus ossis hyoidei</li> </ol>	SATYAPAL und KALIDEEN 2000

**Tab. 2 Erläuterung der sich aus dem zweiten Pharyngealbogen ableitenden Strukturen**

<sup>15</sup> SPERBER (2001) ist hier nicht konsequent: Seiner Meinung nach entsteht der Stapes aus dem Reichert'schen Knorpel, aber bei der Benennung der Knorpelanteile, aus denen sich der Reichert'sche Knorpel zusammensetzt, wird der Stapes nicht mehr erwähnt.

### 2.3.2 Zusammensetzung des Reichert'schen Knorpels

Im Gegensatz zum Meckel'schen Knorpel, aus dem sich im Prinzip nur der Malleus entwickelt und indirekt die Mandibula, die sich um den Knorpel bildet, entstehen aus dem Reichert'schen Knorpel mehrere Bestandteile. Welche Elemente sich genau aus dem Reichert'schen Knorpel entwickeln, ist aber, wie oben erwähnt, äußerst widersprüchlich in der Literatur dargestellt.

Fest steht, dass der Reichert'sche Knorpel im Gegensatz zum Meckel'schen Knorpel kein verbundenes Element bildet (BROOKES und ZIETMAN 1998, RODRÍGUEZ-VÁZQUEZ et al. 2006, SATYAPAL und KALIDEEN 2000, SPERBER 2001). Über die Anzahl der Segmente, aus denen sich der Reichert'sche Knorpel zusammensetzt, besteht allerdings sehr viel weniger Übereinstimmung. In den wenigsten Lehrbüchern ist eine genaue Beschreibung der Segmente des Reichert'schen Knorpels zu finden.

BROOKES und ZIETMAN (1998) beschreiben fünf Knorpel, die den Reichert'schen Knorpel<sup>16</sup> bilden: Cranial, an die Ohrkapsel grenzend, befindet sich als erstes der *tympanohyale Knorpel*, welcher später zum Stapes wird. Ihm folgt der *stylohyale Knorpel*, der zum Processus styloideus ossifiziert. Der *epihyale Knorpel* atrophiert, sein Perichondrium bildet das Ligamentum stylohyoideum. Der *keratohyale Knorpel* bildet das kleine Horn und der *basihyale Knorpel* schließlich den cranialen Anteil des Corpus ossis hyoidei.

SPERBER (2001) benennt nur vier Segmente, allerdings entsteht bei ihm aus dem ersten, dem tympanohyalen Knorpel, *und* dem zweiten, dem stylohyalem Knorpel, der Processus styloideus, der epihyale Knorpel wandelt sich in das Ligamentum stylohyoideum um, der keratohyale Knorpel bildet das Cornu minus. Aus dem thyrohyalem Knorpel, der sich aus dem dritten Pharyngealbogen bildet, wird das Cornu maius und der caudale Anteil des Corpus ossis hyoidei. Woraus aber nach dieser Aufzählung der craniale Anteil des Corpus entsteht, wird leider nicht erwähnt.

---

<sup>16</sup> Hier wäre es eigentlich angebracht von einer Knorpelkette zu sprechen. Da die vorherrschende Literatur aber diesen Begriff so nicht erwähnt, bleiben wir hier bei der üblichen Bezeichnung Reichert'scher Knorpel, auch wenn es sicherlich mehrere Knorpel sind.

SATYAPAL und KALIDEEN (2000) sprechen ebenfalls von vier Segmenten. Aus dem dritten Segment entsteht zwar auch das Ligamentum stylohyoideum, nur bezeichnet er dessen Vorläufer hier als keratohyalen Knorpel. Dagegen wird bei ihnen das vierte Segment hypohyalen Knorpel genannt, während es von SPERBER (2001) und BROOKES und ZIETMAN (1998) keratohyalen Knorpel genannt wird.

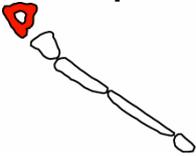
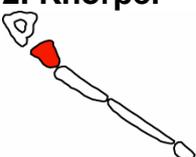
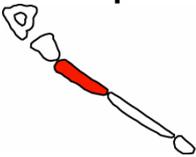
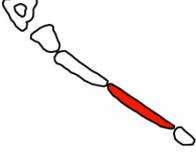
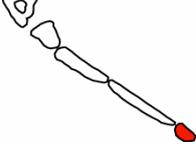
RODRÍGUEZ-VÁZQUEZ et al. (2006) bezweifeln, dass sich der Reichert'sche Knorpel in fünf Segmente teilt. Ihrer Meinung nach existieren nur zwei Segmente: Ein craniales Segment, das zum Processus styloideus ossifiziert (stylohyalen Knorpel) und ein caudales, das das Cornu minus des Zungenbeins bildet (hypohyalen Knorpel).

Bei der Einteilung der Segmente des Reichert'schen Knorpels finden sich also kaum Übereinstimmungen in der Literatur, auch ihre Zuordnung zu späteren Entwicklungsstrukturen bereitet Probleme.

Die Nomenklatur lässt sich schon eher zusammenfassen: Cranial beginnend mit dem tympanohyalen Knorpel, gefolgt vom stylohyalen Knorpel, epihyalen Knorpel und hypohyalen Knorpel (auch keratohyalen Knorpel genannt).

BROOKES und ZIETMAN (1998) bezeichnen als einzige den am weitesten caudal gelegenen Knorpel, der den cranialen Anteil des Corpus bildet, den basihyalen Knorpel. Diese Bezeichnung findet sich auch in einer Studie über die Pharyngealbögen der Zebrafische wieder (SCHILLING et al. 1996). Der basihyalen Knorpel ist hier ein *unpaariger Knorpel*, der sich aus dem zweiten Pharyngealbogen ableitet. Weiter cranial davon ist der keratohyalen Knorpel, gefolgt vom interhyalen Knorpel.

Abschließend soll eine Tabelle die uneinheitliche Zuordnung und Nomenklatur der Segmente des Reichert'schen Knorpels zusammenfassen:

Situation	Name	Resultat
<b>1. Knorpel</b> 	<i>Tympanohyalaler Knorpel</i> - SPERBER 2001 - BROOKES und ZIETMAN 1998 - SATYAPAL und KALIDEEN 2000 - GRAY 1995	<i>Stapes</i> - BROOKES und ZIETMAN <hr/> <i>Basis des Proc. styloideus</i> - SPERBER <sup>1</sup> - SATYAPAL und KALIDEEN - GRAY
	<i>Stylohyales Segment</i> - RODRÍGUEZ-VÁZQUEZ et al. 2006	<i>Processus styloideus</i> - RODRÍGUEZ-VÁZ.
<b>2. Knorpel</b> 	<i>Stylohyaler Knorpel</i> - SPERBER 2001 - BROOKES und ZIETMAN 1998 - SATYAPAL und KALIDEEN 2000 - GRAY 1995	<i>Caudaler Anteil des Proc. styloideus</i> - SPERBER - SATYAPAL und KALIDEEN - GRAY
	<i>Hypohyales Segment</i> - RODRÍGUEZ-VÁZQUEZ et al. 2006	<i>Proc. Styloideus</i> - BROOKES und ZIETMAN <hr/> <i>Cornu minus</i> - RODRÍGUEZ-VÁZ.
<b>3. Knorpel</b> 	<i>Keratohyaler Knorpel</i> - SATYAPAL und KALIDEEN 2000	<i>Lig. stylohyoideum</i> - BROOKES und ZIETMAN - SPERBER - SATYAPAL und KALIDEEN - GRAY
	<i>Epihyaler Knorpel</i> - BROOKES und ZIETMAN 1998 - SPERBER 2001 - GRAY 1995	
<b>4. Knorpel</b> 	<i>Keratohyaler Knorpel</i> - SPERBER 2001 - BROOKES und ZIETMAN 1998	<i>Cornu minus</i> - SPERBER - BROOKES und ZIETMAN
	<i>Hypohyalaler Knorpel</i> - SATYAPAL und KALIDEEN 2000	<i>Cornu minus</i> - SATYAPAL und KALIDEEN
<b>5. Knorpel</b> 	<i>Basihyaler Knorpel</i> - BROOKES und ZIETMAN 1998	<i>Cranialer Anteil des Corpus</i> - BROOKES und ZIETMAN

Tab. 3 Zusammenfassung der Zuordnung der Segmente des Reichert'schen Knorpels und ihrer Resultate

### 2.3.3 Das Ligamentum stylohyoideum

Da das Ligamentum stylohyoideum im engen räumlichen Zusammenhang mit dem Os hyoideum steht und sich beide aus dem Reichert'schen Knorpel entwickeln, soll hier ein kurzer Überblick über die Literatur zu diesem Thema geliefert werden.

Das Ligamentum stylohyoideum verbindet das Cornu minus ossis hyoidei und den Processus styloideus ossis temporalis, die sich beide aus dem zweiten Pharyngealbogen ableiten (LANZ und WACHSMUTH 1955, PSCHYREMBEL 2004).

Nach FITZGERALD und FITZGERALD (1994), HINRICHSEN (1990), MEIKLE (2002), O'RAHILLY und MÜLLER (2001), SADLER (2006) und SPERBER (2001) atrophiert die knorpelige Vorstufe des Bandes, sein Perichondrium persistiert und wandelt sich zum Ligamentum stylohyoideum um. In seltenen Fällen kann auch ein Teil des Ligaments ossifizieren (HINRICHSEN 1990). Somit entsteht das Ligamentum stylohyoideum aus einem Knorpel, der sich zwischen den knorpeligen Anlagen des Processus styloideus und Cornu minus befindet, dem epihyalem Knorpel (BROOKES und ZIETMAN 1998, O'RAHILLY und MÜLLER 2000, SADLER 2006, SPERBER 2001).

Allerdings konnten RODRÍGUEZ-VÁZQUEZ et al. (2006), die sich detailliert mit der Morphogenese des Reichert'schen Knorpels befasst haben, bei ihren Untersuchungen keinen Knorpel in diesem Bereich entdecken. Sie wiesen darauf hin, dass die Entstehung des Bandes weiter erforscht werden sollte.

### 2.3.4 Der Processus styloideus

Bei dem Processus styloideus des Os temporale handelt es sich, wie schon der Name andeutet (gr. styloideus = griffelähnlich), um einen spitz zulaufenden Griffelfortsatz (SAMANDARI 1995). Er liegt zwischen der Pars tympanica und der hinteren Leiste des Foramen jugulare und zieht vom Os temporale nach caudal und ventral (BERKOVITZ und MOXHAM 1988). An seiner caudalen Seite ist er an der Schädelbasis von der schmalen Vagina processus styloidei umgeben, die vom Boden der Paukenhöhle, Pars inferior, und der Pars tympanica gebildet wird (BENNINGHOFF 2003, WALDEYER, MAYET 1993).

Das Os temporale setzt sich während der vorgeburtlichen Entwicklung aus vier verschiedenen Anteilen zusammen: 1. Die *Pars petrosa*, die durch enchondrale Ossifikation in der Labyrinthkapsel entsteht ; 2. der *Pars hyoidea*, die durch enchondrale Ossifikation eines Teils des Reichert'schen Knorpels zum Processus styloideus wird; 3. der *Pars squamosa*, Deckknochen, sie bildet die Squama, den Processus zygomaticus und schließlich 4. aus der *Pars tympanica*, die einen Teil der Wandung des äußeren Gehörganges und des Cavum tympani bildet (BENNINGHOFF 2003, ROHEN 1994, SAMANDARI 1995, STARCK 1975).

GRAY (1995) unterteilt den Processus styloideus in zwei Segmente, den basalen Anteil, Pars tympanohyale, und den distalen Anteil, Pars stylohyale.

Der Processus styloideus kann 1 bis 6 cm lang werden (SAMANDARI 1995), nach GRAY (1995) 1 bis 4 cm, wobei eine Studie von JUNG et al. (2001) einen Mittelwert von 29,1 mm, FROMMER (1974) hingegen einen Mittelwert von 3,17 cm feststellte, YETISER et al. (1997) gehen von einer normalen Länge von 1,5 bis 2,5 cm aus.

Laut BOENIG und BERTOLINI (1971) verschmilzt die Anlage des Processus styloideus während der Verknöcherung mit dem Os temporale. Der Processus styloideus ossifiziert von zwei Zentren ausgehend, eines erscheint kurz vor der Geburt, das andere kurz danach (BERKOVITZ und MOXHAM 1988). GRAY (1995) präzisiert die Lokalisation der zwei Ossifikationszentren; das erste befindet sich im cranialen Anteil des Processus styloideus, dem tympanohyalem Knorpel entsprechend, und ist kurz vor der Geburt zu sehen. Das zweite erscheint im caudalen Anteil, also dem stylohyalen Knorpel, jedoch nicht vor dem zweiten Lebensjahr.

Die einzelnen Anteile des Os temporale vereinigen sich am Ende des ersten Lebensjahres, wobei sich die caudale Komponente des Processus styloideus nicht vor der Pubertät mit der cranialen vereinigt (BERKOVITZ und MOXHAM 1988, GRAY 1995).

Der Processus styloideus dient als Ursprung für die Muskeln M. styloglossus, M. stylohyoideus und M. stylopharyngeus (SAMANDARI 1995) und die Bänder Ligamentum stylomandibulare und Ligamentum stylohyoideum (NETTER 1997). Diese Muskeln und Bänder dienen der Bewegung der Mandibula, des Os hyoideum, der Zunge und des Pharynx (HIATT und GARTNER 1982).

#### **2.4 Pathologische Befunde im Zusammenhang mit dem Os hyoideum und seinen Begleitstrukturen**

LANZ und WACHSMUTH (1955) beschreiben, dass sowohl der Processus styloideus als auch das Cornu minus des zweiten Pharyngealbogens auf Kosten des Ligamentum stylohyoideum verlängert sein können, in seltenen Fällen kann das Band auch vollständig verknöchern.

Nach RODRÍGUEZ-VÁZQUEZ et al. (2006) findet sich ein verlängerter Processus styloideus bei 1 bis 4 % der Bevölkerung.

Häufig findet sich aber nur ein knorpeliges oder knöchernes Zwischenstück, das im Verlauf des Ligaments eingeschlossen ist. Bei Röntgenuntersuchungen des Mundbodens können diese Einschlüsse dann leicht mit Fremdkörpern oder Speichelsteinen verwechselt werden. Je nach dem Grad der Verknöcherung im Ligamentum stylohyoideum ist die Beweglichkeit des Zungenbeins gegenüber der Schädelbasis beschränkt oder sogar aufgehoben und der Schluckakt behindert (LANZ und WACHSMUTH 1955).

Diese Beschreibung ähnelt sehr dem von EAGLE (1937) zuerst beschriebenen und später auch nach ihm benannten Stylohyoid-Syndrom (= Eagle-Syndrom). RODRÍGUEZ-VÁZQUEZ et al. (2006) fassen den Symptomkomplex des Eagle-Syndroms folgendermaßen zusammen: Fremdkörpergefühl im Hals, Ohrenschmerzen, seitliche Halsschmerzen, Schmerzen beim Drehen des Kopfes, Tinnitus, eingeschränkte Mundöffnung, Schmerzen beim Herausstrecken der Zunge, selten auch Geschmacksirritatio-

nen. Dieser Symptomkomplex findet sich nach RODRÍGUEZ, VÁZQUEZ et al. (2006) bei 7,8 oder 10,4 % der Bevölkerung, sie finden einige Theorien, die die Kalzifizierung des Ligamentum stylohyoideum erklären: Zum einen degenerative Veränderungen der Fasern des Bandes, sowie metaplastische Abweichungen durch Traumen, die die Ossifikation induzieren oder eine anatomische Variation, nach der das Ligamentum in frühen Stadien ossifiziert, bzw. wenn es vorher knorpelig angelegt war, dann enchondral später ossifiziert.

SATYAPAL und KALIDEEN (2000) fassen die Symptome des Eagle-Syndroms auch als Cervicofazial-Schmerz, Ohr- und Halsschmerzen, Schluckbeschwerden und Kopfschmerzen zusammen.

Auch SHIMIZU et al. (2005) beschreiben ein ähnliches Krankheitsbild mit der Ursache der Vergrößerung eines Teils des Os hyoideum.

Ohrenschmerzen und Schmerzen in der Nähe des Carotissinus zählen ebenfalls zu den Symptomen des von LIM (1987) beschriebenen „Hyoid Bone Syndrome“. Hierbei beträgt die Länge des Cornu maius nach seiner Beobachtung immer mindestens 2,4 cm, was im Vergleich zur Gesamtlänge von 2,0 bis 2,4 cm überdurchschnittlich lang ist.

FRÄNKEL (1963) beschreibt einen ätiologischen Zusammenhang zwischen einer offenen Mundhaltung und einer Fehllage der Zunge mit einer Störung der Balance zwischen supra- und infrahyalen Muskulatur. Wird die Peristase zwischen Zunge, Lippen und Wangen durch eine offene Mundhaltung gestört, kann durch den nicht intakten Mundschluss der mittlere und hintere Mundschluss nicht zustande kommen - die Zunge kann die Position am Gaumendach hierfür nicht einnehmen. Sie sinkt ab und da der Zungenbeinhalteapparat den caudalwärts gerichteten Druck der infrahyalen Muskulatur und auch des Zungengewichts nicht kompensieren kann, kommt es zu einem dorso-caudalen Absinken des Zungenbeins.

NAWRATH (1964) stellt daraufhin nach Untersuchungen und kephalometrischer Auswertung von 218 Röntgenbildern die Hypothese auf, dass der absolute Tiefstand des Os hyoideum einen negativen Faktor für die Erfolgsaussichten einer Rückbissbehandlung in der Kieferorthopädie darstellt. Auch für andere Dysgnathien scheint diese Annahme nach seiner Beobachtung gültig zu sein.