

Aus dem Institut für Experimentelle Zahnheilkunde  
der Medizinischen Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin

DISSERTATION

*Anatomischer Vergleich des Nasennebenhöhlensystems von  
Mensch und Schaf unter besonderer Berücksichtigung des  
Sinus maxillaris*

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

vorgelegt der Medizinischen Fakultät  
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Dana Breyer

aus Berlin

Gutachter/in:     1. Priv.-Doz. Dr. med. dent. Chr. Knabe  
                          2. Prof. Dr. W. Sümnick  
                          3. Priv.-Doz. Dr. Chr. Große-Siestrup

Datum der Promotion: 03.09.2010

**Für Heike Breyer**

<b>1.</b>	<b>Einleitung</b>	<b>5</b>
<b>1.1</b>	<b>Ziel der Untersuchung</b>	<b>5</b>
<b>2.</b>	<b>Literaturübersicht</b>	<b>9</b>
<b>2.1</b>	<b>Nasennebenhöhlensystem des Schafes</b>	<b>9</b>
<b>2.1.1</b>	<b>Makroskopische Anatomie</b>	<b>9</b>
<b>2.1.1.1</b>	<b>Sinus palatinus</b>	<b>10</b>
<b>2.1.1.2</b>	<b>Sinus maxillaris</b>	<b>11</b>
<b>2.1.1.3</b>	<b>Sonstige Nasennebenhöhlen</b>	<b>13</b>
<b>2.1.2</b>	<b>Gefäßversorgung</b>	<b>17</b>
<b>2.1.3</b>	<b>Mikroskopische Anatomie</b>	<b>17</b>
<b>2.1.4</b>	<b>Physiologische Aspekte</b>	<b>18</b>
<b>2.2</b>	<b>Nasennebenhöhlensystem des Menschen</b>	<b>19</b>
<b>2.2.1</b>	<b>Makroskopische Anatomie</b>	<b>19</b>
<b>2.2.1.1</b>	<b>Sinus maxillaris</b>	<b>20</b>
<b>2.2.1.2</b>	<b>Sonstige Nasennebenhöhlen</b>	<b>24</b>
<b>2.2.2</b>	<b>Gefäßversorgung und Innervation</b>	<b>26</b>
<b>2.2.3</b>	<b>Mikroskopische Anatomie</b>	<b>28</b>
<b>2.2.4</b>	<b>Physiologische Aspekte</b>	<b>28</b>
<b>3.</b>	<b>Material und Methoden</b>	<b>30</b>
<b>3.1</b>	<b>Daten der Versuchstiere</b>	<b>30</b>
<b>3.1.1</b>	<b>Untersuchungen der Schafe vor dem ersten operativen Eingriff</b>	<b>30</b>
<b>3.2</b>	<b>Makroskopische Untersuchung</b>	<b>31</b>
<b>3.2.1</b>	<b>Material</b>	<b>31</b>
<b>3.2.2</b>	<b>Durchführung</b>	<b>31</b>
<b>3.3</b>	<b>Mikroskopische Untersuchung</b>	<b>33</b>
<b>3.3.1</b>	<b>Lichtmikroskopische Untersuchung</b>	<b>33</b>
<b>3.3.2</b>	<b>Rasterelektronenmikroskopische Untersuchung</b>	<b>36</b>

<b>3.3.3</b>	<b>Transmissionselektronenmikroskopische Untersuchung</b>	<b>36</b>
<b>4.</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>37</b>
<b>4.1</b>	<b>Computertomographische Auswertung</b>	<b>37</b>
<b>4.1.1</b>	<b>Sinus palatinus</b>	<b>38</b>
<b>4.1.2</b>	<b>Sinus maxillaris</b>	<b>44</b>
<b>4.1.3</b>	<b>Sinus conchae dorsalis</b>	<b>47</b>
<b>4.1.4</b>	<b>Sinus ethmoidalis</b>	<b>47</b>
<b>4.1.5</b>	<b>Sinus lacrimalis</b>	<b>47</b>
<b>4.1.6</b>	<b>Sinus frontalis medialis</b>	<b>51</b>
<b>4.1.7</b>	<b>Sinus frontalis lateralis</b>	<b>51</b>
<b>4.1.8</b>	<b>Volumenbestimmung der Sinus palatines et maxillares</b>	<b>54</b>
<b>4.1.9</b>	<b>Makroskopischer Vergleich von Mensch und Schaf</b>	<b>57</b>
<b>4.2</b>	<b>Histologische Auswertung</b>	<b>59</b>
<b>4.2.1</b>	<b>Histologische Auswertung der Schafspräparate</b>	<b>59</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Histologische Auswertung der Humanpräparate</b>	<b>62</b>
<b>4.3</b>	<b>Rasterelektronenmikroskopische Auswertung</b>	<b>65</b>
<b>4.4</b>	<b>Transmissionselektronenmikroskopische Auswertung</b>	<b>68</b>
<b>4.5</b>	<b>Mikroskopischer Vergleich von Mensch und Schaf</b>	<b>69</b>
<b>5.</b>	<b>Diskussion</b>	<b>70</b>
<b>5.1</b>	<b>Diskussion der Methode</b>	<b>70</b>
<b>5.1.1</b>	<b>Das Tiermodell</b>	<b>70</b>
<b>5.1.2</b>	<b>Computertomographie</b>	<b>70</b>
<b>5.1.3</b>	<b>Histologische Aufbereitung der Präparate</b>	<b>71</b>
<b>5.1.3.1</b>	<b>Lichtmikroskopie</b>	<b>71</b>
<b>5.1.3.2</b>	<b>Rasterelektronenmikroskopie</b>	<b>71</b>
<b>5.1.3.3</b>	<b>Transmissionselektronenmikroskopie</b>	<b>72</b>
<b>5.2</b>	<b>Diskussion der Ergebnisse</b>	<b>72</b>
<b>5.2.1</b>	<b>Diskussion der Makroskopie</b>	<b>72</b>

<b>5.2.2</b>	<b>Diskussion der Mikroskopie</b>	<b>78</b>
<b>6.</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>80</b>
<b>7.</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>82</b>

## Abkürzungsverzeichnis

<b>Abkürzung</b>	<b>Bezeichnung</b>
A./Aa.	Arteria/Arteriae
CT	Computertomographie
DFG	Deutsche Forschungsgesellschaft
N.	Nervus
REM	Rasterelektronenmikroskop
TEM	Transmissionselektronenmikroskop
V.	Vena

# **1. Einleitung**

## **1.1 Ziel der Untersuchung**

Im Laufe der vergangenen Jahre hat sich die enossale Implantologie zu einem wertvollen Bestandteil der Zahn-Mund-Kieferheilkunde entwickelt. Die Zahl der mit Implantaten versorgten Patienten nahm in erheblichem Maße zu. Wurden 2006 etwa 600.000 Implantate in Deutschland gesetzt, so liegt die geschätzte Anzahl für das Jahr 2009 bereits bei mehr als einer Million (Ritzert 2007, Ritzert 2009). Mit der Ausweitung der implantologischen Therapiemöglichkeiten erlangten gleichzeitig augmentative Techniken eine immer größere Bedeutung. Da der Implantationsort heute nach zahnärztlich-prothetischen Planungskriterien und nicht nach der vorhandenen Knochensituation ausgewählt wird, muss in vielen Behandlungsfällen der Kiefer hinsichtlich des Knochens quantitativ und gegebenenfalls auch qualitativ optimiert werden. Einen besonderen Stellenwert hat heute dabei die Sinusbodenelevation im Seitenzahnbereich des Oberkiefers gewonnen.

Da die Menge an gewinnbarem autologen Knochen für solche augmentativen Eingriffe limitiert ist und extraorale sowie intraorale Entnahmestellen bei großen Defekten einen chirurgischen Mehraufwand sowie eine erhöhte Belastung für den Patienten bedeuten, gewinnt die Verwendung von Biomaterialien immer größere Bedeutung. Die Problematik der derzeit verwendeten Biomaterialien besteht in einer langen Degradationszeit (1-2 Jahre) sowie einer individuell sehr unterschiedlichen Resorptionszeit, welche offensichtlich durch Partikelgröße (Ikeda et al. 1999), Oberflächenstruktur und Porosität (Teramoto et al. 2005, Yang et al. 2004) sowie eventuell auch durch den Zustand der Kieferhöhlenschleimhaut bestimmt wird. Bevor jedoch neu entwickelte bzw. optimierte Biomaterialien am Menschen klinisch zum Einsatz kommen können, müssen diese im Rahmen von Tierversuchen überprüft und somit für deren Verwendbarkeit am Menschen kritisch hinterfragt werden.

In vivo Tierversuche erfolgten hierfür in den vergangenen Jahren an verschiedenen Tierarten, wobei im europäischen Raum vorzugsweise auf Beagle-Hunde, Minischweine, Schafe und Ziegen zurückgegriffen wurde (Comuzzi et al. 2002, Fennis et al. 2005, Gosain et al. 2005,



Haas et al. 2002, Jung et al. 2009, Lee et al. 2008, Neugebauer et al. 2009, Wurzler et al. 2004). Bei der Wahl der für die Sinusbodenelevation geeigneten Tierspezies müssen, neben möglichst naher phylogenetischer Verwandtschaft zur menschlichen Spezies, ethische sowie finanzielle Aspekte berücksichtigt werden. Aber auch das individuelle Verhaltensmuster der Tiere spielt, besonders unter dem Aspekt des durchzuführenden Eingriffes, eine wichtige Rolle. Eher von untergeordneter Bedeutung waren bisher zum Menschen vergleichbare anatomische, physiologische und histologische Merkmale, die als primäre Kriterien für die Entscheidung des verwendeten Tiermodells herangezogen wurden (Smiler 1998).

Günstige Bedingungen für die Testung von Biomaterialien bietet offensichtlich das Schaf. Da Schafe Herdentiere sind, gestaltet sich die Gruppentierhaltung problemlos. Ihr gering ausgeprägter Bewegungsdrang sowie die ruhige Wesensart ermöglichen die ohne traumatische äußere Einflüsse verlaufende Einheilungsphase des Augmentates im Oberkiefer.

Innerhalb der DFG-Studie KN 377/3-1 wurden verschiedene neu entwickelte Biomaterialien im Rahmen einer Sinusbodenelevation an Schafen getestet. Obwohl das Schaf als Tiermodell in vorangegangenen Studien bereits häufig zur Untersuchung von Knochenersatzmaterialien herangezogen wurde (Fujishiro et al. 2007, Gosain et al. 2005, Haas et al. 2002, Ignatius et al. 2001, Niedhart et al. 2004, Peters et al. 2006, Tan et al. 2005), findet sich in der aktuellen Literatur keine Arbeit, die sich mit der Vergleichbarkeit des Nasennebenhöhlensystems von Mensch und Schaf unter besonderer Berücksichtigung der Sinusbodenelevation beschäftigt. Daher muss die Eignung des Schafsmodells unter anatomischen, physiologischen und funktionellen Gesichtspunkten kritisch hinterfragt werden. Gerade beim Menschen ist das Spektrum aller Faktoren, die eine hinreichende Einheilung des Augmentates in der Kieferhöhle gewährleisten, nicht umfassend bekannt. Eine Augmentation in diesem Bereich ist hoch komplex und multifaktoriell beeinflusst.

Betrachtet man unter diesem Gesichtspunkt die phylogenetischen, anatomischen, physiologischen und histologischen Voraussetzungen ver-

gleichend zum Menschen, bleiben derzeit im Hinblick auf das Schaf und auch andere in Studien verwendete Tierarten folgende Fragen offen:

Welche anatomischen Gemeinsamkeiten und Unterschiede weisen die Nasennebenhöhlensysteme von Mensch und Schaf auf?

Sind die Sinusvolumina einander ähnlich?

Beim Menschen wird das Knochenersatzmaterial nach Einbringung in die Kieferhöhle nicht allein durch knöchernen Wände begrenzt. Unterliegt also das Augmentat vergleichbaren oder ähnlichen anatomischen Bedingungen hinsichtlich der Lage und Position?

Menschen nehmen meist eine aufrechte, Schafe eher eine geneigte Kopfposition ein. Inwiefern trägt die Anatomie diesem Umstand Rechnung? Sind die Drainagemuster und speziell der osteomeatale Komplex vergleichbar?

Gibt es deutliche histologische und auch physiologische Unterschiede bei Betrachtung der Schleimhaut der Kieferhöhle?

Gibt es altersbedingte Unterschiede im Nasennebenhöhlensystem bei Schaf und Mensch und spielen diese eine Rolle hinsichtlich der Augmentation?

Sind pathologische Prozesse quantitativ und auch qualitativ bei beiden Spezies gleich verteilt?

Inwiefern unterscheiden sich Mensch und Schaf bei allen betrachteten Aspekten und haben diese Auswirkung auf die Transferierbarkeit gemachter Ergebnisse?

Daher erfolgte erstmalig im Rahmen der DFG-Studie KN 377/3-1 die sowohl makroskopische als auch mikroskopische Betrachtung des Nasennebenhöhlensystems von Schafen, um die Relevanz des Tiermodells im Vergleich zum Menschen hinsichtlich seiner Eignung zur Durchführung von augmentativen Vorgängen bei der Sinusbodenelevation zu ermitteln. Die nur geringe Anzahl anatomischer Studien, die zum Nasennebenhöhlensystem des Schafes vorliegt und zudem recht widersprüchliche Aussagen enthält (Baum 1908, Dennhardt 1903, Ellenberger & Baum 1900, Heyne 1966, Illig 1910a, Menke 2003, Sussdorf 1895, von Mihalkovics 1896), kann der Beantwortung der zuvor aufgeworfenen

Fragen nicht gerecht werden. Eine wissenschaftliche Beurteilung von Studienergebnissen am Schafsmodell und Schlussfolgerungen in Bezug auf das menschliche Modell können erst dann erfolgen, wenn ein Vergleich von Mensch und Versuchstier zugrunde liegt.

Ziel dieser Untersuchung ist es daher, das Schaf als geeignetes Tiermodell zu etablieren und hierbei speziell die Verwendbarkeit für in vivo Untersuchungen im Rahmen von Sinusbodenelevationen anhand eines makroskopischen, mikroskopischen und physiologischen Vergleichs mit dem menschlichen Nasennebenhöhlensystem zu prüfen.

## **2. Literaturübersicht**

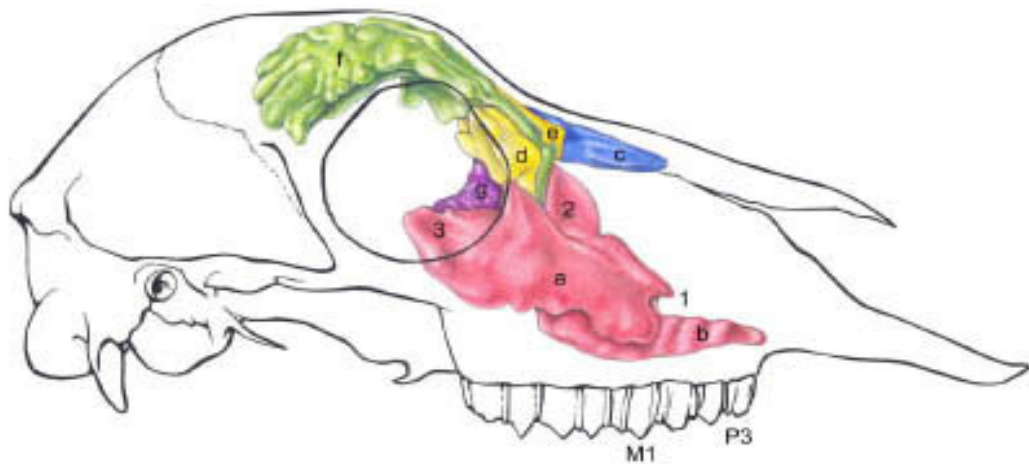
### **2.1 Nasennebenhöhlensystem des Schafes**

Die Anatomie des Nasennebenhöhlensystems von Mensch und Schaf wird in der vorliegenden Übersicht getrennt beurteilt, da in der Literatur bislang kein Vergleich beider Systeme vollzogen wurde. Die Informationen zur Anatomie der Nasennebenhöhlen des Schafes sind sehr spärlich.

#### **2.1.1 Makroskopische Anatomie**

Zu den Nasennebenhöhlen des Schafes gehören jeweils paarig angelegt, der Sinus palatinus, Sinus maxillaris, Sinus conchae nasalis dorsalis, Sinus frontalis medialis, Sinus frontalis lateralis, Sinus lacrimalis sowie mehrere Sinus paraorbitales mediales (Heyne 1966). Menke erwähnt zusätzlich jedoch den Sinus conchae mediae, den Sinus ethmoidalis sowie die in der Anzahl recht inkonstanten Cellulae ethmoidales: Cellula ethmoidalis dorsalis, Cellula ethmoidalis media und Cellulae ethmoidales ventrales (Menke 2003). Es ist jedoch zu erwähnen, daß Menkes anatomische Betrachtung auf der Untersuchung von Wildschafen basiert.

Um die Vergleichbarkeit mit den Daten aus der Literatur zu vereinfachen, werden Sinus palatinus sowie Sinus maxillaris separat betrachtet. Einen Überblick über die räumliche Anordnung der Nasennebenhöhlen des Schafsschädels gewährt Abb.1.



**Abb.1:** Sinus paranasales eines Muffelschafes im Alter von 2 Jahren, rechte Seitenansicht, Zeichnung nach einem Korrosionspräparat; (Menke 2003)

**a** - Sinus maxillaris; **b** - Sinus palatinus; **c** - Sinus conchae dorsalis; **d** - Sinus ethmoidalis; **e** - Sinus frontalis medialis; **f** - Sinus frontalis lateralis; **g** - Cellulae ethmoidales; **1** - Apertura maxillopalatina; **2** - Apertura nasomaxillaris; **3** - Bulla lacrimalis

### 2.1.1.1 Sinus palatinus

Der Sinus palatinus des Schafes ist paarig angelegt. Er hat eine schmale, längliche Form und erreicht nach Illig 19 bis 22 cm in der Länge, 7 bis 9 cm in der Höhe sowie 5 bis 7 cm quer (Illig 1910a). Er wird vollständig vom Os palatinum und Processus palatinus der Maxilla umfasst. Laut Menke endet der Sinus palatinus rostral des Foramen infraorbitale. Die ebene Bodenfläche des Sinus wird ausschließlich durch den Processus palatinus der Maxilla gebildet. Nach medial erreicht der Sinus die Medianebene nicht, so dass rechter und linker Sinus komplett voneinander getrennt sind. Auf Höhe der ersten und zweiten oberen Molaren erreicht der Sinus die größte Ausdehnung nach medial und nähert sich auf etwa 5 mm der Medianebene. Die laterale Begrenzung der Höhle bilden die Alveolen der oberen Prämolaren und Molaren. Es sind nach Menke deutliche Impressionen der Alveolen sichtbar. Nach kaudal begrenzt die Lamina perpendicularis ossis palatini den Sinus palatinus. Diese begrenzt ihn ebenso von laterokaudal, da sie mit den medialen Alveolenwänden kaudal verwächst. Kaudodorsal stellt die Lamina orbitalis ossis ethmoidalis den medialen Abschluss des Sinus palatinus dar. Nach rostral wird er von der Facies nasalis der Maxilla begrenzt. Laut Heyne ist der Sinus palatinus in eine Pars horizontalis und eine Pars

sagittalis zu unterteilen. Im Dach des Sinus palatinus befindet sich nach Loeffler (Loeffler 1958) eine schleimhautbedeckte Öffnung, nach Nickel und Wilkens (Nickel & Wilkens 1987) multiple kleine Öffnungen, die eine Verbindung zur Nasenhöhle herstellen. Zugang zum Sinus maxillaris besteht dorsal über die Apertura maxillopalatina. In dieser befindet sich auch der Zugang zur Nasenhöhle: die Apertura nasomaxillaris. Sie endet über eine längsovale Öffnung in der Schleimhautauskleidung des Sinus maxillaris et palatinus.

Die Entwicklung von Sinus maxillaris et palatinus ist sehr ähnlich, da beide gemeinsame knöcherne Grenzen besitzen. Die endgültige Ausdehnung ist im Alter von zwei bis zweieinhalb Jahren erreicht. Während das Sinusvolumen bei sechs Monate alten Lämmern etwa 1,5 ml beträgt, erreicht es nun ein Volumen von maximal 4 bis 4,5 ml. Diese Volumenzunahme steht stark in Relation zum Dentitionswechsel. Die den Sinus palatinus nach lateral begrenzenden Alveolen bilden sich nach dem Durchbruch der oberen Prämolaren und Molaren zurück (Menke 2003).

#### **2.1.1.2 Sinus maxillaris**

Die Kieferhöhle des Schafes ist ebenfalls paarig angelegt (Menke 2003). Es besteht kein Konsens darüber, welche Knochen den Sinus maxillaris bilden. Laut Illig sind daran Maxilla, Os zygomaticum und Os lacrimale beteiligt. Heyne legt sich nicht genau fest, indem er Maxilla und Os zygomaticum lediglich den größten Anteil an der Kieferhöhlenbildung zuschreibt. Nach Menke beteiligen sich an der direkten Bildung die Maxilla sowie das Os lacrimale. Nach ihrer Darstellung liegt das Os zygomaticum, welches zwischen Maxilla und Os lacrimale eingeschoben ist und rostral bis auf Höhe des ersten Molaren vorragt, den beiden Knochen nur auf, ist nicht pneumatisiert und somit nur indirekt an der Bildung des Sinus maxillaris beteiligt. Die Ausdehnung nach rostral geht ca. 1 cm über das Tuber faciale hinaus und endet etwa distal des dritten oberen Prämolaren. Der kaudale bzw. kaudodorsale Anteil des Sinus entspricht der Bulla lacrimalis. Diese wird komplett vom Os lacrimale gebildet. Der Kaudalrand der Bulla lacrimalis ist zweizipfelig gestaltet. Es ist insgesamt eine unvollständige Längsteilung in einen klei-

nen dorsomedialen und einen größeren lateroventralen Anteil durch eine Einziehung am Kaudalrand und einer Rinne auf der Lateral- und Medialfläche zu sehen. Die mediale Kieferhöhlenbegrenzung ist durch die Alveolen der Prämolaren und Molaren gegeben. Die ventrale Begrenzung erfolgt durch eine gedachte Linie ausgehend vom Foramen infraorbitale über das Tuber faciale bis hin zur ventralen Kontur des Os zygomaticum. Der Sinusboden zeigt einen wellenförmigen Verlauf. Insbesondere auf Höhe des dritten Molaren lässt sich eine markante Einziehung am Boden erkennen (Menke 2003). Die Breite des Sinus maxillaris ist, bedingt durch den Knochensteg des Canalis infraorbitalis, oral klein und nimmt dann in Richtung der Bulla lacrimalis zu. Dieser Knochensteg bietet gleichfalls die Abgrenzung zum Sinus palatinus. Er ist die laterale Begrenzung der Apertura maxillopalatina, über welche beide Höhlen, wie oben bereits erwähnt, in Verbindung stehen (Heyne 1966).

Die Apertura nasomaxillaris, der Zugang zum Sinus maxillaris, mündet im kaudalen Teil in den mittleren Nasengang. Dieser ist nach Illig etwa 2 bis 3 cm lang und bis 0,5 cm breit und nach Heyne 2,5 cm lang und 1cm breit sowie gangförmig. Die laterale Ausbuchtung der Concha nasalis media verdeckt die Mündung der Apertura nasomaxillaris. Sie ist spaltförmig und liegt auf Höhe des zweiten Molaren. Die Apertura nasomaxillaris verjüngt sich in rostroventraler Richtung. Ihr kanalartiger Abschnitt wird laterodorsal durch die Maxilla und das Os lacrimale, mediodorsal durch den kaudalen Anteil der Concha nasalis ventralis sowie einem Teil der Lamina orbitalis ossis ethmoidalis begrenzt. Die Apertura nasomaxillaris endet über eine längsovale Öffnung in der Schleimhautauskleidung der Sinus maxillaris et palatinus in der Apertura maxillopalatina. Der Canalis lacrimalis begleitet die Apertura nasomaxillaris auf ihrer gesamten Länge von laterodorsal. Die Apertura nasomaxillaris liegt hochdorsal in der Medialwand des Sinus (Dyce et al. 1991).

Beim Jährling hat sich das Sinusvolumen im Vergleich zum drei Monate alten Tier verdoppelt. Es beträgt dann beim ausgewachsenen Schaf etwa 6 ml. Im Alter von zwei bis zweieinhalb Jahren ist die endgültige Länge von 6 bis 6,5 cm erreicht (Menke 2003).

### 2.1.1.3 Sonstige Nasennebenhöhlen

#### ***Sinus conchae dorsalis***

Heyne unterteilt den Sinus conchae dorsalis in eine Pars conchalis und eine Pars frontalis. Zwischen beiden besteht eine weite Verbindung. Die Größe des Sinus ist laut Heyne sehr variabel. Menke erwähnt keine Zweiteilung, beschreibt jedoch eine deutliche laterale Ausbuchtung auf Höhe des dritten Molaren, die eventuell mit Heynes Unterteilung in Pars conchalis et frontalis übereinstimmt. Der Sinus hat laut Menke die Form einer dreiseitigen Pyramide mit nach rostral gerichteter Spitze (Abb.1). Die Basis liegt auf Höhe der Apertura sinus conchae dorsalis. Diese längs- oder querovale große Öffnung liegt in Übereinstimmung mit Heyne auf Höhe des dritten Molaren. Sie mündet in den rostralen Abschnitt des ersten Meatus ethmoidalis. Die Spirallamelle des Endoturbinale I (Definition siehe 2.1.1.5) bildet sowohl den medialen und ventralen als auch den kaudalen und lateralen Wandabschnitt der Höhle. Das Dach wird rostral vom Os nasale und kaudal von der Facies interna des Os frontale gebildet. Das Volumen beim adulten Schaf beträgt etwa 1,5 ml.

#### ***Sinus conchae mediae***

Der Sinus conchae mediae wird als solcher nur von Menke erwähnt. Er befindet sich im Endoturbinale II (Abb.2). Diese kleinste Nasennebenhöhle des Muffelwildes ist nicht immer bilateral symmetrisch ausgeprägt. In der medialen Wand des Sinus liegt der sichelförmige Zugang zum Sinus conchae dorsalis.

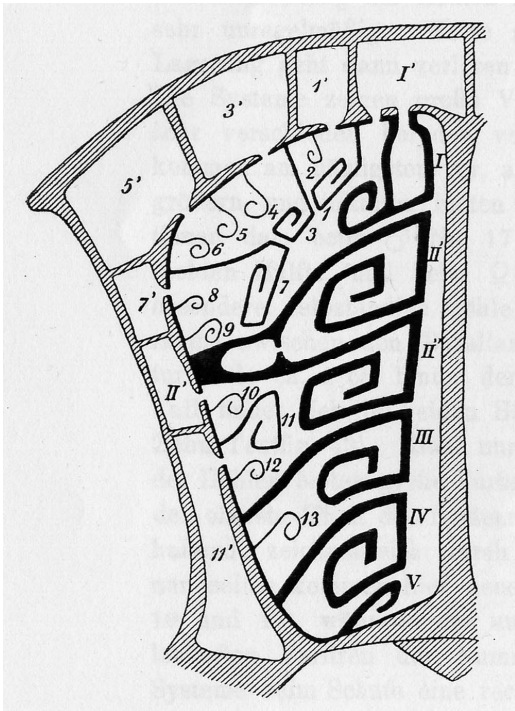
Im Alter von zwei bis zweieinhalb Jahren weist der Sinus eine endgültige Länge von 2,5 bis 2,8 cm auf.

#### ***Sinus ethmoidalis***

Die menschlichen Cellulae ethmoidales sind mit dem Siebbein der Tiere nicht vergleichbar (Pauli 1900). Pauli betont, dass generell ein Vergleich der Hohlräume lediglich auf dem entwicklungsgeschichtlichen Ausgangspunkt der Höhlen, d.h. dem Ausführungsgang an ausgewachsenen Tieren, basieren kann. Alle übrigen zufälligen Gemeinsamkeiten, z.B. Größe und Ausdehnung der Höhlen, sind nicht von Bedeutung. So beziffert er die Sinus des Schafes von 1 bis 11 und verzichtet bewusst



auf die in der humanen Anatomie gebräuchlichen Sinusbezeichnungen (Abb.2).



**Abb.2:** Schematischer Schnitt durch die Nasenhöhle des Schafes, dicht vor der Siebplatte und ihr parallel ( Pauli, 1900)

I-V Endoturbinalien; 1-13 Ektoturbinalien; I', 1', 3', 5', 7', II', 11' Sinus ethmoidales

Ein Endoturbinale wird durch das Einrollen der Siebplatte vom Medialrand aus gebildet, so dass ein platter Teil, die Basallamelle, und ein eingerollter Teil, der Riechwulst, entsteht. Das Schaf besitzt fünf Endoturbinalien (I bis V) mit, infolge einer Aufspaltung der Basallamelle des zweiten Endoturbinale, sechs Riechwülsten. Zwischen diesen Endoturbinalien befinden sich die kleineren Ektoturbinalien (1 bis 13) sowie die Meatus ethmoidales, die Nasenhöhle und Nasennebenhöhlen miteinander verbinden (Gutmann 1911, Pauli 1900). Sieben bis acht Höhlen kommen laut Pauli am häufigsten vor. Eine Symmetrie in beiden Schädelhälften ist meist nicht gegeben. Die Anzahl der Höhlen variiert bis maximal elf.

Menke trennt den Sinus ethmoidalis strikt von den Cellulae ethmoidales (Abb.1). Eine solche Trennung findet bei anderen Autoren nicht statt. Sie unterteilt in die Cellula ethmoidalis dorsalis, Cellula ethmoidalis

media sowie die Cellulae ethmoidales ventrales. Die hintere Siebbeinhöhle ist die größte aller Siebbeinhöhlen, gleichzeitig aber nur bei der Hälfte der von Menke untersuchten Schädel vorhanden und häufig nicht bilateral ausgeprägt.

Die mittlere Siebbeinhöhle ist regelmäßig ausgebildet. Die Cellulae ethmoidales ventrales variieren stark in Größe und Anzahl. Sie sind rundlich bis oval und bestehen aus zwei bis fünf Höhlen, welche untereinander angeordnet in der Lamina orbitalis ossis ethmoidalis liegen.

### ***Sinus lacrimalis***

Wie im allgemeinen Teil bereits erwähnt, setzt Menke den Sinus ethmoidalis mit dem in der Literatur erwähnten Sinus lacrimalis gleich (Menke 2003). Dieser hat die Form einer auf der Spitze stehenden Pyramide, deren Spitze Richtung Höhlzugang zeigt. Der Zugang liegt dorsal des Canalis lacrimalis am medialen Augenwinkel (Heyne 1966). Das Os lacrimale, welches laut Menke nicht an der Entstehung des Sinus ethmoidalis beteiligt ist, bildet die laterale, laterodorsale sowie laterokaudale Begrenzung des Sinus. Nach rostral und medial begrenzt überwiegend die Lamina orbitalis ossis ethmoidalis die Höhle. Der Zugang zum Os ethmoidale liegt rostroventral in der medialen Sinuswand und mündet in den Meatus ethmoidalis medialis. Im Alter von zwei Jahren hat der Sinus seine vollständige Ausdehnung und ein Volumen von 1,2 bis 1,5 ml erreicht.

### ***Sinus frontales***

Die Angaben der verschiedenen Autoren weichen in Bezug auf die Sinus frontales recht stark voneinander ab. Sussdorf beschreibt erstmals im Jahre 1895 die Stirnhöhlen, jedoch nicht spezifisch nur auf das Schaf, sondern auf Wiederkäuer ausgerichtet. Baum trifft ebenfalls nur allgemeingültige Aussagen zur Anatomie der Wiederkäuer (Baum 1908). Er erwähnt die Existenz einer primären sowie mehrerer sekundärer Höhlen. Illig nimmt eine schwankende Anzahl der Stirnhöhlen bei Wiederkäuern an, die über drei nicht selten hinausgeht (Illig 1910a). Heyne und Menke vertreten die Aufteilung in eine mediale und eine laterale Stirnhöhle, welche im folgenden genauer beschrieben wird (Heyne 1966, Menke 2003).

### ***Sinus frontalis medialis***

Der Sinus frontalis medialis (Abb.1) unterliegt in Form und Größe starken Variationen (Heyne 1966, Menke 2003). Diese Variabilität reicht von bauchig über oval bis länglich oder schmal. In seltenen Fällen erreicht der Sinus die Medianebene. Durch die Formenvielfalt bedingt ergeben sich ebenfalls Volumenschwankungen, welche beim ausgewachsenen Tier zwischen 1 und 2,5 ml liegen. Die mittlere Stirnhöhle liegt in der Pars nasalis der Squama frontalis. Lateral, medial und kaudal liegt sie, getrennt durch ein Septum, unmittelbar angrenzend an den Sinus frontalis lateralis. Das Dach des Sinus bildet die Facies externa ossis frontalis. Die Bodenplatte setzt sich aus der Facies interna ossis frontalis sowie der Lamina orbitalis des Os ethmoidale zusammen. Die Lage des Zuganges zum Sinus frontalis medialis wird unterschiedlich beschrieben. Er liegt laut Heyne im lateralen Schenkel der Höhle, laut Menke in der rostralen Spitze. Der Zugang ist recht groß und mündet zwischen dem ersten und dritten Ektoturbinale (Abb.2) in den oberen Meatus ethmoidalis.

### ***Sinus frontalis lateralis***

Der Sinus frontalis lateralis (Abb.1) besitzt im Vergleich zum Sinus frontalis medialis eine sehr große Ausdehnung. Er pneumatisiert fast das gesamte Stirnbein. Er zeichnet sich durch eine weitaus größere Formstabilität aus, wobei geschlechtsspezifische Größenunterschiede zu beobachten sind (Menke 2003). Während Menke eine Unterteilung in einen medialen und einen lateralen Schenkel, zwischen welchen der Sinus frontalis medialis eingebettet liegt, vornimmt, ist bei Heyne die Rede von einer in viele Buchten unterteilten, durch Pfeiler und Träger gestützten, geräumigen Höhle. Rostral grenzt diese Höhle an die Sutura frontonasalis et frontolacrimalis. Sie lagert sich lateral der Orbita an und erstreckt sich bis an die Facies temporalis des Os frontale. Vom lateralen Rand ausgehend ziehen in der Regel vier bis fünf, seltener drei oder auch sechs, kurze, frei endende Knochenlamellen nach medial in den Sinus. Das hat die Unterteilung in drei bis vier nach medial weit offene Buchten zur Folge (Heyne 1966, Menke 2003). Die mediale Höhlenbegrenzung ist durch das doppelwandige Septum sinuum frontali-um

gegeben. Dieses endet in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht unterschiedlich weit kaudal. Vom Kaudalrand des Sinus frontalis lateralis ragen etwa drei bis vier kurze Knochenlamellen in rostrale Richtung vor. Der Zugang zum Sinus befindet sich in der rostralen Spitze des lateralen Seitenschenkels und mündet in den unteren Meatus ethmoidalis (Menke 2003). Im Alter von neun Monaten hat der Sinus seine endgültige laterokaudale Ausdehnung erreicht. Jedoch ist das adulte Sinusvolumen, welches zwischen 10 und 12 ml beträgt, bedingt durch das weitere Schädelwachstum in diesem Alter, noch nicht vollständig erreicht. Dieser Volumenwert ist nur maßgeblich für weibliche Tiere. Bei Widdern nimmt das Volumen, bedingt durch das stetige Wachstum des Processus cornualis, stetig zu. Im Alter von neun Monaten umfasst der Sinus bereits ein Volumen von 25 bis 30 ml.

### **2.1.2 Gefäßversorgung**

Die Arterien der Nasennebenhöhlen stammen von Ästen der A. carotis externa und interna. Die Venen ziehen zur V. maxillaris medialis et lateralis und zum Teil auch zum Venensystem des Gehirns. Die Innervation erfolgt über Äste des N. trigeminus (Baum 1908, Ellenberger & Baum 1900).

### **2.1.3 Mikroskopische Anatomie**

Die verschiedenen Autoren stimmen darin überein, dass die Schleimhaut der Regio respiratoria der Nasenhöhle sich in die Nasennebenhöhlen hinein fortsetzt und auch diese komplett auskleidet. In den Nasennebenhöhlen ist diese Schleimhaut jedoch wesentlich dünner und bedeutend ärmer an Drüsen und Venenplexus (Smollich & Michel 1992). Die Kieferhöhlenschleimhaut hat eine durchschnittliche Dicke von 0,1 bis 0,13 mm und beträgt im Bereich des Aditus nasomaxillaris 0,2 mm (Illig 1910b). Das Flimmerepithel ist zweischichtig und mit reichlich Becherzellen versehen (Heyne 1966, Illig 1910b). Die Flimmerzellen sind im Gegensatz zu den polygonen Basalzellen hoch und schlank. Gelegentlich sind Leukozytenwanderungen durch das Epithel zu beobachten. Unterhalb des Epithels liegen fibrilläre Bindegewebsfasern, zahlreiche Fibrozyten, Blutgefäße sowie Lymphozytenansammlungen in der Nähe von seromukösen Drüsen. Die mikroskopischen Schleimhautbefunde

Gutmanns aus dem Jahre 1911 am Sinus maxillaris und Sinus frontalis des erwachsenen Schafes weichen in Bezug auf die Beobachtungen des Epithels stark von denen Illigs ab. Nach Gutmann besteht das Epithel der Kieferhöhlenschleimhaut aus etwa sechs Schichten polygonaler Zellen, wobei die oberste Schicht sich förmlich von den anderen fünf abhebt. Sie ist etwas zylindrischer gestaltet und ihre Kerne sind längsgestellt. Unter dem Epithel befindet sich eine Schicht, die zahlreiche fibrilläre Bindegewebsfasern, feine elastische Fasern, viele Gefäße und enormen Zellreichtum aufweist. Die Stirnhöhlenschleimhaut weist sehr viel weniger Gefäße auf. Die vorkommenden Gefäße sind dünnwandiger. Das Epithel besteht aus fünf bis sechs Schichten polygonaler Zellen. Darunter befindet sich eine, im Vergleich zu der im Sinus maxillaris vorkommenden, sehr viel dünnere Schicht. Diese ist geprägt von zahlreichen fibrillären Bindegewebsfasern und einer mäßigen Anzahl an Fibrozyten. Auffällig ist das gehäufte Vorkommen elastischer Fasern in der Submucosa. Mit Annäherung an das Periost wird der Faserverlauf gleichmäßiger, fast parallel (Gutmann 1911).

#### **2.1.4 Physiologische Aspekte**

Über die kausale Bedeutung der Nasennebenhöhlen des Schafes bestehen mehrere Theorien. Durch die Entwicklung der Nasennebenhöhlen ausgehend vom Riechepithel, nimmt Dennhardt an, dass sie ursprünglich primär eine Riechfunktion erfüllt haben müssen, welche im Laufe der Evolution offenbar bedeutungslos wurde (Dennhardt 1903).

Eine weitere Theorie ergibt sich durch die Kaumuskulatur. Um ihr ausreichend Ansatzfläche zu bieten, muss der Schädel beträchtlichen Umfang aufweisen. Die Nasennebenhöhlen vergrößern zum einen die Oberfläche und sorgen zum anderen für eine Gewichtersparnis des Schädels (Gutmann 1911, Loeffler 2002).

Die Anfeuchtung und Erwärmung der Inspirationsluft fallen ebenfalls teilweise in den Aufgabenbereich der Nasennebenhöhlen. Die ausgedehnten Volumina der Nasennebenhöhlen, insbesondere frontal bis in die Hörner, sowie die Kommunikation aller Sinusräume mit der Nasenhöhle lassen Negus vermuten, dass diese Hohlräume der Druckverteilung dienen, um im Falle rivalisierender Kämpfe durch das Zusammen-

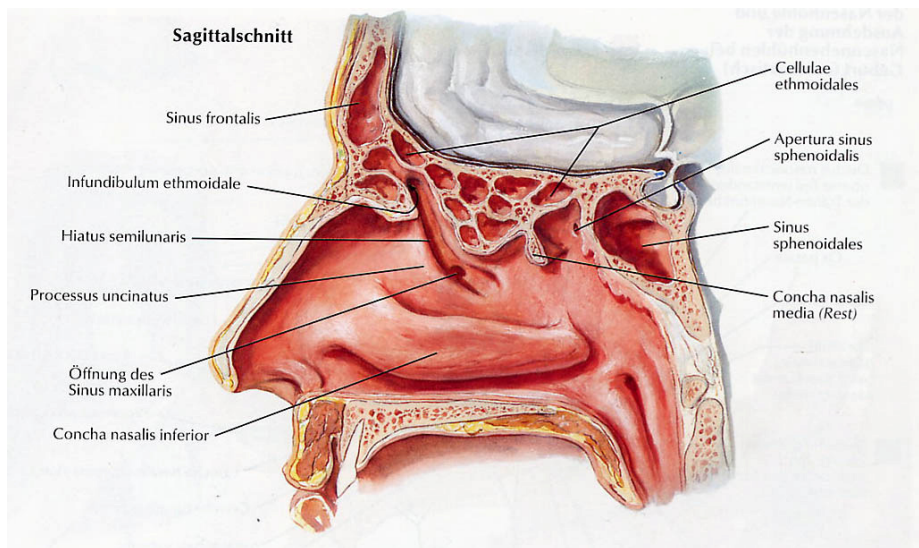
stoßen der Hörner eine Verminderung des Druckes auf das Gehirn zu bewirken (Negus 1958).

## **2.2 Nasennebenhöhlensystem des Menschen**

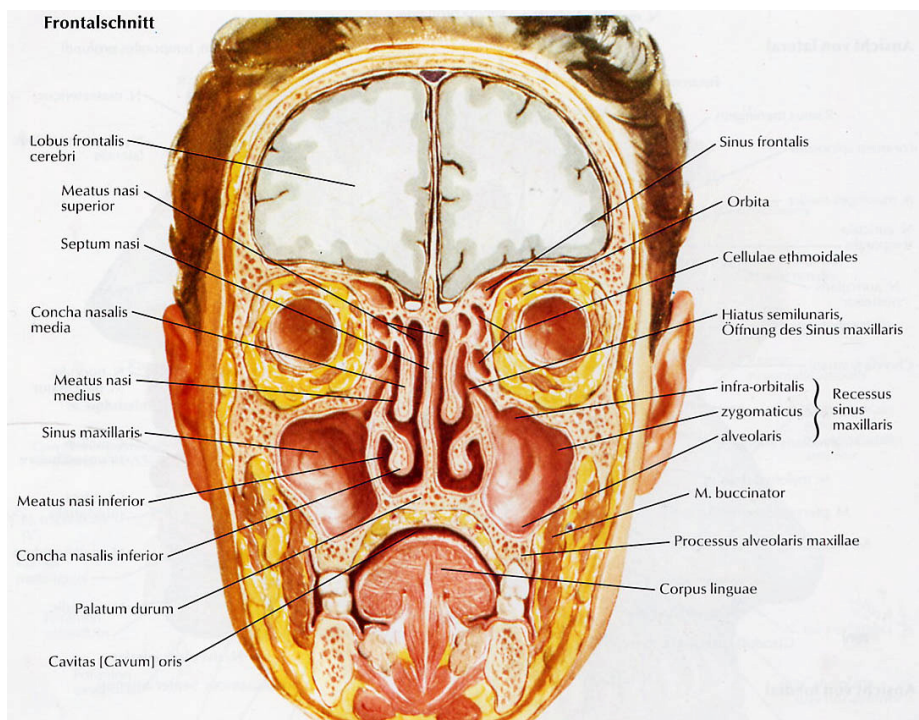
### **2.2.1 Makroskopische Anatomie**

Das menschliche Nasennebenhöhlensystem besteht aus den Cellulae ethmoidales, Sinus maxillares, Sinus frontales und Sinus sphenoidales. Einen Überblick über ihre räumliche Anordnung im Schädel gewährleisten die Abb.3 und 4. Sie sind ein mit Luft gefülltes Hohlraumsystem mit Verbindung zur Nasenhöhle. Von den beiden lateralen Nasenwänden ragen hakenartig die Conchae nasales, drei Platten, bestehend aus Knochen, schwellfähigem Gewebe und respiratorischer Schleimhaut, in die Nasenhöhle hinein (Abb.4). Die Concha nasalis inferior gilt als eigenständiger Knochen und hat die größte Ausdehnung aller Conchae. Die Conchae nasales superior et media zählen zum Os ethmoidale. Im Meatus nasalis superior, unterhalb der oberen Nasenmuschel gelegen, münden die Cellulae ethmoidales posteriores. Im Meatus nasalis medius, welcher zwischen unterer und mittlerer Concha gelegen ist, befindet sich der Hiatus semilunaris, frontal vom Processus uncinatus, kaudal von der Bulla ethmoidalis begrenzt. Dieser Hiatus semilunaris verengt sich zum Infundibulum ethmoidale, in das die Cellulae ethmoidales anteriores sowie Sinus frontalis et maxillaris münden. Der Ductus nasolacrimalis mündet unterhalb der Concha nasalis inferior in den Meatus nasalis inferior (Schumacher 1984, Shankar et al. 1994, Waldeyer & Mayet 1996).

Der Sinus maxillaris wird aufgrund seiner Bedeutung im Rahmen dieser Arbeit separat betrachtet.



**Abb.3:** Sagittalschnitt eines humanen Kopfes, Zeichnung (Netter 2000)

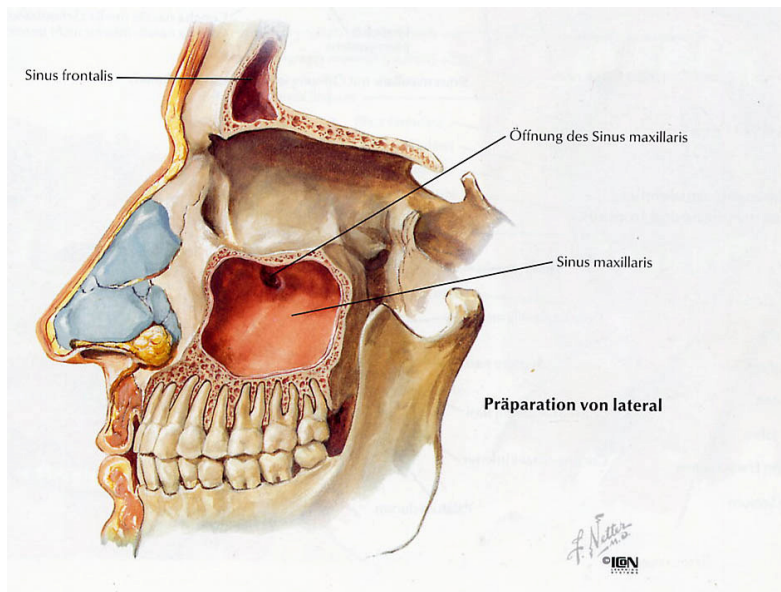


**Abb.4:** Frontalschnitt eines humanen Kopfes, Zeichnung (Netter 2000)

### 2.2.1.1 Sinus maxillaris

Der Sinus maxillaris, auch Highmore-Höhle oder Antrum genannt, ist paarig angelegt. Er bildet die größte Nasennebenhöhle und breitet sich fast in der gesamten Maxilla aus, in Extremfällen bis in den Stirn-, Gaumen-, Jochbein- und Alveolarfortsatz. Beide Kieferhöhlen sind in der Regel singular, weisen aber relativ häufig eine gewisse Septierung oder geschwungene Außenbegrenzung auf (Gold 2004). Der Sinus ma-

xillaris hat in etwa die Form einer vierseitigen Pyramide, dessen Basis die gegen die Nasenhöhle gerichtete mediale Wand ist und dessen Spitze in Richtung Jochbeinkörper weist (Guenther 2004, Vogl et al. 1998). Das Ostium liegt mit einer Wahrscheinlichkeit von 80% im oberen Bereich der medialen Wand (Abb.5) und ist kanalähnlich beschaffen (Flanagan 2005). Es mündet in das Infundibulum ethmoidale, welches am Hiatus semilunaris im Meatus nasalis medius endet (Boenninghaus 1996).



**Abb.5:** Darstellung des Hiatus maxillaris, Sinus maxillaris eröffnet, Zeichnung (Netter 2000)

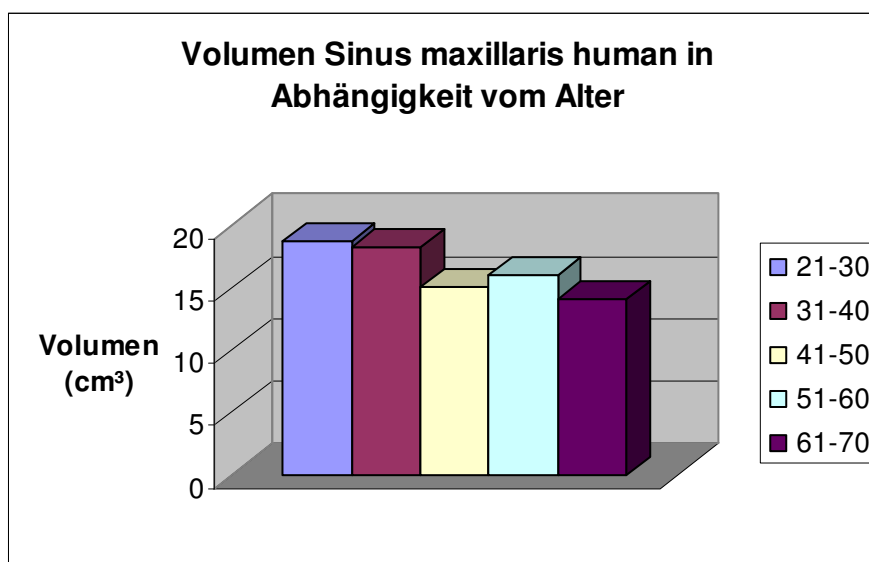
Das Volumen des Sinus maxillaris wird recht unterschiedlich angegeben. Es scheint äußerst variabel zu sein mit einem Durchschnittswert von ca.  $15\text{cm}^3$  beim Erwachsenen (Ariji et al. 1994). Andere Studienergebnisse zeigen ein Volumen von  $20,5 \pm 9,2 \text{cm}^3$  (Ikeda et al. 1998), von  $18 \pm 8 \text{cm}^3$  (Beom-Cho Jun MD et al. 2005) bzw.  $14,75 \text{cm}^3$  durchschnittlich (Flanagan 2005). Diese recht starken Volumenschwankungen lassen sich durch die Veränderungen des Sinus maxillaris in Abhängigkeit zum Alterungsprozess erklären. Demnach erreicht er seine maximale Ausdehnung bei Männern im Alter zwischen 21 und 30 Jahren, bei Frauen zwischen 11 und 20 Jahren. Eine vorerst rapide, dann langsamere Volumenreduktion findet bei Männern in der dritten und bei Frauen in der zweiten Lebensdekade statt. Die zur Darstellung des Sinusvo-



lumens in Abhängigkeit vom Alter herangezogenen Werte sind in Tab.1 erfasst (Beom-Cho Jun MD et al. 2005). Zugleich muss erwähnt werden, daß sich aus dieser Studie, aufgrund nicht erhobener Zahnstaten bzw. Röntgenaufnahmen, mögliche dentogen bedingte atrophische Merkmale bzw. abgelaufene pathologische Prozesse nicht nachvollziehen lassen.

Alter	Volumen (cm <sup>3</sup> )
21 – 30	18,67
31 - 40	18,23
41 - 50	14,98
51 - 60	15,94
61 - 70	14,04

**Tab.1:** Volumen des humanen Sinus maxillaris in Abhängigkeit vom Alter des Patienten (Beom-Cho Jun MD et al. 2005)



**Abb. 6:** Volumen des Sinus maxillaris in Abhängigkeit vom Alter

Die faziale Kieferhöhlenwand reicht vom Alveolarfortsatz bis zum Boden der Orbita. Sie wird vom Weichgewebe der Wange bedeckt und liegt etwas unterhalb des Margo infraorbitalis. Vorderwand und Boden variieren je nach Sinusgröße (Töndury 1981). Der Sinusboden verläuft meist in Höhe des harten Gaumens und erreicht in der Regel seine tiefste Ausbuchtung auf Höhe des ersten Molaren. Insbesondere dort stehen die Wurzeln des Oberkieferseitenzahnbereiches in unmittelbarer Nachbarschaft zur Kieferhöhle. Sie sind nur durch eine dünne, manchmal

durchlöchernte Knochenlamelle von ihr getrennt (Waldeyer & Mayet 1996). Die dünne mediale Wand entspricht der lateralen Wand der Nasenhaupthöhle (Boenninghaus 1996). Sie formt einen Teil der lateralen Nasenhöhlenwand, wobei die Knochenstruktur in diesem Bereich Lücken aufweist, die dann durch Mukosa seitens der Kiefer- und Nasenhöhle geschlossen werden (Shankar et al. 1994). Sie setzt sich kranial aus dem Os ethmoidale und seinem Processus uncinatus, ventral aus dem Os lacrimale, caudal aus der Concha nasalis inferior und ihrem Processus maxillaris ethmoidalis und dorsal aus dem Processus maxillaris des Os palatinum zusammen. In der medialen Wand liegen sowohl der zuvor erwähnte, sehr weit kranial gelegene Hiatus maxillaris als auch das wesentlich kleinere, durch Schleimhautduplikaturen verschlossene, Ostium naturale. Zu 30% ist ein weiteres akzessorisches Ostium vorhanden (Jones 2001, Schaeffer 1910). Der Orbitaboden bildet die obere Begrenzung zur Kieferhöhle. Er ist sehr dünn und neigt sich von medial nach lateral. In ihm verläuft, den N. infraorbitalis und die Vasa infraorbitalia beinhaltend, der Canalis infraorbitalis. In einigen Fällen ist dieser unvollständig ausgeprägt, so dass der Nerv nur schleimhautbedeckt ist. In der vom Tuber maxillae gebildeten Hinterwand verlaufen die Rami alveolares superiores posteriores des N. maxillaris meist in halboffenen, nur von Schleimhaut bedeckten Rinnen. Die Hinterwand bildet den Vorderrand der Fossa pterygopalatina, die den venösen Plexus pterygoideus, die A. maxillaris sowie das vom N. petrosus major versorgte Ganglion pterygopalatinum enthält (Boenninghaus 1996).

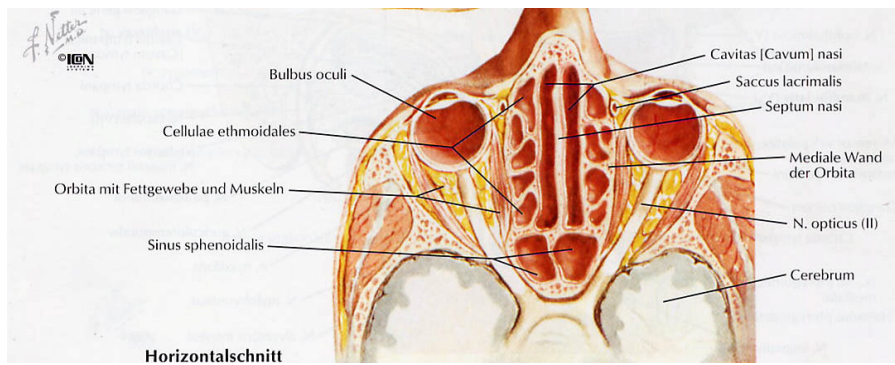
Der Sinus maxillaris hat drei Recessus: den Recessus alveolaris, lateralis sowie superior. Der Recessus alveolaris kommt am häufigsten vor und bildet die bereits erwähnte Ausstülpung in Richtung des Alveolarbogens. Der Recessus lateralis ist eine Ausbreitung des Sinus maxillaris in den Bereich des Jochbogens. Die Erweiterung der Kieferhöhle nach oben und innen wird als Recessus superior bezeichnet (Shankar et al. 1994). Bei etwa 25-30% aller Kieferhöhlen liegen sogenannte Underwood-Septen vor, welche den Sinus maxillaris zumeist unvollständig in der Regel von bukkal nach palatinal unterteilen. Dies ist von Bedeutung, da Septen die häufigste Ursache für das Einreißen der Sinus-

schleimhaut bei der Präparation für den Sinuslift sind (Watzek & Mailath-Pokorny 2000).

### **2.2.1.2 Sonstige Nasennebenhöhlen**

#### ***Sinus sphenoidalis***

Der Sinus sphenoidalis (Abb.3 und 7) ist die am weitesten posterior gelegene Nasennebenhöhle und höhlt das Os sphenoidale fast vollständig aus (Zinreich 1998). Er mündet in den Recessus sphenothmoidalis, welcher im Meatus nasalis superior endet. Er wird durch ein Septum unvollständig unterteilt, welches in den meisten Fällen asymmetrisch gelagert ist. Die Größe des Sinus ist sehr variabel. In 3 bis 5% aller Fälle fehlt er sogar komplett (Becker et al. 1989). Bei starker Pneumatisation kann er sich nach allen Seiten ausdehnen und eine gänzlich andere Topographie haben als schwächer pneumatisierte Sinus (Waldeyer & Mayet 1996). Am häufigsten bildet sich der Recessus lateralis aus, der dann zwischen dem Canalis pterygoideus und dem Foramen rotundum liegt. Es können auch die gesamte Ala major des Os sphenoidale, der Processus clinoideus anterior, Dorsum sellae, manchmal sogar der Processus clinoideus posterior oder der Processus pterygoideus pneumatisiert sein. Dem Sinus sphenoidalis sitzt die Sella turcica mit der Hypophyse auf. Beidseits davon liegt der Sinus cavernosus, in dem die Aa. carotides internae sowie der III., IV. und VI. Hirnnerv verlaufen (Shankar et al. 1994). Der Sinusboden bildet die Begrenzung zu den Choanen und der Pars nasalis pharyngis. Die Vorderwand ist sehr dünn und grenzt unmittelbar an das Nasenlabyrinth. In ihr befindet sich, nahe dem Dach der Keilbeinhöhle, das Ostium (Boenninghaus 1996). Das Fassungsvermögen des Sinus reicht von 0,5 bis 3 ml (Becker et al. 1989).



**Abb.7:** Sinus sphenoidalis et Cellulae ethmoidales, Zeichnung (Netter 2000)

### ***Sinus frontalis***

Ähnlich dem Sinus sphenoidalis wird der Sinus frontalis (Abb.3 und 4) durch ein meist asymmetrisch gelagertes Septum in eine linke und rechte Höhle unterteilt. Sie liegen zwischen Lamina interna und externa des Os frontale. Form und Größe der Stirnhöhle können sehr variieren, mitunter auch hypoplastisch sein (Shankar et al. 1994, Zinreich 1998) oder in 3 bis 5% der Fälle ein- oder beidseitig komplett fehlen (Becker et al. 1989). Kleine Sinus liegen nur in der Squama frontalis, größere greifen auf das Orbitadach über und können sich dort bis hin zum Canalis opticus ausdehnen. Das Orbitadach bildet hierbei anteilig den Boden des Sinus frontalis. Hier verläuft der N. supraorbitalis nach vorn zum Foramen supraorbitale (Boenninghaus 1996). Belüftet wird der Sinus frontalis über den Ductus nasofrontalis, der im Hiatus semilunaris endet, selten vor ihm (Waldeyer & Mayet 1996). Nach distal grenzt der Sinus frontalis an den Sinus sagittalis superior und den Lobus frontalis cerebri. Die Vorderwand entspricht den supraorbitalen Stirnpartien (Boenninghaus 1996). Der Ductus nasofrontalis liegt am Sinusboden, welcher sich in die jeweils sehr dünne Pars nasalis et orbitalis gliedert und direkt von den Cellulae ethmoidales unterlagert wird. Diese können sich bei starker Ausprägung in den Sinus frontalis vorwölben. Die arterielle/venöse Versorgung erfolgt über einen kleinen Ast der A./V. supraorbitalis (Töndury 1981). Das durchschnittliche Fassungsvermögen einer Stirnhöhle beträgt 4-7 ml (Becker et al. 1989).

### ***Sinus ethmoidalis***

Der Sinus ethmoidalis besteht aus den Cellulae ethmoidales anteriores et posteriores, die in Zahl, Größe und Ausdehnung starken Schwankungen unterliegen sind (Abb.4 und 7). Man geht von etwa acht bis zehn (Boenninghaus 1996) bzw. acht bis fünfzehn (Jones 2001) Zellen aus. Die größte von ihnen ist die Bulla ethmoidalis, welche posterior des Processus uncinatus liegt. Beide Strukturen grenzen nicht flächig aufeinander, so dass ein halbmondförmiger Hohlraum zwischen beiden besteht, der Hiatus semilunaris (Zinreich 1998). Das Os ethmoidale setzt sich aus einer horizontalen und vertikalen Platte zusammen. Die Cellulae ethmoidales liegen beidseits der vertikalen Platte und grenzen nach medial an die Nasenhöhle und nach lateral an die Orbita. Sie verdrängen den Knochen bis auf die hauchdünne Lamina orbitalis ossis ethmoidalis (Töndury 1981). In ihr befinden sich Lücken, die als kleine Kanäle fungieren und eine Infektausbreitung in die Augenhöhle hinein ermöglichen (Shankar et al. 1994). Nach kranial werden sie begrenzt durch die Fossa cranialis anterior, nach vorn durch den Sinus frontalis, nach kaudal durch den Sinus maxillaris und posterior durch den Sinus sphenoidalis (Boenninghaus 1996). Der N. opticus verläuft oft in enger Nachbarschaft zu den Cellulae ethmoidales posteriores oder ist sogar von ihnen umgeben (Becker et al. 1989). Die Grundlamelle der Concha nasalis media fungiert als Trennlinie zwischen den Cellulae ethmoidales anteriores et posteriores. Die Cellulae ethmoidales anteriores münden in den Meatus nasi medius, die Cellulae ethmoidales posteriores in den Meatus nasi superior (Shankar et al. 1994). Das Hohlraumvolumen beträgt zwischen 2 und 3 ml. Im Gegensatz zu allen anderen Nasennebenhöhlen ist das Siebbeinlabyrinth beim Neugeborenen schon endgültig ausgeprägt (Becker et al. 1989).

#### **2.2.2 Gefäßversorgung und Innervation**

Es besteht Einigkeit darüber, dass die Schleimhaut des Sinus maxillaris über Endäste der A. maxillaris versorgt wird. Die A. alveolaris superior posterior sowie die A. infraorbitalis sind maßgeblich daran beteiligt (Flanagan 2005, Guenther 2004, Solar et al. 1999). Die A. alveolaris superior posterior zweigt im Bereich des Eintrittes der A. maxillaris in

die Fossa pterygopalatina von dieser ab (Flanagan 2005) und misst an ihrem Ursprung einen mittelwertigen Durchmesser von 2 mm (Solar et al. 1999). Sie verläuft auf einer Länge von 8 mm kaudal auf dem Tuber maxillae in engem Kontakt zu Knochen und Periost. Dann zweigt sie sich erneut in zwei (Solar et al. 1999) bzw. mehrere (Flanagan 2005) Äste auf, die an der Außenseite des Knochens entlang ziehen und einerseits die Molaren und Prämolaren (dentaler Ast), andererseits das Mukoperiost der maxillären Region (gingivaler Ast) versorgen sowie in einigen Fällen mit dem Endast der A. infraorbitalis anastomosieren. Die A. infraorbitalis zweigt in unmittelbarer Nähe der A. alveolaris superior posterior von der A. maxillaris ab und weist ebenfalls am Ursprung einen mittelwertigen Durchmesser von 2 mm auf. Sie durchzieht gemeinsam mit dem N. infraorbitalis die Fissura orbitalis inferior, den Canalis infraorbitalis und tritt durch das Foramen infraorbitale aus, um mit ihrem Endast die faziale Wand der Maxilla zu versorgen. Im Bereich des Canalis infraorbitalis zweigen sich die Aa. alveolares superiores anteriores ab und verlaufen durch einen (Solar et al. 1999) oder mehrere kleine Knochenkanäle (Flanagan 2005) entlang der vorderen Sinuswand. Dort versorgen sie die Schleimhaut des Sinus maxillaris sowie, weiter nach kaudal ziehend, die oberen Frontzähne. Ein Ramus der Aa. alveolares superiores anteriores anastomosiert mit dem dentalen Ast der A. alveolaris superior posterior und ist für die Vaskularisation der Schneiderschen Membran verantwortlich (Solar et al. 1999). Über die Bedeutung der A. nasalis posterior lateralis ist man sich nicht einig. Während sie bei Solar et al. (Solar et al. 1999) keinerlei Erwähnung findet, schreiben sowohl Guenther (Guenther 2004) als auch Flanagan (Flanagan 2005) ihr eine wichtige Rolle zu. Die A. maxillaris teilt sich in ihrem dritten Abschnitt, der Pars pterygopalatina, in ihre beiden großen Endäste A. sphenopalatina und A. palatina descendens (Weber 1978). Die A. sphenopalatina tritt mit Passage des Foramen sphenopalatinum, mit dem N. pterygopalatinus parallel laufend, im Bereich des Meatus superior in die Nasenhöhle ein und teilt sich hier in die A. nasalis posterior lateralis und Aa. nasales posteriores septi. Die A. nasalis posterior lateralis verläuft innerhalb der lateralen Wand der Nasenhöhle bzw. der medialen Wand der Kieferhöhle und verkleinert ihren Durchmesser

in anteriorer Richtung. Dies ist möglicherweise der Grund für die im anterioren Bereich zu beobachtenden Anastomosen mit den Endverzweigungen der A. facialis oder Aa. ethmoidales anteriores et posteriores. Die A. nasalis posterior lateralis verzweigt sich und überzieht mit zahlreichen Rami die Conchae et Meatus nasales und versorgt die mediale und posteriore Wand des Sinus maxillaris (Flanagan 2005). Die A. palatina major et Aa. palatinae minores haben laut Günther (Guenther 2004) ebenfalls einen Anteil an der Versorgung der Kieferhöhlenschleimhaut. Für den venösen Abfluss sind entweder die V. sphenopalatina oder die Kombination dreier venöser Plexus verantwortlich: der Plexus pterygoideus anterior und posterior sowie der Plexus alveolaris. Die Plexus pterygoidei verbinden sich mit dem Plexus alveolaris und drainieren dann teilweise die V. facialis sowie die V. maxillaris (Dargaud et al. 2001). Die Innervation des Sinus maxillaris erfolgt im mittleren und hinteren Bereich über die Rami alveolares superiores posteriores et mediales des N. maxillaris, im vorderen Bereich über die Rami alveolares superiores anteriores des N. infraorbitalis (Guenther 2004).

### **2.2.3 Mikroskopische Anatomie**

Die Nasennebenhöhlen werden ebenso wie die Nasenhöhle von mehrreihig, hochprismatischem Flimmerepithel ausgekleidet. Diese hochprismatischen, Kinozilien tragenden Zellen reichen stets bis an die Oberfläche. Der Flimmerschlag erfolgt ostienwärts. Das Epithel ist von Becherzellen, dem zweithäufigsten Zelltyp der respiratorischen Schleimhaut, durchzogen. Die Becherzellen sind apikal schlank, werden zur Oberfläche hin bauchig und erreichen diese auch vollständig, um visköse Flüssigkeit zur Befeuchtung der Schleimhaut zu sezernieren. Die Mukosa der Nasennebenhöhlen ist meist sehr dünn. Das subepitheliale Bindegewebe wird von zahlreichen serösen und seromukösen Drüsen durchzogen (Frick et al. 1992, Neumüller 2002).

### **2.2.4 Physiologische Aspekte**

Alle Sinus paranasales stehen mit der Nasenhöhle in unmittelbarer Verbindung, ihre jeweilige Mündung entspricht dem Ausgangspunkt ihrer Entwicklung. Sie sind bereits frühembryonal angelegt, entwickeln sich aber relativ spät. Ihre Entfaltung steht in engem Zusammenhang mit der

konstruktiven Gestaltung des Gesichtsskeletts (Frick et al. 1992). Den Sinus paranasales werden, wenn auch geteilte Auffassungen zu ihrem biologischen Zweck bestehen, allgemein folgende Funktionen zugeordnet:

Sie sind an der Klimatisierung beteiligt, leisten ihren Anteil an der Erwärmung, Befeuchtung und Reinigung der Inspirationsluft, so dass die tieferen Atemwege sowie die Lunge stets in ihrem physiologischen Milieu arbeiten können. Die Funktion der Regio respiratoria ist die Regulation der nasalen Luftstrommenge und -feuchtigkeit durch entsprechend starkes An- bzw. Abschwellen (Gold 2004). Die Inspirationsluft wird unabhängig von der Außentemperatur konstant auf eine Temperatur von 31-34 °C erwärmt. Beträgt die Wasserdampfsättigung in der Inspirationsluft etwa 50 bis 60%, so wird sie im Bereich der Nasenhöhle sowie ihrer Nebenhöhlen auf 80 bis 85% angehoben um im Bereich der tieferen Atemwege nahezu 100% zu erreichen (Becker et al. 1989). Da das Ostium des Sinus maxillaris relativ hoch liegt, können Flüssigkeiten nur schwer in die Nasenhöhle abfließen (Schumacher 1984). Die Eigenreinigung der Sinus paranasales wird durch den ostienwärts gerichteten Strom des Flimmerepithels vollzogen (Boenninghaus 1996). Diese Cilienbewegung ist so effizient, dass trotz chirurgischer Anlage eines weiter inferior gelegenen Zugangs zur Kieferhöhle die Drainage weiterhin durch das natürliche Ostium erfolgt (Flanagan 2005, Zinreich 1998). In ihrer Eigenschaft als pneumatisiertes Hohlraumssystem dienen die Sinus paranasales der Gewichtsersparnis bei gleichzeitiger Oberflächenausdehnung der Schädelknochen außen und innen (Becker et al. 1989). Bei traumatischen Einwirkungen im Gesichts- und Kopfbereich sollen sie als „Stoßdämpfer“ für die Schädelhöhle dienen.



### **3. Material und Methoden**

#### **3.1 Daten der Versuchstiere**

##### **3.1.1 Untersuchungen der Schafe vor dem ersten operativen Eingriff**

Im Rahmen einer DFG – Studie zur Testung verschiedener Biomaterialien wurden insgesamt 34 Schafe untersucht. Dabei handelte es sich um 16 Schafe der Rasse Merino, neun Schafe der Rasse Texel, sechs Merino-Mischlinge sowie drei Texel-Mischlinge<sup>1</sup>. Die Tiere waren weiblich, das Durchschnittsalter betrug drei Jahre, das durchschnittliche Körpergewicht lag bei 65 kg. Es wurden nur gesunde Tiere in die Studie eingeschlossen. Diese wurden von einem Veterinärmediziner<sup>2</sup> in der tierexperimentellen Abteilung der Charité – Berlin, Campus Virchow untersucht. Eine Zusammenfassung des Körperstatus findet sich in Tab.2.

---

<sup>1</sup> Herkunft der Tiere vom Gutshof Langerwisch, Brandenburg

<sup>2</sup> Hauke Sonnenberg VM, Berlin Rudolf-Virchow-Klinikum, Berlin

<b>Alter</b>	<b>2 ½ - 3 ½ Jahre</b>
Haut/Schleimhaut	o.B./blaßrosa – leicht rötlich/Kap-Fz < 2sec
Gewicht	55 – 75 kg
Herzfrequenz	88 – 95
Herztöne	o.B.
Atemfrequenz	16 – 20
Atemtyp	costo-abdominal
Atemgeräusch	o.B.
Appetit	normal (Angabe Tierpfleger )
Pansenfrequenz	normal
Kotabsatz	o.B.
Klauen	o.B.; beschnitten
Gelenke	o.B.
Belastung der 4 Extremitäten	gleichmäßig
Ultraschalluntersuchung auf Trächtigkeit (bei Erstoperation)	unwahrscheinlich
Medikamente (verabreicht bei Trächtigkeitsuntersuchung)	Iliren C 1,5ml ; Ivomec 1,2 ml 1 Tag später Veracin s.c. 3ml/50kg KGW

**Tab.2:** Körperstatus zur Erstuntersuchung der Versuchstiere.

**Legende:** Iliren C (zur Verhinderung und Unterbrechung von Trächtigkeit), Ivomec (Antiparasitikum), Veracin (Antibiotikum)

Die Angaben in Tab.2 sind für alle 34 Schafe repräsentativ. Die Tiere erhielten die benannten Medikamente zur Trächtigkeitsuntersuchung.

## **3.2 Makroskopische Untersuchung**

### **3.2.1 Material**

Es wurden alle Köpfe der 34 Schafe unmittelbar post mortem einer computertomographischen Diagnostik zugeführt.

### **3.2.2 Durchführung**

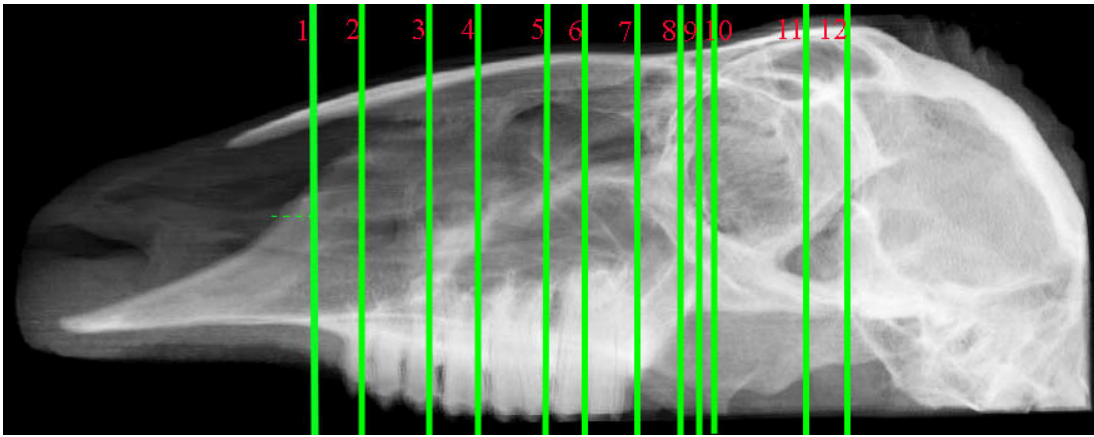
Die Untersuchungen für diese Arbeit wurden mit Hilfe eines Computertomographen der vierten Generation für humanmedizinische Diagnostik, dem Somatom Volume Zoom (Siemens Medical Solutions, CT, Forchheim, Deutschland), durchgeführt. Bei diesem Gerät handelt es sich um einen 4-Zeilen-Computertomographen. Über eine eigens für den Schafskopf hergestellte Schaumstoffauflage wurden die Schafsköpfe

auf dem Patientenlagerungstisch derart positioniert, daß die Gantry mit dem Gaumen des Oberkiefers parallelisiert wurde.

Die Datenakquisition erfolgte kontinuierlich im Spiralmodus mit einer Schichtdicke und einem Tischvorschub von 0,5 mm bei 120 kV und 80 mAs. Das Meßfeld wurde auf 28 x 28 cm festgelegt, die Matrix bestand aus 1024 x 1024 Bildpunkten. Der Datensatz wurde ebenfalls mit einer Schichtdicke und einem Schichtabstand von 0,5 mm bei einem hochauflösenden Kernel (70h) rekonstruiert. Die Anzeige der Grauwertbereiche erfolgte in einem weiten Knochenfenster (window 2500 HU, center 600 HU).

Mit Hilfe des Softwareprogrammes Syngo Somaris Version 5 (Siemens, Berlin-München, Deutschland) wurde die Volumenberechnung für die Sinus palatines et maxillares der 34 Schafe durchgeführt. Für jeden Sinus wurde im Schichtabstand von 0,5 mm das Volumen durch Umzeichnung der knöchernen Begrenzung ermittelt. Die Einzelwerte wurden anschließend addiert um das Gesamtvolumen zu erhalten. Die Höhe (cm), Standardabweichung sowie Minimal- und Maximalwerte wurden ebenfalls ermittelt. Die Darstellung der Ergebnisse erfolgte tabellarisch sowie grafisch mittels Boxplot-Diagrammen.

Die anatomische Beschreibung erfolgte anhand der CT-Aufnahmen eines Merino-Schafes (Schaf 5). Das Nasennebenhöhlensystem wurde von rostral nach kaudal durchwandert und in 12 Ebenen grafisch dargestellt (Abb.8). Der Ebenenabstand wurde nach optimaler grafischer Darstellung des Sinussystems ausgewählt.



**Abb.8:** Radiologische Darstellung des Schafskopfes Nr.5 Merino von lateral im CT ohne Unterkiefer; Übersicht der Schnittebenen 1-12 (grün).

### **3.3 Mikroskopische Untersuchung**

#### **3.3.1 Lichtmikroskopische Untersuchung**

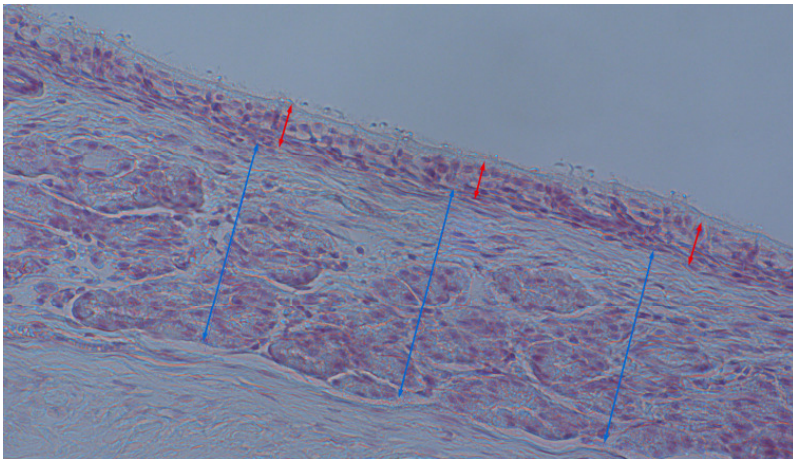
Es wurden neun Präparate der Kieferhöhlenschleimhaut aus fünf nicht operierten Merino-Schafen der DFG–Studie KN 377/3-1 der konventionellen, histologischen Untersuchung zugeführt. Diesen wurden fünf humane Kieferhöhlenschleimhautpräparate der Charité-Berlin, Campus Mitte, Institut für Anatomie vergleichend gegenübergestellt.

Sowohl die Schafs- als auch Humanpräparate wurden in gleicher Weise histologisch aufbereitet (Tab.3).

Vorgang	Zeitraum	Material
Fixierung		4% Formaldehydlösung nach Lille
Entkalkung	3 Monate	25% EDTA-Lösung
Wässerung	Mehrere Stunden	Leitungswasser
Dehydratation		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ethanol steigender Konzentration</li> <li>2. Methylbenzoat (Intermedium)</li> <li>3. Xylol (Intermedium)</li> </ol>
Einbettung		Histowachs
Herstellung der Schnittpräparate		4-5 µm mittels Mikrotom
Färbung		Hämatotoxylin-Eosin

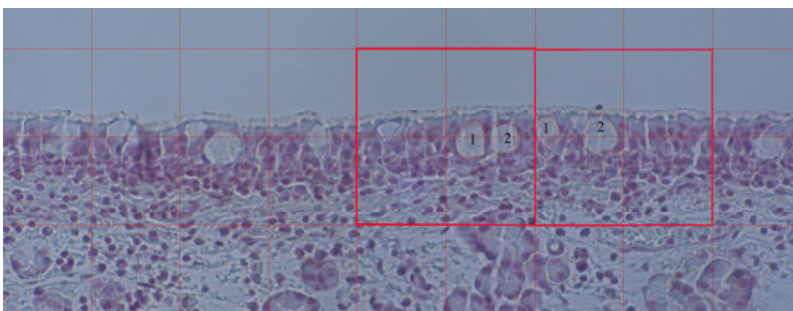
**Tab.3:** Probenaufbereitung zur lichtmikroskopischen Auswertung.

Die histologische Auswertung erfolgte mittels Lichtmikroskop, welches über eine Kamera mit einem Computer gekoppelt war. Die Kamera übertrug den unter dem Mikroskop befindlichen Präparatausschnitt in Live-schaltung auf den Monitor. Mit Hilfe des Softwareprogrammes analySIS (Fa. Olympus, Hamburg, Deutschland) wurden die Daten ausgewertet. Die Schleimhautdickenmessung erfolgte an subjektiv gewählten histologischen Abschnitten in 20facher Vergrößerung, in denen keine Aufwerfung der Schleimhaut oder Artefaktbildung erkennbar war. Demnach konnten an vier Schafen je sechs Messungen erfolgen, an einem Schaf nur drei Messungen (n=27). Die Dicke des Epithels sowie des subepithelialen Bindegewebes wurden separat bestimmt (Abb.9). Mittels Cursor wurde der zu messende Bereich linear markiert und diese Messstrecke unter Berücksichtigung des Vergrößerungsfaktors durch das analySIS-Programm berechnet. Pro Tier wurden mindestens drei Berechnungen durchgeführt und in tabellarischer Form mit Hilfe des Softwareprogramms Excel (Fa. Microsoft, München, Deutschland) festgehalten.



**Abb.9:** Schleimhautdickenmessung des Sinus maxillaris im Schafspräparat, Roter Pfeil-Dicke des Epithels; blauer Pfeil-Dicke des subepithelialen Bindegewebes.

Die quantitative Bestimmung der Becherzellen fand ausschließlich an Präparaten mit einer Schnittdicke von 4–5  $\mu\text{m}$  bei 20facher Vergrößerung statt. Es wurden Messraster von 50  $\mu\text{m}^2$  angelegt und die Becherzellanzahl pro 100  $\mu\text{m}^2$ , d.h. vier benachbarten Rastern in Quadratform, ausgezählt (Abb.10). Verwendung zur Zählung fanden nur die Bereiche, in denen eine deutliche Differenzierung der Epithelzellen möglich sowie ein senkrechter Epithelanschnitt erkennbar war. Demnach konnten an vier Schafen je zehn 100  $\mu\text{m}^2$  große Raster ausgezählt werden, an einem Schaf nur fünf (n=45). Die ausgezählten Werte wurden in tabellarischer Form mittels Softwareprogramm Excel für Human- und Schafspräparate festgehalten.



**Abb.10:** Rasterzählung der Becherzellen des Sinus maxillaris im Schafspräparat.

In Abb.10 ist beispielhaft ein histologisches Präparat dargestellt, das zwei Raster mit jeweils zwei Becherzellen enthält.

### 3.3.2 Rasterelektronenmikroskopische Untersuchung

Es wurden zehn ca. 10 x 10 mm große Präparate der Kieferhöhlenwand einschließlich Schleimhaut an fünf nicht operierten Merino-Schafen entnommen.

Die Präparatoberfläche wurden entsprechend Tab.4 aufbereitet und anschließend mit Hilfe des CamScan MaXim (CamScan, Cambridge, U.K.) untersucht.

4% Glutaraldehyd in 0,1Molare Lösung (M) Cacodylatpuffer pH 7 2 4°C	2h
0,1 M Cacodylatpuffer, 4°C	3 x 5-15 min
1% OsO <sub>4</sub> m 0,1M Cacodylatpuffer, 4°C	60-90 min
0,1 M Cacodylatpuffer, 4°C	3 x 5-15 min
Entwässern in aufsteigender Alkoholreihe: 70, 80, 90, 96, 2x100%, RT	je 15-30 min
Propylenoxid (PO), RT	2 x 15 min
PO-Epon 3:l, RT	30-60 min
PO-Epon 1:l, RT	30-60 min
PO-Epon 1:3, RT	über Nacht
Epon	2 x 1-2h

**Tab.4:** Probenaufbereitung zur rasterelektronenmikroskopischen Auswertung.

### 3.3.3 Transmissionselektronenmikroskopische Untersuchung

Es wurden zwei Präparate der Kieferhöhlenschleimhaut aus zwei nicht operierten Merino-Schafen der DFG-Studie KN 377/3-1 der transmissionselektronenmikroskopischen Untersuchung zugeführt. Die Proben wurden 24 Stunden bei Raumtemperatur in dreiprozentigem Glutardialdehyd fixiert und anschließend mit PBS-Puffer (phosphatgepufferte Salzlösung) 3 x 30 Minuten gespült. Anschließend wurden sie eine Stunde in einprozentiger Osmiumsäure inkubiert. Es folgte eine erneute Spülung mit PBS-Puffer 3 x 30 Minuten sowie die Entwässerung in aufsteigender Alkoholreihe. Nach Fixierung durch Einbettung in Kunstharz erfolgte die Herstellung von Ultradünnschnitten mit einem Diamantmesser. Diese erhielten zur besseren Beurteilbarkeit eine Färbung mit Toluidinblau. Die etwa 70 nm dünnen Schnitte wurden auf Kupfernetze platziert und im Transmissionselektronenmikroskop untersucht.

## **4. Ergebnisse**

### **4.1 Computertomographische Auswertung**

Die computertomographische Diagnostik ergibt folgende Gliederung des Nasennebenhöhlensystems des Schafes: Deutlich differenzierbar sind der Sinus palatinus (4.1.1), Sinus maxillaris (4.1.2), Sinus conchae dorsalis (4.1.3), Sinus lacrimalis (4.1.5), sowie die Sinus frontalis medialis (4.1.6) et lateralis (4.1.7). Alle erwähnten Sinus sind paarig angelegt. Weiterhin ist ein stark ausgeprägtes Ethmoidalsystem (4.1.4) erkennbar. Die Ergebnisse werden in 4.1.1-4.1.7 am Beispiel des Merinoschafes bildlich dargestellt (Abb.11-34).

Der Zahnstatus im Oberkiefer besteht aus drei Prämolaren sowie drei Molaren. Die Coronarebene (Abb.11) liegt ca. 0,5 mm vor dem ersten Prämolaren. Hier ist das Cavum nasi mit den Conchae nasales superior et media deutlich dargestellt. Das Septum nasi ist speziell im basalen Abschnitt stark ausgeprägt. In Abb.12 sind die Conchae nasales superior, media et ventralis sowie das Septum nasi dargestellt.





**Abb.11:** Radiologische Darstellung des Schafskopfes Nr.5 Merino von lateral im CT ohne Unterkiefer; Übersicht 1 (grüne Linie coronare Schnittebene in Abb.12 dargestellt)



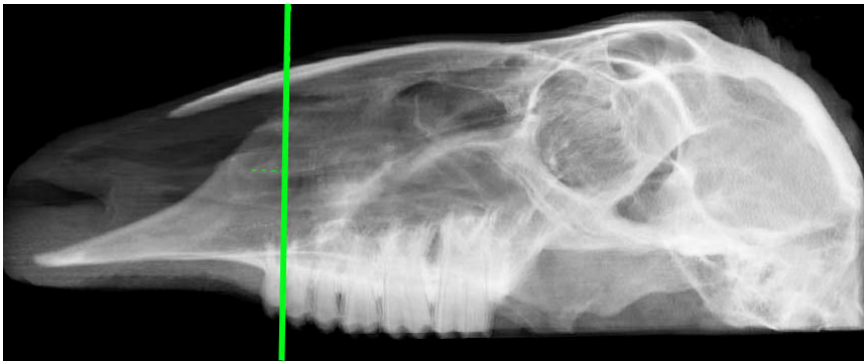
**Abb.12:** Radiologische Darstellung der Coronarebene 1 des Schafskopfes Nr.5 Merino im CT. **Cn** - Cavum nasi; **Sn** - Septum nasi.

#### 4.1.1 Sinus palatinus

Im Bereich des Palatum durum ist eine Auftreibung des Knochens bereits erkennbar (Abb.12). Etwa auf Höhe des ersten Prämolaren deutet sich die Pneumatisierung des Processus palatinus maxillae durch den Sinus palatinus an (Abb.14). Sowohl Sinus palatinus als auch maxillaris pneumatisieren die Maxilla und stellen sich als ein gemeinsamer Sinus

dar, der durch den Alveolarkamm bzw. einem aus diesem hervortretenden Knochensteg stark eingeengt wird. Der Knochensteg ist gleichzeitig die laterale Begrenzung der Apertura maxillopalatina, der Verbindung des Sinus palatinus mit dem bereits gut sichtbaren Sinus maxillaris. Sie eröffnet sich etwa auf Höhe des ersten oberen Molaren und verläuft längs des gesamten Sinus palatinus bis auf Ebene distal des dritten oberen Molaren (Abb.18, 20, 22, 24). Das Septum nasi erreicht im dorsalen Bereich das Os palatinum nicht mehr, es liegt keine vollständige knöcherne Trennung der Nasenhöhle vor.

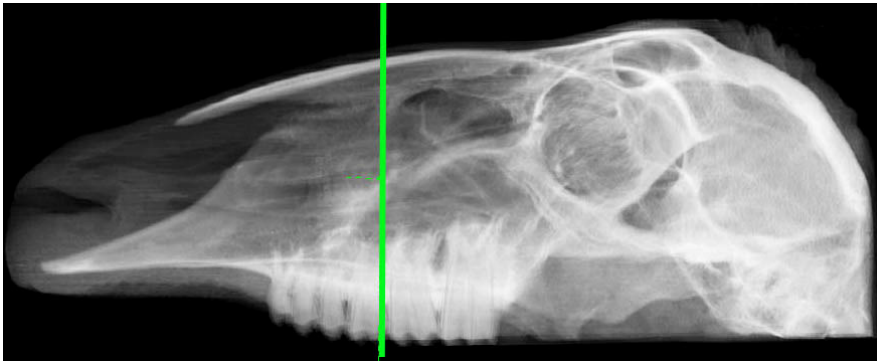
Der Sinus palatinus verläuft schmal und länglich, sich rostral sowie kaudal verjüngend und endet etwa auf Höhe distal des dritten oberen Molaren (Abb.24). Den Boden des Sinus bildet ausschließlich der Processus palatinus maxillae. Lateral wird er durch die mediale Alveolenwand der oberen Prämolaren und Molaren begrenzt. In allen Schafen ist eine vollständige Trennung der paarigen Sinus sichtbar. Die Ausdehnung nach median erreicht ihr Maximum im Bereich distal des zweiten oberen Molaren und endet wenige Millimeter vor der Mittellinie (Abb.18). Nach rostral wird er auf Höhe des ersten oberen Prämolaren durch die Facies nasalis maxillae begrenzt (Abb.13 und 14).



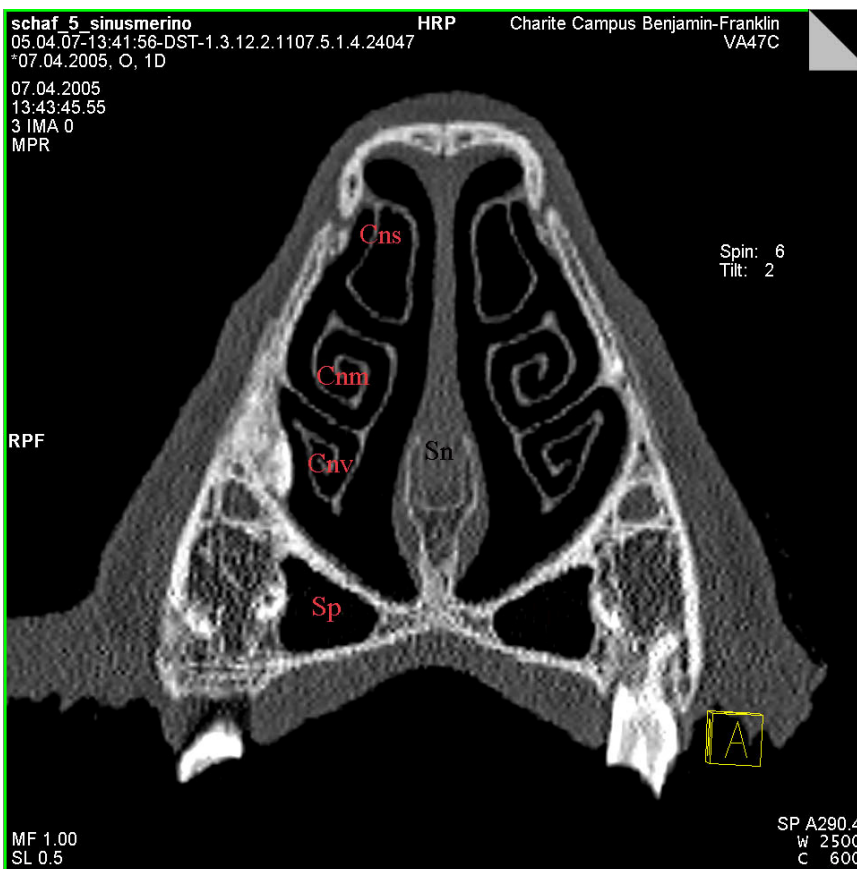
**Abb.13:** Radiologische Darstellung des Schafskopfes Nr.5 Merino von lateral im CT ohne Unterkiefer; Übersicht 2 (grüne Linie coronare Schnittebene in Abb.14 dargestellt).



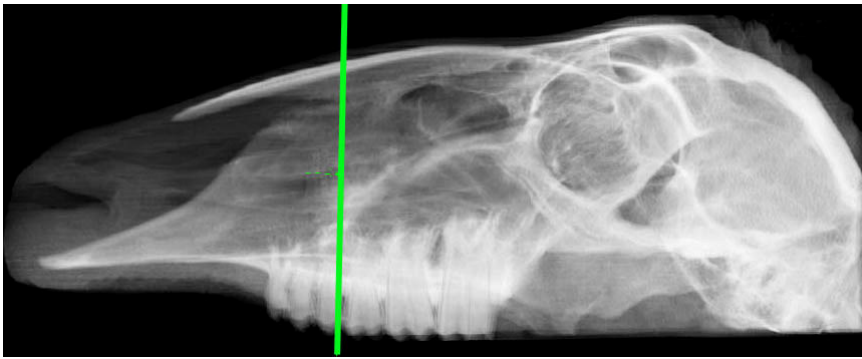
**Abb.14:** Radiologische Darstellung der Coronarebene 2 des Schafskopfes Nr.5 Merino im CT. **Cnm** - Concha nasalis media; **Cns** - Concha nasalis superior; **Cnv** - Concha nasalis ventralis; **Sn** - Septum nasi; **Sp** - Sinus palatinus dexter; **Sp'** - Sinus palatinus sinister.



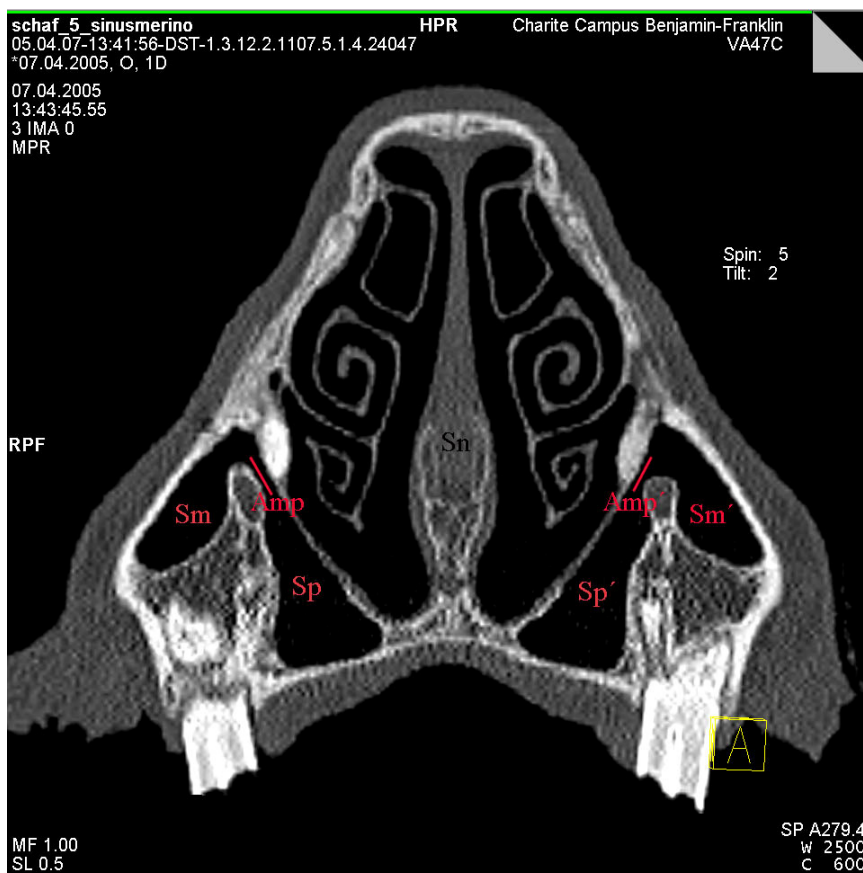
**Abb.15:** Radiologische Darstellung des Schafskopfes Nr.5 Merino von lateral im CT ohne Unterkiefer; Übersicht 3 (grüne Linie coronare Schnittebene in Abb.16 dargestellt).



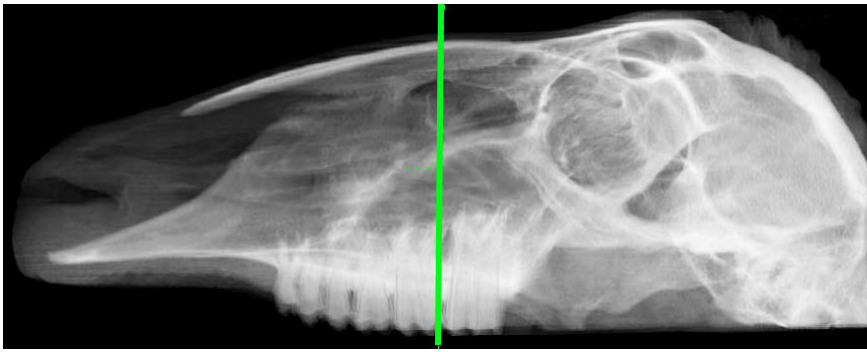
**Abb.16:** Radiologische Darstellung der Coronarebene 3 des Schafskopfes Nr.5 Merino im CT. **Cnm** - Concha nasalis media; **Cns** - Concha nasalis superior; **Cnv** - Concha nasalis ventralis; **Sn** - Septum nasi; **Sp** - Sinus palatinus dexter; **Sp'** - Sinus palatinus sinister.



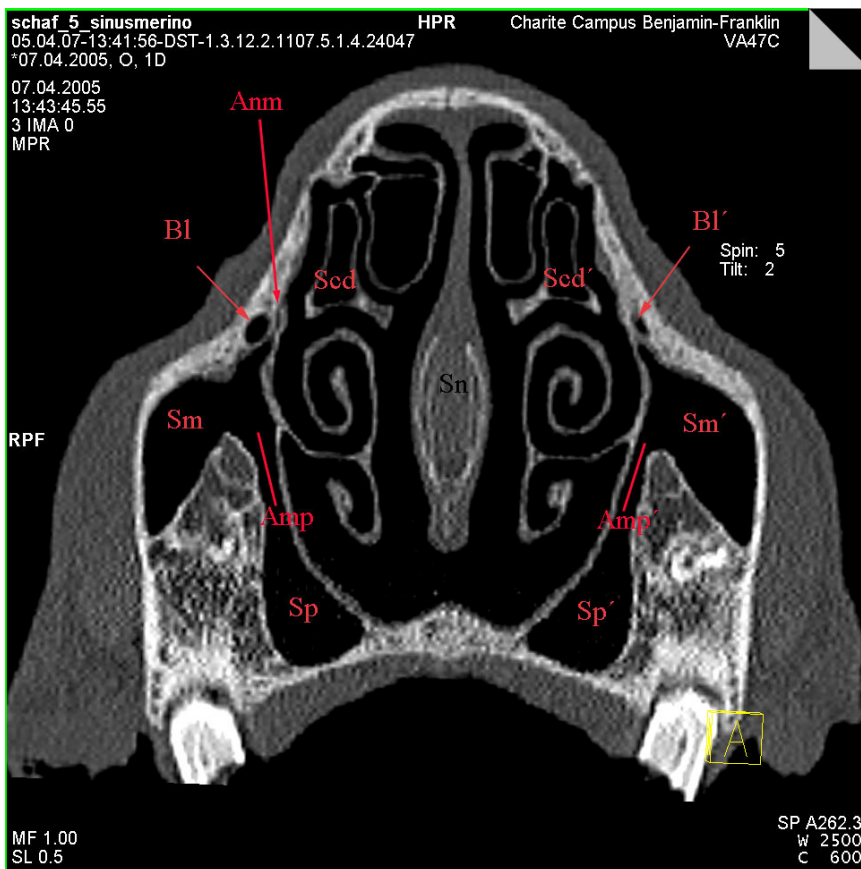
**Abb.17:** Radiologische Darstellung des Schafskopfes Nr.5 Merino von lateral im CT ohne Unterkiefer; Übersicht 4 (grüne Linie coronare Schnittebene in Abb.18 dargestellt).



**Abb.18:** Radiologische Darstellung der Coronarebene 4 des Schafskopfes Nr.5 Merino im CT. **Amp** – Apertura maxillopalatina dextera; **Amp'** - Apertura maxillopalatina sinistra; **Sm** - Sinus maxillaris dexter; **Sm'** - Sinus maxillaris sinister; **Sn** - Septum nasi; **Sp** - Sinus palatinus dexter; **Sp'** - Sinus palatinus sinister.



**Abb.19:** Radiologische Darstellung des Schafskopfes Nr.5 Merino von lateral im CT ohne Unterkiefer; Übersicht 5 (grüne Linie coronare Schnittebene in Abb.20 dargestellt).

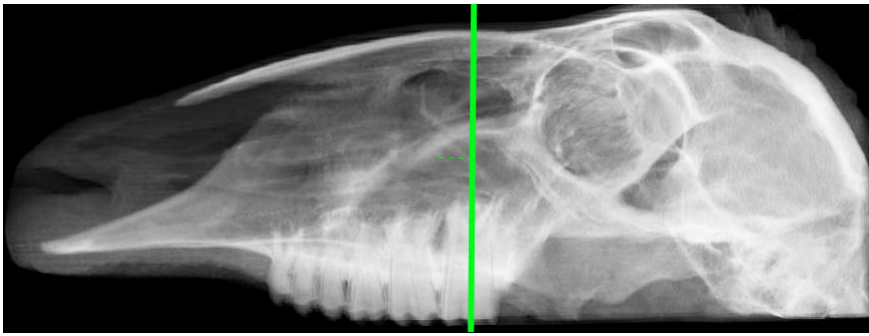


**Abb.20:** Radiologische Darstellung der Coronarebene 5 des Schafskopfes Nr.5 Merino im CT; **Amp** – Apertura maxillopalatina dextra; **Amp'** -Apertura maxillopalatina sinistra; **Anm** – Apertura nasomaxillaris; **BI** - Bulla lacrimalis dextra; **BI'** - Bulla lacrimalis sinistra; **Scd** - Sinus conchae dorsalis dexter; **Scd'** - Sinus conchae dorsalis sinister; **Sm** - Sinus maxillaris dexter; **Sm'** - Sinus maxillaris sinister; **Sn** - Septum nasi; **Sp** - Sinus palatinus dexter; **Sp'** - Sinus palatinus sinister

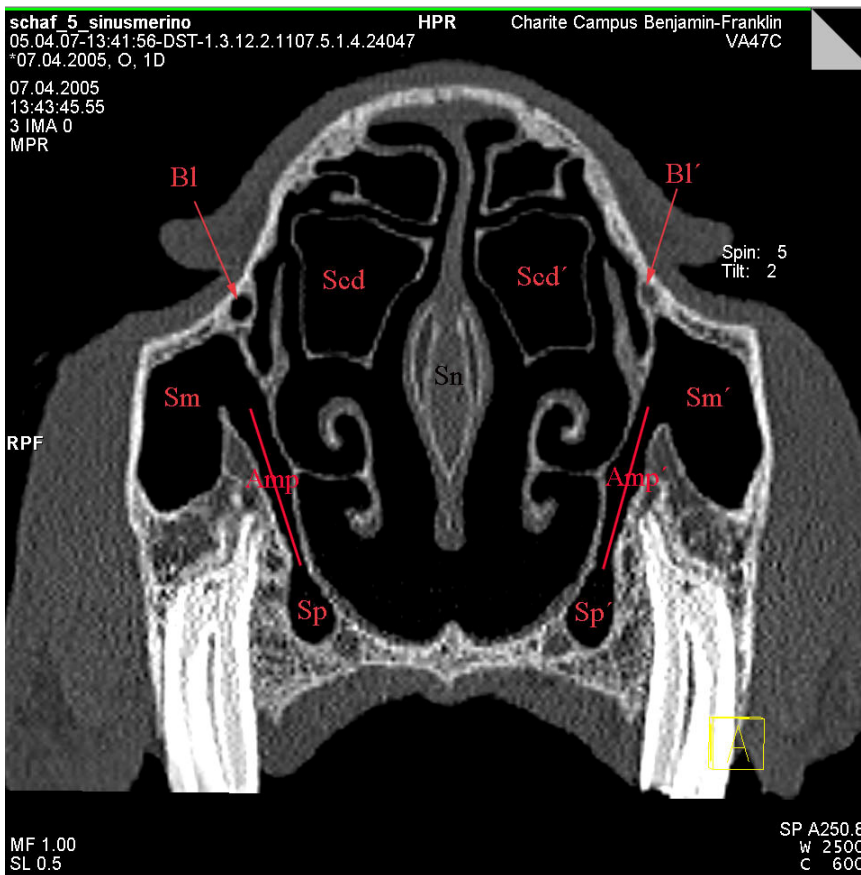
#### 4.1.2 Sinus maxillaris

Die Ausdehnung des Sinus maxillaris nach rostral endet etwa distal des dritten oberen Prämolaren (Abb.15 und 16). Im vorderen sowie lateralen Bereich liegt eine große Fläche maxillären Knochens in einer kompakten Schichtdicke dem Sinus maxillaris auf. Die Bulla lacrimalis stellt den kaudalen Abschnitt des Sinus maxillaris dar. Sie liegt in direkter Nachbarschaft zur Orbita, die von laterokaudal an diesen hinteren Bereich des Sinus angrenzt (Abb.20 und 22). Nach medial begrenzen die Alveolen der Oberkieferzähne den Sinus, weiter kaudal wird er durch eine dünne mediale Wand vom Cavum nasi abgetrennt. Den Boden bildet eine Knochenplatte der Maxilla, die im Bereich der Zahnwurzeln zum Teil recht dünn ist, jedoch in jedem der untersuchten Schafe eine komplette Trennung beider Strukturen aufzeigt. Die mediale und dorsale Wand des Sinus maxillaris vereinigen sich nicht und führen dadurch zur Ausbildung der Apertura maxillopalatina. Die Breite des Sinus maxillaris ist, bedingt durch den von basal in ihn hineinragenden Knochensteg, welcher die Begrenzung zum Sinus palatinus darstellt, oral sehr gering (Abb.18) und nimmt nach kaudal stark zu (Abb.26).

Auf einer Ebene etwa 2 cm distal des oberen dritten Molaren endet der Sinus maxillaris (Abb.30). In Abb.20 ist die schmale, gangförmige Apertura nasomaxillaris auf der rechten Seite sichtbar. Sie ist ein trichterförmiger, etwa 2-3 cm langer und maximal 0,5 cm breiter Gang. Sie liegt hochdorsal in der Medialwand des Sinus und mündet punktförmig über ein Ostium in den kaudalen Teil des mittleren Nasenganges. Sie ist sowohl für den Sinus maxillaris als auch palatinus der einzige Zugang zur Nasenhöhle.

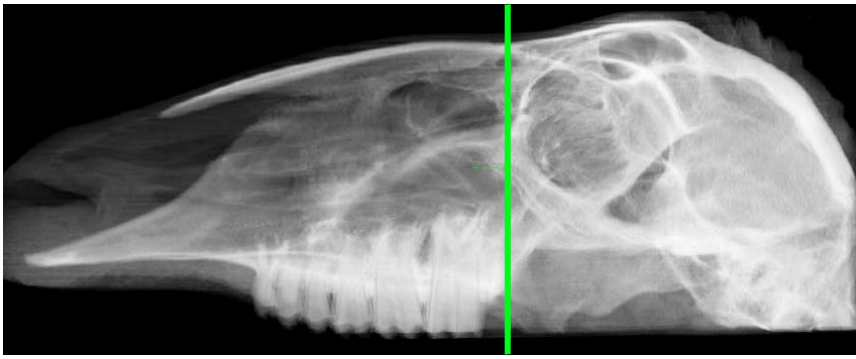


**Abb.21:** Radiologische Darstellung des Schafskopfes Nr.5 Merino von lateral im CT ohne Unterkiefer; Übersicht 6 (grüne Linie coronare Schnittebene in Abb.22 dargestellt).

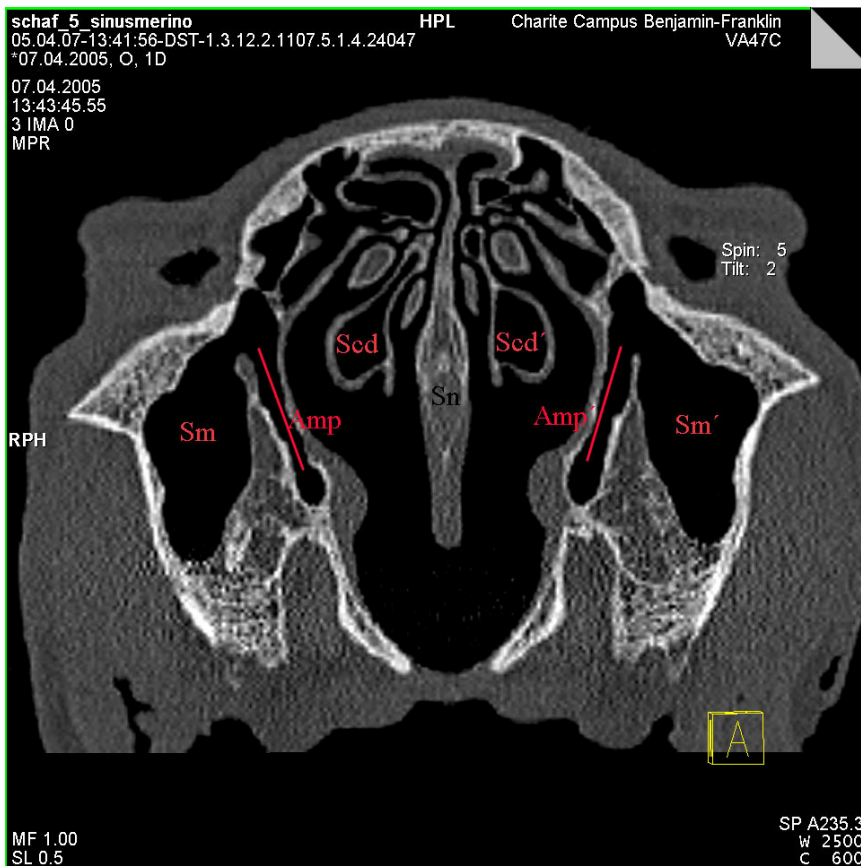


**Abb.22:** Radiologische Darstellung der Coronarebene 6 des Schafskopfes Nr.5 Merino im CT. **Amp** – Apertura maxillopalatina dextra; **Amp`** - Apertura maxillopalatina sinistra; **BI** - Bulla lacrimalis dextra; **BI`** - Bulla lacrimalis sinistra; **Scd** - Sinus conchae dorsalis dexter; **Scd`** - Sinus conchae dorsalis sinister; **Sm** - Sinus maxillaris dexter; **Sm`** - Sinus maxillaris sinister; **Sn** - Septum nasi; **Sp** - Sinus palatinus dexter; **Sp`** - Sinus palatinus sinister.





**Abb.23:** Radiologische Darstellung des Schafskopfes Nr.5 Merino von lateral im CT ohne Unterkiefer; Übersicht 7 (grüne Linie coronare Schnittebene in Abb.24 dargestellt).



**Abb.24:** Radiologische Darstellung der Coronarebene 7 des Schafskopfes Nr.5 Merino im CT. **Amp** – Apertura maxillopalatina dextra; **Amp'** - Apertura maxillopalatina sinistra; **Scd** - Sinus conchae dorsalis dexter; **Scd'** - Sinus conchae dorsalis sinister; **Sm** - Sinus maxillaris dexter; **Sm'** - Sinus maxillaris sinister; **Sn** - Septum nasi.

#### **4.1.3 Sinus conchae dorsalis**

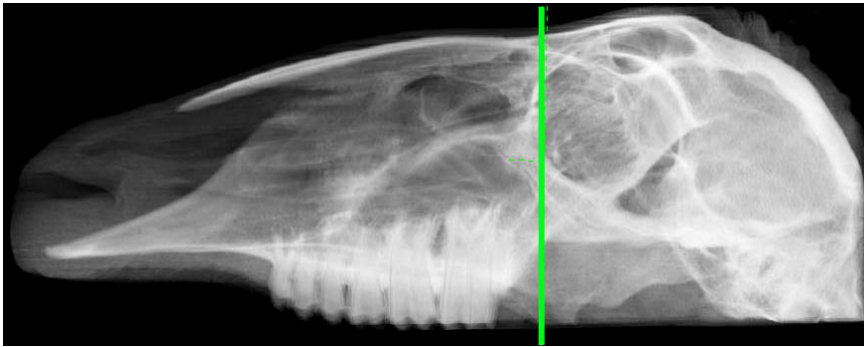
Der Sinus conchae dorsalis eröffnet sich rostral auf Höhe des dritten Molaren in dreieckigem Querschnitt mit nach kranial gerichteter Spitze (Abb.20), hat bereits auf Coronarebene knapp distal des dritten oberen Molaren seine größte Ausdehnung erreicht, nimmt in diesem Bereich eine etwa rechteckige Form an (Abb.22) und läuft nach kaudal mit tropfenförmiger Gestalt schmal aus (Abb.26). Er liegt dem mittleren Teil des Septum nasi paarig von lateral an. Die Lage des Zuganges zur Nasenhöhle ist radiologisch nicht erkennbar.

#### **4.1.4 Sinus ethmoidalis**

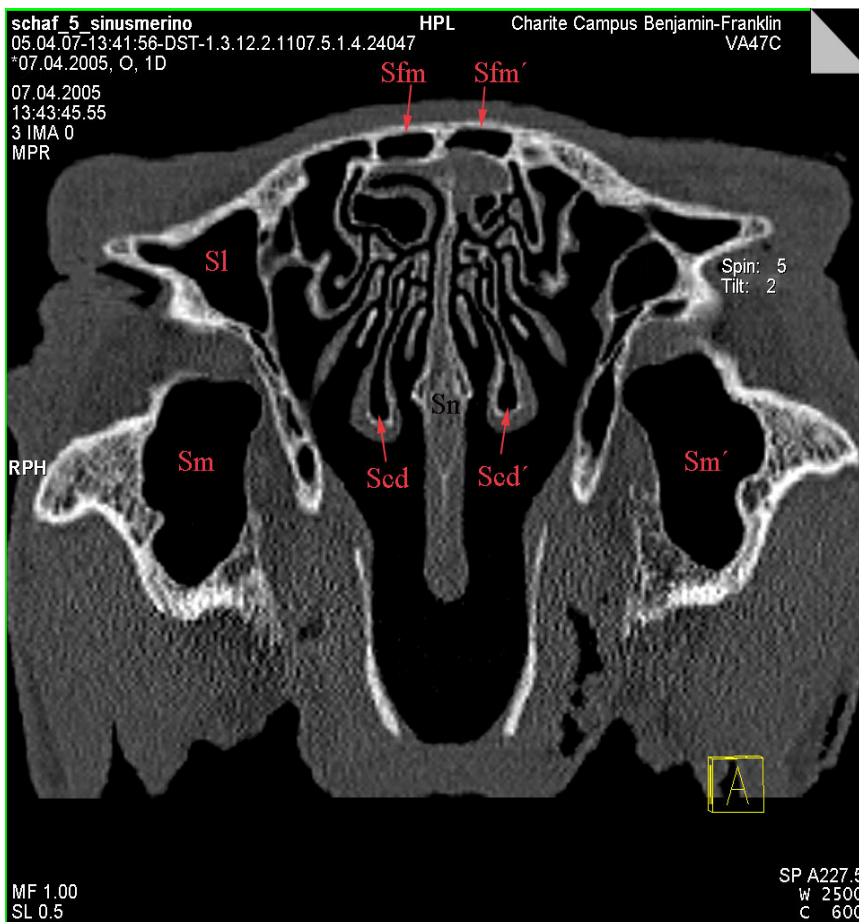
Das vom Os ethmoidale ausgebildete Höhlensystem ist stark ausgeprägt und verzweigt (Abb.24). Es beginnt bereits auf Ebene des dritten Molaren.

#### **4.1.5 Sinus lacrimalis**

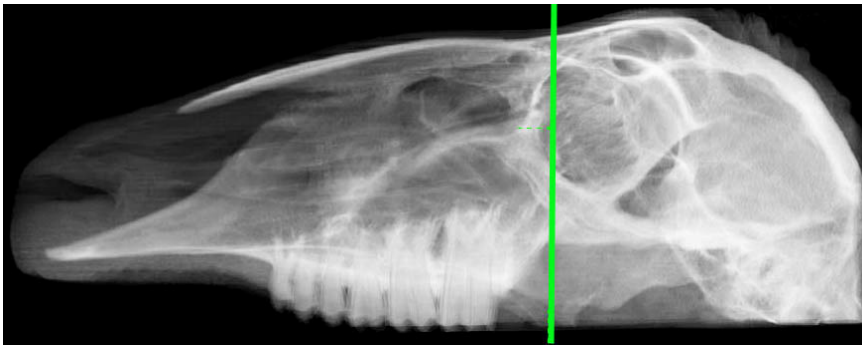
Der Sinus lacrimalis beginnt mit der Pneumatisierung des Os lacrimale auf Coronarebene distal des dritten oberen Molaren (Abb.25 und 26). Im gesamten Verlauf nach dorsal behält er eine annähernd dreieckige Form bei. Nach medial wird er nur durch eine dünne Knochenlamelle vom Sinus frontalis lateralis abgegrenzt (Abb.28). Sowohl innerhalb des linken als auch etwas stärker ausgeprägt innerhalb des rechten Sinus ist im kaudalen Bereich eine Septierung in vertikaler Richtung sichtbar (Abb.28 und 30). Das Os lacrimale bildet die laterale und kaudale Begrenzung. Während der Abschluss rostral durch die Lamina orbitalis ossis ethmoidalis gegeben ist, liegt der Sinus maxillaris, getrennt durch eine Knochenlamelle, dem Sinus lacrimalis von ventral an.



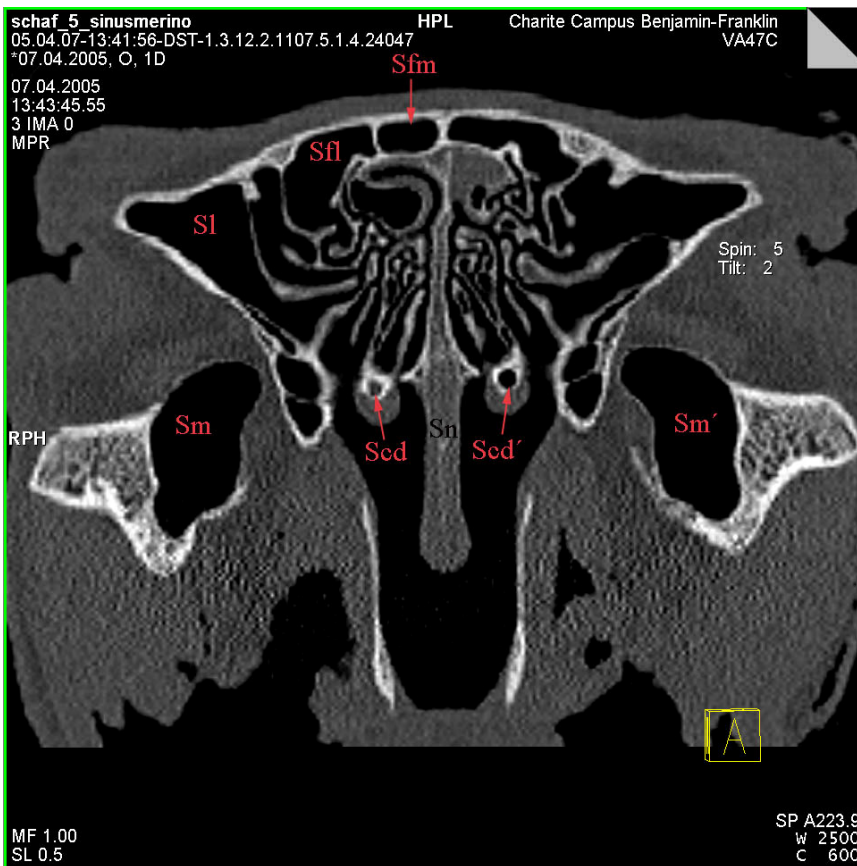
**Abb.25:** Radiologische Darstellung des Schafskopfes Nr.5 Merino von lateral im CT ohne Unterkiefer; Übersicht 8 (grüne Linie coronare Schnittebene in Abb.26 dargestellt).



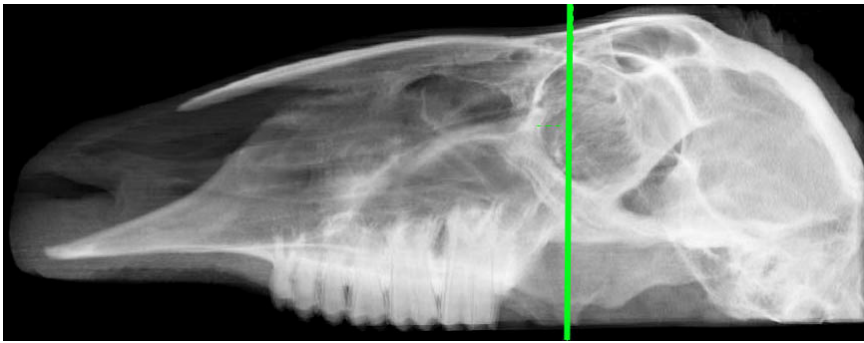
**Abb.26:** Radiologische Darstellung der Coronarebene 8 des Schafskopfes Nr.5 Merino im CT. **Scd** - Sinus conchae dorsalis dexter; **Scd'** - Sinus conchae dorsalis sinister; **Sfm** - Sinus frontalis medialis dexter; **Sfm'** - Sinus frontalis medialis sinister; **SI** - Sinus lacrimalis dexter; **SI'** - Sinus lacrimalis sinister; **Sm** - Sinus maxillaris dexter; **Sm'** - Sinus maxillaris sinister; **Sn** - Septum nasi.



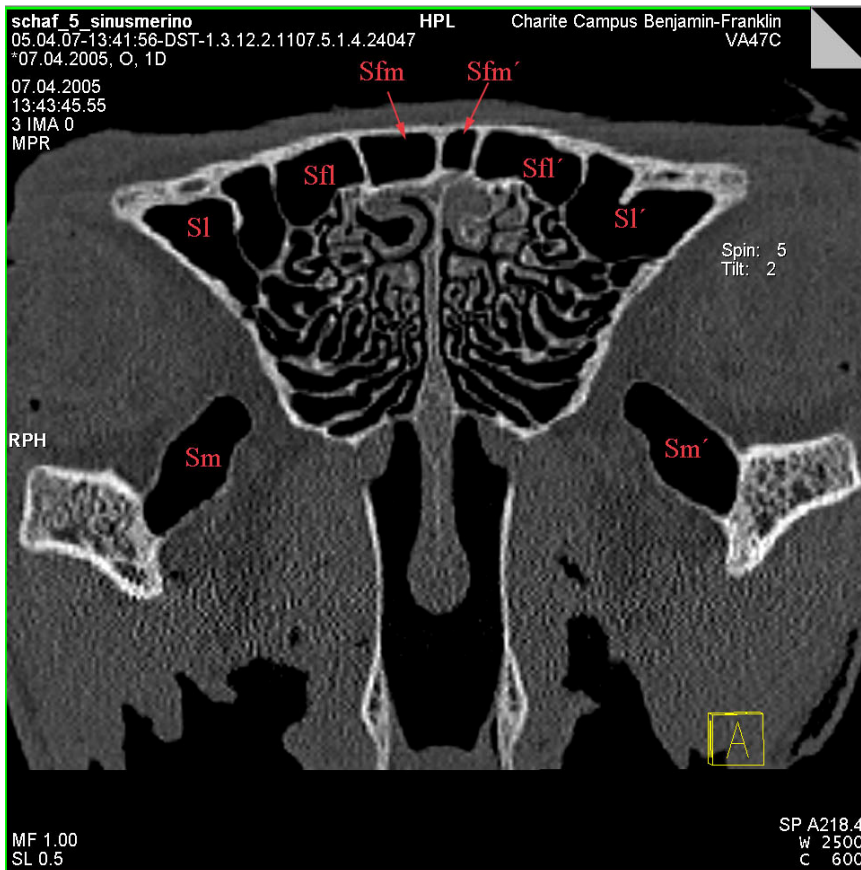
**Abb.27:** Radiologische Darstellung des Schafskopfes Nr.5 Merino von lateral im CT ohne Unterkiefer; Übersicht 9 (grüne Linie coronare Schnittebene in Abb.28 dargestellt).



**Abb.28:** Radiologische Darstellung der Coronarebene 9 des Schafskopfes Nr.5 Merino im CT. **Scd** - Sinus conchae dorsalis dexter; **Scd'** - Sinus conchae dorsalis sinister; **Sfl** - Sinus frontalis lateralis dexter; **Sfm** - Sinus frontalis medialis dexter; **SI** - Sinus lacrimalis dexter; **Sm** - Sinus maxillaris dexter; **Sm'** - Sinus maxillaris sinister; **Sn** - Septum nasi.



**Abb.29:** Radiologische Darstellung des Schafskopfes Nr.5 Merino von lateral im CT ohne Unterkiefer; Übersicht 10 (grüne Linie coronare Schnittebene in Abb.30 dargestellt).



**Abb.30:** Radiologische Darstellung der Coronarebene 10 des Schafskopfes Nr.5 Merino im CT. **Sfl** - Sinus frontalis lateralis dexter; **Sfl'** - Sinus frontalis lateralis sinister; **Sfm** - Sinus frontalis medialis dexter; **Sfm'** - Sinus frontalis medialis sinister; **SI** - Sinus lacrimalis dexter; **SI'** - Sinus lacrimalis sinister; **Sm** - Sinus maxillaris dexter; **Sm'** - Sinus maxillaris sinister.

#### **4.1.6 Sinus frontalis medialis**

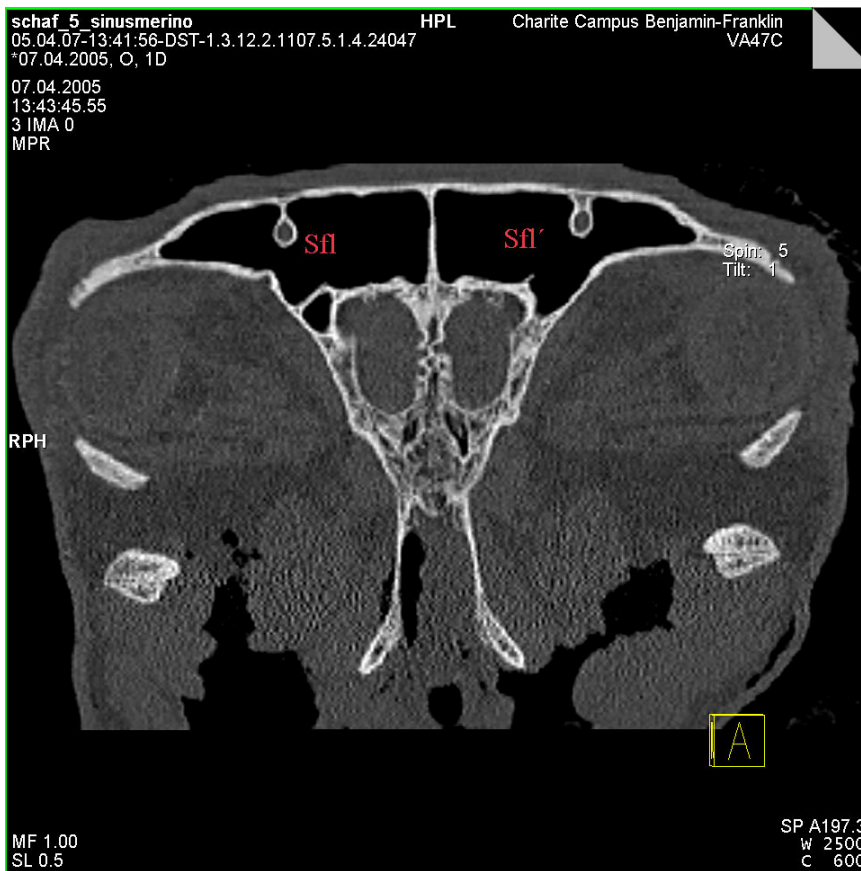
Die Sinus frontales eröffnen sich auf Coronarebene etwa 1 cm distal des dritten oberen Molaren (Abb.25 und 26). In allen Präparaten ist ein stark ausgeprägtes Mittelseptum sichtbar, welches eine vollständige Trennung des paarigen Sinus frontalis medialis gewährleistet. Das Dach des Sinus frontalis medialis bildet die Facies externa ossis frontalis. Den Boden bildet die Facies interna ossis frontalis. Der Sinus frontalis medialis liegt im rostralen Bereich des Os frontale und grenzt sowohl lateral als auch kaudal an den Sinus frontalis lateralis. Er hat eine relativ geringe Ausdehnung, unterliegt aber einer gewissen Formvariabilität und somit Volumenschwankung.

#### **4.1.7 Sinus frontalis lateralis**

Der Sinus frontalis lateralis pneumatisiert das Os frontale fast vollständig. Seine Form ist in allen Präparaten recht beständig. Im rostralen Bereich verläuft er parallel zum Sinus frontalis medialis, liegt diesem von lateral auf (medialer Schenkel) und beschreibt mit zunehmendem Volumen nach kaudal einen nach lateral offenen Bogen (lateral Schenkel). Der laterale Schenkel weist eine starke Septierung auf (Abb.34). Das Dach des Sinus frontalis lateralis bildet die Facies externa ossis frontalis. Den Boden bildet die Facies interna ossis frontalis.



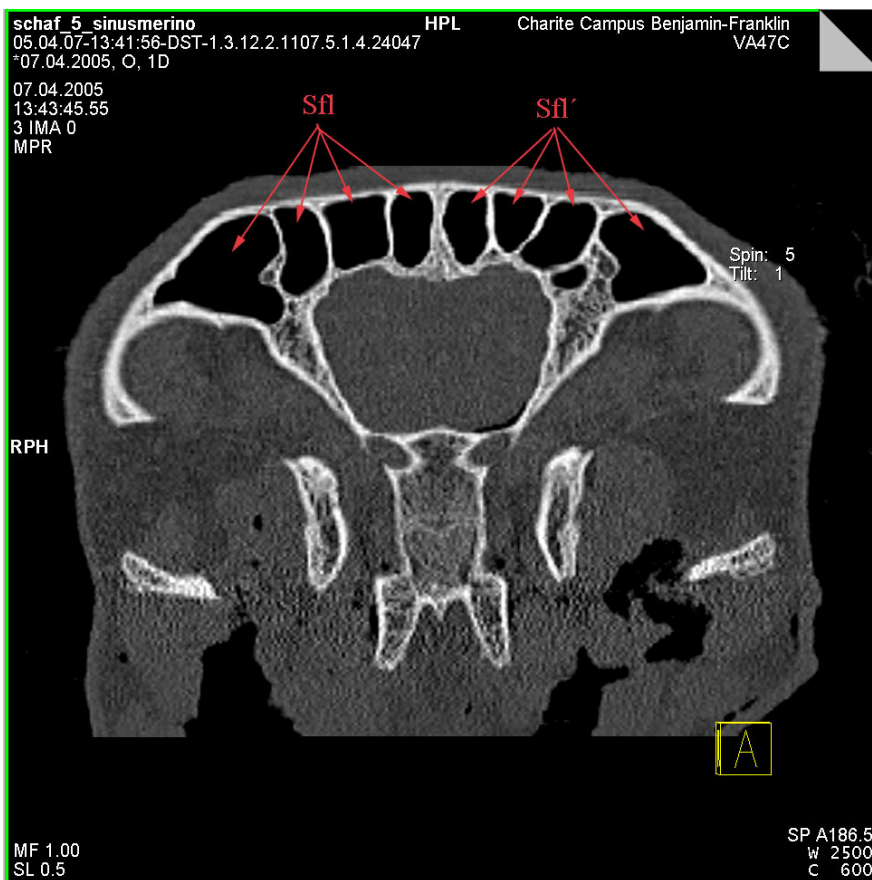
**Abb.31:** Radiologische Darstellung des Schafskopfes Nr.5 Merino von lateral im CT ohne Unterkiefer; Übersicht 11 (grüne Linie coronare Schnittebene in Abb.32 dargestellt).



**Abb.32:** Radiologische Darstellung der Coronarebene 11 des Schafskopfes Nr.5 Merino im CT. **Sfl** - Sinus frontalis lateralis dexter; **Sfl'** - Sinus frontalis lateralis sinister.



**Abb.33:** Radiologische Darstellung des Schafskopfes Nr.5 Merino von lateral im CT ohne Unterkiefer; Übersicht 12 (grüne Linie coronare Schnittebene in Abb.34 dargestellt).



**Abb.34:** Radiologische Darstellung der Coronarebene 12 des Schafskopfes Nr.5 Merino im CT. **Sfl** - Sinus frontalis lateralis dexter; **Sfl'** - Sinus frontalis lateralis sinister.



#### 4.1.8 Volumenbestimmung der Sinus palatines et maxillares

Die computertomographische Ermittlung der Volumina der 68 Sinus palatines et maxillares ist im folgendenden tabellarisch dargestellt (Tab.5-10).

Anzahl Sinus	Wert	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Höhe (cm)
n=34	Mittelwert	5,42	4,07
n=34	Standardabweichung	1,70	0,84
	Maximalwert	9,12	6,05
	Minimalwert	1,56	2,45

**Tab.5:** Volumenmessung Sinus palatinus sinister.

Anzahl Sinus	Wert	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Höhe (cm)
n=34	Mittelwert	5,35	3,98
n=34	Standardabweichung	1,58	0,85
	Maximalwert	9,37	5,9
	Minimalwert	2,16	2,45

**Tab.6:** Volumenmessung Sinus palatinus dexter.

	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Höhe (cm)
Mittelwert Sinus palatinus sinister (Schafe 1-34)	5,42	4,07
Mittelwert Sinus palatinus dexter (Schafe 1-34)	5,35	3,98
Mittelwert gesamt (Sinus palatinus sin. + dex.)	5,38	4,02

**Tab.7:** Mittelwert Volumenmessung Sinus palatinus gesamt.

Es ergibt sich ein mittleres Gesamtvolumen von 5,38 cm<sup>3</sup> sowie eine Höhe von 4,02 cm für den Sinus palatinus (Tab.7).

Anzahl Sinus	Wert	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Höhe (cm)
n=34	Mittelwert	11,24	5,98
n=34	Standardabweichung	4,80	1,51
	Maximalwert	16,48	7,85
	Minimalwert	5,97	3,8

**Tab.8:** Volumenmessung Sinus maxillaris sinister.

Anzahl Sinus	Wert	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Höhe (cm)
n=34	Mittelwert	11,02	5,77
n=34	Standardabweichung	4,82	1,48
	Maximalwert	16,76	6,95
	Minimalwert	7,21	3,65

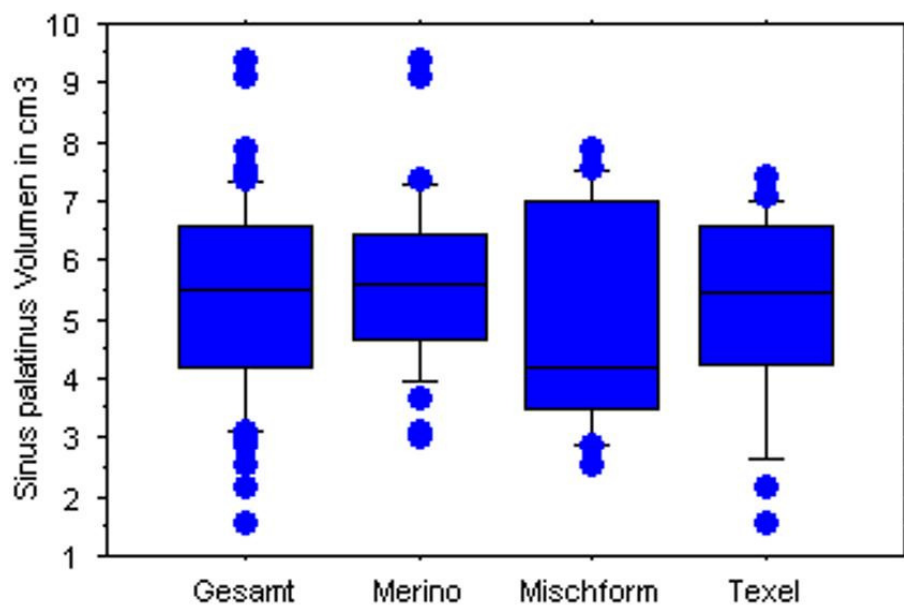
**Tab.9:** Volumenmessung Sinus maxillaris dexter.

Bereich	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Höhe (cm)
Mittelwert Sinus maxillaris sinister (Schafe 1-34)	11,24	5,98
Mittelwert Sinus maxillaris dexter (Schafe 1-34)	11,02	5,77
Mittelwert gesamt (Sinus maxillaris sin. + dex.)	11,13	5,87

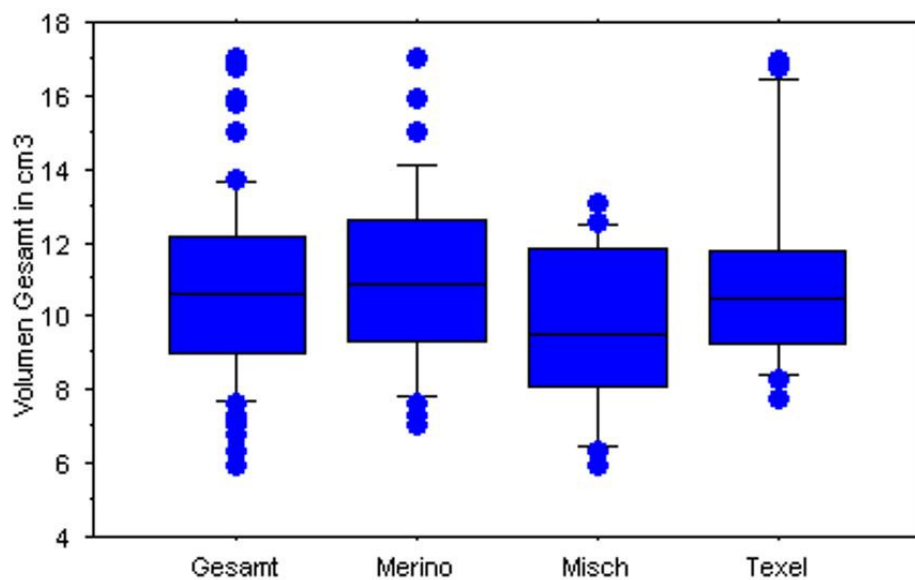
**Tab.10:** Mittelwert Volumenmessung Sinus maxillaris gesamt.

Es ergibt sich ein mittleres Gesamtvolumen von 11,13 cm<sup>3</sup> sowie eine Höhe von 5,87 cm für den Sinus maxillaris (Tab.10).

Die Messungen ergaben eine recht starke Variabilität sowohl der palatinalen als auch der maxillären Sinusvolumina. Rassenabhängige Unterschiede konnten nicht festgestellt werden (Abb.35 und 36). Sowohl die Vertreter der Rasse Merino als auch der Rasse Texel und der Mischform wiesen recht ausgeprägte Volumenschwankungen auf. Bei Betrachtung der Sinus jedes einzelnen Probanden ließ sich eine symmetrische Form der paarigen Sinus und geringe Volumenabweichungen in allen 34 Fällen erkennen.



**Abb.35:** Darstellung der nach Rassen gegliederten sowie gesamten Volumenverteilung des Sinus palatinus im Boxplot-Diagramm.



**Abb.36:** Darstellung der nach Rassen gegliederten sowie gesamten Volumenverteilung des Sinus maxillaris im Boxplot-Diagramm.

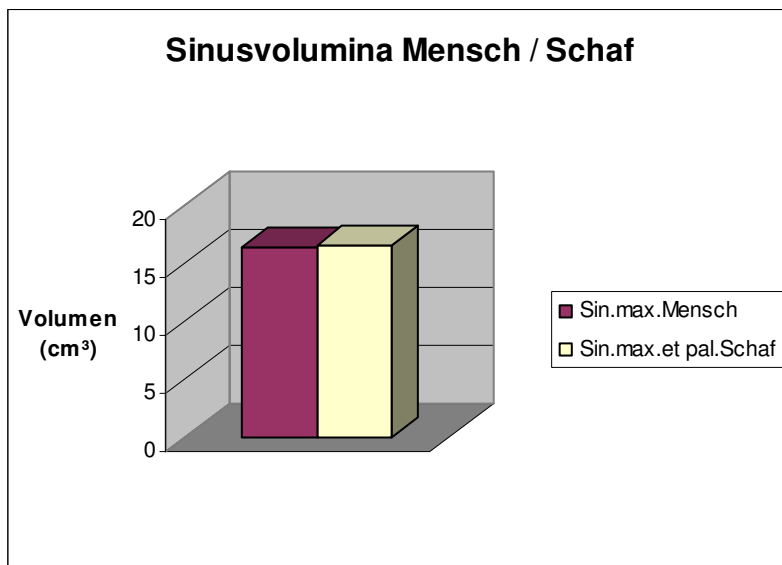
#### 4.1.9 Makroskopischer Vergleich von Mensch und Schaf

Die computertomographische Diagnostik zeigt ein stark pneumatisiertes Nasennebenhöhlensystem, welches in Anzahl, Form und Ausdehnung einige Abweichungen zum humanen System erkennen lässt. So breitet sich der Sinus palatinus des Schafes im Processus palatinus maxillae aus. Der Mensch weist in diesem Bereich keine Pneumatisation auf. Mit der Apertura maxillopalatina besteht eine nahezu auf gesamter Sinuslänge offene Verbindung zwischen Sinus maxillaris und palatinus. Funktionell stellen sie sich somit als ein gemeinsamer Sinus dar. Die größten Gemeinsamkeiten weisen die Sinus maxillares beider Spezies auf. Die humane Maxilla sowie die des Schafes werden fast vollständig pneumatisiert. Die schmale und längliche Gestaltung der Kieferhöhle des Schafes bedingt die schlanke Physiognomie des Schafsschädels. Die anatomischen Nachbarstrukturen sind nahezu identisch. Die Belüftung des Sinus maxillaris unterliegt sowohl beim Schaf als auch beim Menschen ähnlichen Konditionen. Der Hiatus maxillaris liegt hochgelegen bei beiden Spezies in der medialen Sinuswand. Das im humanen Sinus vorkommende Ostium naturale sowie das zu 30% vorkommende zusätzliche akzessorische Ostium konnten im Schafmodell nicht nachgewiesen werden.

Bei Gegenüberstellung der Sinusvolumina von Schaf und Mensch (Werte entnommen Tab.1, Beom-Cho Jun MD et al. 2005, Menke 2003) wird deutlich, dass sich nach Summierung der palatinalen und maxillären Sinusvolumina des Schafes eine nur sehr geringfügige Abweichung zum durchschnittlichen humanen Sinusvolumen feststellen lässt (Tab.11 und Abb.37).

	Sinus palatinus Volumen (cm <sup>3</sup> )	Sinus maxillaris Volumen (cm <sup>3</sup> )	Summe Sinus maxillaris et palatinus Volumen (cm <sup>3</sup> )
Schaf	5,38	11,13	16,51
Mensch/Alter			
Mensch/21-30 Jahre		18,67	
Mensch/31-40 Jahre		18,23	
Mensch/41-50 Jahre		14,98	
Mensch/51-60 Jahre		15,94	
Mensch/61-70 Jahre		14,04	
Mensch/gesamt		16,37	

**Tab.11:** Sinusvolumina von Schaf und Mensch.



**Abb.37:** Gegenüberstellung des maxillären Sinusvolumens des Menschen und des Gesamtvolumens von Sinus palatinus et maxillaris des Schafes.

Zum humanen Sinus sphenoidalis gibt es keinen analogen Sinus im Schafmodell.

Die Sinus frontalis medialis et lateralis breiten sich beidseitig im Os frontale des Schafes aus. Sie weisen besonders lateral eine deutlich größere Ausdehnung auf als der separate humane Sinus frontalis. Dieser variiert in Form und Größe sehr stark und ist mitunter hypoplastisch

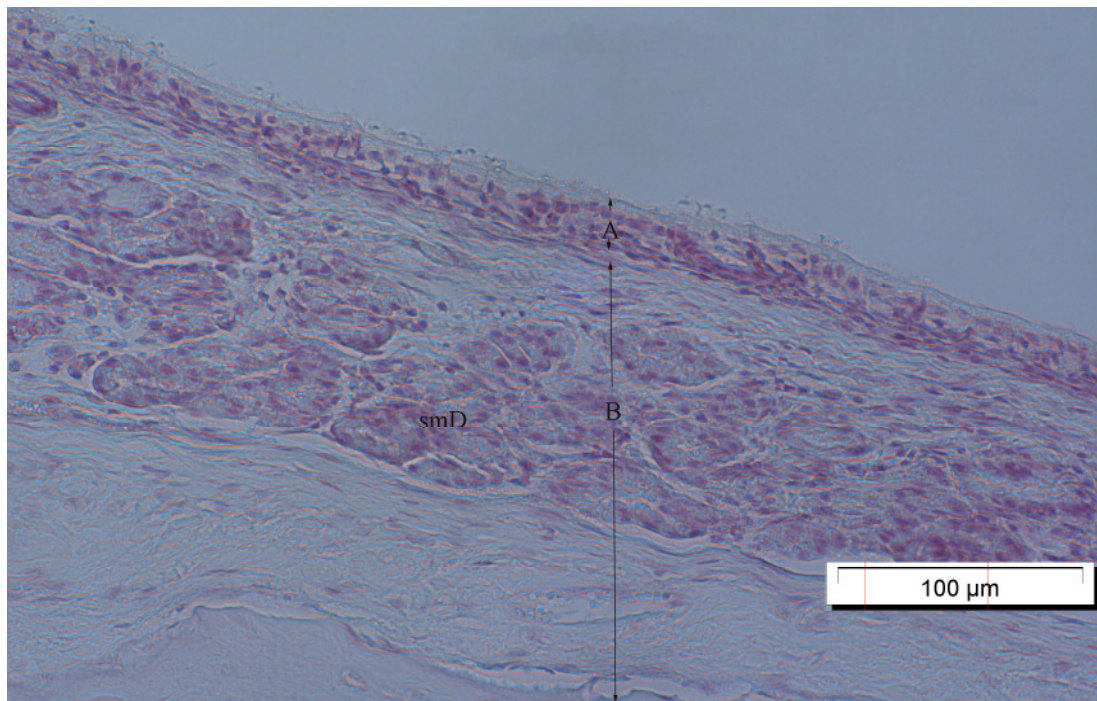
(Shankar et al. 1994, Zinreich 1998). Im Schafsmodell zeigt sich diese Variabilität im Sinus frontalis medialis. Der, den größten Anteil an der Pneumatisation des Os frontale aufweisende, laterale Sinus besitzt Formkonstanz in allen Präparaten. Die Cellulae ethmoidales von Mensch und Schaf sind grundsätzlich nicht miteinander vergleichbar (Pauli 1900). Bei beiden Spezies ist jedoch eine starke Gliederung zu erkennen. Am Schafsmodell wurde auf eine Unterteilung der Cellulae ethmoidales anhand der radiologischen Befunde verzichtet, da eine genaue Zuordnung nicht möglich ist.

Der Sinus conchae dorsalis sowie der Sinus lacrimalis sind nur im Schafsmodell vorhanden.

## 4.2 Histologische Auswertung

### 4.2.1 Histologische Auswertung der Schafspräparate

Bei der Übersichtsbeurteilung ist in allen Präparaten die Gliederung in ein durchschnittlich  $31,8\mu\text{m}$  breites Stratum epitheliale sowie  $171,03\mu\text{m}$  breites Stratum proprium sichtbar (Abb.38).



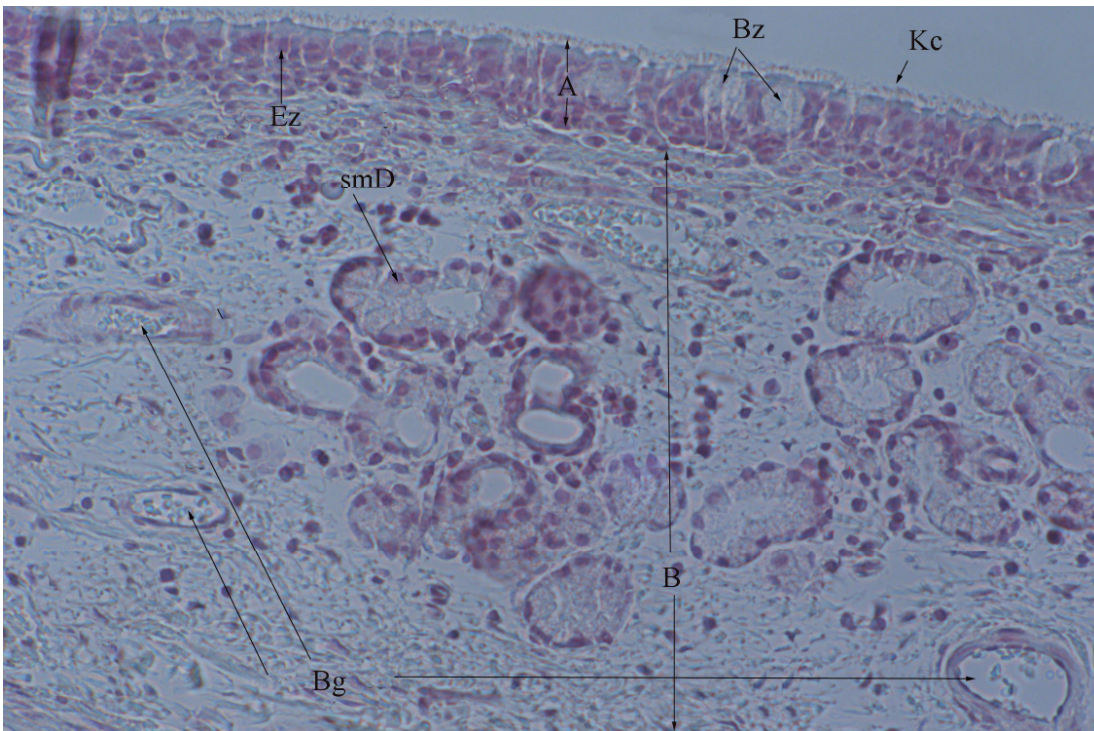
**Abb.38:** Histologische Darstellung der Schafsschleimhaut des Sinus maxillaris im Lichtmikroskop/HE-Färbung/Verhältnis Stratum epitheliale et proprium/x20; **A** - Stratum epitheliale; **B** - Stratum proprium; **smD** - seromuköse Drüsen.

Die Angaben kongruieren mit den aus Tab.12 entnommenen Mittelwerten, die sich aus 27 Schleimhautdickenmessungen ergeben haben.

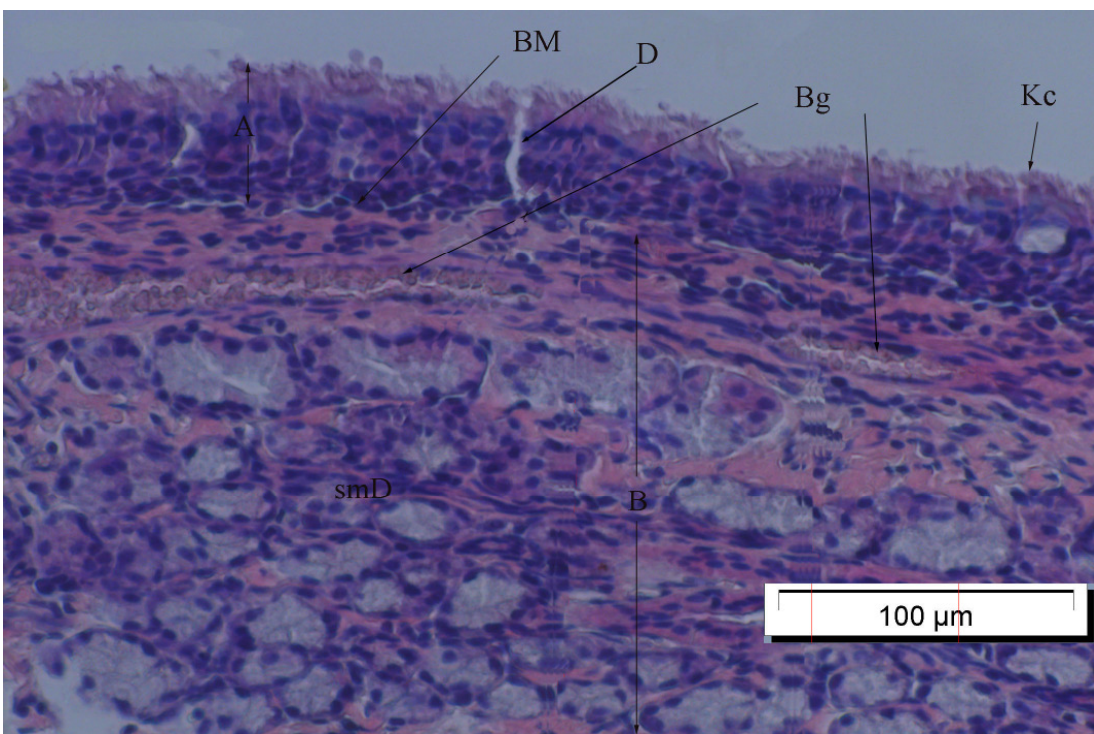
Anzahl Messungen	Wert	Dicke Epithel ( $\mu\text{m}$ )	Dicke subepitheliales BG ( $\mu\text{m}$ )
n=27	Mittelwert	31,8	171,03
n=27	Standardabweichung	0,0085	0,0595
	Maximalwert	44,13	276,97
	Minimalwert	13,96	88,32

**Tab.12:** Verhältnis von Epithel zu subepithelialelem Bindegewebe.

Das Stratum epitheliale entspricht einem mehrreihigen Flimmerepithel, welches zahlreiche Becherzellen normaler Konfiguration enthält. Die Epithelzellen sind zylinderförmig gestaltet. Die Kinozilien weisen eine geordnete Richtung auf. Einer deutlichen Basalmembran schließt sich das Stratum proprium an. Dieses ist fest mit der fibrösen Unterlage, dem Periost des Schädels, verwachsen. Direkt subepithelial befindet sich kollagenes Bindegewebe mit einem relativ hohen Anteil elastischer Fasern. Es ist faserreich, enthält wenig Fibrozyten und ist straff parallelfaserig angeordnet. Darunter dominiert eine etwa 100  $\mu\text{m}$  breite Zone zahlreicher seromuköser Drüsen. Weiterhin sind Gefäße sowie Lymphozytenansammlungen erkennbar (Abb.39 und 40).



**Abb.39:** Histologische Darstellung der Schafsschleimhaut des Sinus maxillaris im Lichtmikroskop/HE-Färbung/x23; **A** - Stratum epitheliale; **B** - Stratum proprium; **Bz** – Becherzelle; **Bg** – Blutgefäße; **Ez** – Epithelzelle; **Kc** – Kinocilien; **smD** - seromuköse Drüsen.



**Abb.40:** Histologische Darstellung der Schafsschleimhaut des Sinus maxillaris im Lichtmikroskop/HE-Färbung/x25; **A** - Stratum epitheliale; **B** - Stratum proprium; **Bg** - Blutgefäße; **BM** - Basalmembran; **D** – Drüsenendstück (längs angeschnitten); **Kc** - Kinocilien; **smD** - seromuköse Drüsen.

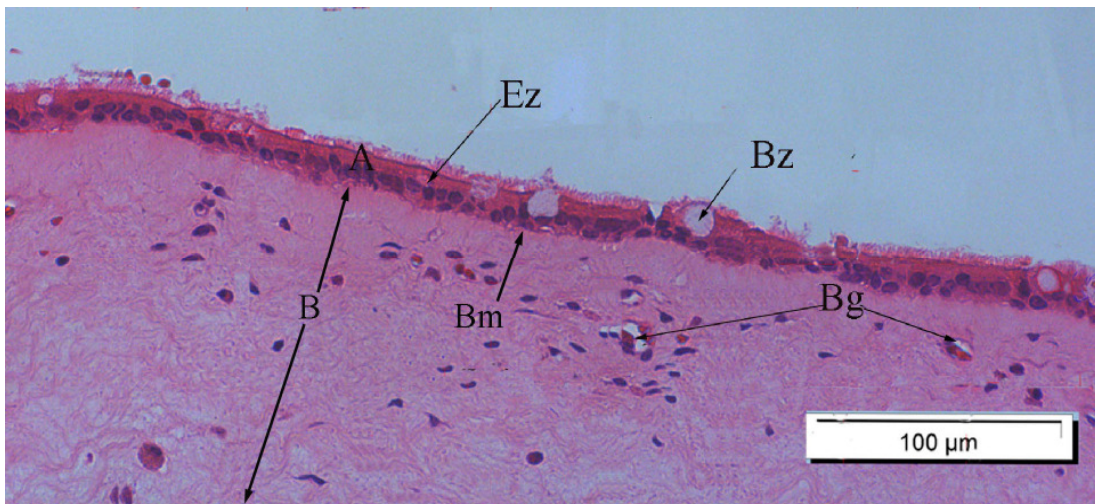


Die Ausmessung der Becherzellen in 45 Rastern ergibt eine durchschnittliche Anzahl von 2,58/100  $\mu\text{m}^2$  Schleimhaut (Tab.13).

Anzahl Messungen	Wert	Anzahl Becherzellen/100 $\mu\text{m}^2$
n=45	Mittelwert	2,58
	Standardabweichung	1,41

**Tab.13:** Zählung der Becherzellen/100  $\mu\text{m}^2$  Raster am histologischen Schafspräparat.

#### 4.2.2 Histologische Auswertung der Humanpräparate



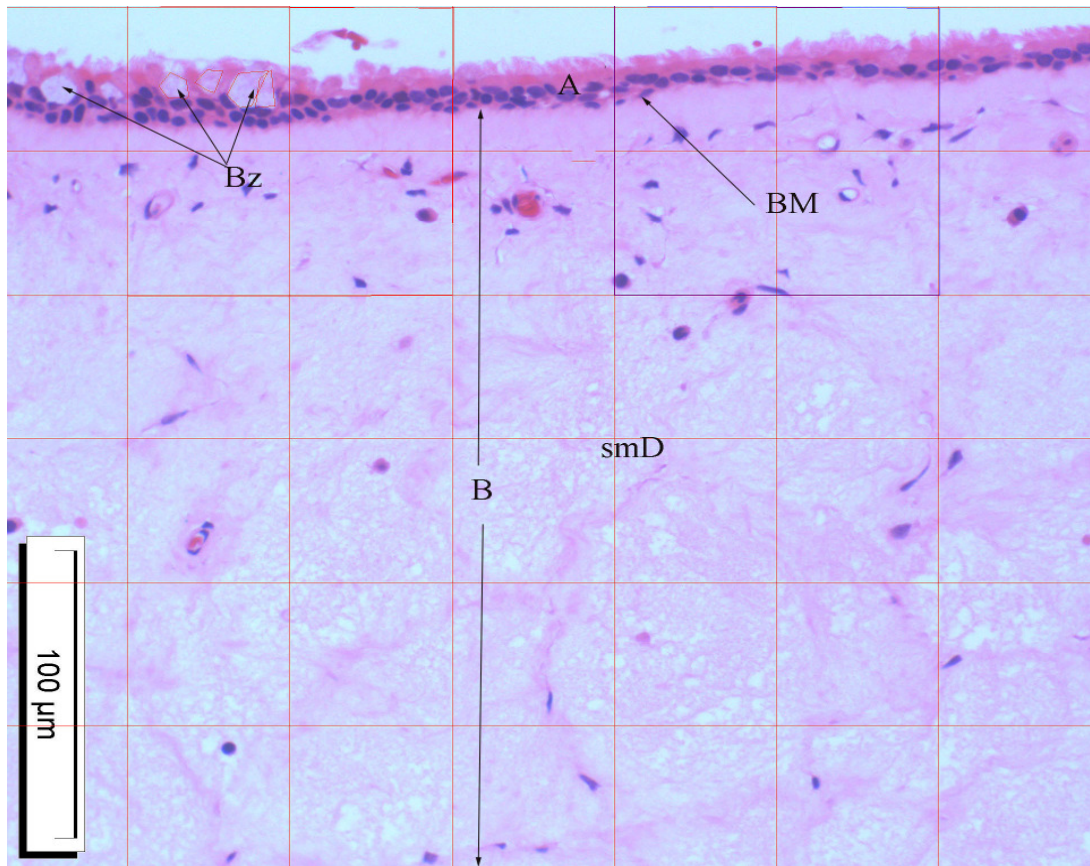
**Abb.41:** Histologische Darstellung der humanen Schleimhaut des Sinus maxillaris im Lichtmikroskop/HE-Färbung/x20\_1; **A** - Stratum epitheliale; **B** - Stratum proprium; **Bg** - Blutgefäße; **Bm** - Basalmembran; **Bz** - Becherzelle; **Ez** - Epithelzelle.

Die humane Kieferhöhlenschleimhaut weist ebenfalls eine deutliche Gliederung auf (Abb.41). Dem Stratum epitheliale folgt, getrennt durch eine deutlich erkennbare Basalmembran, das Stratum proprium. Im letztgenannten sind sehr gut Blutgefäße erkennbar. Das kollagene Bindegewebe ist relativ locker angeordnet und enthält einige elastische Fasern. Der Faserverlauf ist annähernd parallel. Die direkte Angrenzung der Schleimhaut an das Periost ist nicht dargestellt.



**Abb.42:** Histologische Darstellung der humanen Schleimhaut des Sinus maxillaris im Lichtmikroskop/HE-Färbung/x30; **Bm** - Basalmembran; **Bz** - Becherzelle; **Ez** - Epithelzelle; **Kc** - Kinocilien.

In Abb.42 stellt sich das für die Regio respiratoria charakteristische mehrreihige, von Becherzellen durchsetzte Flimmerepithel dar. Die Ausrichtung der Kinocilien ist geordnet. Das Stratum epitheliale ist durch eine deutliche Basalmembran vom Stratum proprium abgegrenzt.



**Abb.43:** Histologische Darstellung der humanen Schleimhaut des Sinus maxillaris im Lichtmikroskop/HE-Färbung/x20\_2; **A** - Stratum epitheliale; **B** - Stratum proprium; **Bm** - Basalmembran; **Bz** - Becherzelle; **smD** - seromuköse Drüsen.

In den humanen Präparaten ist in zwei von fünf Präparaten eine gesteigerte Eosinophilie erkennbar. Die vorherrschenden Zelltypen sind Mastzellen sowie eosinophile Granulozyten. Es sind Plattenepithelmetaplasien und fibrosiertes Stroma sichtbar. Die Schleimhaut ist insgesamt stark verdickt. Es ist eine deutliche Zone seromuköser Drüsen erkennbar (Abb.43).

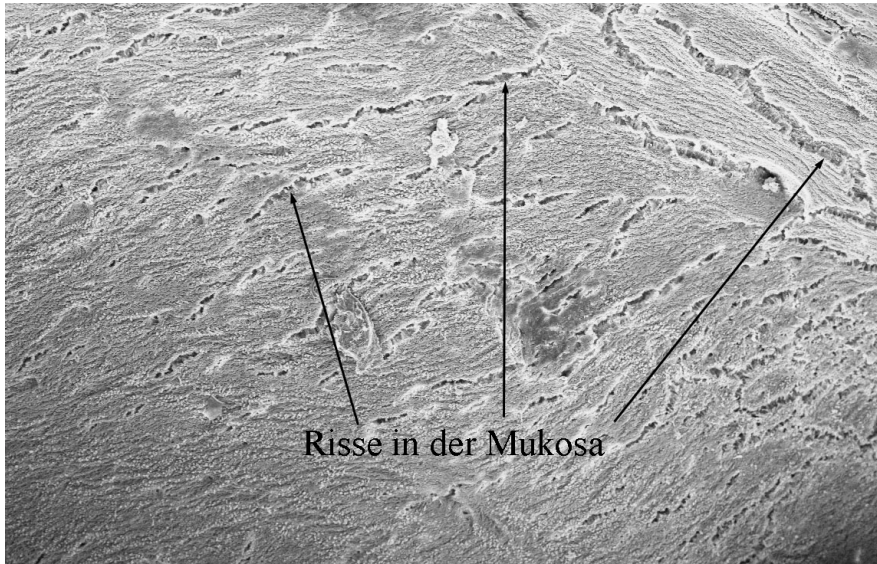
Anzahl Messungen		Anzahl Becherzellen/100 $\mu\text{m}^2$
n=22	Mittelwert	2,23
	Standardabweichung	1,41

**Tab.14:** Zählung der Becherzelle/100  $\mu\text{m}$  Raster am humanen histologischen Präparat

Die Ausmessung der Becherzellen in 22 Rastern ergibt eine durchschnittliche Anzahl von 2,23/100  $\mu\text{m}^2$  Schleimhaut (Tab.14).

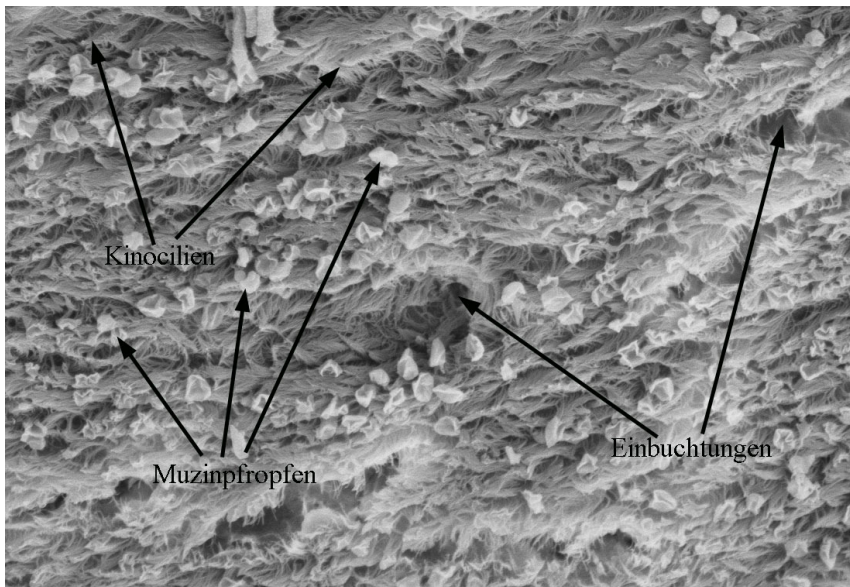
### 4.3 Rasterelektronenmikroskopische Auswertung

Unter rasterelektronenmikroskopischer Betrachtung der Schafsschleimhaut ist im Übersichtspräparat eine homogene Oberfläche sichtbar, die von zahlreichen Rissen durchzogen ist (Abb.44).

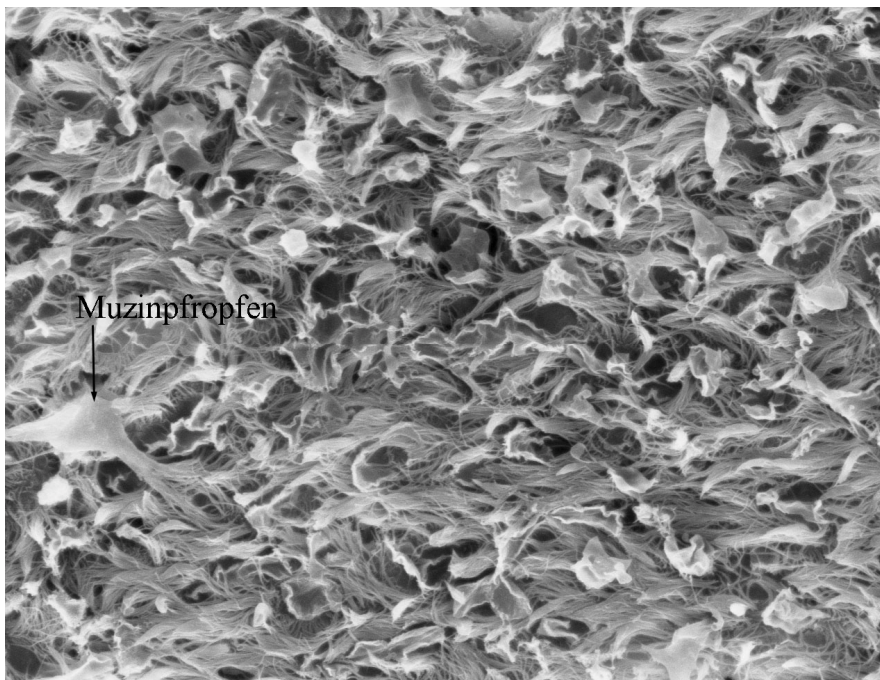


**Abb.44:** Darstellung der Schafsschleimhaut des Sinus maxillaris im REM/x50.

Bei höherer Auflösung erkennt man, daß ein dichter Teppich von Kinocilien die Oberfläche dominiert. Diese liegen sehr dicht, weisen in eine Richtung und sind mit einer feinen Muzinschicht überzogen. Diese Muzinschicht löst sich teilweise in einzelne Schleimhautpfropfen auf. Es sind deutliche Einbuchtungen erkennbar, die eventuell Austrittsstellen des Becherzellensekretes darstellen, die mit einer Größe von 10-15  $\mu\text{m}$  in etwa dem Querschnitt der Becherzellen gemäß der histologischen Präparate entsprechen (Abb.45 und 46).

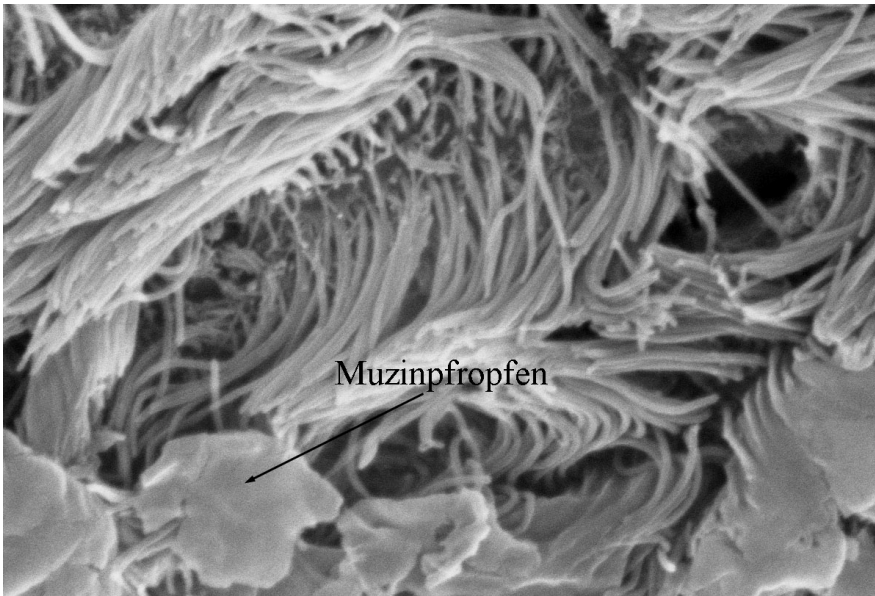


**Abb.45:** Darstellung der Schafsschleimhaut des Sinus maxillaris im REM/x500.



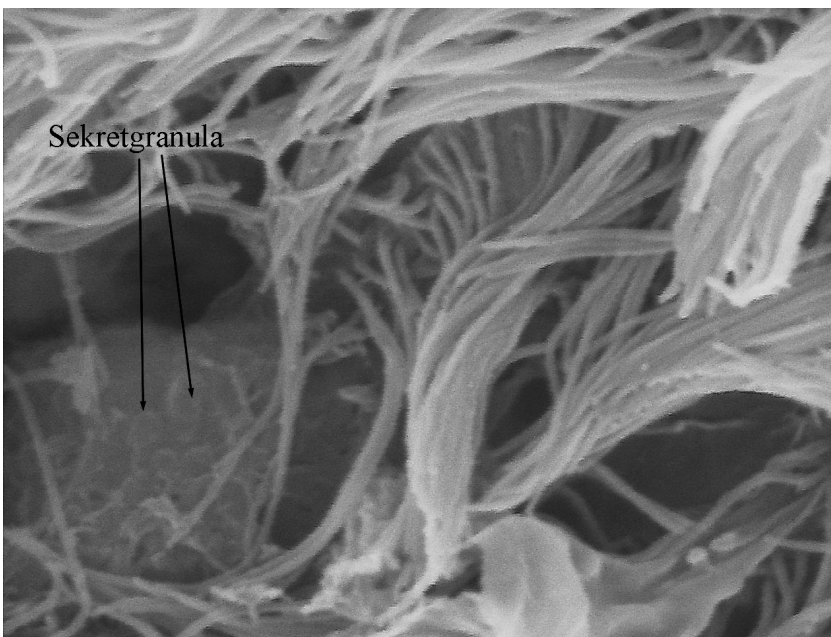
**Abb.46:** Darstellung der Schafsschleimhaut des Sinus maxillaris im REM/x1000.

Weiterhin ist der in eine Richtung geneigte Cilienstrom dargestellt (Abb.47). Die Kinocilien sind eindeutig differenzierbar und nicht verklebt. Ihre Länge beträgt ca. 6-8  $\mu\text{m}$ .



**Abb.47:** Darstellung der Schafsschleimhaut des Sinus maxillaris im REM/x5000.

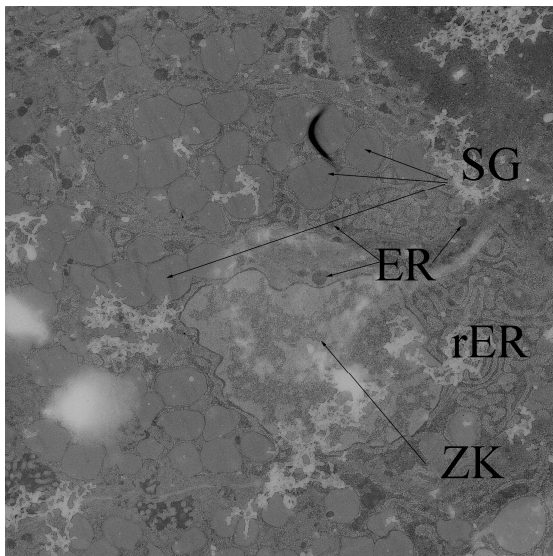
Bei sehr hoher Auflösung (Abb.48) sind die Sekretgranula einer Becherzelle in einer der zuvor benannten Einbuchtungen klar erkennbar.



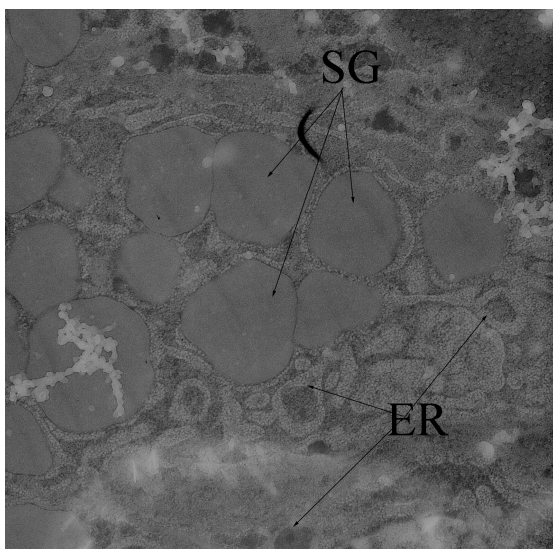
**Abb.48:** Darstellung der Schafsschleimhaut des Sinus maxillaris im REM/x8000.

#### 4.4 Transmissionselektronenmikroskopische Auswertung

Zur genaueren Betrachtung der intrazellulären Becherzellstruktur wurden zusätzlich transmissionselektronenmikroskopische Untersuchungen durchgeführt. Man erkennt deutlich den Zellkern, welcher von zahlreichen, zunächst noch recht kleinen, unreifen Sekretgranula umgeben ist. Im Zytoplasma sind ebenfalls das raue endoplasmatische Retikulum sowie ein schwächer ausgeprägtes endoplasmatisches Retikulum ersichtlich (Abb.49 und 50).



**Abb.49:** Transmissionselektronenmikroskopische Aufnahme einer Becherzelle/1; **ER** - endoplasmatisches Retikulum; **rER** - raues endoplasmatisches Retikulum; **SG** - Sekretgranula; **ZK** – Zellkern.



**Abb.50:** Transmissionselektronenmikroskopische Aufnahme einer Becherzelle/2 (höhere Auflösung); **ER** - endoplasmatisches Retikulum; **SG** – Sekretgranula.

#### **4.5 Mikroskopischer Vergleich von Mensch und Schaf**

Der Feinbau der Schleimhaut von Mensch und Schaf ist grundsätzlich ähnlich. Die Aufteilung in Stratum epitheliale und Stratum proprium lässt sich ebenfalls bei beiden Spezies nachvollziehen. Ein zylinderförmiges, mehrreihiges Flimmerepithel ist gleichermaßen erkennbar. Sowohl im respiratorischen Epithel des Schafes als auch des Menschen besteht eine starke Präsenz von Becherzellen. Mit durchschnittlich 2,58 Becherzellen/100 µm im Schafspräparat liegt die Häufigkeit leicht über der des humanen Präparates mit durchschnittlich 2,23 Becherzellen/100 µm. Das Stratum proprium weist gleichermaßen lymphatische Zellen, Gefäße, dichte Komplexe seromuköser Drüsen sowie kollagenes Bindegewebe auf. Im Schafspräparat fällt der höhere Anteil an elastischen Fasern sowie die etwas straffere und nahezu parallele Anordnung auf. Während die Schafsschleimhaut in allen Präparaten eine regelrechte Gliederung sowie keinerlei Auffälligkeiten aufweist, sind in zwei von fünf Humanpräparaten Anzeichen chronisch entzündlicher Veränderungen erkennbar. Diese sind durch eine gesteigerte Eosinophilie gekennzeichnet.



## **5. Diskussion**

### **5.1 Diskussion der Methode**

#### **5.1.1 Das Tiermodell**

Wenngleich in der Gesellschaft sehr kritisch bewertet, ist es aus klinischer Sicht nach wie vor nicht möglich, vollständig auf Tierversuche zur Erprobung neuer Augmentationsmaterialien zu verzichten. Eine deutliche Reduktion sollte hier jedoch durch die Etablierung geeigneter, aussagekräftiger Tiermodelle angestrebt werden. Für die vorliegenden tierexperimentellen Untersuchungen wurde das Schaf als Versuchstier ausgewählt, da in erster Linie der finanzielle Aufwand für Kauf und Haltung gegenüber Beagles, Ziegen, Schweinen und anderen Versuchstieren relativ gering ist. Da Schafe Herdentiere sind, gestaltet sich die Haltung in Gruppen problemlos. Ihr gering ausgeprägter Bewegungsdrang sowie die ruhige Wesensart trugen maßgeblich dazu bei, daß die Augmentateinheilung ohne traumatisch bedingte Störungen verlief.

Die ausschließlich weiblichen Tiere dieser Studie wiesen ein durchschnittliches Alter von drei Jahren auf. Diese Tiere waren somit ausgewachsen, so daß von einer abgeschlossenen Entwicklung des Nasennebenhöhlensystems ausgegangen werden kann.

#### **5.1.2 Computertomographie**

Die technischen Fortschritte in den letzten Jahren im Bereich der Computertomographie erhöhten die Qualität sowohl der Darstellung als auch der Auswertung der Nasennebenhöhlen. Die Untersuchungen für diese Arbeit wurden mit Hilfe des Somatom Volume Zoom (Siemens Medical Solutions, CT, Forchheim, Deutschland) durchgeführt. Im Gegensatz zur ersten bis dritten Generation lassen sich mit diesem Gerät der vierten Generation beliebige Bildebenen ohne nennenswerten Verlust an Auflösung rekonstruieren. Die Abnahme der Strahlenbelastung sowie der Verminderung der Bewegungsartefakte durch Beschleunigung der CT-Aufnahme waren für die Versuchsreihe irrelevant.

Die Computertomographie wurde als diagnostisches Mittel gewählt, da sie im Bereich der Nasennebenhöhlen aufgrund der besseren Darstellung der Knochen-Weichteil-Beziehung der Magnetresonanztomographie

überlegen ist (Vogl et al. 1998).

### **5.1.3 Histologische Aufbereitung der Präparate**

#### **5.1.3.1 Lichtmikroskopie**

Die Färbung der Schleimhautpräparate erfolgte mittels Hämotoxylin-Eosin. Alternativ hätte die Behandlung mit Perjodsäure- Schiffssches Reagenz erfolgen können, die eine Anfärbung der Mukoproteine der Becherzellen bewirkt und somit ihre Bestimmung erleichtert hätte. Da überdies auch eine Beschreibung des grundlegenden Aufbaus der Schleimhaut erfolgte, wurde die für eine Übersichtsbeurteilung gebräuchlichste Hämotoxylin-Eosin-Färbung gewählt.

Die Einteilung erfolgte in 50  $\mu\text{m}^2$  große Raster um variabler in der Auswahl des 100  $\mu\text{m}^2$  großen auszuzählenden Bereiches zu sein. Ein weiterer Grund war die nicht in allen Bereichen gute Differenzierbarkeit der Epithelzellen.

Es wurden je zwei Präparate der Kieferhöhlenschleimhaut von fünf Schafen der konventionellen histologischen Untersuchung zugeführt. Die Auswertung erfolgte an nur neun Präparaten, da die Schleimhaut auf einem Objektträger stark gefaltet und somit eine Auswertung nicht möglich war.

#### **5.1.3.2 Rasterelektronenmikroskopie**

Für REM-Proben sind die meisten Präparationsverfahren beträchtlich einfacher als für TEM-Proben, da im REM ganze Proben und keine Ultradünnschnitte untersucht werden. Im Vergleich zur Lichtmikroskopie ist die Präparation aber trotzdem aufwendiger. Die Rasterelektronenmikroskope verfügen über einen ca. bis zu 150.000fachen Vergrößerungsbereich und besitzen ein Auflösungsvermögen zwischen 3 und 6 nm (Kurz 2007).

Als nachteilig anzusehen sind die, durch die Vorbehandlung der Schafsschleimhäute für die Elektronenmikroskopie entstandenen, deutlich erkennbaren Risse (Abb.44). Diese sind mit hoher Wahrscheinlichkeit auf den Trocknungsprozess der Präparate zurückzuführen. Es könnte sich hierbei um Spannungsrisse des, die Schleimhautoberfläche benetzenden Muzinfilmes handeln.

Die elektronenmikroskopisch sichtbaren Einbuchtungen (Abb.45) stellen eventuell Austrittsstellen des Becherzellensekretes dar, da sie mit einer Größe von 10-15  $\mu\text{m}$  in etwa dem Querschnitt der Becherzellen, gemäß der histologischen Präparate, entsprechen (Abb.39 und 40). In Abb.48 sind Sekretgranula einer Becherzelle in einer der zuvor benannten Einbuchtungen klar erkennbar.

### **5.1.3.3 Transmissionselektronenmikroskopie**

Die Transmissionselektronenmikroskopie erlaubt eine Beurteilung der zytoplasmatischen Struktur und wurde zur detaillierten Darstellung der Becherzellen herangezogen. Ein Nachteil des Verfahrens ist die aufwendige Probenpräparation. Es erzeugt ein Durchlicht-Elektronenbild mit einer bis zu 500.000fachen Vergrößerung und einem Auflösungsvermögen von etwa 0,2 nm (Kurz 2007).

## **5.2 Diskussion der Ergebnisse**

Die in der Einleitung aufgeworfenen Fragen werden im Verlauf der Diskussion aufgegriffen und beantwortet.

### **5.2.1 Diskussion der Makroskopie**

Die radiologische Auswertung ergibt eine Unterteilung der Nasennebenhöhlen, die grundlegend konform mit den Untersuchungen von Heyne (Heyne 1966) sowie Menke (Menke 2003) läuft. Sinus palatinus, Sinus maxillaris, Sinus conchae nasalis dorsalis, Sinus lacrimalis, Sinus frontalis medialis und lateralis sind jeweils paarig angelegt.

Widersprüchliche Aussagen bestehen über die Pneumatisierung des Os palatinum durch den Sinus palatinus. Während Loeffler (Loeffler 1958) und Menke (Menke 2003) davon überzeugt sind, daß ausschließlich der Processus palatinus maxillae daran beteiligt ist, beziehen Nickel und Wilkens (Nickel & Wilkens 1987) sowie Heyne (Heyne 1966) die Lamina sagittalis des Os palatinum mit ein. Radiologisch ist an den in dieser Studie angefertigten Computertomographien zu vermuten, daß die Pneumatisierung ausschließlich im Processus palatinus maxillae stattfindet. Die nach Heyne vorgenommene Unterteilung in eine Pars horizontalis und sagittalis konnte nicht bestätigt werden und ist weder bei

Pauli (Pauli 1900) noch bei Loeffler (Loeffler 1958) oder Nickel und Wilkens (Nickel & Wilkens 1987) beschrieben. Es herrscht Einigkeit über die dorsal bestehende Verbindung von Sinus palatinus et maxillaris über die Apertura maxillopalatina (Heyne 1966, Loeffler 1958, Pauli 1900). Das Dach des Sinus palatinus war in allen 34 untersuchten Präparaten durchgängig knöchern. Eine direkte Verbindung zur Nasenhöhle, wie von Loeffler (Loeffler 1958), Nickel und Wilkens (Nickel & Wilkens 1987) erwähnt, bestand somit nicht. Möglicherweise wurden in diesen Studien Schädel untersucht, deren Entwicklung noch nicht vollständig abgeschlossen war. Der schmale, längliche (Illig 1910a) Sinus palatinus liegt mit einem durchschnittlichen Volumen von 5,38 ml etwas über den in der Literatur angegebenen Werten von 4-4,5 ml (Menke 2003).

Obgleich einige Unterschiede im Aufbau des Nasennebenhöhlensystems von Mensch und Schaf bestehen, kann jedoch davon ausgegangen werden, dass der Sinus maxillaris eine grundsätzliche strukturelle Übereinstimmung bei beiden Spezies aufweist. Die ihm benachbarten Strukturen sowie die großflächige Pneumatisierung innerhalb der Maxilla sind im Wesentlichen gleich.

Das durchschnittliche Volumen der Kieferhöhle des Schafes beträgt nach Menke etwa 6 ml, nach eigenen Ergebnissen durchschnittlich 11,13 ml. Diese Messdifferenzen können einerseits an der starken Variabilität der Sinusvolumina liegen. Andererseits wurden die Messungen nach Menke an 15 mazerierten Schädeln von Wildschafen im Alter von 6 Wochen bis 4,5 Jahren durchgeführt. Somit war der Zahnwechsel, der frühestens im Alter von 2,5-3 Jahren abgeschlossen ist, bei mehreren Schafen noch nicht vollzogen. Es ist anzunehmen, daß mehrere der vermessenen Sinus maxillares dadurch ihre endgültige Ausdehnung noch nicht erreicht hatten (Cocquyt et al. 2005).

Das Nasennebenhöhlensystem unterliegt bei beiden Spezies altersabhängigen Schwankungen (Beom-Cho Jun MD et al. 2005, Menke 2003).

Um die Sinusvolumina des Schafes mit denen des Menschen vergleichen zu können, wurden hierfür die Messwerte von Beom-Cho Jun MD et al. (2005) hinzugezogen (siehe Tab. 1). Diese ergaben beim Men-

schen eine starke Volumenreduktion mit zunehmendem Alter. Da keine Zahnstatten erhoben bzw. Röntgenaufnahmen angefertigt wurden, lassen sich mögliche dentogen bedingte atrophische Merkmale nicht nachvollziehen. Die durchschnittlichen humanen Sinusvolumina ab dem 41. Lebensjahr können nach Zusammenfassung des Sinus palatinus et maxillaris eines ausgewachsenen Schafes annähernd gleichgesetzt werden. Bei Augmentationen am Schafsmodell ist jedoch unbedingt darauf zu achten, daß die Tiere ein Mindestalter von 2,5-3 Jahren aufweisen, da der Sinus maxillaris frühestens in diesem Alter seine vollständige Ausdehnung erreicht hat und die größtmögliche Ähnlichkeit zum humanen Sinus maxillaris aufweist.

Zur Klärung der Frage, welche Knochen an der Bildung des Sinus maxillaris beteiligt sind, kann die radiologische Studie nicht beitragen, da dieser Fakt für die Versuchsdurchführung nicht von Interesse war.

In der Literatur besteht über die knöcherne Begrenzung kein Konsens. Nach Illig sind daran Maxilla, Os zygomaticum und Os lacrimale beteiligt. Heyne legt sich nicht genau fest, indem er Maxilla und Os zygomaticum lediglich den größten Anteil an der Kieferhöhlenbildung zuschreibt. Nach Menke beteiligen sich an der direkten Bildung die Maxilla mit dem größten Anteil sowie das Os lacrimale. Nach ihrer Darstellung liegt das Os zygomaticum den beiden Knochen nur auf. Es ist nicht pneumatisiert und somit nur indirekt an der Bildung des Sinus maxillaris beteiligt. Die zweizipfelige Gestaltung der Bulla lacimalis (Menke 2003) konnte nicht bestätigt werden. Menke räumt ein, daß diese Form zwar an allen Wildschafen, jedoch nach Gutmann (Gutmann 1911) an Hauschafen nur gelegentlich zu beobachten ist.

Anhand der radiologischen Befunde lässt sich nachweisen, daß die Gesamtoberfläche der Nasennebenhöhlen des Schafes wesentlich größer ist als die des Menschen. Folglich steht ihnen im Gegensatz zum Menschen mehr Raum zum Anwärmen und Befeuchten der Inspirationsluft zur Verfügung. Die Tatsache, daß das Riechvermögen nur in einem bestimmten Temperaturintervall optimal funktioniert und sich bei niedriger Temperatur sowie trockener Luft verschlechtert (Schmidt & Thews 1997), würde folgerichtig den gut entwickelten Geruchssinn der Tiere

(Claußen & David 1996, Nickel & Wilkens 1987) unter variablen klimatischen Bedingungen erklären.

Zur weiteren Optimierung der Riechfunktion fungieren Sinus maxillaris und palatinus hier offenbar als Puffer zwischen der nötigen relativ konstanten Temperatur in der Nasenhöhle sowie der durch Nahrungs- und Flüssigkeitsaufnahme inkonstanten Temperatur der Mundhöhle.

Für die Belüftungs- und Drainagefunktion des Nasennebenhöhlensystems ist die Position und Konfiguration der Apertura nasomaxillaris von enormer Bedeutung. Sie eröffnet sich auf Höhe des dritten oberen Molaren. Menkes Beschreibungen zufolge liegt sie auf Höhe des zweiten oberen Molaren. Dies könnte in der geringfügig anatomischen Differenz zwischen Haus- und Wildschaf begründet liegen. Die Länge der Apertura nasomaxillaris beträgt 2-3 cm (Illig 1910a) bzw. 2,5 cm (Heyne 1966), die Breite maximal 0,5 cm (Illig 1910a). Die Breitenmessung Heynes von ca. 1cm steht dazu im Widerspruch. Die computertomographische Darstellung bestätigt eine in etwa 2-3 cm lange sowie 0,5 cm breite Apertura nasomaxillaris. Diese im Vergleich zum Menschen relativ große Öffnung zur Kieferhöhle ermöglicht eine außerordentlich gute Drainage und Belüftung.

Die dorso-craniale Lage des einzigen Zuganges zur Nasenhöhle, der Apertura nasomaxillaris in der medialen Wand des Sinus maxillaris, trägt der größtenteils geneigten Kopfhaltung des Schafes Rechnung. Sowohl bei aufrechter als auch geneigter Kopfhaltung befindet sich das Ostium im oberen Bereich der Kieferhöhle. Es ergeben sich daher keine starken Abweichungen in Bezug auf das Drainagemuster des Menschen.

In analoger Position befindet sich die Apertura nasomaxillaris des Menschen. Diese wurde in der Literatur kritisch betrachtet, da Flüssigkeiten nur schwer in die Nasenhöhle abfließen können (Schumacher 1984). Diese These verdeutlicht eine recht mechanistische Herangehensweise in Bezug auf Anatomie, Funktion und Physiologie der Kieferhöhle. Schließlich erfolgt die Eigenreinigung der Kieferhöhle effektiv über den ostienwärts gerichteten Flimmerstrom. Diese ist lediglich im Falle odontogen bedingter Sinusitiden überlastet.

Bei tiefer liegendem Ostium würde im Falle einer Drainageinsuffizienz

die Keimbelastung der Nasenhöhle permanent auf die Kieferhöhle übergreifen. Häufige rhinogen bedingte maxilläre Sinusitiden wären die Folge.

Die craniale Position der Apertura nasomaxillaris hat demzufolge auch einen positiven Einfluss auf die unmittelbar postoperative Regenerationsphase des Augmentates im Falle eines Tierversuchs. Das Risiko einer retrograden, rhinogen bedingten Infektion des Knochenersatzmaterials wird dadurch erheblich minimiert, was auch in dem DFG-Projekt KN 377/3-1 klinisch eindrucksvoll bestätigt werden konnte.

Ein adäquater Vergleich der Reossifikation der Augmentate kann anhand der hier durchgeführten radiologischen Betrachtung nicht erfolgen und ist daher Gegenstand einer weiteren Untersuchung innerhalb der DFG-Studie KN 377/3-1.

In die Kieferhöhlen der Schafspräparate wurde das Augmentat aufgrund des extraoral gewählten Zugangs sowie der anatomischen Bedingungen (Zähne noch vorhanden, V. facialis) vorwiegend an der fazialen Kieferhöhlenwand eingebracht und ist größtenteils von der Schneiderschen Membran und der oralen Mukosa umgeben. Beim Menschen sieht ein Sinuslift die Elevation der Schleimhaut vom gesamten Sinusboden bis zur palatinalen Begrenzung nach medial vor, so daß das Augmentat hauptsächlich knöchern begrenzt ist. Wenn demnach das Augmentat beim Schaf eine gute osseäre Durchbauung aufweist, kann davon ausgegangen werden, daß diese beim Menschen genauso gut, wenn nicht sogar deutlich besser sein müsste. Evidente Aussagen sollten jedoch den entsprechenden histomorphometrischen Untersuchungen der DFG-Studie KN 377/3-1 entnommen werden.

Das Knochenersatzmaterial unterliegt sowohl in der Schafskieferhöhle als auch in der humanen Kieferhöhle einer gewissen Beweglichkeit, die nach Verschluss des intraoralen Fensters nicht sicher kalkulierbar ist. Während die Stabilität beim Menschen eher durch die angrenzenden knöchernen Strukturen im Bereich des Recessus alveolaris gewährleistet wird, ergibt sich diese beim Schaf vorwiegend durch die einen höheren Anteil an elastischen Fasern aufweisende und somit robustere Schleimhaut. Folglich lässt sich in beiden Spezies ein ähnlich hohes

Risiko für eine Perforation vermuten.

Die Existenz des Sinus conchae mediae, welcher als solcher nur von Menke erwähnt wird, konnte nicht bestätigt werden. Dies liegt möglicherweise an einer anatomischen Differenz zwischen Haus- und den von Menke untersuchten Wildschafen. Eine Zweiteilung des Sinus conchae dorsalis (Heyne 1966) in eine Pars conchalis sowie frontalis konnte ebenfalls nicht festgestellt werden.

Über das vom Os ethmoidale ausgebildete Höhlensystem herrscht keine Einigkeit. Es ist anzunehmen, daß sowohl die von Heyne beschriebenen mehreren Sinus paraorbitales mediales als auch die nach Pauli von 1 – 11 bezifferten Sinus mit den, im radiologischen Befund klar erkennbaren, vom Os ethmoidale ausgebildeten, in Form und Zahl inkonstant vorliegenden Cellulae ethmoidales übereinstimmen (Heyne 1966, Pauli 1900).

Laut Menke wird der Sinus lacrimalis als Sinus ethmoidalis bezeichnet, da er eine ausschließliche Bildung des Os ethmoidale darstellt. Über die exakte knöcherne Begrenzung lässt sich anhand der radiologischen Befunde keine Aussage treffen.

Offenbar ist es so, dass die Sinus frontales in Anzahl und Form erheblich differieren. Die in der Literatur sehr unterschiedlichen Beschreibungen deuten darauf hin.

Susssdorf (Susssdorf 1895), der sich allgemein auf Wiederkäuer und nicht spezifisch auf das Schaf bezieht, nimmt die Existenz drei verschiedener Sinus frontales an, Illig (Illig 1910a) schließt sich grundlegend dieser Aussage an, nimmt jedoch eine schwankende Anzahl der Stirnhöhlen an, die über drei nicht selten hinausgeht.

Anhand der radiologischen Befunde wird die Aufteilung in einen paarig angelegten jeweils medialen sowie lateralen Sinus (Heyne 1966, Menke 2003) befürwortet.

Die von Baum (Baum 1908) beschriebene starke Septierung bzw. der Vorsprung zahlreicher Knochentafeln und Knochenleisten von den jeweiligen Wänden und Böden der Stirnhöhlen kann ebenfalls bestätigt werden.



## 5.2.2 Diskussion der Mikroskopie

Im histologischen Befund der Schafspräparate ist ein mehrreihiges, von zahlreichen Becherzellen durchsetztes Flimmerepithel erkennbar. Damit werden die aus der Literatur entnommenen Beschreibungen eines zwei- bzw. sechsschichtigen Epithels nicht gestützt (Gutmann 1911, Heyne 1966, Illig 1910b). Die zylinderförmige Gestaltung der Epithelzellen wird von allen Autoren befürwortet.

Im Anschluss an das Epithel folgt straff parallelfaseriges, kollagenes Bindegewebe mit einem geringen Anteil an Fibrozyten. Der deutlich sichtbare hohe Anteil an elastischen Fasern findet sich einzig und allein in den Beschreibungen Gutmanns wieder (Gutmann 1911). Er lässt darauf schließen, daß die Schafsschleimhaut so stabil ist, daß sie den mechanischen Belastungen einer Sinusbodenelevation problemlos standhält. Hierfür spricht hinzukommend die Relationsbestimmung des epithelialen zum subepithelialen Anteil.

Das Vorkommen zahlreicher seromuköser Drüsen, Gefäße sowie Lymphozytenansammlungen sind histologisch ebenfalls erkennbar und finden auch in der Literatur Erwähnung (Gutmann 1911, Smollich & Michel 1992).

Die Kieferhöhlenschleimhaut des Menschen weist eine grundsätzliche Übereinstimmung im histologischen Bau mit der des Schafes auf (Frick et al. 1992, Neumüller 2002).

Einen umfassenderen Vergleich lässt die unterschiedliche Schleimhautbeschaffenheit nicht zu: In den Schafspräparaten ließen sich lediglich einige Lymphozyten erkennen. In den humanen Präparaten hingegen waren Mastzellen, eosinophile Granulozyten, Plattenepithelmetaplasien sowie fibrosiertes Stroma stark präsent.

Das deutet darauf hin, daß die Schafe im Gegensatz zum Menschen eine von pathogenen Umwelteinflüssen weitestgehend unbeeinträchtigte Schleimhaut aufweisen. Tatsächlich leiden in der heutigen Zeit circa fünf bis sieben Prozent der Menschen an chronischer Sinusitis, wobei die Sinus maxillares am häufigsten betroffen sind (Weber et al. 2004). Ein Grund dafür ist die unterschiedliche Lebensweise beider Spezies. Zivilisationsbedingte allergologische Belastungen, Klimaanlagen, häufi-

ge Ortswechsel, enge soziale Kontakte sowie durch Reisen in andere Klimaregionen eingeführte fremde Krankheitserreger sind, um nur einige zu nennen, Ursachen für das häufige Auftreten von Sinusitiden beim Menschen.

Die Haltung der Schafe erfolgt hingegen meist lebenslang ortsständig. Sie sind nur bedingt sich ändernden Umwelt- und Wettereinflüssen ausgesetzt und kommen somit deutlich seltener mit verschiedenen Pathogenen in Kontakt.

Ebenso ist zu bedenken, dass es sich bei den Versuchstieren um verhältnismäßig junge Tiere handelt. Dagegen wurden die humanen Präparate von erwachsenen Probanden entnommen.

Mit Hilfe der Raster- und Transmissionselektronenmikroskopie konnten wichtige Schlussfolgerungen in Bezug auf den Zustand der Schafs-schleimhaut gezogen werden.

Eine effektive mukociliäre Clearance ist der Schlüssel für die Aufrechterhaltung einer normalen Physiologie (Belüftung und Drainage) und Abwehr der Kieferhöhle. Diese ist nur möglich, wenn eine geeignete Cilienbewegung und reichlich Schleim vorhanden sind. Ein dichter Teppich aus eindeutig differenzierbaren, nicht verklebten Kinocilien sowie ein hoher Anteil an Sekretgranula innerhalb der Becherzellen ließen sich deutlich erkennen. Der intrazellulär hohe Anteil an Sekretgranula sowie ein ausgeprägtes raues endoplasmatisches Retikulum deuten auf aktive Sekretionsprozesse der Becherzellen und folglich eine intakte Clearance der Kieferhöhlen hin. Weiterhin spielen Qualität und Rheologie des Schleimes eine große Rolle für effektive Transportmechanismen.

Im Rahmen der Testung von Knochenersatzmaterialien scheint es sinnvoll, in einer weiteren Studie die physiologische Funktion der Kieferhöhle durch Bestimmung der mukociliären Clearance sowie histologische Veränderungen der Kieferhöhlenschleimhaut vor und nach augmentativen Maßnahmen bei beiden Spezies zu vergleichen. Dies würde noch tiefere Einsichten in das Drainageverhalten der Nasennebenhöhlen von Schaf und Mensch ermöglichen.

## 6. Zusammenfassung

Bevor neu entwickelte bzw. optimierte Biomaterialien am Menschen klinisch zum Einsatz kommen können, müssen diese im Rahmen von Tierversuchen überprüft werden. Anhand reichlich durchgeführter Studien an Schafen zeigte sich, daß damit ein Versuchstier vorhanden ist, welches aus ökonomischen, phylogenetischen, behavioristischen und operativen Gründen viele Vorteile birgt. Um aussagekräftige, auf den Menschen übertragbare Aussagen zu erhalten, muß im Vorfeld ein Vergleich der anatomischen, histologischen, physiologischen und verhaltensbezogenen Merkmale beider Spezies vorgenommen werden.

Die Arbeit entstand im Rahmen der DFG-Studie KN 377/3-1.

Zielsetzung dieser Arbeit ist es, das Schaf als geeignetes Tiermodell zu etablieren und hierbei speziell die Verwendbarkeit für in vivo Untersuchungen nach Sinusbodenelevationen anhand eines makroskopischen, mikroskopischen und physiologischen Vergleichs mit dem menschlichen Nasennebenhöhlensystem zu belegen.

Bisher liegt nur eine geringe Anzahl anatomischer Studien zum Nasennebenhöhlensystem des Schafes vor. Zudem liefern die Arbeiten zu diesem Thema recht widersprüchliche Ergebnisse. Es liegen keinerlei histologische oder radiologische Befunde vor. Eine vergleichende Betrachtung der Makro- und Mikrostrukturen des menschlichen Nasennebenhöhlensystems mit dem des Schafes zum Zwecke der Evaluation eines Tiermodelles wurde bis zum heutigen Tage, trotz häufiger Versuche am Schaf, noch nicht vorgenommen.

Daher wurden die Nasennebenhöhlen von 34 weiblichen Schafen der Rasse Merino und Texel sowie der Mischform post mortem untersucht. Anhand coronaler computertomographischer Aufnahmen erfolgte die Vermessung und Volumenbestimmung der 68 Sinus maxillares sowie die Befundung und anatomische Beschreibung des Nasennebenhöhlensystems. Die vergleichende Untersuchung der Kieferhöhlenschleimhaut bei Schaf und Mensch wurde lichtmikroskopisch an identisch gefärbten Präparaten durchgeführt. Die detaillierte Oberflächendarstellung der Kieferhöhlenschleimhaut der Schafe wurde anhand elektronenmikroskopischer Aufnahmen realisiert. Die für physiologische Vorgänge wichti-

gen intrazellulären Strukturen konnten durch eine transmissionselektronenmikroskopische Bildgebung dargestellt und beschrieben werden. Die häufig anzutreffenden Becherzellen standen dabei im Fokus der Betrachtung.

Zusammenfassend läßt sich konstatieren, daß im Vergleich der makroskopischen Befunde von Mensch und Schaf anatomische Unterschiede im Aufbau des gesamten Nasennebenhöhlensystems von Mensch und Schaf festzustellen sind, die sich in erster Linie aus phylogenetischer und behavioristischer Aspekte erklären lassen. Interessant und für die vorliegende Arbeit entscheidend ist jedoch, daß der Sinus maxillaris makroskopisch sowie mikroskopisch eine deutliche Übereinstimmung bei beiden Spezies aufweist. Weiterhin kann aufgrund der vergleichbaren histologischen und intrazellulären Strukturen ein ähnlicher Ablauf von physiologischen und biochemischen Drainage- und Knochenregenerationsprozessen angenommen werden.

Anhand der Ergebnisse kann festgestellt werden, daß das Schaf ein speziell für Knochenaugmentationen im Bereich des Sinus maxillaris hervorragendes Versuchstier darstellt. In vivo Versuche an Schafen der Rassen Merino und Texel zur Untersuchung von autologen, alloplastischen oder xenogenen Materialien im Bereich der Kieferhöhle ergeben somit auf den Menschen übertragbare Ergebnisse und eignen sich somit gut als Tiermodell.

## 7. Literaturverzeichnis

- Ariji , Y., Kuroki, T., Moriguchi, S., Ariji, E. & Kanda, S. (1994) Age changes in the volume of the human maxillary sinus: a study using computed tomography. *Dentomaxillofac Radiol* 23: 163-168.
- Baum, H. (1908) Handbuch der vergleichenden Anatomie der Haustiere. Hirschwald, Berlin 354-358.
- Becker, W., Naumann, H.H. & Pfaltz, C.R. (1989) *Hals-Nasen-Ohrenheilkunde*. Georg Thieme, Stuttgart 175-177.
- Beom-Cho Jun MD, Sun-Wha Song MD & Chan-Soon Park MD (2005) The analysis of maxillary sinus aeration according to aging process; volume assessment by 3-dimensional reconstruction by high-resolotional CT-scanning. *Otolaryngol.Head Neck Surg.* 132: 429-434.
- Boenninghaus, H.-G. (1996) Hals-Nasen-Ohrenheilkunde. Axel Springer, Heidelberg 167-171.
- Claußen, G. & David, A. (1996) Der Jäger und sein Wild. Paul Parey, Hamburg 39-41.
- Cocquyt, G., Driessen, B. & Simoens, P. (2005) Variability in the eruption of the permanent incisor teeth in sheep. *Vet.Rec.* 157: 619-623.
- Comuzzi, L., Ooms, E. & Jansen, J.A. (2002) Injectable calcium phosphate cement as a filler for bone defects around oral implants: an experimental study in goats. *Clin.Oral Implants.Res.* 13: 304-311.
- Dargaud, J., Lamotte, C., Dainotti, J.P. & Morin, A. (2001) Venous drainage and innervation of the maxillary sinus. *Morphologie.* 85: 11-13.
- Dennhardt, H. (1903) Über die Entwicklung der Nasenhöhle und deren Nebenhöhlen bei einigen Haussäugetieren. Diss. Zürich.
- Dyce, W.K.M., Sack, O. & Wensing, C.J.G. (1991) *Anatomie der Haustiere*. Ferdinand Enke, Stuttgart 653-656.
- Ellenberger, W. & Baum, H. (1900) Handbuch der vergleichenden Anatomie der Haustiere. Hirschwald, Berlin 641-644.
- Fennis, J.P., Stoelinga, P.J., Merckx, M.A. & Jansen, J.A. (2005) Reconstruction of the mandible with a poly(D,L-lactide) scaffold, autogenous corticocancellous bone graft, and autogenous platelet-rich plasma: an animal experiment. *Tissue Eng* 11: 1045-1053.
- Flanagan, D. (2005) Arterial supply of maxillary sinus and potential for bleeding complication during lateral approach sinus elevation.

*Implant.Dent.* 14: 336-338.

- Frick, H., Leonhardt, H. & Starck, D. (1992) *Spezielle Anatomie*. Georg Thieme, Stuttgart 689.
- Fujishiro, T., Bauer, T.W., Kobayashi, N., Kobayashi, H., Sunwoo, M.H., Seim, H.B., III & Turner, A.S. (2007) Histological evaluation of an impacted bone graft substitute composed of a combination of mineralized and demineralized allograft in a sheep vertebral bone defect. *J.Biomed.Mater.Res.A* 82: 538-544.
- Gold, S.D. (2004) Die Sinusbodenaugmentation und die Vorbeugung und Behandlung von Komplikationen in der Kieferhöhle. *Zahnärztliche Implantologie: Vom Fehlschlag zum Erfolg*. Quintessence, Chicago 119-120.
- Gosain, A.K., Riordan, P.A., Song, L., Amarante, M.T., Kalantarian, B., Nagy, P.G., Wilson, C.R., Toth, J.M. & McIntyre, B.L. (2005) A 1-year study of hydroxyapatite-derived biomaterials in an adult sheep model: III. Comparison with autogenous bone graft for facial augmentation. *Plast.Reconstr.Surg.* 116: 1044-1052.
- Guenther, S. (2004) Kieferhöhlenoperation: Ergebnisse unterschiedlicher operativer Zugänge zur Kieferhöhle- Eine retrospektive Studie. Diss. Münster.
- Gutmann, A. (1911) Vergleichend-anatomische Untersuchungen über die Beziehungen der Orbita und des Bulbus zu den vom Siebbein ausgehenden pneumatischen Räumen. *Z.Augenheilk.* 26: 295-308.
- Haas, R., Baron, M., Donath, K., Zechner, W. & Watzek, G. (2002) Porous hydroxyapatite for grafting the maxillary sinus: a comparative histomorphometric study in sheep. *Int.J.Oral Maxillofac.Implants.* 17: 337-346.
- Heyne, K. (1966) Quantitative Untersuchungen über die Nebenhöhlen der Nase bei *Ovis aries*. Diss. Rostock.
- Ignatius, A.A., Betz, O., Augat, P. & Claes, L.E. (2001) In vivo investigations on composites made of resorbable ceramics and poly(lactide) used as bone graft substitutes. *J.Biomed.Mater.Res.* 58: 701-709.
- Ikeda, A., Ikeda, M. & Komatsuzaki, A. (1998) A CT study of the course of growth of the maxillary sinus: normal subjects and subjects with chronic sinusitis. *ORL J.Otorhinolaryngol.Relat Spec.* 60: 147-152.
- Ikeda, N., Kawanabe, K. & Nakamura, T. (1999) Quantitative comparison of osteoconduction of porous, dense A-W glass-ceramic and hydroxyapatite granules (effects of granule and pore sizes). *Biomaterials* 20: 1087-1095.
- Illig, H. (1910a) Beitrag zur Kenntnis der Nasennebenhöhlen der Nase

der Haussäuger. Diss. Giessen.

- Illig, H. (1910b) Über den histologischen Aufbau der Schleimhaut der Nebenhöhlen der Nase bei den Haussäugetieren. Diss. Giessen.
- Jones, N. (2001) The nose and paranasal sinuses physiology and anatomy. *Adv. Drug Deliv. Rev.* 51: 5-19.
- Jung, R.E., Lecloux, G., Rompen, E., Ramel, C.F., Buser, D. & Hammerle, C.H. (2009) A feasibility study evaluating an in situ formed synthetic biodegradable membrane for guided bone regeneration in dogs. *Clin. Oral Implants. Res.* 20: 151-161.
- Kurz, C.-A. (2007) Das Elektronenmikroskop (Raster- und Transmissionsmikroskopie). Bayreuth.
- Lee, S.H., Yoon, H.J., Park, M.K. & Kim, Y.S. (2008) Guided bone regeneration with the combined use of resorbable membranes and autogenous drilling dust or xenografts for the treatment of dehiscence-type defects around implants: an experimental study in dogs. *Int. J. Oral Maxillofac. Implants.* 23: 1089-1094.
- Loeffler, K. (1958) Zur Topographie der Nasenhöhle und der NNH bei den kleinen Wiederkäuern. *Berl. Münch. tierärztliche Wochenschrift* 71: 457-465.
- Loeffler, K. (2002) Anatomie und Physiologie der Haustiere. Eugen Ulmer, Stuttgart 114-125.
- Menke, C. (2003) Morphologie und topographische Anatomie der Nase sowie der NNH beim europ. Mufflon. Diss. Hannover.
- Negus, V. (1958) The comparative anatomy and physiology of the nose and paranasal sinuses. E.&S. Livingstone Ltd., Livingstone 286-340.
- Netter, F. (2000) Atlas der Anatomie des Menschen. Georg Thieme, Stuttgart, New York 42-43.
- Neugebauer, J., Iezzi, G., Perrotti, V., Fischer, J.H., Khoury, F., Piattelli, A. & Zoeller, J.E. (2009) Experimental immediate loading of dental implants in conjunction with grafting procedures. *J. Biomed. Mater. Res. B Appl. Biomater.*
- Neumüller, J. (2002) Histologie und Embryologie des Atmungstraktes. Axel Springer, Wien.
- Nickel, R. & Wilkens, H. (1987) Atmungsapparat. Lehrbuch der Anatomie der Haustiere, Bd. II Eingeweide. Paul Parey, Berlin, Hamburg 219-285.
- Niedhart, C., Maus, U., Piroth, W., Miltner, O., Schmidt-Rohlfing, B. & Siebert, C.H. (2004) Evaluation of a resorbable, in situ setting bone substitute in a sheep model. *J. Biomed. Mater. Res. B*

*Appl.Biomater.* 71: 123-129.

- Pauli, S. (1900) Über die Pneumaticität des Schädels bei den Säugethieren. *Gegenb.Morph.Jb.* 28: 179-251.
- Peters, C.L., Hines, J.L., Bachus, K.N., Craig, M.A. & Bloebaum, R.D. (2006) Biological effects of calcium sulfate as a bone graft substitute in ovine metaphyseal defects. *J.Biomed.Mater.Res.A* 76: 456-462.
- Ritzert, B. (2007) Fortbildung dient der Qualitätssicherung. *Newsletter der DGZMK Ausgabe 04/2007.*
- Ritzert, B. (2009) Zahn-Implantate: Qualitätssicherung und Patientenschutz im Fokus. DGI - Deutsche Gesellschaft für Implantologie im Zahn-, Mund- und Kieferbereich e.V.
- Schaeffer, J.P. (1910) The sinus maxillaris and its relations in the embryo, child and adult man. *Am.J.Anat.* 10: 313-319.
- Schmidt, R.F. & Thews, G. (1997) Physiologie des Menschen. Axel Springer, Berlin, Heidelberg 322-327.
- Schumacher, G.H. (1984) Topographie der Anatomie des Menschen. UTB, Rostock 130-134.
- Shankar, L., Evans, K., Hawke, M. & Stammberger, H. (1994) Atlas der Nasennebenhöhlen. *Chapman&Hall, Weinheim* 41-45.
- Smiler, D.G. (1998) Histologic Changes in the Sinus Membrane After Maxillary Sinus Augmentation in Goats. *J.Oral Maxillofac.Surg.* 56.
- Smollich, A. & Michel, G. (1992) Mikroskopische Anatomie der Haustiere. Gustav Fischer, Jena, Stuttgart 187-192.
- Solar, P., Geyerhofer, U., Traxler, H., Windisch, A., Ulm, C. & Watzek, G. (1999) Blood supply to the maxillary sinus relevant to sinus floor elevation procedures. *Clin.Oral Implants.Res.* 10: 34-44.
- Sussdorf, M. (1895) Lehrbuch der vergleichenden Anatomie der Haustiere unter besonderer Berücksichtigung der topographischen Anatomie und der Methodik in den Präparierübungen von Dr.med. Max Sussdorf. Ferdinand-Enke, Stuttgart.
- Tan, K.K., Tan, G.H., Shamsul, B.S., Chua, K.H., Ng, M.H., Ruszymah, B.H., Aminuddin, B.S. & Loqman, M.Y. (2005) Bone graft substitute using hydroxyapatite scaffold seeded with tissue engineered autologous osteoprogenitor cells in spinal fusion: early result in a sheep model. *Med.J.Malaysia* 60 Suppl C: 53-58.
- Teramoto, H., Kawai, A., Sugihara, S., Yoshida, A. & Inoue, H. (2005) Resorption of apatite-wollastonite containing glass-ceramic and beta-tricalcium phosphate in vivo. *Acta Med.Okayama* 59: 201-



207.

- Töndury, G. (1981) Angewandte und topographische Anatomie. Georg Thieme, Stuttgart, New York 368-369.
- Vogl, T.J., Balzer, J., Mack, M. & Steger, W. (1998) Radiologische Diagnostik in der Kopf-Hals-Region. Georg Thieme, Stuttgart 157-159.
- von Mihalkovics (1896) Bau und Entwicklung der pneumatischen Gesichtshöhlen. *Verhandlungen der anatomischen Gesellschaft zu Berlin*.
- Waldeyer, A. & Mayet, A. (1996) Anatomie des Menschen 2. Walter de Gruyter, Berlin, New York 40-43.
- Watzek, G. & Mailath-Pokorny, G. (2000) Zahnärztliche Implantate. *Zahnärztliche Chirurgie III. Georg Thieme, Stuttgart, New York* 127.
- Weber, E. (1978) Schemata der Leitungsbahnen des Menschen. Axel Springer, Berlin, Heidelberg.
- Weber, R.K., Jaspersen, D., Keerl, R., Eikermann, M. & Mosges, R. (2004) Gastroesophageal reflux disease and chronic sinusitis. *Laryngorhinootologie* 83: 189-195.
- Wurzler, K.K., Heisterkamp, M., Bohm, H., Kubler, N.R., Sebald, W. & Reuther, J.F. (2004) [Mandibular reconstruction with autologous bone and osseointegrative implant in the Gottingen minipig]. *Mund Kiefer Gesichtschir.* 8: 75-82.
- Yang, W., Zhou, D., Yin, G., Chen, H., Xiao, B. & Zhang, Y. (2004) Study on a new type of apatite/wollastonite porous bioactive glass-ceramic. *Sheng Wu Yi.Xue.Gong.Cheng Xue.Za Zhi.* 21: 913-916.
- Zinreich, S.J. (1998) Functional anatomy and computed tomography imaging of the paranasal sinuses. *Am.J.Med.Sci.* 316: 2-12.

## **Danksagung**

Mein herzlicher Dank gilt Herrn PD Dr. Michael Stiller für die Überlassung des Dissertationsthemas. Seine unermüdliche Unterstützung durch Motivation und kritische Anmerkungen trugen erheblich zum Gelingen der Arbeit bei.

Des Weiteren danke ich Dr. Guido Weiner sowie Kornelia Lindner für ihre kompetente Unterstützung bei der radiologischen Auswertung.

Ganz besonderer Dank gilt Sebastian Jonscher für seine moralische Unterstützung und Motivation.

## **Lebenslauf Dana Breyer**

Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.