

FRANZISKA BRAUNE

Morphologische Untersuchung der equinen
Nasennebenhöhlen und ihrer Beziehung zu
den Oberkieferbackenzähnen mittels
Computertomographie

Inaugural-Dissertation zur Erlangung des Grades eines
Dr. med. vet.

beim Fachbereich Veterinärmedizin der Justus-Liebig-Universität Gießen



édition scientifique
VVB LAUFERSWEILER VERLAG

Das Werk ist in allen seinen Teilen urheberrechtlich geschützt.

Die rechtliche Verantwortung für den gesamten Inhalt dieses Buches liegt ausschließlich bei dem Autoren dieses Werkes.

Jede Verwertung ist ohne schriftliche Zustimmung der Autoren oder des Verlages unzulässig. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung in und Verarbeitung durch elektronische Systeme.

1. Auflage 2020

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, or otherwise, without the prior written permission of the Authors or the Publisher.

1st Edition 2020

© 2020 by VVB LAUFERSWEILER VERLAG, Giessen
Printed in Germany



edition scientifique
VVB LAUFERSWEILER VERLAG

STAUFENBERGRING 15, 35396 GIESSEN, GERMANY
Tel: 0641-5599888 Fax: 0641-5599890
email: redaktion@doktorverlag.de

www.doktorverlag.de

Aus dem „Institut für Veterinäranatomie, -Histologie und -Embryologie“

Betreuer: Prof. Dr. Carsten Staszik

**Morphologische Untersuchung der equinen Nasennebenhöhlen
und ihrer Beziehung zu den Oberkieferbackenzähnen mittels
Computertomographie**

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung des Grades eines

Dr. med. vet.

beim Fachbereich Veterinärmedizin
der Justus-Liebig-Universität Gießen

eingereicht von

Franziska Braune

Tierärztin aus Rostock

Gießen 2020

Mit Genehmigung des Fachbereichs Veterinärmedizin
der Justus-Liebig-Universität Gießen

Dekan:

Prof. Dr. Dr. h. c. Martin Kramer

Gutachter:

Prof. Dr. Carsten Staszuk

Prof. Dr. Kerstin Fey

Tag der Disputation: 05.11.2020

Meinem Ehemann

Inhaltsverzeichnis

1	Abkürzungsverzeichnis	VI
2	Grafische Verzeichnisse	IX
2.1	Abbildungsverzeichnis	IX
2.2	Diagrammverzeichnis	X
2.3	Tabellenverzeichnis	X
3	Einleitung und Fragestellung	1
3.1	Einleitung	1
3.2	Frage- und Aufgabestellung	2
4	Literaturübersicht	3
4.1	Computertomografie	3
4.1.1	Verwendung der CT in der Tiermedizin	3
4.1.2	Bildgebung am Pferdekopf	3
4.1.3	CT-Technik - Entwicklung und Ausblick	5
4.2	Anatomie der equinen Nasennebenhöhlen - Überblick	6
4.3	Entwicklung der equinen Nasennebenhöhlen	7
4.4	Spezielle Anatomie der equinen Nasennebenhöhlen	8
4.4.1	<i>Sinus sphenopalatinus</i>	8
4.4.2	<i>Sinus conchae mediae</i>	10
4.4.3	<i>Sinūs maxillares</i>	11
4.4.3.1	<i>Sinus maxillaris rostralis</i>	13
4.4.3.2	<i>Sinus maxillaris caudalis</i>	13
4.4.3.3	<i>Septum sinuum maxillarium</i>	14
4.4.3.4	Sekundäre Sinusitis beim Pferd	16
4.4.4	<i>Sinus conchae ventralis</i>	17

4.4.5	<i>Sinus conchofrontalis</i>	18
4.5	Offene Fragen hinsichtlich der equinen Nasennebenhöhlen.....	20
4.6	Die topografische Relation der Nasennebenhöhlen zu den Zähnen des Pferdes.....	21
4.6.1	Die prämolaren und die molaren Backenzähne.....	21
4.6.2	Die Zahnwurzeln.....	22
4.7	Offene Fragen bezüglich des Kontakts zwischen Zahnwurzeln und dem NNH-System	23
5	Material und Methode	24
5.1	Probanden	24
5.2	CT-Scans.....	24
5.3	Anpassung der einzelnen Schnittebenen anhand von anatomischen Markerpunkten am Pferdekopf	25
5.4	Qualitative und quantitative Evaluationen	27
5.5	Datenverarbeitung	28
5.6	Statistische Datenanalyse.....	28
6	Datenerhebung	30
6.1	<i>Sinus sphenopalatinus</i>	30
6.2	<i>Apertura maxillopalatina</i>	32
6.3	<i>Sinus conchae mediae</i>	35
6.4	<i>Septum sinuum maxillarium</i>	37
6.5	Bestimmung der Position der Zahnwurzeln/Reservekronen der maxillären Backenzähne in Relation zu den Nasennebenhöhlen	40
7	Ergebnisse	44
7.1	<i>Sinus sphenopalatinus</i> (SSP)	44
7.1.1	Morphologische Untersuchung des SSP	44
7.1.2	Ausdehnung des SSP	47
7.1.3	Vermessung der Knochendicke des PS ventral des CO	48

7.1.4	Untersuchung der Darstellbarkeit und Kontinuität des SSS	49
7.2	<i>Apertura maxillopalatina</i> (AMP).....	49
7.2.1	Vermessung der AMP im Querschnitt, morphologische Beurteilung.....	49
7.2.2	Vermessung der AMP zwischen dem Ethmoid und dem NNC.....	50
7.3	<i>Sinus conchae mediae</i> (SCM).....	51
7.3.1	Symmetrie des SCM im Rechts-Links-Vergleich eines Pferdeschädels.....	51
7.3.2	Belüftungswege zum SCM.....	53
7.3.3	Vermessung der Öffnung des SCM	54
7.3.4	Morphologische Form der Öffnung des SCM.....	55
7.4	<i>Septum sinuum maxillarium</i> (SSM).....	56
7.4.1	Bestimmung der Dicke des SSM.....	56
7.4.2	Bewertung der Symmetrie des SSM im Rechts-Links-Vergleich eines Pferdeschädels.....	58
7.4.3	Bestimmung der Kontinuität des SSM	59
7.4.4	Bestimmung der Anheftungspunkte des SSM	59
7.4.4.1	Bestimmung der Anheftungspunkte des SSM am PCI/ <i>processus alveolaris</i> in Relation zu den Backenzähnen	60
7.4.4.2	Bestimmung der Anheftungspunkte des SSM an der Maxilla in Relation zu den Backenzähnen	62
7.4.5	Bestimmung der Ausdehnung der BSSM	65
7.5	Zahnwurzelpositionen in Relation zu den Nasennebenhöhlen	67
7.5.1	Kontakt zwischen den Zahnwurzeln und dem SMC.....	67
7.5.2	Zahnwurzeln mit Kontakt sowohl zum SCM als auch zum SMR	68
7.5.3	Kontakt zwischen den Zahnwurzeln und SMR.....	69
7.5.4	Kontakt zwischen den Zahnwurzeln und SCV	70
7.5.5	Wurzelanteile ohne jeglichen Kontakt zum System der Nasennebenhöhlen ...	72
8	Diskussion	76

8.1	Diskussion von Material und Methode	76
8.1.1	Material	76
8.1.2	Computertomographie	77
8.2	Diskussion der Ergebnisse	79
8.2.1	<i>Sinus sphenopalatinus</i>	79
8.2.1.1	Morphologische Untersuchung des <i>Sinus sphenopalatinus</i>	80
8.2.1.2	Ausdehnung des <i>Sinus sphenopalatinus</i>	81
8.2.1.3	Vermessung der Knochendicke des <i>Os praesphenoidale ventral</i> des <i>Chiasma opticum</i>	82
8.2.1.4	Untersuchung der Darstellbarkeit und Kontinuität des <i>Septum sinuum sphenoidalium</i>	84
8.2.2	<i>Apertura maxillopalatina</i>	85
8.2.2.1	Vermessung der <i>Apertura maxillopalatina</i> im Querschnitt, morphologische Beurteilung.....	85
8.2.2.2	Vermessung der <i>Apertura maxillopalatina</i> zwischen dem Siebbein und dem <i>Nervus nasalis caudalis</i>	87
8.2.3	<i>Sinus conchae mediae</i>	87
8.2.3.1	Symmetrie des <i>Sinus conchae mediae</i> im Rechts-Links-Vergleich	87
8.2.3.2	Belüftungswege zum <i>Sinus conchae mediae</i>	88
8.2.3.3	Vermessung der Öffnung des <i>Sinus conchae mediae</i>	88
8.2.3.4	Morphologische Form der Öffnung des <i>Sinus conchae mediae</i>	89
8.2.4	<i>Septum sinuum maxillarium</i>	89
8.2.4.1	Bestimmung der Dicke des <i>Septum sinuum maxillarium</i>	89
8.2.4.2	Bewertung der morphologischen Ähnlichkeit des <i>Septum sinuum maxillarium</i> im Rechts-Links-Vergleich eines Pferdeschädels	90
8.2.4.3	Bestimmung der Kontinuität des <i>Septum sinuum maxillarium</i>	90
8.2.4.4	Bestimmung der Anheftungspunkte des <i>Septum sinuum maxillarium</i> am <i>PCI/processus alveolaris</i> in Relation zu den Backenzähnen.....	91

8.2.4.5	Bestimmung der Anheftungspunkte des <i>Septum sinuum maxillarium</i> an der Maxilla in Relation zu den Backenzähnen	92
8.2.4.6	Bestimmung der Ausdehnung der <i>Bulla septi sinuum maxillarium</i>	93
8.2.5	Zahnwurzelpositionen in Relation zu den Nasennebenhöhlen	93
8.2.6	Nomenklatur anatomischer Strukturen am Pferdekopf	97
9	Zusammenfassung	99
10	Summary.....	102
11	Anhang.....	105
12	Danksagung.....	107
13	Erklärung.....	108
14	Literaturverzeichnis.....	109

1 Abkürzungsverzeichnis

®	“registered” (eingetragenes Warenzeichen)
μCT	Mikro-CT
AG	Altersgruppe
AMP	<i>Apertura maxillopalatina</i>
BS	Basisphenoid/ <i>Os basisphenoidale</i>
BSSM	<i>Bulla septi sinuum maxillarium</i>
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
CBCT	Cone-beam computed tomography
CFd	<i>Crista facialis dextra</i>
CFs	<i>Crista facialis sinistra</i>
CI	<i>Canalis infraorbitalis</i>
CII	<i>Canalis interincisivus</i>
cm ³	Kubikzentimeter
CNV	<i>Concha nasalis ventralis</i>
CO	<i>Chiasma opticum</i>
CT	Computertomografie
DICOM	Digital Imaging and Communications in Medicine
Dr.	Doktor
et al.	et alii (lat.: “und andere”)
etc.	et cetera
HU	Houndsfield unit
JLU	Justus-Liebig-Universität
M	Molar
MCCT	Multi-Slice-CT
ml	Milliliter
MPR	Multiplanare Rekonstruktion
MRT	Magnetresonanztomografie
N.	<i>Nervus</i>
NAV	Nomina Anatomica Veterinaria
NI	<i>Nervus infraorbitalis</i>

NM	<i>Nervus maxillaris</i>
NNC	<i>Nervus nasalis caudalis</i>
NNH	Nasennebenhöhlen
NO	<i>Nervus opticus</i>
NPM	<i>Nervus palatinus major</i>
NPP	<i>Nervus pterygopalatinus</i>
ON	<i>Os nasale</i>
OP	<i>Os palatinum</i>
P	Prämolar
p	Prämolar (Milchzahn)
PCI	<i>Ponticulus canalis infraorbitalis</i>
PEH	Progressive Ethmoid Hematoma
PS	Praesphenoid/ <i>Os praesphenoidale</i>
s.r.o.	Společnost s ručením omezeným (Rechtsform in der Tschechischen Republik)
SCD	<i>Sinus concha dorsalis</i>
SCM	<i>Sinus conchae mediae</i>
SCV	<i>Sinus conchae ventralis</i>
SF	<i>Sinus frontalis</i>
SMC	<i>Sinus maxillaris caudalis</i>
SMR	<i>Sinus maxillaris rostralis</i>
SN	<i>Septum nasi</i>
SP	<i>Sinus palatinus</i>
SS	<i>Sinus sphenoidalis</i>
SSM	<i>Septum sinuum maxillarium</i>
SSP	<i>Sinus sphenopalatinus</i>
SSPs	<i>Sinus sphenopalatinus sinister</i>
SSS	<i>Septum sinuum sphenoidalium</i>
TiHo	Tierärztliche Hochschule
™	“trade mark” (eingetragenes Warenzeichen)
u.a.	unter anderem
USA	United States of America
UVPS	University of Veterinary and Pharmaceutical Sciences

z.B.	zum Beispiel
ZNS	Zentrales Nervensystem

2 Grafische Verzeichnisse

2.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 - Transversales CT-Schnittbild - Ausrichtung nach Markerpunkten.....	26
Abbildung 2 - Sagittales CT-Schnittbild - Ausrichtung nach Markerpunkten	27
Abbildung 3 - Eigenständiger Belüftungsweg des SS zur Nasenhöhle	31
Abbildung 4 - Höhen- und Breitenvermessung des SSP ventral des CO	31
Abbildung 5 - Durchgehend darstellbares SSS in horizontaler Betrachtungsebene	32
Abbildung 6a-d - konsekutiv aufeinander folgende transversale CT-Bilder zur Darstellung diverser Nervenausstritte aus dem NM im Pferdekopf	34
Abbildung 7 - Darstellung des Vermessungsbereichs einer AMP.....	35
Abbildung 8 - Darstellbarkeit eines Belüftungswegs vom SCM zum SMC.....	36
Abbildung 9 - Nicht-Darstellbarkeit eines Belüftungswegs vom SCM zum SMC.....	37
Abbildung 10 - Darstellung eines Verlaufs eines SSM	38
Abbildung 11 - Darstellung der kaudalen Ausdehnung der BSSM in sagittaler Betrachtungsebene	39
Abbildung 12 - Darstellung der kaudalen Ausdehnung der BSSM in horizontaler Betrachtungsebene.....	40
Abbildung 13 - Darstellung des Kontakt zwischen Zahnwurzelanteilen und den NNH in AG 1	41
Abbildung 14 - Darstellung des Kontakt zwischen Zahnwurzelanteilen und den NNH in AG 2	42
Abbildung 15 - Darstellung eines nicht vorhandenen Kontakts zwischen Zahnwurzelanteilen und den NNH.....	43
Abbildung 16 - Schematische Darstellung der Kontakte einzelner Zahnwurzelanteile zu den NNH auf Höhe der 11er	72
Abbildung 17 - Schematische Darstellung der Kontakte einzelner Zahnwurzelanteile zu den NNH auf Höhe der 10er	73
Abbildung 18 - Schematische Darstellung der Kontakte einzelner Zahnwurzelanteile zu den NNH auf Höhe der 09er	74
Abbildung 19 - Schematische Darstellung der Kontakte einzelner Zahnwurzelanteile zu den NNH auf Höhe der 08er	75

2.2 Diagrammverzeichnis

Diagramm 1 - Morphologie des SSP - alle Köpfe	45
Diagramm 2 - Morphologie des SSP - AG 1.....	46
Diagramm 3 - Morphologie des SSP - AG 2.....	46
Diagramm 4 - Ausdehnung des SSP in Abhängigkeit vom Alter	47
Diagramm 5 - Knochendicke des PS.....	48
Diagramm 6 - Ausdehnung der AMP	50
Diagramm 7 - Abstandsmessung zwischen dem Ethmoid und dem NNC	51
Diagramm 8 - Symmetrie des SCM im Rechts-Links-Vergleich.....	52
Diagramm 9 - Darstellbarkeit des Belüftungswegs zum SCM über den SMC.....	54
Diagramm 10 - Vermessung der Öffnung des SCM zum SMC	55
Diagramm 11 - Morphologie der Öffnung des SCM zum SMC	56
Diagramm 12 - Dicke des SSM	57
Diagramm 13 - Symmetrie des SSM im Rechts-Links-Vergleich	59
Diagramm 14 - Verteilung der Anheftungspunkte des SSM am PCI/processus alveolaris in Relation zu den Backenzähnen in AG 1	61
Diagramm 15 - Verteilung der Anheftungspunkte des SSM am PCI/processus alveolaris in Relation zu den Backenzähnen in AG 2	62
Diagramm 16 - Anheftungspunkt des SSM an der Maxilla in Relation zu den Backenzähnen in AG 1.....	64
Diagramm 17 - Anheftungspunkt des SSM an der Maxilla in Relation zu den Backenzähnen in AG 2.....	64
Diagramm 18 - kaudale Ausdehnung der BSSM in Relation zu den Backenzähnen in AG 1 ...	66
Diagramm 19 - kaudale Ausdehnung der BSSM in Relation zu den Backenzähnen in AG 2 ...	66

2.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 - Alters- und Geschlechtsverteilung der untersuchten Pferde	25
Tabelle 2 - Alters-, Geschlechts- und Rassenverteilung der untersuchten Pferde	105

3 Einleitung und Fragestellung

3.1 Einleitung

Auch heutzutage spielen Erkrankungen sowohl der Zähne als auch der Nasennebenhöhlen des Pferdes eine große Rolle und stellen für den behandelnden Tierarzt diagnostisch eine große Herausforderung dar. Zum einen, weil die betroffenen Strukturen anatomisch gesehen sehr komplex sind, und zum anderen, weil Erkrankungen der Zähne und der Nasennebenhöhlen häufig miteinander assoziiert sind (Bertone et al., 1993; Arencibia et al., 2000a; Dyce et al., 2002; Freeman, 2003; Henninger et al., 2003; Dixon und Dacre, 2005; Dixon et al., 2011a; Nowak und Schulte-Bahrenberg, 2011; Waguespack und Taintor, 2011; Cissell et al., 2012; Dixon et al., 2012; Baratt, 2013; Brinkschulte et al., 2013; Brinkschulte et al., 2014; Dixon et al., 2015; Hargreaves und Dixon, 2018); denn nicht selten ist eine Wurzelentzündung eines Oberkieferbackenzahnes die Ursache für eine sekundäre Entzündung der Nasennebenhöhlen (Tremaine und Dixon, 2001; Dixon, 2002; Dixon und Dacre, 2005; Dixon et al., 2011a; Brinkschulte et al., 2013; Easley und Freeman, 2013; Bühler et al., 2014; Hartley und Grundon, 2017).

Was zusätzlich zur Komplexität der Nasennebenhöhlen beim Pferd beiträgt ist die Tatsache, dass anatomisch-morphologische Gegebenheiten sowohl zwischen Pferden verschiedener Rassen, als auch innerhalb der gleichen Altersgruppe (Kaminsky et al., 2014), sowie im Rechts-Links-Vergleich der Schädelseiten eines Individuums variieren können (Froydenlund et al., 2015). Außerdem vergrößern sich die Nasennebenhöhlen beim Pferd gleichzeitig mit der altersbedingten Verkürzung der Zähne (Manso-Díaz et al., 2015). Aufgrund dieser hohen intra- und interindividuellen Variabilität ist es schwierig, die Dimensionen der Nasennebenhöhlen bei einem Individuum abzuschätzen (Brinkschulte et al., 2013).

Der behandelnde Tierarzt benötigt demnach ein detailliertes anatomisches Fachwissen über das NNH-System des Pferdes, sowie über die mit diesen assoziierten Backenzähne, um eine adäquate Diagnose stellen und eine entsprechende Behandlung einleiten zu können (Bertone et al., 1993; Nöller et al., 2007; Tatarniuk et al., 2010; Brinkschulte et al., 2013; Brinkschulte et al., 2014), zumal iatrogene Verletzungen wichtiger Strukturen schwere Folgen für den Patienten haben können (Dixon et al., 2008).

Generell kann von einer einheitlichen Beschreibung der anatomischen und morphologischen Gegebenheiten im Pferdeschädel kaum gesprochen werden. Diese Tatsache stellt einen

Hauptansatzpunkt der vorliegenden Arbeit dar. Sie soll erläuternde und ergänzende Daten zu den komplexen anatomischen Strukturen der Oberkieferbackenzähne und Nasennebenhöhlen, bzw. deren klinische Beziehung zueinander liefern. So können die vorliegenden Ergebnisse unter anderem eine Hilfestellung für die Planung und Durchführung operativer Eingriffe am Pferdeschädel darstellen. Auch zur Auswertung und Interpretation von CT-Datenstapeln liefert diese Arbeit Vergleichsdaten, welche die Befundung erleichtern können.

Des Weiteren soll die vorliegende Arbeit Klarheit über einige in der Literatur bislang unterschiedlich benannter, bzw. nicht näher beschriebener anatomischer Strukturen liefern.

3.2 Frage- und Aufgabestellung

In konsekutiver Weise wurden folgende Forschungsfragen /-aufgaben behandelt:

1. Die topographische Relation der Oberkieferbackenzähne zu den Nasennebenhöhlen
 - auf Ebene der einzelnen Reservekronen
 - auf Ebene der einzelnen Backenzahnwurzeln
2. Die Morphologie der Übergänge der Nasennebenhöhlen
3. Klärung nomenklatorischer Widersprüchlichkeiten

4 Literaturübersicht

4.1 Computertomografie

4.1.1 Verwendung der CT in der Tiermedizin

Vor über 35 Jahren wurden in der Humanmedizin erste Untersuchungen zu CT-Protokollen sowie zu anatomischen Studien und Evaluierung von Pathologien vorgenommen (Som, 1985). Kurz darauf folgten die ersten CT-Studien über das Nasenebenhöhlensystem des Menschen und deren Variationen (Diament et al., 1987; Bolger et al., 1991). Erste CT-Studien an Tieren folgten kurz darauf. Es wurde relativ früh eine anatomische CT-Studie am Schädel der Ziege vorgenommen (Arencibia et al., 1997). Auch für den Hund (George und Smallwood, 1992) und für die Katze (Losonsky et al., 1997) wurden anatomisch-morphologische Studien mittels CT bereits in den neunziger Jahren durchgeführt. Wenngleich der Nutzen des CT in der Rindermedizin limitiert ist durch Kosten, sowie Größe und Gewicht der Tiere, so wurden doch auch für diese Spezies CT-Studien angefertigt. Es wurden sowohl Schädel, als auch Wirbel, Gelenke, Thorax und Abdomen mittels CT untersucht (Lee et al., 2009; Guyot et al., 2011). Auch für den Büffel (*Bubalus bubalis*) gibt es mittlerweile eine anatomische Referenzstudie (Alsafy et al., 2013), bei der die CT Anwendung fand. Andere Tierarten sind der Esel (Du Toit et al., 2008; El-Gendy et al., 2014), sowie das Kamel (Blanco et al., 2015).

In der Pferdemedizin hingegen war der Gebrauch des CT noch vor 20 Jahren limitiert aufgrund hoher Kosten, Verfügbarkeit und logistischer Probleme (Arencibia et al., 2000b). Mittlerweile jedoch ist die CT auch in der Pferdemedizin ein fester Bestandteil. So findet die Technik in der Traumatologie beim Pferd als sinnvolles Diagnostikum Anwendung (Lim et al., 2013). Des Weiteren wird die CT bei der Untersuchung der Gliedmaßen und der Lahmheitsdiagnostik (Rasmussen et al., 2018), sowie bei der Untersuchung der Halswirbelsäule eingesetzt (Zafra et al., 2012).

4.1.2 Bildgebung am Pferdekopf

Es entwickeln sich die diagnostischen Möglichkeiten in der Bildgebung (CT, MRT, Endoskopie, nukleare Szintigrafie), die in der Pferdemedizin zur Untersuchung von Erkrankungen des NNH-Systems zur Verfügung stehen, immer weiter, und mittlerweile werden viele moderne

Verfahren, welche in der Humanmedizin schon seit vielen Jahren etabliert sind, auch hier standardmäßig immer mehr eingesetzt. Diese Verfahren ermöglichen eine detaillierte und hochauflösende Darstellung der anatomischen Strukturen des NNH-Systems und der Zähne (Tremaine und Dixon, 2001; Henninger et al., 2003; Solano und Brawer, 2004; Barakzai, 2011; Nowak und Zwick, 2011; Dixon et al., 2012; Parente et al., 2012; Easley und Freeman, 2013; Selberg und Easley, 2013; Barakzai und Dixon, 2014; Dixon et al., 2015; Brinkschulte et al., 2016; Dixon et al., 2017; Hargreaves und Dixon, 2018).

Insbesondere die CT hat sich für die Diagnostik von Erkrankungen und Planungen von operativen Eingriffen am Pferdekopf, unter anderem durch die Möglichkeit der MPR, bzw. einer 3D-Model-Anfertigung durch die CT-Software, als sehr nützlich erwiesen (Wollanke et al., 2006; Kinns und Pease, 2009; Veraa et al., 2009a; Zani et al., 2010; Cissell et al., 2012; Dixon et al., 2012; Fiske-Jackson et al., 2012; Puchalski, 2012; Bühler et al., 2014; Dixon et al., 2015; Schoppe et al., 2017). Die gute Auflösung der CT-Bilder, sowie der sehr gute Kontrast zwischen Weichteilgewebe und knöchernen Strukturen (Arencibia et al., 2000b; Kaminsky et al., 2016) ermöglichen neben der Diagnostik von (dentogenen) Sinusitiden auch die Identifizierung diverser anderer Pathologien im Pferdekopf. Dazu gehören retrobulbäre Abszesse und Frakturen der Orbita (Wollanke et al., 2006), Erkrankungen des Temporomandibulargelenks, des ZNS und endokriner Organe, Pilzinfektionen und Neoplasien der Nasennebenhöhlen, Sinuszysten, Tumoren sowie das PEH (Bertone et al., 1993; Morrow et al., 2000; Freeman, 2003; Veraa et al., 2009a; Fiske-Jackson et al., 2012; Dakin et al., 2014; Dixon, 2014). In einer Studie wird für die CT sogar eine Sensitivität von 100 Prozent für die Diagnose von Erkrankungen des *Sinus sphenopalatinus* angegeben (Tannahill, 2018). Weitere Studien beschreiben die CT als „Goldstandard“ für die diagnostische Beurteilung der Nasennebenhöhlen des Pferdes (Waguespack und Taintor, 2011), bzw. für die Identifizierung periorbitaler Erkrankungen (Manso-Díaz et al., 2015).

Die überlagerungsfreie Darstellung von anatomischen Strukturen im CT hat in den vergangenen Jahren bereits zu einem enormen Wissenszuwachs geführt (Froydenlund et al., 2015; Brinkschulte et al., 2016); unter anderem können auch fragilere Strukturen, wie Foramina und nervenumgebende Knochenkanäle dargestellt und untersucht werden ohne den Schädel eröffnen zu müssen (Gonçalves et al., 2015). Dies ist insbesondere im Vergleich zu Sektionsschnitten, bei denen anatomische Strukturen mitunter auch beschädigt oder aus ihrer Position gebracht werden können, vorteilhaft.

Es sind heutzutage minimalinvasive Optionen zur Drainageverbesserung der Nasennebenhöhlen beim Pferd, wie beispielsweise die chirurgische Erweiterung der *Apertura nasomaxillaris* („standing balloon sinuplasty“), sowie transnasale Trepanation des *Sinus conchae ventralis* mittels Endoskop möglich, deren Entwicklung ohne die CT nur schwer möglich gewesen wäre (Kološ et al., 2017; Bach et al., 2019).

Die CT kommt bei sehr feinen anatomischen Strukturen allerdings auch an ihre Grenzen, sodass beispielsweise sehr dünne Knochenplatten auf CT-Bildern mitunter perforiert erscheinen können (Partialvolumeneffekt). Eine weitere Schwäche der CT-Technik, beispielsweise im Vergleich zum MRT, ist das Unvermögen Strukturen mit ähnlicher Röntgendichte (Attenuierung) unterscheiden zu können (Tucker et al., 2016).

4.1.3 CT-Technik - Entwicklung und Ausblick

Seit Ende der neunziger Jahre gibt es ein neues CT-Verfahren, die „volumetrische-CT“, bzw. „cone-beam computed tomography“ (CBCT). Im Vergleich zur konventionellen CT können die Daten/Bilder mittels CBCT schneller akquiriert werden. Ein weiterer Vorteil ist die Beweglichkeit der Gantry in alle Richtungen. Auch die Strahlenbelastung und der finanzielle Aufwand sind geringer bei der CBCT (Bregger et al., 2019). Nachteile der CBCT sind ihre Anfälligkeit für Bewegungsartefakte, eine erhöhte Streustrahlung, der relativ niedrige Weichteilgewebekontrast und das begrenzte Betrachtungsfeld (Bregger et al., 2019). In der Humanmedizin kommt die CBCT vor allem in Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie sowie in der Zahnmedizin zum Einsatz. Die Bildqualität ist für den Zweck ausreichend gut (Mozzo et al., 1998). Während man für weiterführende Studien im Bereich der Nasennebenhöhlen, z.B. volumetrische Untersuchungen der *Sinus maxillares*, bisher hauptsächlich auf konventionelle CT-Studien gesetzt hat (Ariji et al., 1996; Sahlstrand-Johnson et al., 2011), findet man nun auch jüngere Studien, in denen die neuere CBCT-Technik für solche Untersuchungen beim Menschen eingesetzt wird (Luz et al., 2018).

Eine neuere Studie bei brachycephalen Hunden konnte feststellen, dass die CBCT im Vergleich zur konventionellen Dentalradiologie viele Vorteile, z.B. bei der Identifikation anatomischer Markerpunkte, hat (Döring et al., 2018); auch bei Katzen zeigte sich die CBCT dem Dentalröntgen überlegen (Heney et al., 2019). Beim Kaninchen konnten die Vorteile der CBCT-Technik gegenüber konventionellem CT gezeigt werden (Riggs et al., 2016). Studien am

stehenden sedierten Pferd unter Verwendung der CBCT-Technik werden seit kurzem durchgeführt (Bregger et al., 2019).

4.2 Anatomie der equinen Nasennebenhöhlen - Überblick

Die Nasennebenhöhlen (*Sinūs paranasales*) dehnen sich zwischen den kortikalen *Laminae internae* und *externae* verschiedener Schädelknochen, sowie den *Conchae nasales* aus (König und Liebich, 2005b). Die Nasennebenhöhlen sind komplett mit respiratorischer Schleimhaut ausgekleidet (Bertone et al., 1993; Freeman, 2003; Nickel et al., 2004b; Brinkschulte et al., 2013; Kölle et al., 2014), welche aus nicht mehr als zwei bis vier Schichten Flimmerepithel besteht (Probst et al., 2005; Kaminsky et al., 2016; Schwieder, 2018).

Laut Probst et al. (2005) soll die Dicke der Schleimhaut in der Nasenhöhle bis zu 6mm betragen. In einer weiteren Studie wird beschrieben, dass die Nasenmuscheln von einer verhältnismäßig dicken Schleimhaut überzogen sind, jedoch beachtet werden muss, dass die Dicke der Schleimhaut variiert; die Seite, welche dem Luftstrom zugewandt liegt, soll am prominentesten sein (Nöller et al., 2007). Im Falle sowohl dentogener als auch primärer Sinusitiden kann die Schleimhaut aber noch stärker verdickt und ödematisiert sein (Perkins et al., 2009b; Saunders und Windley, 2011). Eine moderate Verdickung der respiratorischen Schleimhaut liegt bereits ab 5-10mm vor (Henninger et al., 2003; Philipp, 2007); eine Dicke von <15mm ist bei Dixon et al. (2012) beschreiben, eine Dicke von bis zu 30mm bei Henninger et al. (2003).

Generell ist die gesunde Nasenschleimhaut beim Pferd in ihrer Beschaffenheit nur sehr dünn und mit nur wenigen Blutgefäßen versorgt (König und Liebich, 2005a). Dieser Umstand führt dazu, dass Infektionen im Bereich der Nasennebenhöhlen beim Pferd nur schlechte Heilungstendenzen haben, und sich auch die Behandlung als recht kompliziert herausstellen kann, da es nur einen engen, schlitzförmigen Zugang zum System der Nasennebenhöhlen gibt, die *Apertura nasomaxillaris* (König und Liebich, 2005a; Nöller et al., 2007; Tatarniuk et al., 2010; Wissdorf et al., 2010c; Brinkschulte et al., 2013; Staszuk, 2014). Die *Apertura nasomaxillaris* beginnt auf Höhe von Triadan 08 (Nöller et al., 2007). Durch diese Verbindung mit der Nasenhöhle breiten sich Infektionen leicht auf die Schleimhaut der Nasennebenhöhlen aus. Infolge der wegen enger Öffnungen zur Nasenhöhle ungünstigen Abflussverhältnisse

kommt es oft zu einer akuten oder chronischen Entzündung im Bereich der Nasennebenhöhlen (Salomon, 2015a).

Alle Nasennebenhöhlen des Pferdes sind mit dem *Meatus nasi medius* verbunden, mit nur wenigen, individuellen Ausnahmen (Waibl, 2004). Vom *Meatus nasi medius* zweigt die schlitzförmige, zweigeteilte *Apertura nasomaxillaris* ab (König und Liebich, 2005a; Tatarniuk et al., 2010), welche den einzigen Belüftungsweg des NNH-Systems darstellt (Trotter, 1993; Waibl, 2004; Staszuk, 2014).

Das NNH-System des Pferdes kann in ein funktionell getrenntes rostrales und ein kaudales Sinussystem unterteilt werden; der eine Kanal der *Apertura nasomaxillaris* belüftet das rostrale, der andere Kanal das kaudale NNH-System (Kölle et al., 2014). Dem rostralen NNH-System werden der *Sinus maxillaris rostralis*, sowie der medial von ihm gelegene *Sinus conchae ventralis* zugeordnet. Beide *Sinūs* sind über den *Canalis infraorbitalis* hinweg miteinander verbunden (Freeman, 2003; Nöller et al., 2007; Easley und Freeman, 2013). Das kaudale System, welches größer und umfangreicher ist, besteht aus dem *Sinus maxillaris caudalis*, sowie den diesem nachgeschalteten Nasennebenhöhlen, dem *Sinus conchofrontalis*, *Sinus sphenopalatinus* und *Sinus conchae mediae* (Waibl, 2004; Brinkschulte et al., 2013; Brinkschulte et al., 2014; Kölle et al., 2014). Die Verbindung zwischen dem *Sinus maxillaris caudalis* und dem *Sinus sphenopalatinus* nennt sich *Apertura maxillopalatina*, diejenige zum *Sinus conchofrontalis* heißt *Apertura frontomaxillaris* (Waibl, 2004). Anatomisch können die Nasennebenhöhlen von Pferd zu Pferd variieren; auch innerhalb eines Pferdeschädels kann eine Rechts-links-Variabilität in der Morphologie der Nasennebenhöhlen auftreten (Brinkschulte et al., 2013).

4.3 Entwicklung der equinen Nasennebenhöhlen

In der embryonalen Entwicklung bilden sich die Nasennebenhöhlen zwischen der *Lamina interna* und *Lamina externa* diverser Schädelknochen aus (Nickel et al., 2004b; Wissdorf et al., 2010c); dabei sind erste Anteile dieser Strukturen bereits ab 4,5 Monaten fetalen Alters nachzuweisen (Nöller et al., 2007).

Vom mittleren Nasengang, dem *Meatus nasi medius*, ragen zwei Epithelsprosse durch die *Apertura nasomaxillaris* in das noch knorpelige *Os maxillare* vor. Ein Epithelpross ist nach kaudal orientiert, der andere Epithelpross nach rostral; beide Epithelsprosse dehnen sich

stetig weiter aus und das equine Sinussystem wird etabliert (Kölle et al., 2014). Nach der Geburt kommt es zu einer starken Ausweitung der Schleimhautausstülpung in benachbarte Schädelknochen, welche dadurch weiter pneumatisiert werden (Nickel et al., 2004b; Kölle et al., 2014). Aufgrund dieser Entwicklung kommt es dazu, dass alle anderen Nasennebenhöhlen den *Sinūs maxillares* nachgeschaltet sind, und daher ausschließlich über die *Apertura nasomaxillaris* belüftet werden. Jedoch wurden weitere Belüftungs-möglichkeiten der equinen Nasennebenhöhlen über die *Meatūs ethmoidales* diskutiert (McCann et al., 2004; Waibl, 2004; Robinson und Furlow, 2007; O'Leary und Dixon, 2011).

Die Pneumatisierung der Schädelknochen schreitet bis zum Abschluss des Schädelwachstums bis zu einem Alter von 4-6 Jahren fort; die respiratorische Schleimhaut der Nasennebenhöhlen dringt dabei immer weiter in die Knochen vor. Die zunehmende Größe der Nasennebenhöhlen im fortschreitenden Alter entsteht dann nur noch durch die Verkürzung der Reservekronen der Oberkieferbackenzähne (Dyce et al., 2002; Nöller et al., 2007; Dixon und Du Toit, 2011; Nickels, 2012).

Diese Höhlenbildung des Schädels führt zu einer Reduzierung des Schädelgewichtes; es bestehen jedoch weiterhin sowohl genügend große Ansatzflächen für die Kaumuskeln, als auch genügend Raum für die Oberkieferbackenzähne mit ihren Reservekronen (Dixon, 2002; Freeman, 2003; Nickel et al., 2004b; Waibl, 2004; König und Liebich, 2005a; Salomon, 2015a).

4.4 Spezielle Anatomie der equinen Nasennebenhöhlen

4.4.1 *Sinus sphenopalatinus*

Die Gaumenhöhle, der *Sinus palatinus*, ist in der *Lamina perpendicularis* des *Os palatinum* gelegen. Sie wird medial von ihrem jeweiligen Gegenüber durch das Vomer und dorsal durch das *Os ethmoidale* begrenzt. Ventral ist sie durch den Nasopharynx begrenzt, die seitlichen Begrenzungen werden durch die Orbita und das *Foramen maxillare* gebildet (Nickel et al., 2004b; Waibl, 2004; Tucker et al., 2016). Der *Sinus palatinus* öffnet sich auf Höhe kaudal der 11er in den *Sinus maxillaris caudalis* (Tucker et al., 2016).

Nerven und Gefäße, welche zur Nasenhöhle und zum harten Gaumen, oder durch den *Canalis infraorbitalis* zu den Zähnen ziehen, können durch Erkrankungen des *Sinus palatinus* geschädigt werden (Waibl, 2004).

Die Keilbeinhöhle, der *Sinus sphenoidalis*, welche kaudal des *Sinus palatinus* gelegen ist, pneumatisiert das *Os praesphenoidale*, mit zunehmendem Alter auch das *Os basisphenoidale* (Nickel et al., 2004b). Anatomisch hat sie einen engen Kontakt zum *Nervus opticus* sowie zum *Chiasma opticum*, welches direkt dorsal des *Sinus sphenoidalis* gelegen ist (Waibl, 2004; Barnett et al., 2008). Das *Chiasma opticum* wird nur durch das dünne, knöcherne Dach des *Sinus sphenoidalis* vom NNH-System getrennt. Dieser Umstand führt dazu, dass Erkrankungen des *Sinus sphenopalatinus* gelegentlich auch zu Sehstörungen bis zur Erblindung durch Schädigung des *Nervus opticus* (König und Liebich, 2005a), und sogar zu Meningitiden führen können (Wissdorf et al., 2010c). Diese möglichen Komplikationen entstehen dadurch, dass durch eine Entzündung im Bereich dieser Nasennebenhöhle Druck auf den *Canalis opticus* ausgeübt wird (Barnett et al., 2008; Waguespack und Taintor, 2011; Hartley und Grundon, 2017), oder in schweren Fällen die Knochenwände durch die Entzündung durchbrochen werden (McCann et al., 2004; Waibl, 2004; Radcliffe et al., 2016; Tucker et al., 2016). Generell ist der *Sinus sphenoidalis* beim Pferd variabler in Bezug auf seine Größe, Scheidewandposition und Drainageöffnung im Vergleich zum *Sinus palatinus* (Radcliffe et al., 2016).

In den allermeisten Fällen vereinigen sich diese beiden Nasennebenhöhlen beim Pferd zur einheitlichen Gaumenkeilbeinhöhle, dem *Sinus sphenopalatinus*, welcher ventromedial der Orbita gelegen ist. Über die *Apertura maxillopalatina*, welche von dorsomedial durch das Ethmoid begrenzt wird, schließt sich der *Sinus sphenopalatinus* an den *Sinus maxillaris caudalis* an und wird somit indirekt über diesen belüftet (Waibl, 2004; Simon et al., 2009; Taterniuk et al., 2010; Easley und Freeman, 2013; Kölle et al., 2014; Tannahill, 2018).

Auch der kaudale Anteil des *Canalis infraorbitalis* und die Orbita werden als Begrenzungen der Verbindung zwischen *Sinus maxillaris caudalis* und *Sinus sphenopalatinus* genannt (Probst et al., 2005; Nöller et al., 2007; Nowak und Schulte-Bahrenberg, 2011).

Der *Sinus palatinus* und der *Sinus sphenoidalis* können in manchen Fällen getrennt voneinander vorliegen. In diesem Fall wird der *Sinus palatinus* über die *Apertura maxillopalatina* belüftet, wohingegen der *Sinus sphenoidalis* über einen Siebbeingang selbstständig belüftet wird (McCann et al., 2004; Nickel et al., 2004b; Robinson und Furlow, 2007). O'Leary und Dixon (2011) geben an, dass bei den meisten Pferden der *Sinus sphenopalatinus* zwar über den *Sinus maxillaris caudalis* belüftet wird, aber dennoch mit dem „ethmoid sinus“ kommuniziert. Auch ein vollständiges Fehlen des *Sinus sphenoidalis* wurde beschrieben (Waibl, 2004).

Der linke und der rechte *Sinus sphenopalatinus* werden durch das *Septum sinuum sphenoidalium* voneinander getrennt, welches vom Vomer ausgehend nach kaudal zieht (McCann et al., 2004; Nickel et al., 2004b; Waibl, 2004; Wissdorf et al., 2010c; Tucker et al., 2016). In einigen Studien erschien dieses Septum nicht genau in der Medianen ausgerichtet, trennte die rechts- und linksseitigen *Sinūs sphenoidales* aber stets vollständig voneinander (McCann et al., 2004). Gemäß einer anderen Studie war das *Septum sinuum sphenoidalium* nicht immer intakt, bzw. vorhanden (Tucker et al., 2016).

4.4.2 *Sinus conchae mediae*

Die mittlere Nasenmuschel, die *Concha nasalis media*, ist, verglichen mit der dorsalen und ventralen Nasenmuschel, recht klein. Sie enthält den *Sinus conchae mediae*, welcher kaum über den Nasenhöhlengrund hinausragt (Waibl, 2004; Kölle et al., 2014), und sich nur bis auf Höhe des letzten Oberkieferbackenzahnes ausdehnt (Wissdorf et al., 2010c). Laut Bahar et al. (2014) weist der *Sinus conchae mediae*, zumindest beim Fohlen, das kleinste Volumen aller Nasennebenhöhlen auf. Eine weitere Arbeit bezeichnet den *Sinus conchae mediae* beim Pferd als lediglich rudimentär vorhanden (Cehak et al., 2008).

Der *Sinus conchae mediae* ist medial des *Sinus maxillaris caudalis* gelegen, und wird über eine schlitzförmige Öffnung im Nasengrund belüftet (Kölle et al., 2014). Nickel et al. (2004b) beschreibt eine "[...] schlitzförmige Öffnung in der Seitenplatte des Siebbeins", welche den *Sinus conchae mediae* mit der Nasenhöhle verbindet. In anderen Quellen wird berichtet, dass sich der Zugang des *Sinus conchae mediae* an den *Sinus maxillaris caudalis* anschließt (Trotter, 1993; Morrow et al., 2000; Waibl, 2004; Wissdorf et al., 2010c; Brinkschulte et al., 2013; Bahar et al., 2014). Laut Nowak und Schulte-Bahrenberg (2011) hat der *Sinus conchae mediae* mit den anderen vier sog. „kaudalen Nasennebenhöhlen“ einen gemeinsamen Ausgang in die Nasenhöhle; dieser gemeinsame Ausgang wird hier als „kaudale Apertur“ bezeichnet, womit wahrscheinlich der kaudale Gang der *Apertura nasomaxillaris* gemeint ist. Der Zugang zum *Sinus conchae mediae* soll regelmäßig nicht darstellbar sein.

Freeman (2003) beschreibt eine „kleine“ Öffnung im *Sinus maxillaris caudalis*, die medial in den *Sinus conchae mediae* führt.

Es findet sich weder in der Literatur noch in der NAV, ein eigenständiger Name für den Zugang des *Sinus conchae mediae*. In einer Studie wird der Zugang lediglich als „middle conchal opening“ bezeichnet (Morrow et al., 2000), in einer weiteren als „small medial opening into the middle conchal sinus“ (Easley und Freeman, 2013).

Eine Studie, die an Eseln durchgeführt wurde, beschreibt die Verbindung zwischen *Sinus maxillaris caudalis* und *Sinus conchae mediae* als eine ovale Öffnung von 4mm Länge und 2mm Breite (El-Gendy et al., 2014).

Insgesamt ist der *Sinus conchae mediae* klinisch von untergeordneter Bedeutung (Trotter, 1993; Wissdorf et al., 2010c; Waguespack und Taintor, 2011); seine Grundlage, das Endoturbinale II, kann aber in Folge dentogener Sinuserkrankungen auch in Mitleidenschaft gezogen werden (Nowak und Schulte-Bahrenberg, 2011). Im Falle einer Sinusitis des *Sinus maxillaris caudalis* kann diese sekundär auf das Ethmoid, bzw. auf die Siebbeingänge übergreifen und somit auch auf den *Sinus conchae mediae*. Dieser kann anschließend sogar Fisteln in die Nasenhöhle bilden (O'Leary und Dixon, 2011).

4.4.3 *Sinūs maxillares*

Der *Sinus maxillaris* ist beim Pferd in zwei Abteilungen unterteilt. Den rostralen Anteil bildet die kleine Kieferhöhle, der *Sinus maxillaris rostralis*, den kaudalen Anteil die große Kieferhöhle, der *Sinus maxillaris caudalis* (Nickel et al., 2004b; Waibl, 2004; Nöller et al., 2007; Tatarniuk et al., 2010; Wissdorf et al., 2010c; Brinkschulte et al., 2014). Der *Sinus maxillaris caudalis* pneumatisiert den kaudalen Teil der Maxilla, das *Os zygomaticum* und das *Os lacrimale*, wohingegen der *Sinus maxillaris rostralis* nur den rostralen Abschnitt der Maxilla pneumatisiert (Nickel et al., 2004b; König und Liebich, 2005b). Beide Oberkieferhöhlen haben eine enge Beziehung zu den in sie hineinragenden Zahnalveolen der Oberkieferbackenzähne (Dyce et al., 2002; Staszky, 2014).

Die Kieferhöhle formt sich erst nach der Geburt endgültig aus. Sie wird durch folgende Linien begrenzt:

- eine dorsale Linie, welche von der *Incisura nasoincisiva* zum nasalen Augenwinkel gezogen wird,
- eine ventrale Linie, welche durch die *Crista facialis*, bzw. beim alten Pferd durch den *Margo alveolaris*, gezogen wird,

- eine kaudale Linie, welche durch die Senkrechte auf die *Crista facialis* am Übergang in den *Arcus zygomaticus*, die durch Mitte des *Margo supraorbitalis* verläuft, gezogen wird,
- eine rostrale Linie, welche durch die Senkrechte auf der Verlängerung der *Crista facialis* gezogen wird (Wissdorf et al., 2010c).

Des Weiteren verläuft der knöcherne Anteil des *Canalis lacrimalis* am dorsalen Rand der Kieferhöhle (Wissdorf et al., 2010c).

Die Belüftung beider Nasennebenhöhlen erfolgt durch die *Apertura nasomaxillaris* in den *Meatus nasi medius*, bzw. in die Nasenhöhle (Waibl, 2004). Die *Apertura nasomaxillaris* ist zweigeteilt, eine Abflussöffnung führt in den *Sinus maxillaris rostralis*, die zweite in den *Sinus maxillaris caudalis* (Waibl, 2004; Nöller et al., 2007; Tatarniuk et al., 2010; Wissdorf et al., 2010c; Brinkschulte et al., 2014; Kölle et al., 2014).

Über die Position der *Apertura nasomaxillaris* gibt es in der Literatur unterschiedliche Angaben. Nach Wissdorf et al. (2010c) und Probst et al. (2005) liegt sie in etwa auf Höhe des M2, bzw. M3 (Triadan 10 und 11). König und Liebich (2005b), sowie Simon et al. (2009) geben ebenso eine Position auf Höhe des M2 (Triadan 10) an. In einer Studie von Gerlach et al. (2009) wurde die Position der *Apertura nasomaxillaris* auf Höhe von M1 und M2 (Triadan 09 und 10) angegeben. In einer neueren Studie wird diese Position für Pferde unter 15 Jahren bestätigt, für Pferde über 15 Jahre ändert sich die Position auf die Höhe von M2 und M3 (Triadan 10 und 11) (Brinkschulte et al., 2014). In einer weiteren Arbeit von Nöller et al. (2007) wurde die *Apertura nasomaxillaris* auf Höhe des P4 (Triadan 08) lokalisiert. Ein anderer Autor beschreibt eine Position auf der Höhe zwischen P4 und M1 (Triadan 08 und 09). Es wurden dabei keine Links-Rechts-Unterschiede im jeweiligen Pferdeschädel festgestellt; aber eine altersabhängige Positionsveränderung der *Apertura nasomaxillaris* („mesial drift“), die für die hohe Individualität der Position der Öffnung in Relation zu den Oberkieferbackenzähnen verantwortlich sein soll, diskutiert (Tatarniuk et al., 2010).

Beim Esel wurde die *Apertura nasomaxillaris* in einer Studie auf Höhe mittig des M1 (Triadan 09) bis zum rostralen Ende des M3 (Triadan 11) lokalisiert. Dabei erschien sie bis zu 40mm lang, bei einer Breite von 1-2mm (El-Gendy et al., 2014).

4.4.3.1 *Sinus maxillaris rostralis*

Dem *Sinus maxillaris rostralis* ist der *Sinus conchae ventralis* nachgeschaltet; sie sind über den *Canalis infraorbitalis* hinweg über die *Apertura conchomaxillaris* miteinander verbunden (Nickel et al., 2004b; Waibl, 2004; König und Liebich, 2005b; Kölle et al., 2014).

Am Boden des *Sinus maxillaris rostralis* ragen die Wurzeln der Backenzähne P4 (Triadan 08) und M1 (Triadan 09) in ihren Zahnfächern (*Alveoli dentales*) empor (Robinson und Furlow, 2007; Dixon und Du Toit, 2011; Staszuk, 2011; Kölle et al., 2014; Schoppe et al., 2017). Die Alveole des M2 (Triadan 10) liegt gelegentlich sowohl im Bereich der rostralen als auch der kaudalen Abteilung der Kieferhöhle. Nach Perkins et al. (2009a) und Salomon (2015a) haben die Alveolarwände von P4, M1 und M2 (Triadan 08, 09 und 10) Kontakt zum *Sinus maxillaris rostralis*. Andere Autoren sagen aus, dass im überwiegenden Teil der Fälle die Wurzeln des M2 (Triadan 10) ausschließlich in die kaudale Kieferhöhle ragen (Wissdorf et al., 2010c). Laut O'Leary und Dixon (2011) liegt die Wurzel des P4 (Triadan 08), zumindest anteilig, sowie des M1 (Triadan 09) komplett innerhalb des *Sinus maxillaris rostralis*; bei Bertone et al. (1993) ragen die Wurzeln des P3 und P4 (Triadan 07 und 08) in den *Sinus maxillaris rostralis* hinein. Der *Sinus maxillaris rostralis* bildet somit, je nach individuellem Verlauf des *Septum sinuum maxillarium*, welches die kaudale von der rostralen Kieferhöhle trennt, einen Teil der Alveolarwände von P4, bzw. M1 und auch M2 (Triadan 08-10).

4.4.3.2 *Sinus maxillaris caudalis*

Der *Sinus maxillaris caudalis* ist durch eine von ventral emporragende Knochenleiste in zwei Abteilungen untergliedert; in eine größere, ventrolateral gelegene Abteilung und in eine kleinere, dorsomedial gelegene (Waibl, 2004; König und Liebich, 2005b). Diese sagittal gestellte Knochenleiste trägt auf ihrem freien Rand den *Canalis infraorbitalis*, welcher den sensiblen *Nervus infraorbitalis* sowie sein Begleitgefäß, die *Arteria infraorbitalis*, enthält (Nickel et al., 2004b; Nickel et al., 2004a; Waibl et al., 2005). Diese Knochenleiste, die mit den sich verkürzenden Reservekronen der Backenzähne immer länger wird, ist in der NAV (2017) nicht näher benannt.

Der *Nervus infraorbitalis* verlässt den Schädel durch das *Foramen infraorbitale* (Nickel et al., 2004a; Wissdorf et al., 2010b). Im Bereich des *Foramen infraorbitale* geht aus dem *Canalis infraorbitalis* der *Canalis alveolaris* hervor, welcher zu den Eck- und Schneidezähnen zieht

(Nickel et al., 2004b). Die intraossär verlaufenden *Rami alveolares superiores*, welche vom *Nervus infraorbitalis* abgegeben werden, innervieren den Eckzahn und die Schneidezähne (Wissdorf et al., 2010b).

Die Wurzeln der beiden letzten oder auch der letzten drei Backenzähne (Triadan 09, 10 und 11) ragen in ihren Zahnfächern (*Alveoli dentales*) in den *Sinus maxillaris caudalis* hinein (Dyce et al., 2002; König und Liebich, 2005b; Dixon und Du Toit, 2011; Staszky, 2011; Kölle et al., 2014; Salomon, 2015a; Schumacher und Perkins, 2015). Der *Sinus maxillaris caudalis* bildet somit, je nach Verlauf des *Septum sinuum maxillarium*, beim erwachsenen Pferd den lateralen Anteil der Alveolarwände von M1, bzw. M2 und M3 (Dyce et al., 2002; Wissdorf et al., 2010c). Der umfangreiche *Sinus conchofrontalis* ist dem *Sinus maxillaris caudalis* von dorsal nachgeschaltet, beide sind über die weite *Apertura frontomaxillaris* miteinander verbunden (König und Liebich, 2005b). Kaudomedial schließt sich der *Sinus sphenoplatinus* an den *Sinus maxillaris caudalis* über die *Apertura maxillopalatina* an (Nickel et al., 2004b; Waibl, 2004).

4.4.3.3 *Septum sinuum maxillarium*

Das *Septum sinuum maxillarium* ist eine knöcherne Scheidewand, welche den rostralen *Sinus maxillaris* vom kaudalen *Sinus maxillaris* abtrennt (Waibl, 2004; König und Liebich, 2005b; Wissdorf et al., 2010c; Brinkschulte et al., 2014). Nach Nickel et al. (2004b), sowie Simon et al. (2009) liegt das Septums in der Regel 40-60mm kaudal des rostralen Endes der *Crista facialis*. Laut (Freeman, 2003) liegt das *Septum sinuum maxillarium* ca. 50mm vom Ende der *Crista facialis* entfernt.

Der Verlauf des *Septum sinuum maxillarium* unterliegt einer hohen individuellen und altersabhängigen Variabilität (Dixon, 2002; Waibl, 2004; Wissdorf et al., 2010c; Dixon und Du Toit, 2011; O'Leary und Dixon, 2011; Brinkschulte et al., 2013; Brinkschulte et al., 2016), ist aber laut den meisten Autoren in der Regel jederzeit durchgehend intakt, so dass es das rostrale Sinussystem stets vom kaudalen Sinussystem trennt (Trotter, 1993; Nöller et al., 2007; Tatarniuk et al., 2010; Brinkschulte et al., 2013). Bertone et al. (1993), Wissdorf et al. (2010c), sowie Liuti et al. (2017) geben allerdings an, dass das *Septum sinuum maxillarium* beim Pferd auch unvollständig, bzw. perforiert sein kann. Bei Maultieren oder bei Mauleseln ist das *Septum sinuum maxillarium* entweder unvollständig oder es fehlt gänzlich (Bertone et al., 1993; Wissdorf et al., 2010c); auch bei Eseln ist es oft nicht durchgängig intakt (El-Gendy et

al., 2014). Der Verlauf des Septums innerhalb des *Sinus maxillaris* orientiert sich generell von rostralateral nach kaudomedial (Barakzai, 2011).

Auch die Ansatzpunkte des *Septum sinuum maxillarium* sind variabel: diese können auf Höhe des kaudalen Aspekts des P4 (Triadan 08) bis zum kaudalen Aspekt des M1 (Triadan 09) gefunden werden. Diese Variation des Ansatzpunktes bestimmt auch die Position der Zahnwurzeln in die *Sinus maxillares* (Dixon, 2002; Dixon und Du Toit, 2011). Andere Quellen geben die Position des *Septum sinuum maxillarium* auf Höhe von M1 (Triadan 09) bis hin zu M2 (Triadan 10) an (Trotter, 1993; Freeman, 2003; Robinson und Furlow, 2007; Waguespack und Taintor, 2011).

Der dorsale Anteil des Septums ist generell dünner als der ventrale Anteil, der eine dichtere Knochenstruktur aufweist (Trotter, 1993; Freeman, 2003); wobei die Dicke des *Septum sinuum maxillarium* mit 1mm oder dünner angegeben wird (Tatarniuk et al., 2010). Der dorsale Anteil stülpt sich nach kaudal blasenartig in den *Sinus maxillaris caudalis* hinein (Kölle et al., 2014), und stellt somit eine Protrusion des *Sinus conchae ventralis* in den *Sinus maxillaris caudalis* dar (Freeman, 2003; Finnegan et al., 2011; Easley und Freeman, 2013; Brinkschulte et al., 2014). Diese Protrusion des *Septum sinuum maxillarium* stellt nach Finnegan et al. (2011) eine altersunabhängige und im Seitenvergleich beider Schädelhälften anatomisch-morphologisch symmetrische Struktur dar.

Laut Wissdorf et al. (2010c) wird diese blasenartige Protrusion im klinischen Bereich als „Bulla“ bezeichnet, ist aber anatomisch nicht benannt. Oftmals wird bei dieser Struktur von der „ventral conchal bulla“ gesprochen (Trotter, 1993; Tatarniuk et al., 2010; O'Leary und Dixon, 2011). In einigen neueren Veröffentlichungen wird für diese Struktur die Bezeichnung „bulla of the maxillary septum“ (Bach et al., 2019), bzw. als akkuratere Bezeichnung der Terminus „*Bulla septi sinuum maxillarium*“ vorgeschlagen (Brinkschulte et al., 2014; Dixon et al., 2015; Brinkschulte et al., 2016). In der vorliegenden Arbeit wird diese Bezeichnung übernommen.

Da die *Bulla septi sinuum maxillarium* nur sehr dünn ausgebildet ist, kann es leicht bei einer ausgeprägten Sinusitis, bzw. einem Empyem zu einer Einschmelzung dieser Struktur und zu Durchbrüchen von Entzündungen vom kaudalen in das rostrale Sinussystem und vice versa kommen (Tatarniuk et al., 2010; Kölle et al., 2014).

4.4.3.4 Sekundäre Sinusitis beim Pferd

Einseitiger, übelriechender Nasenausfluss gilt als Leitsymptom einer sekundären Kieferhöhlenentzündung (Sinusitis). Die Wurzeln der Backenzähne sind zum Teil nur durch eine dünne Knochenlamelle von der Kieferhöhle getrennt. Dieser Umstand führt dazu, dass Zahnerkrankungen auch auf die Kieferhöhle übergreifen und somit zu sekundärer Sinusitis führen können (Feige et al., 2000; Dyce et al., 2002; Freeman, 2003; Nowak und Schulte-Bahrenberg, 2011; Brinkschulte et al., 2013; Easley und Freeman, 2013), zum anderen können Zahnbehandlungen und Zahnextraktionen auch über die Kieferhöhle vorgenommen werden (König und Liebich, 2005a).

Generell sind Zahnerkrankungen im Großteil der Fälle für eine Sinusitis verantwortlich (Feige et al., 2000); des Weiteren kann eine Entzündung der Kieferhöhle außerdem über die *Apertura nasomaxillaris* in den Sinusgang und somit in die Nasenhöhle gelangen (Wissdorf et al., 2010c). Aufgrund der Kommunikation der Kieferhöhle mit den anderen Nasennebenhöhlen kann es ferner zu Eiterbildung in den nachgeschalteten Nasennebenhöhlen, sowie der dorsalen und ventralen Muschelhöhle kommen (Dixon et al., 2015; Giavitto und Barakzai, 2019). Infektionen der Kieferhöhle können auf den *Canalis infraorbitalis* übergreifen und den *Nervus infraorbitalis* schädigen. Sensibilitätsstörungen im Angesicht und an den Oberkieferzähnen, sowie „headshaking“ können die Folge sein (Henninger et al., 2003; Nöller et al., 2007; Wissdorf et al., 2010c; Wissdorf et al., 2010a; Fiske-Jackson et al., 2012; Easley und Freeman, 2013).

Die meisten Autoren geben an, dass die Zahnwurzeln des M1 (Triadan 09) am häufigsten infiziert sind (Dixon et al., 2000; Tremaine und Dixon, 2001). An zweiter und an dritter Stelle stehen der M2 (Triadan 10) und P4 (Triadan 08) (Henninger et al., 2003; Nöller et al., 2007; Saunders und Windley, 2011).

Zwar gibt es auch andere Angaben - so wird in einer Studie angegeben, dass dentogene Sinusitiden am häufigsten durch Erkrankungen sowohl des P3 und P4 (Triadan 07 und 08), als auch des M1 (Triadan 09) verursacht werden (Feige et al., 2000); eine weitere Arbeit sagt aus, dass sowohl M1 (Triadan 09), als auch P4 (Triadan 08) am häufigsten betroffen sind (Waguespack und Taintor, 2011); eine andere Arbeit spricht von M1 und M2 (Triadan 09 und 10) als die am häufigsten betroffenen Zahnwurzeln (Veraa et al., 2009b). Apikale Infektionen der Zahnwurzeln des P2, P3 und M3 (Triadan 06, 07 und 11) sind unüblich (Bühler et al., 2014).

Im Falle einer Sinusitis oder einer anderen Erkrankung der *Sinūs maxillares*, welche eine Trepanation erforderlich macht, können beide Höhlen gleichzeitig eröffnet werden. Hierzu sucht man die geeignete Stelle für die Trepanation auf, indem eine Verbindungslinie vom medialen Augenwinkel zum rostralen Ende der *Crista facialis* gezogen wird (Nickel et al., 2004b; Simon et al., 2009; Wissdorf et al., 2010c). In der Mitte dieser Verbindungslinie wird die Trepanation vorgenommen. Sollte es notwendig sein, beide Kieferhöhlen zu eröffnen, dies aber nicht über eine Trepanationsstelle gelungen sein, kann das *Septum sinuum maxillarium*, bzw. die Bulla des Septums, durchstoßen werden (Nickel et al., 2004b; Dixon et al., 2008; Perkins et al., 2009a; Perkins et al., 2009b; O'Leary und Dixon, 2011; Kološ et al., 2017). Bei der Trepanation sollte darauf geachtet werden, die oft schon durch die Haut sichtbaren Äste des motorischen *Nervus facialis* zu schonen; eine temporäre oder sogar permanente Lähmung des *Nervus facialis* könnte anderenfalls die Folge sein (Wissdorf et al., 2010c; Salomon, 2015a). Auch Zahnbehandlungen, wie zum Beispiel das Ausstempeln eines der letzten drei Backenzähne, können über Trepanationsöffnungen durchgeführt werden (Wissdorf et al., 2010c; Tremaine und Schumacher, 2011).

4.4.4 *Sinus conchae ventralis*

Die ventrale Nasenmuschel, die *Concha nasalis ventralis*, ist in einen rostralen und einen kaudalen Anteil untergliedert (Wissdorf et al., 2010c; Kölle et al., 2014). Beide Anteile werden durch ein relativ dickes und knöchernes Septum voneinander getrennt (Waibl, 2004; Nöller et al., 2007; Nowak und Schulte-Bahrenberg, 2011; Waguespack und Taintor, 2011), das *Septum conchae ventralis* (NAV, 2017). Der rostrale Anteil weist den typischen Aufbau einer Nasenmuschel auf, mit Untergliederung in *Bullae conchales* mit enthaltenen *Cellulae conchales* (Finnegan et al., 2011; Liuti et al., 2016).

Dieser Anteil steht rostral mit der Nasenhöhle in Verbindung und wird als *Recessus* bezeichnet (Nowak und Schulte-Bahrenberg, 2011; Waguespack und Taintor, 2011; Kölle et al., 2014). Die beschriebenen *Bullae conchales ventrales* (NAV, 2017) stehen in keiner Verbindung mit den Nasennebenhöhlen (Froydenlund et al., 2015).

Der kaudale Anteil der ventralen *Concha nasalis ventralis* beherbergt den *Sinus conchae ventralis*, und dieser ist medial des *Sinus maxillaris rostralis* gelegen. Beide Nasennebenhöhlen stehen dorsal über den *Canalis infraorbitalis* hinweg in einer offenen Verbindung, die durch

die *Apertura conchomaxillaris* gebildet wird (Nickel et al., 2004b; König und Liebich, 2005b; Nöller et al., 2007; Easley und Freeman, 2013; Kölle et al., 2014). Zusammen mit dem *Sinus maxillaris rostralis* bildet der *Sinus conchae ventralis* das rostrale Sinussystem beim Pferd; somit wird der *Sinus conchae ventralis* indirekt über die *Apertura nasomaxillaris* belüftet (Nowak und Schulte-Bahrenberg, 2011; Kölle et al., 2014).

Die *Apertura conchomaxillaris* befindet sich auf Höhe des rostralen Endes des M2 (Triadan 10) bis zur Mitte des M3 (Triadan 11) (Probst et al., 2005). Bei jüngeren Pferden hat die *Apertura conchomaxillaris* nur ein Ausmaß von 1-3mm und ist somit recht schmal. Mit zunehmendem Alter erweitert sie sich deutlich und kann 8-10mm breit werden (Nowak und Schulte-Bahrenberg, 2011; Kölle et al., 2014; Liuti et al., 2017).

Die *Concha nasalis ventralis* zieht relativ weit nach kaudal, sodass sich die palatinalen Wurzeln einiger Oberkieferbackenzähne (Triadan 08-11) in unmittelbarer Nachbarschaft zum *Sinus conchae ventralis* befinden. Über die Verbindung zum *Sinus maxillaris rostralis* haben diese Oberkieferbackenzähne somit eine enge Lagebeziehung zum rostralen Sinussystem (Staszyk, 2014). Beim Esel haben lediglich die letzten 3 Backenzähne (Triadan 09-11) Kontakt zum *Sinus conchae ventralis* (El-Gendy et al., 2014).

Auf die Bulla des *Sinus conchae ventralis* („*bulla septi sinuum maxillarium*“), wurde bereits in Unterabschnitt 4.4.3.3 näher eingegangen.

Nach Bahar et al. (2014) stellen sich die Regionen um den *Sinus conchae ventralis* anatomisch komplett symmetrisch dar; gleichzeitig ermittelte er jedoch, dass bei allen untersuchten Pferdeköpfen der linke *Sinus conchae ventralis* ein größeres Volumen im Vergleich mit dem rechten hatte. Die Topografie des *Sinus conchae ventralis* macht ihn klinisch besonders relevant in Bezug auf sekundäre Sinusitiden (Brinkschulte et al., 2016).

4.4.5 *Sinus conchofrontalis*

Der kaudale Abschnitt der dorsalen Nasenmuschel (*Concha dorsalis*), ist beim Pferd zur sogenannten oberen Muschelhöhle, dem *Sinus conchae dorsalis*, ausgebildet (Waibl, 2004). Dieser bildet einen Anteil der insgesamt zwei Anteile der geräumigen Stirnmuschelhöhle, dem *Sinus conchofrontalis*. Der zweite Anteil wird durch die Stirnhöhle, den *Sinus frontalis*, gebildet, welche das *Os frontale* pneumatisiert (Nickel et al., 2004b). Der *Sinus conchae dorsalis* stellt die rostrodorsale Abteilung des *Sinus conchofrontalis* dar, wohingegen der *Sinus*

frontalis die kaudolaterale Abteilung bildet. Beide Anteile stehen miteinander in weiträumiger Verbindung. Die linke Seite wird von der rechten Seite durch eine von der Medianen mehr oder weniger abweichende Scheidewand, dem *Septum sinuum frontalem*, getrennt (Waibl, 2004; Wissdorf et al., 2010c). Diese knöcherne Scheidewand ist physiologisch stets intakt (O'Leary und Dixon, 2011; Waguespack und Taintor, 2011).

Der *Sinus frontalis* ist durch mehrere querstehende Knochenleisten in eine rostrale, mediale und kaudale Abteilung unterteilt. Er umgibt kaudal die Nasenhöhle, nach dorsal und medial hin die Orbita, sowie auch den rostralen Abschnitt der Schädelhöhle. Gelegentlich können Ausbuchtungen des *Sinus conchofrontalis* bis in das *Os nasale* hineinreichen (Waibl, 2004).

Der rostrale Anteil der *Concha dorsalis* ist typischerweise in *bullae* und *cellulae* unterteilt (Waibl, 2004; Kölle et al., 2014; Liuti et al., 2016). Diese *bullae* der *Concha nasalis dorsalis* stehen in keiner Verbindung mit den Nasennebenhöhlen (Froydenlund et al., 2015). Am Boden des *Sinus conchofrontalis* ragt das Siebbeinlabyrinth (Ethmoid) in die Sinushöhle hinein (Nickel et al., 2004b).

Der *Sinus conchofrontalis* schließt sich von dorsomedial an den *Sinus maxillaris caudalis* an. Der Übergang wird durch die mehrere Zentimeter weite *Apertura frontomaxillaris* gebildet (Freeman, 2003; Nickel et al., 2004b; Tatarniuk et al., 2010; Kölle et al., 2014), welche sich auf Höhe des *Canalis lacrimalis osseus* und des entsprechenden Anteils der medialen Orbitawand befindet. Die Belüftung des *Sinus conchofrontalis* erfolgt somit indirekt über die *Apertura nasomaxillaris* (Wissdorf et al., 2010c).

Der *Sinus conchofrontalis* ist von klinischer Bedeutung: Maxilläre Zysten, welche ihren Ursprung im *Sinus maxillaris caudalis* haben und sich beispielsweise durch versprengte Zahnanlagen entwickeln, können durch die weite *Apertura frontomaxillaris* bis in den *Sinus frontalis* reichen. Diese flüssigkeitsgefüllten Zysten können ein- oder mehrkammerig sein und kommen bei älteren Fohlen oder auch erwachsenen Tieren vor (Boulton, 1985; Freeman, 2003; Tremaine und Freeman, 2007; Wissdorf et al., 2010c; Waguespack und Taintor, 2011; Staszky, 2014). Die *Apertura frontomaxillaris* ist ein wichtiger Orientierungspunkt bei der Sinuskopie über den *Sinus frontalis* (O'Leary und Dixon, 2011).

4.5 Offene Fragen hinsichtlich der equinen Nasennebenhöhlen

Aus klinischer Sicht ist die Frage nach der ausschließlichen Belüftung der equinen Nasennebenhöhlen über die *Apertura nasomaxillaris* oder aber eine weitere Belüftungsmöglichkeit durch die *Meatus ethmoidales* relevant. In der Literatur gibt es unterschiedliche Angaben dazu. Eine Verbindung des *Sinus sphenoidalis* zum Ethmoid, bzw. zu einem Siebbeingang wurde bereits mehrfach beschrieben (McCann et al., 2004; Nickel et al., 2004b; Robinson und Furlow, 2007; O'Leary und Dixon, 2011). Es gibt allerdings unterschiedliche Aussagen sowohl bezüglich der Häufigkeit dieser Belüftung über das Ethmoid als auch bezüglich einer Trennung zwischen *Sinus palatinus* und *Sinus sphenoidalis* beim Pferd. Auch ist der Begriff „ethmoid sinus“, wie er beispielsweise von McCann et al. (2004) und O'Leary und Dixon (2011) verwendet wird, missverständlich; er ist auch nicht in der NAV (2017) zu finden.

Auch über das Vorhandensein und die Beschaffenheit des *Septum sinuum sphenoidalium* gibt es verschiedene, sich zum Teil widersprechende Berichte, wobei die meisten Autoren darin übereinstimmen, dass diese knöcherne Trennung physiologisch beim Pferd immer vorhanden und stets durchgängig intakt ist (McCann et al., 2004; Nickel et al., 2004b; Waibl, 2004; Wissdorf et al., 2010c).

Auch die Nomenklatur der anatomischen Strukturen am Pferdekopf ist zum Teil in der Literatur uneinheitlich. So sind beispielsweise die Übergänge zwischen den einzelnen Nasennebenhöhlen zwar fast alle benannt, allerdings fallen nomenklatorische Unterschiede vor allem beim Vergleich englisch- und deutschsprachiger Literatur auf, die zu Missverständnissen führen können. Hier ist vor allem die *Apertura maxillopalatina* zu nennen, für die sich in vielen Quellen unterschiedliche Bezeichnungen finden. Aber auch für Strukturen wie die dorsale blasenartige Ausdehnung des *Septum sinuum maxillarium* finden sich verschiedene Ausdrücke, beispielsweise „*Bulla septi sinuum maxillarium*“ oder „ventral conchal bulla“. Die Zusammenfassung und Aufarbeitung dieser nomenklatorischen Unterschiede sind in Abschnitt 8.2.6 angegeben.

4.6 Die topografische Relation der Nasennebenhöhlen zu den Zähnen des Pferdes

Aufgrund der anatomischen Gegebenheiten am Pferdeschädel besitzen ausschließlich die Oberkieferbackenzähne eine direkte Lagebeziehung zu den Nasennebenhöhlen. Daher werden in der vorliegenden Arbeit ausschließlich die Oberkieferbackenzähne näher beschrieben.

4.6.1 Die prämolaren und die molaren Backenzähne

Die vorderen Backenzähne, oder Prämolaren (P2-P4), haben sich in ihrer Form und Gestalt den Molaren angeglichen. Man kann somit die Prämolaren und die molaren Backenzähne (M1-M3) gemeinsam betrachten (Dyce et al., 2002; Dixon und Dacre, 2005; Staszuk, 2011; Kölle et al., 2014). Hinsichtlich ihrer Entwicklung sollte allerdings erwähnt werden, dass, im Gegensatz zu den Molaren, die Prämolaren Milchzahnvorläufer besitzen. Die Molaren sind Zuwachszähne ohne Milchzahnvorläufer (Wissdorf et al., 2010a; Staszuk, 2011; Kölle et al., 2014). Die dezidualen Prämolaren brechen pränatal oder in den ersten zwei Lebenswochen durch. Der Wechsel des P2 und P3 erfolgt im Alter von zweieinhalb Jahren, der Wechsel von P4 mit dreieinhalb Jahren. Der M1 bricht zwischen dem sechsten und neunten Lebensmonat durch, selten erst mit 14 Monaten. Der M2 erscheint mit ca. zwei bis zweieinhalb Jahren, der M3 mit dreieinhalb bis viereinhalb Jahren (Thomé, 2004).

Die equinen Backenzähne weisen im Wesentlichen die Form vierkantiger, bzw. hochprismatischer Säulen auf (Thomé, 2004), nur der P2 sowie der M3 zeigen geringgradige Abweichungen hiervon (Dixon und Du Toit, 2011; Kölle et al., 2014). Ihre Höhe beträgt im Schnitt ca. 80-105mm, wobei ihr kronenseitiges Ende die Alveole um ca. 15-20mm überragt (Thomé, 2004).

Die intraalveolären Anteile der Oberkieferbackenzähne stehen nicht gerade im Kiefer, sondern weisen eine gewisse Neigung auf. Sowohl der P2 als auch der P3 und P4 weisen eine rostrale Neigung auf, wohingegen M1 senkrecht steht. M2 und M3 sind nach kaudal geneigt, wobei dies bei M3 deutlicher ausgeprägt ist (Thomé, 2004; Dixon und Du Toit, 2011; Staszuk, 2011).

Die maxillären Backenzähne weisen einen fast quadratischen Querschnitt auf und sind um etwa ein Drittel breiter als die mandibulären Backenzähne, welche einen rechteckigen

Querschnitt besitzen (Dixon, 2002; Thomé, 2004; Dixon und Du Toit, 2011; Staszuk, 2011; Kölle et al., 2014).

Die *Infundibula* der Backenzähne senken sich bis zum Boden des Zahnkörpers ab und sind komplett mit infundibulärem Zement ausgefüllt – im Gegensatz zu den *Infundibula* der *Incisivi* (Staszuk, 2011; Kölle et al., 2014). Es kommt hier allerdings öfter zu unvollständigen Zementfüllungen; es liegen dann hypozementäre *Infundibula* vor, auch „central infundibular cemental hypoplasia“ genannt (Dixon und Du Toit, 2011; Staszuk, 2011; Kölle et al., 2014), welche sich als hypodense Areale im CT darstellen. Die Pulpapositionen werden auf den Kauflächen durch dunkle Sekundärdentinareale markiert. Die Backenzähne P3 bis M2 weisen jeweils fünf Pulpapositionen auf, der P2 sowie der mandibuläre M3 besitzen einen zusätzlichen sechsten Pulpaast. Der maxilläre M3 besitzt zwei zusätzliche Pulpaäste (Wissdorf et al., 2010a; Dixon und Du Toit, 2011; Staszuk, 2011; Kölle et al., 2014).

4.6.2 Die Zahnwurzeln

Die Zahnwurzeln entwickeln sich ungefähr zwei Jahre nach dem Durchbruch der Zähne in die Maulhöhle (Dixon und Du Toit, 2011). An anderer Stelle wird die Bildung von Zahnwurzeln ab einem Zeitpunkt von sechs Jahren nach Durchbruch in die Maulhöhle berichtet (Staszuk, 2011).

Die Oberkieferbackenzähne besitzen drei Wurzeln, eine bukkomesiale und eine bukkodistale Wurzel, sowie eine palatinale Wurzel (Dixon, 2002; Wissdorf et al., 2010a; Dixon und Du Toit, 2011; Staszuk, 2011). Nach Abschluss des Wachstums sind sie kurz und haben eine ‚stummelige‘ Form (Thomé, 2004). Im Gegensatz zu den anderen Backenzähnen weist der gelegentlich auftretende P1 („Wolfszahn“) in der Regel nur eine Zahnwurzel auf (Wissdorf et al., 2010a).

Sowohl die bukkomesiale als auch die bukkodistale Wurzel besitzen jeweils einen Wurzelkanal, wohingegen die palatinale Wurzel zwei Wurzelkanäle besitzt (Kopke et al., 2012).

4.7 Offene Fragen bezüglich des Kontakts zwischen Zahnwurzeln und dem NNH-System

Der Kontakt diverser Zahnwurzelanteile zu den Nasennebenhöhlen des Pferdes ist aus diagnostischer und therapeutischer Sicht von Bedeutung und wurde in zahlreichen Publikationen zwar thematisiert, allerdings kamen die Autoren dabei teilweise zu unterschiedlichen Ergebnissen (siehe Abschnitt 4.4.3.4).

Einige Autoren beschreiben, dass bei jungen Pferden die letzten vier Backenzähne und bei alten Pferden lediglich die letzten drei Backenzähne Kontakt zum NNH-System hatten (Dyce et al., 2002). Andere Autoren beschreiben, dass altersunabhängig lediglich die letzten drei Backenzähne Kontakt zum NNH-System hatten; wieder andere Autoren konnten feststellen, dass auch alte Pferde mit ihren letzten vier Backenzähnen Kontakt zum NNH-System haben können (Brinkschulte et al., 2013; Hartley und Grundon, 2017).

Dixon und Dacre (2005) haben in vielen Fällen Infektionen des P4 und M1 mit sekundärer Infektion des *Sinus maxillaris rostralis* in Verbindung gebracht. In einer neueren Studie von Hargreaves und Dixon (2018) wurde allerdings festgestellt, dass die Wurzeln der Prämolaren (P2-P4) in den meisten Fällen lediglich mit den Nasengängen in Verbindung stehen und nicht mit den Nasennebenhöhlen. Es sei laut der Autoren aus diesem Grund unwahrscheinlich, dass sie an der Entstehung von dentogener Sinusitis beteiligt sind. Aufgrund dieser unterschiedlichen Ergebnisse ist somit u.a. die topographische Rolle des P4 (Triadan 08) in Relation zu den Nasennebenhöhlen beim Pferd interessant und soll in dieser Arbeit weiter untersucht werden.

Auch im Hinblick auf den Kontakt einzelner Zahnwurzelanteile zum NNH-System beim Pferd gibt es in der Literatur unterschiedliche Beschreibungen. Nach Brinkschulte et al. (2013) hat die palatinale Wurzel der Backenzähne P4 bis M3 bei allen untersuchten Pferden Kontakt zum *Sinus conchae ventralis* und zusätzlich entweder zum *Sinus maxillaris caudalis* oder zum *Sinus maxillaris rostralis*, die bukkalen Wurzelanteile entweder zum *Sinus maxillaris caudalis* oder dem *Sinus maxillaris rostralis*. Andere Autoren beschreiben lediglich einen Kontakt zwischen den Alveolen und den Kieferhöhlen und nicht zum *Sinus conchae ventralis* (Dyce et al., 2002). Generell scheint der Kontakt der Zahnwurzelanteile der letzten vier Oberkieferbackenzähne mit dem NNH-System sehr variabel zu sein (Brinkschulte et al., 2016).

5 Material und Methode

5.1 Probanden

Insgesamt standen 47 Pferdeschädel für die Untersuchung zur Verfügung. Die Tiere stammten aus dem Patientengut der Pferdekliniken der University of Veterinary and Pharmaceutical Sciences, Brno, Tschechien, sowie der Tierärztliche Hochschule Hannover, Deutschland. Insgesamt wurden 27 männliche und 20 weibliche Tiere untersucht. Das Alter der Pferde betrug zwischen zwei und 28 Jahre (siehe Tabelle 1, Seite 25).

Das Patientengut setzte sich aus zehn Vollblütern, 25 Warmblütern, sechs Kaltblütern, fünf Ponys und einem Wildpferd zusammen (siehe Tabelle 2, Seite 105). Falls an den zu untersuchenden Strukturen in einer Pferdekopfhälfte pathologische Veränderungen entdeckt worden waren, so wurde diese Struktur bei den Ergebnissen nicht berücksichtigt.

5.2 CT-Scans

Von den 47 zur Verfügung stehenden Pferden wurden zehn Pferde lebend in Allgemeinanästhesie im CT gescannt, die anderen 37 Pferdeköpfe wurden *post mortem* vom Kadaver getrennt und anschließend im CT gescannt.

Im Anschluss an die CT-Scans wurde überprüft, ob bereits alle Milchzähne gewechselt und alle permanenten Zähne eruptiert waren. Dabei zeigte sich, dass alle Pferde >6 Jahre über ein vollständig entwickeltes Gebiss verfügten. Entsprechend diesem Kriterium wurden die Tiere einer von zwei Gruppen zugeordnet (siehe Tabelle 1, Seite 25):

- Altersgruppe 1 (AG 1): elf Pferde im Alter von 0 bis 6 Jahren mit noch nicht vollständig entwickeltem permanentem Gebiss
- Altersgruppe 2 (AG 2): 36 Pferde im Alter von über 6 Jahren mit vollständig entwickeltem permanentem Gebiss

Als CT-Scanner wurden ein 16-multislice, GE LightSpeed (Milwaukee, Wisconsin, USA), sowie ein 16-multislice Brilliance™ BigBore Onkologie-CT, Philips Medical Systems (Best, The Netherlands) verwendet. Alle Schädel wurden mit folgendem Scanprotokoll untersucht:

- Schichtdicke: 1,25-1,5mm
- Röhrenspannung: 120-140 kV
- Röhrenstrom: 500 mAs, bzw. „Auto-mAs“
- Pitchfaktor: 1,375
- Kernel: Knochenfenster (WW: +2800-3000 HU; WL: +300-500 HU)
- Matrix: 1024 x1024

Für die Evaluierung der CT-Daten (DICOM-Format) wurde die Software TomoCon® (TatraMed spol. s.r.o., Bratislava, Slowakei) verwendet.

Tabelle 1 - Alters- und Geschlechtsverteilung der untersuchten Pferde

Altersgruppe	Männlich	Weiblich	Anzahl
≤ 6 Jahre	5	6	11
> 6 Jahre	22	14	36
insgesamt	27	20	47

5.3 Anpassung der einzelnen Schnittebenen anhand von anatomischen Markerpunkten am Pferdekopf

In allen drei Schnittebenen (transversal, horizontal und median/sagittal) wurden anatomische Markerpunkte ausgewählt, um die Ansicht der gescannten Pferdeköpfe im CT-Programm zu vereinheitlichen und um lagerungsbedingte Ungenauigkeiten zu kompensieren. In der transversalen sowie der horizontalen Ansicht wurde die Schnittachse an den *Cristae faciales* ausgerichtet, die transversale Ebene orientierte sich am *Septum nasi* (siehe Abbildung 1, Seite 26). In der medianen Ansicht wurde die Schnittachse an den Nasengrund angepasst, die transversale Schnittachse anschließend orthogonal dazu ausgerichtet (siehe Abbildung 2, Seite 26). Zur vereinfachten Darstellung wurden den drei definierten Betrachtungsebenen verschiedene Farben zugeordnet und die Abbildungen mit der jeweiligen Farbe gerahmt:

- Horizontale Betrachtungsebene: grüner Rahmen
- Transversale Betrachtungsebene: oranger Rahmen
- Mediane/sagittale Betrachtungsebene: hellblauer Rahmen

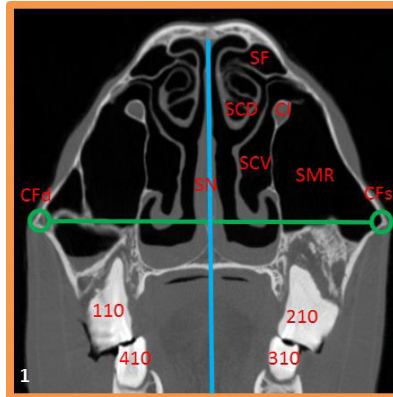


Abbildung 1

Transversales CT-Schnittbild durch den Kopf einer 28-jährigen Stute auf Höhe von M2 (Triadan 10). Die horizontale Schnittachse (grüne Linie) wurde durch beide *Cristae faciales* (*Crista facialis dextra* (CFd) und *Crista facialis sinistra* (CFs)) gelegt, die mediane Schnittachse (hellblaue Linie) wurde am *Septum nasi* (SN) ausgerichtet.

SCD: *Sinus conchae dorsalis*; CI: *Canalis infraorbitalis*; SF: *Sinus Frontalis*; SCV: *Sinus conchae ventralis*; SMR: *Sinus maxillaris rostralis*

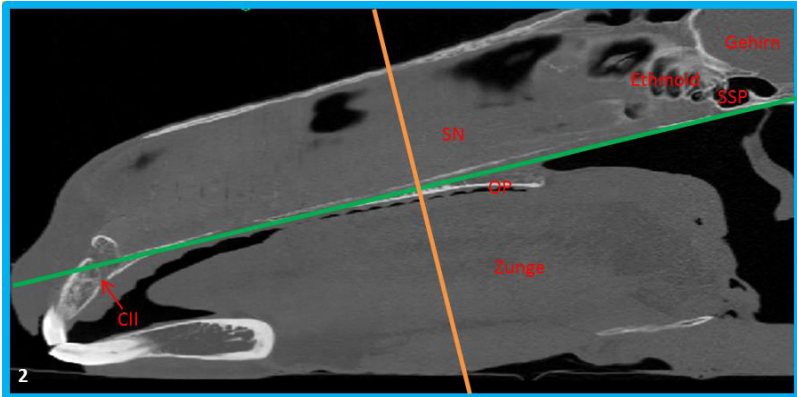


Abbildung 2

Sagittales CT-Schnittbild durch den Kopf einer 28-jährigen Stute. Die horizontale Schnittachse (grüne Linie) wurde durch den Nasengrund bzw. das *Os palatinum* (OP) gelegt. Die transversale Schnittachse (orange Linie) wurde anschließend orthogonal dazu ausgerichtet.

SN: *Septum nasi*; CII: *Canalis interincisivus*; SSP: *Sinus sphenopalatinus*

5.4 Qualitative und quantitative Evaluationen

Die gesammelten CT-Datenstapel wurden mit Hilfe der CT-Software (TomoCon®) in einer Weise extrapoliert, dass die Auswertung und Beantwortung der Fragestellungen erleichtert wurde. Durch die Nutzung diverser Software-Werkzeuge, wie z.B. HU-Filtereinstellungen und „spot-density“-Messungen konnte die Darstellbarkeit anatomischer Strukturen verbessert und vereinfacht werden. Die Erhebung quantitativer Daten (z.B. Abstandsmessungen) wurde mit einem Messwerkzeug der TomoCon®-Software vorgenommen. Dafür wurden die einzelnen Schnittebenen der CT-Software derart ausgerichtet, dass eine durch zwei oder mehrere anatomische Markerpunkte definierte Strecke abgebildet wurde.

Für qualitative Beurteilungen (z.B. Vorhandensein/Nicht-Vorhandensein von Verbindungen zwischen unterschiedlichen *Sinūs*) wurden alle Schnittebenen des CT-Programms genutzt, sowie die oben beschriebenen Hilfsmittel zur besseren Darstellung verwendet.

5.5 Datenverarbeitung

Die CT-Darstellungen in dieser Arbeit sind Screenshots aus der TomoCon®-Bildbetrachtung. Für die weitere Bearbeitung, Beschriftung und Formatierung wurden Excel® und Powerpoint® (Office 2010, Microsoft Corporation, Redmond, Washington, USA) verwendet. Die bildlichen Darstellungen (Diagramme und Grafen) in dieser Arbeit wurden ebenfalls mit Excel® erstellt und anschließend in Powerpoint® bearbeitet und formatiert.

Die erhobenen Daten wurden in eine Excel®-Tabelle eingegeben. Die quantitativen Messergebnisse wurden auf volle Millimeter gerundet angegeben; die qualitativen Daten (Geschlecht, Schädelseite etc.) der Pferdeköpfe wurden kodiert als Zahl angegeben.

Die Benennung der Zähne erfolgte gemäß des modifizierten Nummerierungssystems nach Floyd (1991).

5.6 Statistische Datenanalyse

Im Anschluss an die Datenerhebung wurde mit Hilfe des Statistikprogram-Paketes „BMDP statistical software“ (Dixon, 1992) eine statistische Datenanalyse durchgeführt. Die statistische Datenanalyse wurde in Zusammenarbeit mit der Arbeitsgruppe „Biomathematik und Datenverarbeitung“ des Fachbereichs Veterinärmedizin der Justus-Liebig-Universität Gießen unter Leitung von Dr. K. Failing durchgeführt. Mit Hilfe der Statistik-Software wurden folgende Analysen zur Beantwortung der Fragestellungen erstellt:

- Berechnung von Mittelwert und Standardabweichung, Median und Quartilen sowie Angabe von Minimum und Maximum für die quantitativen Messgrößen (Programm BMDP2D)
- Ein- und mehrdimensionale Häufigkeitsauszählungen für die qualitativen Merkmale (Programm BMDP4F)
- Auszählung der qualitativen Merkmale gegen Alter (Bildung von Altersgruppen) und Geschlecht inklusive Prüfung des statistischen Zusammenhangs mithilfe des „Chi-Quadrat-Tests“ (Programm BMDP4F)
- Regressionsanalyse mit Angabe eines Korrelationskoeffizienten und Berechnung der Regressionsgeraden zur Darstellung einer möglichen Altersabhängigkeit für die metrischen Variablen (Programm BMDP6D)

- Zweifaktorielle Kovarianzanalyse mit Messwiederholungen bezüglich der Körperseite zur simultanen Prüfung der Einflussfaktoren Geschlecht, Seite und Alter (als Kovariable) für die metrischen Variablen (Programme BMDP2V und BMDP5V (bei Vorkommen von fehlenden Werten))
- Zweifaktorielle logistische Regression zur simultanen Überprüfung des Einflusses von Alter und Geschlecht auf die Ausprägung der dichotomen Variablen der Nasennebenhöhlen-Charakterisierung (Programm BMDPLR)

6 Datenerhebung

6.1 *Sinus sphenopalatinus*

In Bezug auf den *Sinus sphenopalatinus* (SSP) wurden folgende Daten erhoben:

- Untersuchung, ob der *Sinus palatinus* (SP) mit dem *Sinus sphenoidal* (SS) zu einem einheitlichen SSP verbunden war, oder ob beide *Sinūs*, durch im CT sichtbare knöcherne Lamellen, getrennt voneinander und mit jeweils eigenständiger Belüftung vorlagen (siehe Abbildung 3, Seite 31).
- Vermessung der Knochendicke des *Os praesphenoidale* (PS). Dies wurde auf der Position zwischen SS und *Chiasma opticum* (CO) in der transversalen Betrachtungsebene vorgenommen. Aufgrund der optischen Auflösung der Schnittbilder im CT-Programm waren Angaben im Submillimeterbereich unzureichend, daher wurde angegeben, ob das PS $\leq 1\text{mm}$ oder $> 1\text{mm}$ dick war.
- Vermessung von Höhe und Breite des SSP ventral des CO. Hierfür wurden die jeweils höchste Höhe, sowie die breiteste Breite eines Pferdeschädels angegeben. Die Höhen- und Breitenvermessung des SSP wurde in der transversalen Betrachtungsebene vorgenommen. In der Breite wurden die *Sinūs* beider Kopfseiten als eine Strecke vermessen (siehe Abbildung 4, Seite 31).
- Beurteilung des *Septum sinuum sphenoidalium* (SSS). Das SSS, welches den linken und rechten SSP voneinander trennt, wurde in der transversalen und horizontalen Betrachtungsebene untersucht. Sowohl die Morphologie als auch die stete Kontinuität des SSS wurden beurteilt (siehe Abbildung 5, Seite 32).

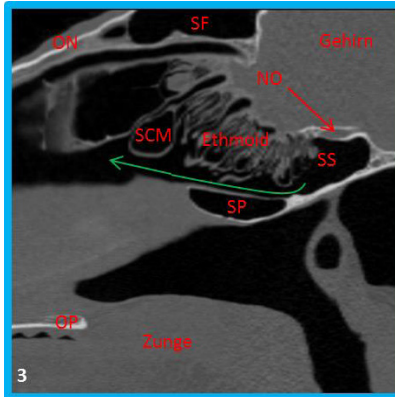


Abbildung 3

Sagittales CT-Schnittbild durch den Kopf einer 28-jährigen Stute. Der *Sinus sphenoidalis* (SS) erscheint vom *Sinus palatinus* (SP) getrennt. Der eigenständige Belüftungsweg des SS zur Nasenhöhle ist in dieser Ansicht gut darstellbar (grüner Pfeil).

OP: *Os palatinum*; SP: *Sinus palatinus*; SS: *Sinus sphenoidalis*; SCM: *Sinus conchae mediae*; ON: *Os nasale*; SF: *Sinus frontalis*; NO: *Nervus opticus*

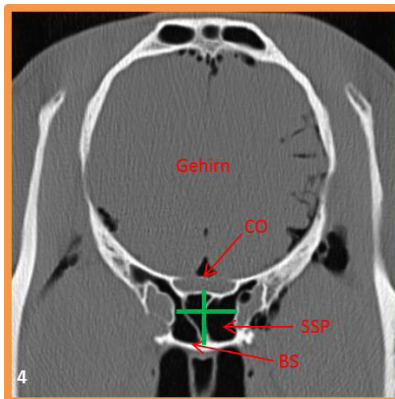


Abbildung 4

Transversales CT-Schnittbild durch den Kopf eines achtjährigen Wallachs. Die Höhe, sowie die Breite des *Sinus sphenopalatinus* (SSP) wurden an seiner größten Ausdehnung ventral des

Chiasma opticum (CO) vermessen (grüne Linien). Die Breitenvermessung erfolgt über beide *Sinūs* hinweg.

BS: *Os basisphoidale*

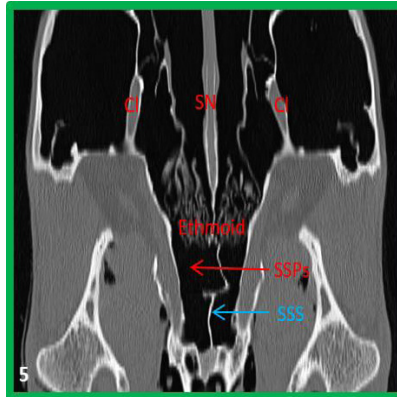


Abbildung 5

Horizontales CT-Schnittbild durch den Kopf eines 25-jährigen Wallachs. Das *Septum sinuum sphenoidalium* (SSS) ist markiert (hellblau). Es ist durchgehend darstellbar und trennt somit den *Sinus sphenopalatinus sinister* (SSPs) vollständig vom *Sinus sphenopalatinus dexter*.

CI: *Canalis infraorbitalis*; SN: *Septum nasi*

6.2 *Apertura maxillopalatina*

Die *Apertura maxillopalatina* (AMP) wurde hinsichtlich ihrer morphologischen Eigenschaften, ihrer Ausdehnung sowie auf ihre Beziehung zu angrenzenden Strukturen hin untersucht; dabei wurden folgende Daten erhoben:

- In der transversalen Betrachtungsebene erfolgte eine Längenvermessung an der Stelle, an der sich der *Nervus nasalis caudalis* (NNC) vom *Nervus pterygoplatinus* (NPP) löst und durch das *Foramen sphenopalatinum* in die Nasenhöhle eintritt; diese wurde zwischen dem lateroventralen Aspekt des ventralen Siebbeinganges und dem Ursprung des NNC vorgenommen (siehe Abbildung 6c, Seite 34). Lateral hiervon erfolgte eine weitere Abstandsmessung zwischen dem Nerven und der lateralen

Einziehung des ventralen Siebbeinganges. Beide Messungen dienten der Ermittlung des engsten und weitesten Abstandes zwischen dem ventralen Siebbeingang und dem NNC im Bereich der AMP (siehe Abbildung 6c, Seite 34).

- Die Morphologie der AMP wurde beurteilt. Dafür wurden die Schnittebenen im CT-Programm so eingestellt, dass sich die AMP als vollständig geschlossene Röhre darstellte (siehe Abbildung 7, Seite 35). Die Beurteilung der Form der AMP wurde an ihrer engsten Stelle vorgenommen. Zur Beschreibung der Form wurde eine Einteilung in „länglich“, „oval“, „rundlich“ und „polymorph“ gewählt (siehe Abbildung 7, Seite 35).

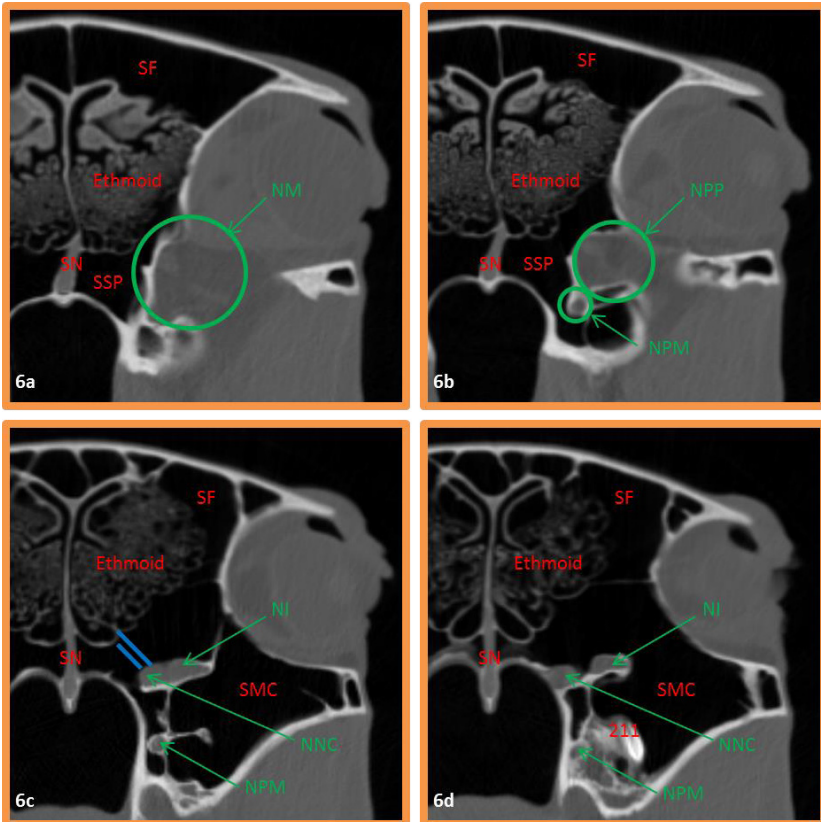


Abbildung 6a-d

Transversale CT-Schnittbilder durch den Kopf eines neunjährigen Wallachs. Das am weitesten kaudal gelegene Schnittbild (Abbildung 6a) kann lediglich den Bereich der *Fossa pterygopalatina* (Kreis) mit dem *Nervus maxillaris* (NM; Pfeil) darstellen; die kaudale Begrenzung des *Sinus maxillaris caudalis* (SMC) wird sichtbar.

Etwas weiter rostral ist bereits der Ursprung des *Nervus palatinus major* (NPP) und damit seine Trennung vom *Nervus pterygopalatinus* (NPP) gut darstellbar (Abbildung 6b).

Auf Höhe der Trennung des Nervenplexus des NPP in den *Nervus infraorbitalis* (NI) und *Nervus nasalis caudalis* (NNC) in der *Fossa pterygoplatina* wurden die Abstandsmessungen zwischen Ethmoid und NNC vorgenommen (blaue Linien). Der NPM ist auf dieser Höhe bereits nach ventral gezogen (Abbildung 6c).

Auf Höhe des M3 (Triadan 11) ist die nun vollständige Auftrennung des NI und NNC zu sehen. Der Kanal des NPM befindet sich nun zwischen der Zahnalveole und dem Kieferknochen (Abbildung 6d).

SF: *Sinus frontalis*; SN: *Septum nasi*; SSP: *Sinus sphenopalatinus*

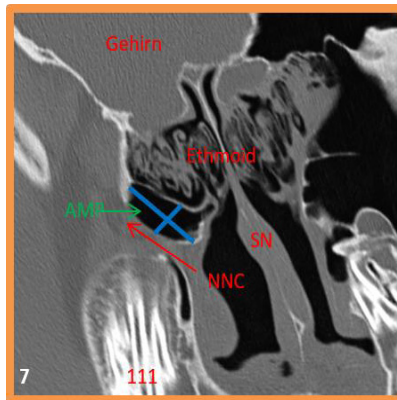


Abbildung 7

Modifiziertes, transversales CT-Schnittbild durch den Kopf einer dreijährigen Stute. Es zeigt die Stelle, an der die *Apertura maxillopalatina* (AMP) in Länge und Breite vermessen wurde (blaue Linien). In diesem Fall erscheint die rechte AMP im Querschnitt oval.

SN: *Septum nasi*; NNC: *Nervus nasalis caudalis*

6.3 *Sinus conchae mediae*

Der *Sinus conchae mediae* (SCM) wurde in allen drei Schnittebenen des CT-Programms hinsichtlich folgender Aspekte untersucht:

- Bewertung der Symmetrie beider *Sinūs* im Rechts-links-Vergleich eines Pferdeschädels.
- Untersuchung, ob im CT eine eindeutige Verbindung zwischen dem SCM und dem *Sinus maxillaris caudalis* (SMC) darstellbar war (siehe Abbildung 8, Seite 36, sowie Abbildung 9, Seite 37).

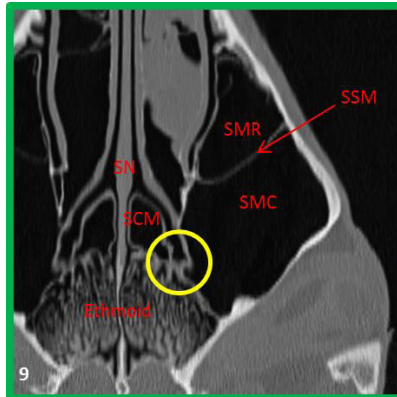


Abbildung 9

Horizontales CT-Schnittbild durch den Kopf einer dreijährigen Stute. Eine Belüftung des *Sinus conchae mediae* (SCM) über den *Sinus maxillaris caudalis* (SMC) ist beidseits nicht darstellbar (Bereich gelber Kreis). In diesem Fall wird von einer Belüftung über die Siebbeingänge ausgegangen.

SN: *Septum nasi*; SMR: *Sinus maxillaris rostralis*; SSM: *Septum sinuum maxillarium*

6.4 *Septum sinuum maxillarium*

Das *Septum sinuum maxillarium* (SSM) wurde hinsichtlich folgender Aspekte untersucht:

- Die Dicke des SSM wurde in der horizontalen Schnittebene des CT-Programms vermessen; die Messung wurde stets in der ventralen Hälfte des SSM durchgeführt. Aufgrund der optischen Auflösung im CT-Programm waren Angaben im Submillimeterbereich unzureichend, daher wurden die Ergebnisse der Messungen in drei verschiedenen Kategorien ($\leq 1\text{mm}$, $> 1\text{-}2\text{mm}$ und $> 2\text{mm}$) angegeben.
- Die Kontinuität des SSM wurde beurteilt und somit überprüft, ob das Septum die rostrale Abteilung der Kieferhöhle von der kaudalen Abteilung vollständig trennt (siehe Abbildung 10, Seite 38).
- Die Rechts-Links-Symmetrie beider Septen eines Pferdeschädels wurde betrachtet. Dies erfolgte in allen drei Schnittebenen des CT-Programms.
- Sowohl die Ausdehnung, als auch der Verlauf des Septums, bzw. der *Bulla septi sinuum maxillarium* (BSSM) wurde erfasst (siehe Abbildung 11, Seite 39). Um die Ausdehnung

des Septums zu bewerten wurden in der horizontalen Betrachtungsebene der kaudale und der rostrale Anheftungspunkt angegeben. Als Referenzpunkte dabei dienten die Vereinigung des Septums mit dem knöchernen Steg, der den *Canalis infraorbitalis* (CI) trägt (*Ponticulus canalis infraorbitalis* (PCI)), bzw. der *Processus alveolaris* der Oberkieferbackenzähne; zusätzlich der Kontaktpunkt des Septums an der Maxilla. Die kaudale Ausdehnung der BSSM wurde in der sagittalen sowie der horizontalen Betrachtungsebene ausgewertet. Die Oberkieferbackenzähne dienten für diese Untersuchung als Orientierungspunkte (siehe Abbildung 12, Seite 40).

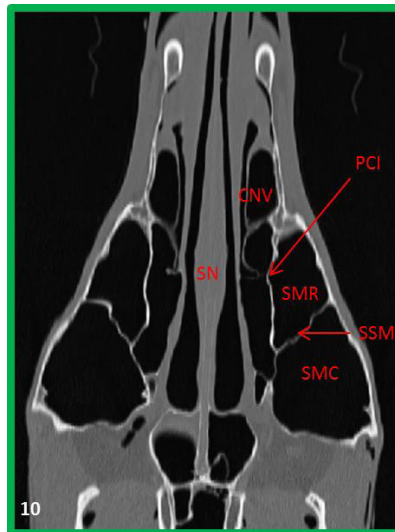


Abbildung 10

Horizontales CT-Schnittbild durch den Kopf einer 24-jährigen Stute. Der Verlauf des *Septum sinuum maxillarium* (SSM) zwischen *Ponticulus canalis infraorbitalis* (PCI) und der Maxilla wird dargestellt. Hierbei handelt es sich beidseits um einen von kaudomedial nach rostralateral ziehenden Verlauf.

SN: *Septum nasi*; CNV: *Concha nasalis ventralis*; SMR: *Sinus maxillaris rostralis*; SMC: *Sinus maxillaris caudalis*

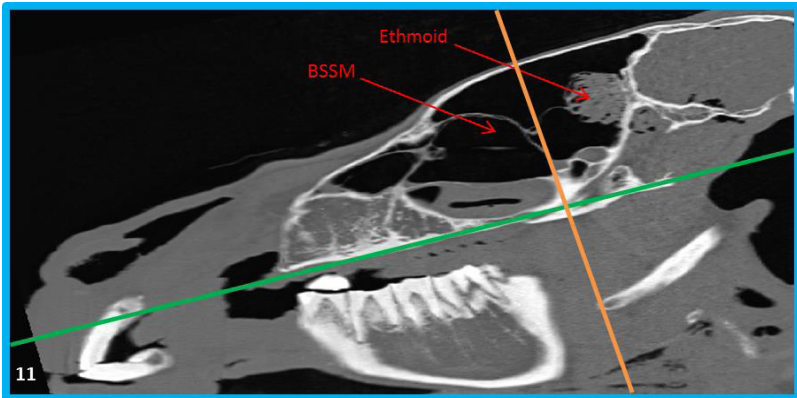


Abbildung 11

Sagittales CT-Schnittbild durch den Kopf einer 24-jährigen Stute. Der Punkt der kaudalen Ausdehnung der *Bulla septi sinuum maxillarium* (BSSM) wird auf der horizontalen Schichtebene bestimmt (orange Linie).

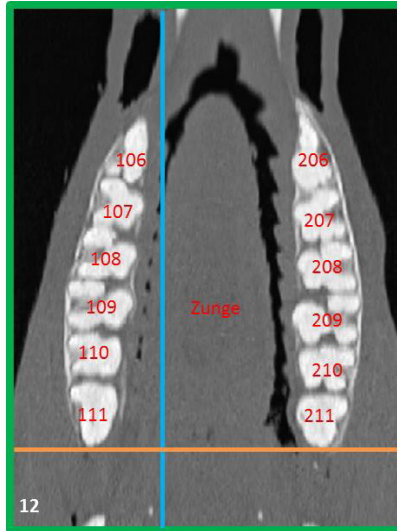


Abbildung 12

Das entsprechende horizontale CT-Schnittbild des Schädels aus Abbildung 11, Seite 39, welches dort mit einer grünen Schnittlinie markiert ist. In dieser Betrachtungsebene wird die kaudale Ausdehnung der BSSM bewertet. Die hier dargestellte orange Linie entspricht derjenigen in Abbildung 11 und zeigt die kaudale Ausdehnung der BSSM. In diesem Fall reicht die Ausdehnung der Bulla der rechten Pferdekopfhälfte bis kaudal des letzten Molaren (M3).

6.5 Bestimmung der Position der Zahnwurzeln/Reservekronen der maxillären Backenzähne in Relation zu den Nasennebenhöhlen

Bei dieser Untersuchung liegt das Hauptaugenmerk auf dem Kontakt der einzelnen Zahnwurzeln, bzw. der Reservekronen zum System der Nasennebenhöhlen (NNH). Folgende Daten wurden erhoben:

- In der Gruppe der Pferde >6 Jahre (AG 2) wurden die palatinale, bukkomesiale und bukkodistale Wurzel jedes Oberkieferbackenzahnes identifiziert und der Kontakt zum SCV, SMR und SMC betrachtet (siehe Abbildung 14, Seite 42).
- In der Gruppe ≤6 Jahre (AG 1) wurden die entsprechenden Aspekte der Reservekronen bewertet, da diese Pferde noch keine Wurzeln ausgebildet hatten. In den grafischen

Darstellungen (siehe z.B. Abbildung 13, Seite 41) wurden allerdings aus Gründen der Übersichtlichkeit CT-Bilder von Pferden verwendet, die bereits Zahnwurzeln ausgebildet hatten.

- Es wurden außerdem bei jedem Schädel diejenigen Zahnwurzeln/Reservekronen identifiziert, die vollständig ohne jeglichen Kontakt zu den NNH in der Maxilla eingebettet waren (siehe Abbildung 15, Seite 43).

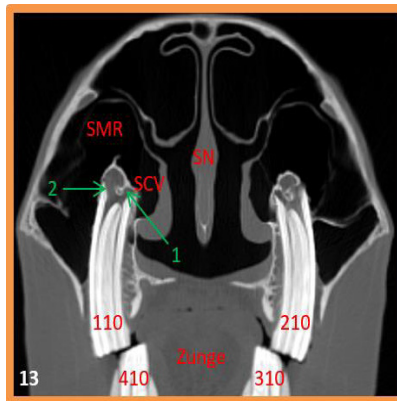


Abbildung 13

Transversales CT-Schnittbild durch den Kopf eines vierjährigen Wallachs. Der Kontakt des palatinalen (1), sowie des bukkomesialen Aspekts (2) der Zahnalveole zu den NNH ist dargestellt. Der palatinale Aspekt der Wurzel hat auf Höhe des M2 (Triadan 110) Kontakt zum *Sinus conchae ventralis* (SCV); der bukkomesiale Aspekt der Wurzel hat Kontakt zum *Sinus maxillaris rostralis* (SMR).

SN: *Septum nasi*

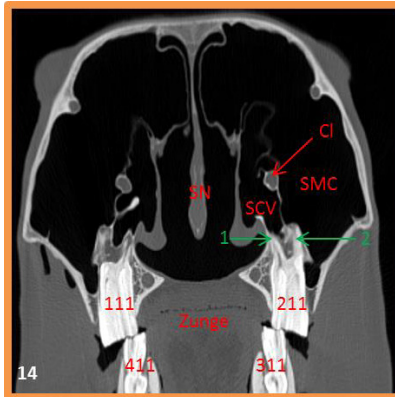


Abbildung 14

Transversales CT-Schnittbild durch den Kopf eines 13-jährigen Wallachs. Der Kontakt der palatinalen (1), sowie der bukkomesialen Wurzel (2) ist auf Höhe des M3 (Triadan 211) dargestellt. Die palatinale Wurzel hat Kontakt zum *Sinus conchae ventralis* (SCV), wohingegen die bukkomesiale Wurzel Kontakt zum *Sinus maxillaris caudalis* (SMC) hat.

SN: *Septum nasi*; CI: *Canalis infraorbitalis*; SCV: *Sinus conchae ventralis*

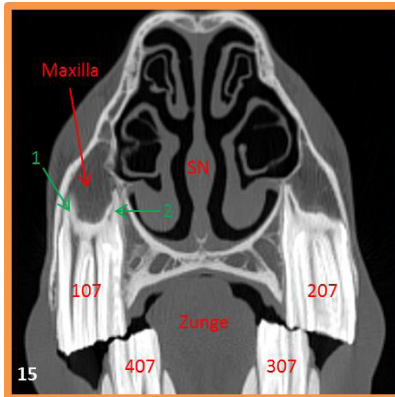


Abbildung 15

Transversales CT-Schnittbild durch den Kopf einer zwölfjährigen Stute. Die Ansicht befindet sich auf Höhe der 07er und zeigt, dass sich die Wurzeln (1: bukkodistale Wurzel; 2: palatinale Wurzel) dieser Backenzähne vollständig in der Maxilla befinden und keinen Kontakt zum System der NNH haben.

SN: *Septum nasi*

7 Ergebnisse

7.1 *Sinus sphenopalatinus* (SSP)

7.1.1 Morphologische Untersuchung des SSP

In 46 von 47 Köpfen konnten beide Kopfhälften ausgewertet werden; bei einem Pferdekopf wurde eine Kopfhälfte aufgrund ausgedehnter pathologischer Veränderungen der NNH verworfen. Für die Beurteilung, ob der SSP einheitlich vorlag, oder ob dieser durch ein knöchernes Septum in einen *Sinus sphenoidalis* und *Sinus palatinus* unterteilt war, konnten somit insgesamt 93 Kopfhälften ausgewertet werden.

In AG 1 konnten bei n = 11 Köpfen beide Kopfhälften beurteilt werden. Sechs von diesen elf Pferden zeigten beidseits einen einheitlichen SSP. Vier Pferde zeigten beidseits getrennte *Sinūs sphenoidales* und *Sinūs palatinae*. Ein Pferd zeigte in nur einer Schädelseite einen einheitlichen SSP (linke Kopfhälfte n = 1).

In AG 2 konnten bei n = 35 Köpfen beide Kopfhälften beurteilt werden. Bei einem Pferd wurde eine Kopfhälfte verworfen. 24 von diesen 35 Pferden zeigten einen beidseits einheitlichen SSP. Sechs Pferde zeigten beidseits getrennte *Sinūs sphenoidales* und *Sinūs palatinae*. Fünf Pferde zeigten in nur einer Schädelseite einen einheitlichen SSP (linke Kopfhälfte n = 4; rechte Kopfhälfte n = 1).

Insgesamt lag somit in 67 Kopfhälften (72%) ein einheitlicher SSP vor; bei 30 Pferden beidseits, bei sieben Pferden auf einer Seite. In 26 Kopfhälften (28%) waren SP und SS durch ein knöchernes Septum voneinander getrennt; bei zehn Pferden beidseits, bei sechs Pferden auf einer Seite. Eine Übersicht der Ergebnisse zur Morphologie des SSP ist in Diagramm 1, Seite 45, dargestellt; das innere Kreisdiagramm zeigt die Verteilung der Ergebnisse in linke und rechte Schädelseite an.

Diagramm 2, Seite 46, sowie Diagramm 3, Seite 46, stellen die Morphologie des SSP nach Altersgruppen getrennt dar. In AG 1 (n = 11 Pferde, 22 Schädelhälften) erschienen insgesamt 13 SSP (59%) bei sieben Pferden einheitlich. Bei fünf Pferden erschienen neun SP vom SS (41%) durch eine Knochenlamelle voneinander getrennt (siehe Diagramm 2, Seite 46).

In AG 2 (n = 36 Pferde, 71 Schädelhälften) erschienen insgesamt 54 SSP (76%) bei 30 Pferden einheitlich. Bei elf Pferden erschienen 17 SP vom SS (24%) durch eine Knochenlamelle voneinander getrennt (siehe Diagramm 3, Seite 46).

Trotz der Unterschiede in den Häufigkeiten zwischen den Altersgruppen, waren diese Ergebnisse sowohl für die linke als auch für die rechte Schädelseite statistisch nicht signifikant.

Diagramm 1 - Morphologie des SSP - alle Pferde (n = 93)

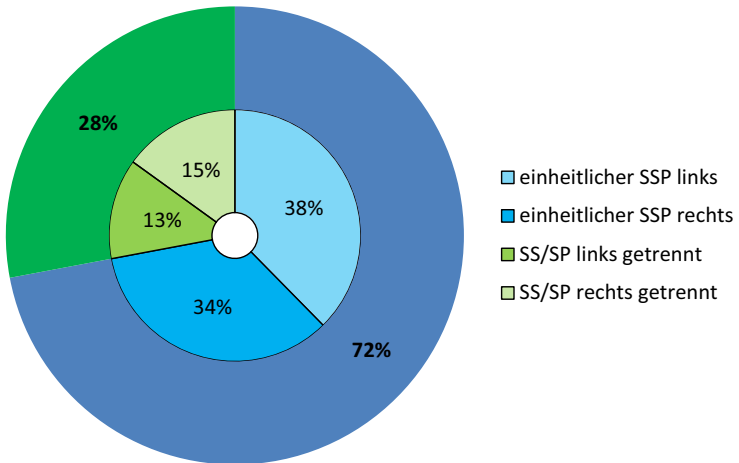


Diagramm 2 - Morphologie des SSP - AG 1 (n = 22)

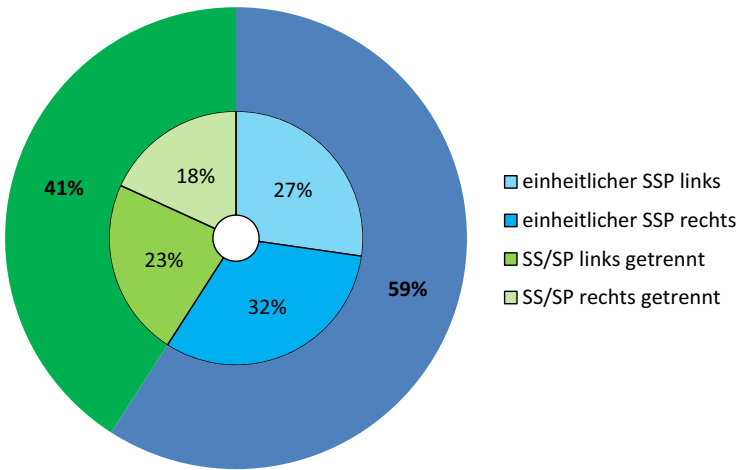
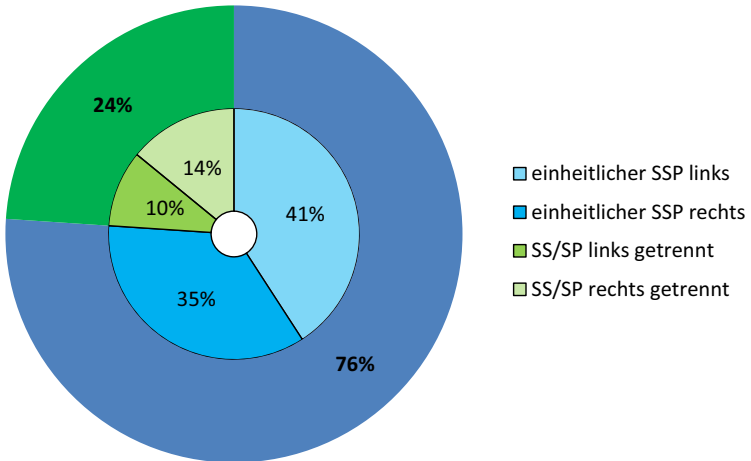


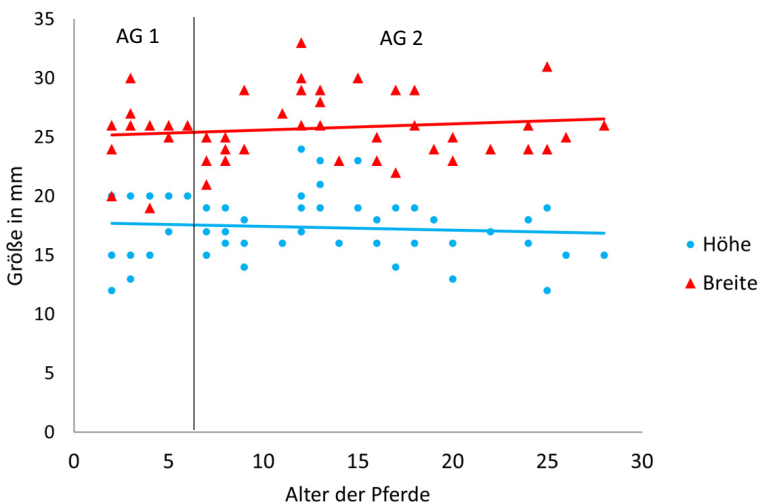
Diagramm 3 - Morphologie des SSP - AG 2 (n =71)



7.1.2 Ausdehnung des SSP

Diagramm 4, Seite 47 zeigt die Ergebnisse der Messungen bezüglich der Ausdehnung des SSP. Die dorsoventrale Ausdehnung („Höhe“) des SSP rangierte dabei zwischen 12mm (Pferd 1, zwei Jahre alt, sowie Pferd 44, 25 Jahre alt) und 24mm (Pferd 24, zwölf Jahre alt). Die laterolaterale Ausdehnung („Breite“) des SSP rangierte zwischen 19mm (Pferd 8, vier Jahre alt) und 33mm (Pferd 24, zwölf Jahre alt). Der Mittelwert aller Messungen für die Höhe betrug 17mm - dargestellt durch die blaue Trendlinie im Diagramm 4. Der Mittelwert aller Messungen für die Breite betrug 26mm - dargestellt durch die rote Trendlinie im Diagramm 4. Das Verhältnis der Höhe eines SSP zu seiner Breite betrug im Mittel 0,7 (0,5-0,9) - in keinem Fall erschien somit ein SSP höher als breit. Sowohl die Höhe als auch die Breite des SSP zeigte sich altersunabhängig, wie man anhand der fast waagerechen Trendlinien im Diagramm nachvollziehen kann.

Diagramm 4 - Ausdehnung des SSP in Abhängigkeit vom Alter



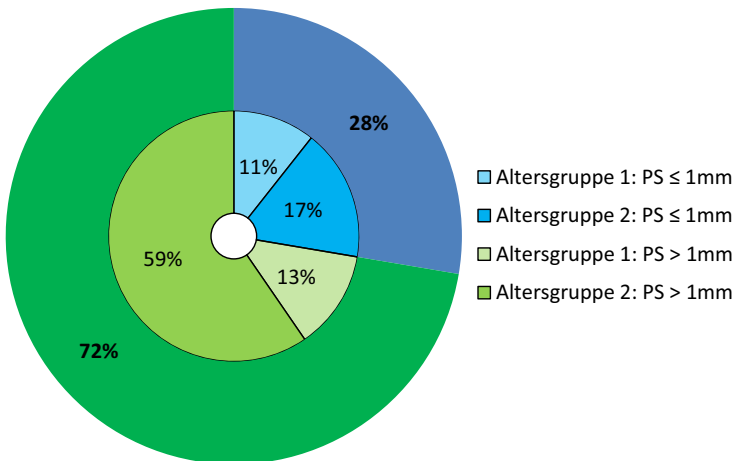
7.1.3 Vermessung der Knochendicke des PS ventral des CO

Bei allen 47 Pferdeköpfen konnte das PS ventral des CO vermessen werden. Bei 13 Pferden (28%) war das PS $\leq 1\text{mm}$, bei 34 Pferden (72%) $> 1\text{mm}$ dick (siehe Diagramm 5, Seite 48). Von den Messungen, bei denen die Knochendicke des PS $\leq 1\text{mm}$ war, wurden fünf Messungen Altersgruppe 1 (AG 1) und acht Messungen Altersgruppe 2 (AG 2) zugeordnet. Von den Messungen, bei denen die Knochendicke des PS $> 1\text{mm}$ war, wurden sechs Messungen AG 1 und 28 Messungen AG 2 zugeordnet.

Somit hatten innerhalb der AG 1 insgesamt 45% und innerhalb der AG 2 insgesamt 22% der untersuchten PS eine Knochendicke von $\leq 1\text{mm}$. Dementsprechend hatten innerhalb der AG 1 insgesamt 55% und innerhalb der AG 2 insgesamt 78% der untersuchten PS eine Knochendicke von $> 1\text{mm}$.

In AG 1 war die Verteilung somit zwar ausgeglichener als in AG 2, es konnte allerdings keine statistisch signifikante Altersabhängigkeit bei den Messungen festgestellt werden ($p = 0,0656$).

Diagramm 5 - Knochendicke des PS (n = 47)



7.1.4 Untersuchung der Darstellbarkeit und Kontinuität des SSS

Bei allen 47 untersuchten Pferdeköpfen erschien das *Septum sinuum sphenoidalium* (SSS) im CT darstellbar und nicht perforiert; es trennte somit in jedem Fall den rechten und den linken SSP, bzw. den SS vollständig voneinander.

7.2 *Apertura maxillopalatina* (AMP)

7.2.1 Vermessung der AMP im Querschnitt, morphologische Beurteilung

Es wurden insgesamt 93 *aperturae* bei 47 Pferdeköpfen morphologisch untersucht und anschließend vermessen. Die Ergebnisse sind in Diagramm 6, Seite 50, zusammengefasst.

Die morphologische Erscheinungsform der AMP wurde in vier Kategorien („oval“, „länglich“, „polymorph“, „rund“) eingeteilt und ergab folgende Ergebnisse:

- Der Kategorie „oval“ wurden 43 AMP (46%) bei 26 Pferden zugeordnet, bei 17 Pferden beidseits.
- Der Kategorie „länglich“ wurden 30 AMP (32%) bei 18 Pferden zugeordnet, bei zwölf Pferden beidseits.
- Der Kategorie „polymorph“ wurden 18 AMP (19%) bei 14 Pferden zugeordnet, bei vier Pferden beidseits.
- Der Kategorie „rundlich“ wurden zwei AMP (2%) bei einem Pferd zugeordnet.

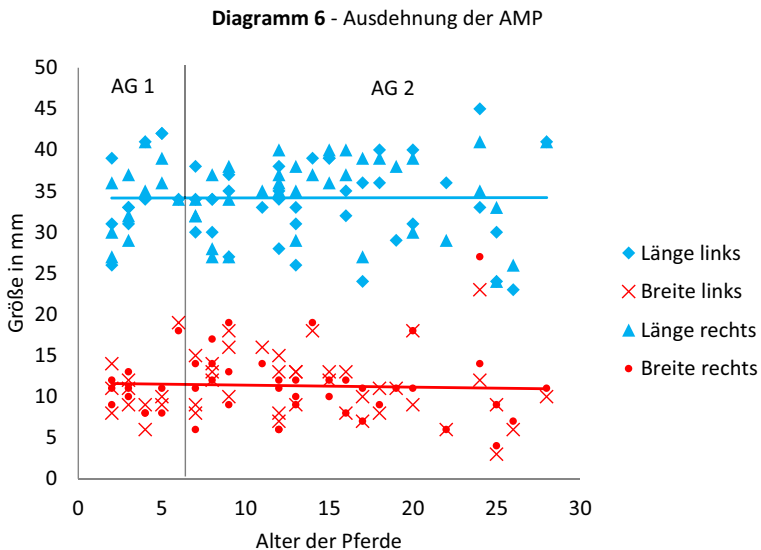
Die Kategorien „länglich“ und „oval“ machten zusammen mit 78% aller Messungen den Großteil der untersuchten Erscheinungsformen der AMP aus.

Jede AMP wurde zusätzlich in ihrer Länge und Breite vermessen; dabei ergab die Längenvermessung aller Untersuchungen im Mittel einen Wert von 34mm, die Breitenvermessung im Mittel einen Wert von 11mm. Die längste AMP war 45mm lang, die kürzeste 23mm. Die breiteste AMP wurde mit 27mm gemessen, die schmalste mit 3mm (siehe Diagramm 6, Seite 50).

Das Verhältnis der Länge zur jeweiligen Breite einer AMP erschien bei den Untersuchungen sehr variabel; im Mittel betrug das Verhältnis 3,4. Das kleinste Längen-/Breitenverhältnis einer AMP betrug 1,4; das größte Längen-/Breitenverhältnis betrug 8 (siehe Diagramm 6, Seite 50).

Sowohl die Erscheinungsform, als auch das Breitenverhältnis der AMP erschienen statistisch unabhängig von Alter und Geschlecht (siehe Diagramm 6, Seite 50).

Für das Längenverhältnis wurde ein Geschlechtsunterschied festgestellt ($p = 0,0092$). Betrachtet man beide Schädelseiten zusammen, so war die Länge der AMP beim männlichen Pferd im Mittel ca. 4,6mm (3,3-5,9mm) kürzer als bei der Stute. Somit hatten Stuten eine länglichere AMP.



7.2.2 Vermessung der AMP zwischen dem Ethmoid und dem NNC

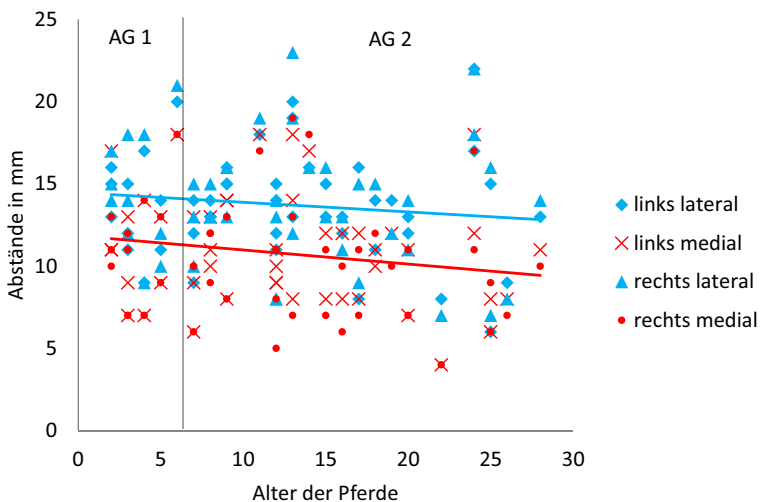
Es wurden insgesamt 186 Abstandsmessungen an 93 Kopfhälften vorgenommen. Die Ergebnisse sind in Diagramm 7, Seite 51, zusammengefasst.

Es ergaben sich, bezogen auf die lateralen Abstände, sowohl auf der linken als auch auf der rechten Schädelseite 14mm als Mittelwerte (6,5-22mm). Dies ist im Diagramm durch die obere (blaue) der beiden Trendlinien dargestellt. Es ergaben sich, bezogen auf die medialen Abstände sowohl auf der linken als auch auf der rechten Schädelseite 11mm als Mittelwerte (4-18,5mm). Dies ist in im Diagramm durch die untere (rote) der beiden Trendlinien dargestellt.

Die lateralen Abstände waren generell größer als die medialen; lediglich bei vier Kopfhälften (4%) war der laterale Abstand zwischen dem Siebbein und dem NNC kleiner als der mediale. Das Verhältnis der lateralen Abstände zu den medialen betrug im Mittel 1,3 (0,9-2,3). Lateral betrug der größte Abstand 23mm, der kürzeste Abstand 6mm. Medial betrug der größte Abstand 19mm, der kürzeste Abstand betrug 4mm.

Eine statistisch signifikante Altersabhängigkeit der Ergebnisse konnte bei den Abstandsmessungen nicht festgestellt werden.

Diagramm 7 - Abstandsmessung zwischen dem Ethmoid und dem NNC



7.3 *Sinus conchae mediae* (SCM)

7.3.1 Symmetrie des SCM im Rechts-Links-Vergleich eines Pferdeschädels

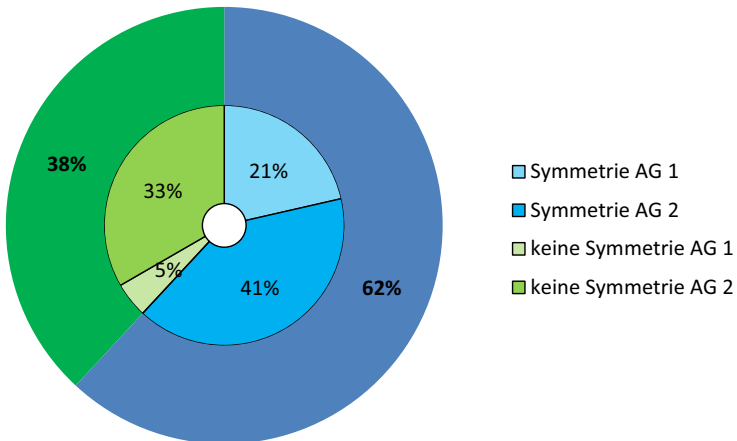
Bei dieser Untersuchung konnten 84 *Sinūs conchae mediae* (SCM) und somit insgesamt 42 Pferdeschädel auf ihre Seitensymmetrie hin beurteilt werden. In Altersgruppe 1 (AG 1) wurden elf Pferdeschädel (n = 22 SCM) untersucht, in Altersgruppe 2 (AG 2) waren dies 31 Pferdeschädel (n = 62 SCM). Die prozentuale Verteilung der Ergebnisse ist in Diagramm 8, Seite 52, zusammengefasst.

Bei 26 Pferdeschädeln (62%) waren beide SCM im Rechts-links-Vergleich morphologisch symmetrisch; davon gehörten neun Pferde zu AG 1, und 17 Pferde zu AG 2. Somit waren innerhalb der AG 1 insgesamt 82% der untersuchten SCM symmetrisch zueinander; innerhalb der AG 2 waren dies insgesamt 55%.

Bei 16 Pferdeschädeln (38%) waren beide SCM im Rechts-links-Vergleich morphologisch verschieden; davon gehörten zwei Pferde zu AG 1, und 14 Pferde zu AG 2. Somit waren innerhalb der AG 1 insgesamt 18% der untersuchten SCM morphologisch unterschiedlich zueinander; innerhalb der AG 2 waren dies insgesamt 45%.

Statistisch nimmt die Wahrscheinlichkeit für eine morphologische Seitensymmetrie des SCM beim Pferd mit dem Alter zu ($p = 0,0357$).

Diagramm 8 - Symmetrie des SCM im Rechts-Links-Vergleich



7.3.2 Belüftungswege zum SCM

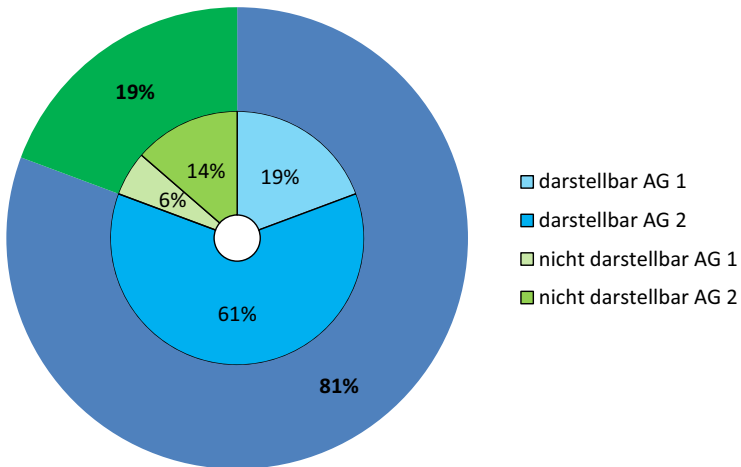
Für diese Untersuchung konnten bei 47 Pferdeschädeln insgesamt 88 SCM hinsichtlich ihrer Belüftung untersucht werden. Die prozentuale Verteilung der Ergebnisse ist in Diagramm 9, Seite 54, zusammengefasst.

In Altersgruppe 1 (AG 1) wurden elf Pferdeschädel ($n = 22$ SCM) untersucht, in Altersgruppe 2 (AG 2) waren dies 36 Pferdeschädel ($n = 66$ SCM).

Bei 71 untersuchten SCM (80%) konnte eindeutig eine Belüftung über den SMC identifiziert werden; davon wurden 17 SCM der AG 1 und 54 SCM der AG 2 zugeordnet. Somit hatten innerhalb der AG 1 insgesamt 77% und innerhalb der AG 2 insgesamt 82% der untersuchten SCM einen eindeutig identifizierbaren Belüftungsweg über den SMC.

Bei 17 untersuchten SCM (20%) bei zwölf verschiedenen Pferden war eine Belüftung über den SMC nicht eindeutig im CT darstellbar; davon wurden fünf SCM der AG 1 und zwölf SCM der AG 2 zugeordnet. Somit hatten innerhalb der AG 1 insgesamt 23% und innerhalb der AG 2 insgesamt 18% der untersuchten SCM keinen eindeutig identifizierbaren Belüftungsweg über den SMC. In diesen Fällen wurde vom Untersucher eine Belüftung über das Ethmoid vermutet, bzw. war die Belüftung über den SMC durch den direkten Kontakt der Knochenlamellen/des respiratorischen Epithels nicht im CT sichtbar.

Eine statistisch relevante Altersabhängigkeit, bzw. eine Prädisposition für eine Schädelseite hinsichtlich einer Verbindung zum SCM konnte bei diesen Messungen nicht festgestellt werden.

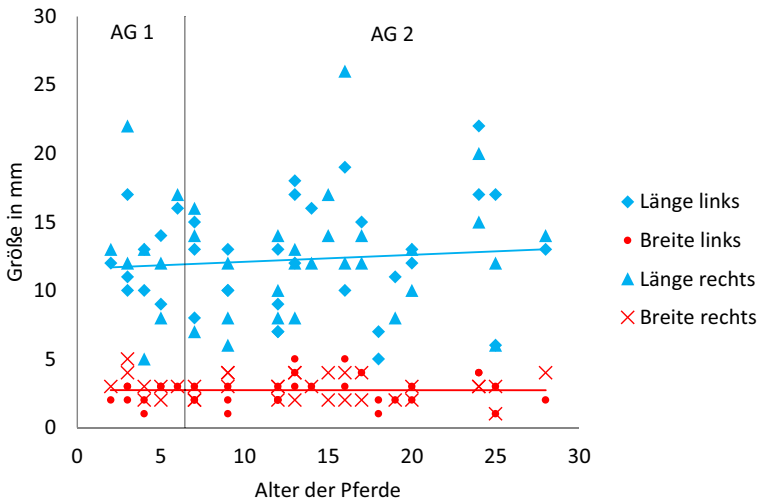
Diagramm 9 - Darstellbarkeit des Belüftungswegs zum SCM über den SMC

7.3.3 Vermessung der Öffnung des SCM

Alle sichtbaren 71 Verbindungsöffnungen des SCM zum SMC wurden in ihrer Länge und Breite vermessen; die Ergebnisse sind in Diagramm 10, Seite 55, zusammengefasst.

Die Ausdehnung der Belüftungsöffnung des SCM war im Mittel 12mm (5-22mm) lang und 3mm (1-5mm) breit. Die größte Öffnung hatte eine Länge von 26mm, die kleinste eine Länge von 5mm. Die größte Breite wurde mit 5mm gemessen, die schmalste Öffnung war 1mm breit. Das Verhältnis der Länge zu jeweiliger Breite einer Öffnung erschien bei den Untersuchungen sehr variabel; im Mittel betrug es 4,8. Das kleinste Längen-/Breitenverhältnis einer Öffnung betrug 1,5; das größte Längen-/Breitenverhältnis betrug 10.

Eine statistisch relevante Altersabhängigkeit der Ergebnisse konnte bei den Vermessungen der Öffnung zum SCM nicht festgestellt werden.

Diagramm 10 - Vermessung der Öffnung des SCM zum SMC

7.3.4 Morphologische Form der Öffnung des SCM

Für diese Untersuchung konnten bei 38 Pferdeschädeln insgesamt 69 Öffnungen zum SCM hinsichtlich ihrer morphologischen Erscheinung bewertet werden. In Altersgruppe 1 (AG 1) wurden neun Pferdeschädel (n = 17 Öffnungen) untersucht, in Altersgruppe 2 (AG 2) waren dies 29 Pferdeschädel (n = 52 Öffnungen). Die prozentuale Verteilung der Ergebnisse ist in Diagramm 11, Seite 56, zusammengefasst.

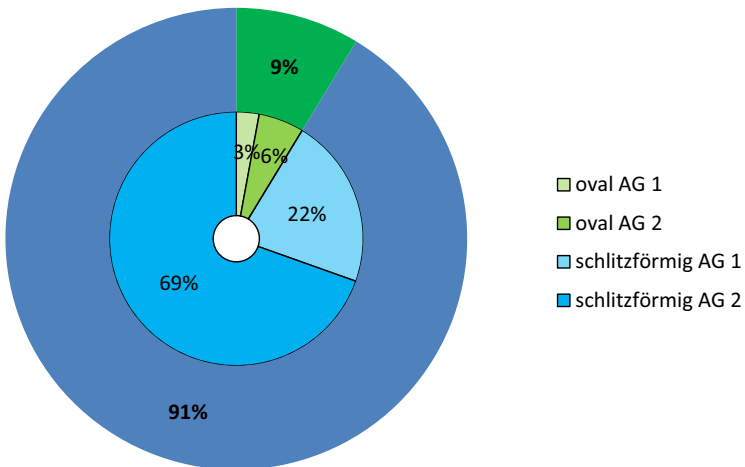
Die morphologische Erscheinungsform der Öffnung des SCM wurde in 2 Kategorien („oval“, „schlitzförmig“) eingeteilt und ergab folgende Ergebnisse:

- Der Kategorie „oval“ wurden sechs Untersuchungen zugeschrieben; davon zwei in AG 1 und 4 in AG 2.
- Der Kategorie „schlitzförmig“ wurden 63 Untersuchungen zugeschrieben; davon 15 in AG 1 und 48 in AG 2.

Somit erschienen innerhalb der AG 1 insgesamt 12% der Öffnungen zum SCM „oval“ und 88% „schlitzförmig“. Innerhalb der AG 2 waren insgesamt 8% der untersuchten Öffnungen zum SCM oval und 92% schlitzförmig.

Die Erscheinungsform der Belüftungsöffnung des SCM war statistisch unabhängig vom Alter.

Diagramm 11 - Morphologie der Öffnung des SCM zum SMC



7.4 *Septum sinuum maxillarium (SSM)*

7.4.1 Bestimmung der Dicke des SSM

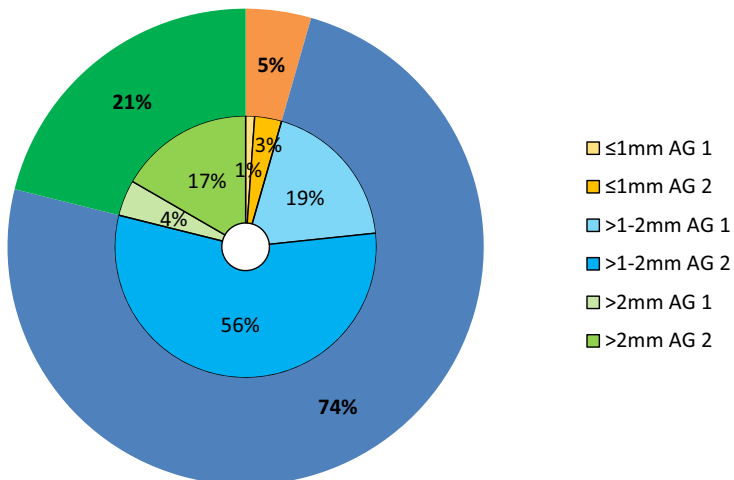
Die Bestimmung der Dicke des SSM wurde bei insgesamt 46 Pferdeköpfen und an 90 Kopfhälften durchgeführt. In Altersgruppe 1 (AG 1) wurden elf Pferdeschädel (n = 22 SSM) untersucht, in Altersgruppe 2 (AG 2) waren dies 35 Pferdeschädel (n = 68 SSM). Die prozentuale Verteilung der Ergebnisse ist in Diagramm 12, Seite 57, zusammengefasst.

Die ermittelten Dicken des SSM wurden in 3 Kategorien (Kategorie 1: $\leq 1\text{mm}$, Kategorie 2: $> 1\text{-}2\text{mm}$, Kategorie 3: $> 2\text{mm}$) eingeteilt und ergaben folgende Ergebnisse:

- Kategorie 1 ($\leq 1\text{mm}$) wurden insgesamt vier Messungen (5%) zugeordnet; davon eine in AG 1 und drei in AG 2.
- Kategorie 2 ($> 1\text{-}2\text{mm}$) wurden insgesamt 67 Messungen (74%) zugeordnet; davon 17 in AG 1 und 50 in AG 2.
- Kategorie 3 ($> 2\text{mm}$) wurden insgesamt 19 Messungen (21%) zugeordnet; davon vier in AG 1 und 15 in AG 2.

Somit hatten innerhalb der AG 1 insgesamt 5% aller gemessenen SSM einen Durchmesser von $\leq 1\text{mm}$, 77% hatten einen Durchmesser von $> 1\text{-}2\text{mm}$ und 18% einen Durchmesser von $> 2\text{mm}$. Innerhalb der AG 2 hatten 4% aller gemessenen SSM einen Durchmesser von $\leq 1\text{mm}$, 74% hatten einen Durchmesser von $> 1\text{-}2\text{mm}$ und 22% einen Durchmesser von $> 2\text{mm}$. Eine altersbedingte Prädisposition für eine der drei Kategorien konnte bei diesen Messungen nicht festgestellt werden.

Diagramm 12 - Dicke des SSM



7.4.2 Bewertung der Symmetrie des SSM im Rechts-Links-Vergleich eines Pferdeschädels

Es wurden bei insgesamt 44 Pferdeschädeln ($n = 88$) das SSM jeder Schädelseite in Hinblick auf morphologische Symmetrie mit der kontralateralen Seite verglichen.

In Altersgruppe 1 (AG 1) wurden elf Pferdeschädel ($n = 22$ SSM) untersucht, in Altersgruppe 2 (AG 2) waren dies 33 Pferdeschädel ($n = 66$ SSM). Die prozentuale Verteilung der Ergebnisse ist in Diagramm 13, Seite 59, zusammengefasst.

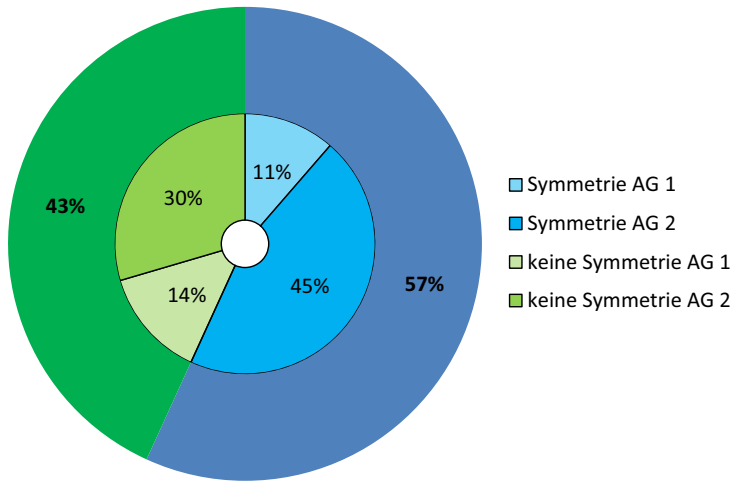
Folgende Beobachtungen hinsichtlich morphologischer Symmetrie beider SSM in einem Pferdeschädel konnten gemacht werden:

- Bei insgesamt 25 Pferden (57%) erschien das SSM bilateral symmetrisch; davon gehörten fünf Pferde zu AG 1 und 20 zu AG 2.
- Bei insgesamt 19 Pferden (43%) erschienen beide SSM morphologisch zueinander unterschiedlich; davon gehörten sechs Pferde zu AG 1 und 13 zu AG 2.

Somit waren innerhalb der AG 1 bei insgesamt 45% der Pferdeschädel morphologisch symmetrische Verläufe des SSM feststellbar; bei 55% der untersuchten Pferdeschädel verliefen beide SSM im Seitenvergleich morphologisch unterschiedlich zueinander. Innerhalb der AG 2 konnten bei insgesamt 61% der Pferdeschädel morphologisch symmetrische Verläufe des SSM festgestellt werden; bei 39% der untersuchten Pferdeschädel verliefen beide SSM im Seitenvergleich morphologisch unterschiedlich zueinander.

Eine altersbedingte Prädisposition für die Wahrscheinlichkeit bilateral ähnlicher Verläufe des SSM konnte statistisch nicht festgestellt werden.

Generell waren die Verläufe des SSM von hoher Variabilität bei vergleichendem Betrachten verschiedener Pferdeköpfe.

Diagramm 13 - Symmetrie des SSM im Rechts-Links-Vergleich

7.4.3 Bestimmung der Kontinuität des SSM

Für die Bewertung der kontinuierlichen Darstellbarkeit des SSM im CT konnten insgesamt 90 Schädelhälften bei 47 Pferden ausgewertet werden. Das SSM zeigte sich in allen auswertbaren Untersuchungen (n = 90) im CT durchgängig darstellbar. Perforationen oder Unterbrechungen wurden nicht detektiert. Dementsprechend waren der SMR und der SMC in allen untersuchten Kopfhälften jederzeit vollständig voneinander getrennt.

7.4.4 Bestimmung der Anheftungspunkte des SSM

Bei dieser Untersuchung wurden bei 46 Pferden insgesamt 90 Kopfhälften ausgewertet. In Altersgruppe 1 (AG 1) wurden elf Pferdeschädel (n = 22 SSM-Anheftungspunkte) untersucht, in Altersgruppe 2 (AG 2) waren dies 35 Pferdeschädel (n = 68 SSM-Anheftungspunkte).

7.4.4.1 Bestimmung der Anheftungspunkte des SSM am PCI/*processus alveolaris* in Relation zu den Backenzähnen

Das Diagramm 14, Seite 61, sowie das Diagramm 15, Seite 62, verdeutlichen die prozentuale Verteilung der Anheftungspunkte des SSM am PCI/*processus alveolaris* in Relation zu den Backenzähnen nach Altersgruppen getrennt. Bei der Beschreibung des Ansatzes des SSM am PCI/*processus alveolaris* wurde unterschieden, ob dieser sich „distal“, „mittig“ oder „mesial“ in Relation zum jeweiligen Zahn, bzw. zwischen zwei Zähnen, befunden hatte. Folgende Daten hinsichtlich der Verteilung der Anheftungspunkte des SSM konnten erhoben werden:

- Auf Höhe distal am 11er wurden insgesamt drei SSM-Anheftungspunkte am PCI/*processus alveolaris* identifiziert; alle davon in AG 2.
- Auf Höhe mittig am 11er wurden insgesamt sieben SSM-Anheftungspunkte am PCI/*processus alveolaris* identifiziert; alle davon in AG 2.
- Auf Höhe mesial am 11er wurden insgesamt acht SSM-Anheftungspunkte am PCI/*processus alveolaris* identifiziert; alle davon in AG 2.
- Auf Höhe zwischen 11er und 10er wurden insgesamt 19 SSM-Anheftungspunkte am PCI/*processus alveolaris* identifiziert; alle davon in AG 2.
- Auf Höhe distal am 10er wurden insgesamt 19 SSM-Anheftungspunkte am PCI/*processus alveolaris* identifiziert; davon sechs Untersuchungen in AG 1 und 13 davon in AG 2.
- Auf Höhe mittig am 10er wurden insgesamt 17 SSM-Anheftungspunkte am PCI/*processus alveolaris* identifiziert; davon fünf Untersuchungen in AG 1 und zwölf davon in AG 2.
- Auf Höhe mesial am 10er wurden insgesamt acht SSM-Anheftungspunkte am PCI/*processus alveolaris* identifiziert; davon drei Untersuchungen in AG 1 und fünf davon in AG 2.
- Auf Höhe zwischen 09er und 10er wurden insgesamt drei SSM-Anheftungspunkte am PCI/*processus alveolaris* identifiziert; davon zwei Untersuchungen in AG 1 und eine davon in AG 2.
- Auf Höhe distal am 09er wurden insgesamt sechs SSM-Anheftungspunkte am PCI/*processus alveolaris* identifiziert; alle davon in AG 1.

Somit wurde innerhalb der AG 1 der am weitesten kaudal gelegene Anheftungspunkt des SSM am PCI/*processus alveolaris* distal am 10er detektiert, der am weitesten rostral gelegene Anheftungspunkt befand sich distal am 09er. Innerhalb der AG 2 wurde der am weitesten kaudal gelegene Anheftungspunkt des SSM am PCI/*processus alveolaris* distal am 11er detektiert, der am weitesten rostral gelegene Anheftungspunkt befand sich zwischen 10er und 09er.

Diagramm 14 - Verteilung der Anheftungspunkte des SSM am PCI/*processus alveolaris* in Relation zu den Backenzähnen in AG 1

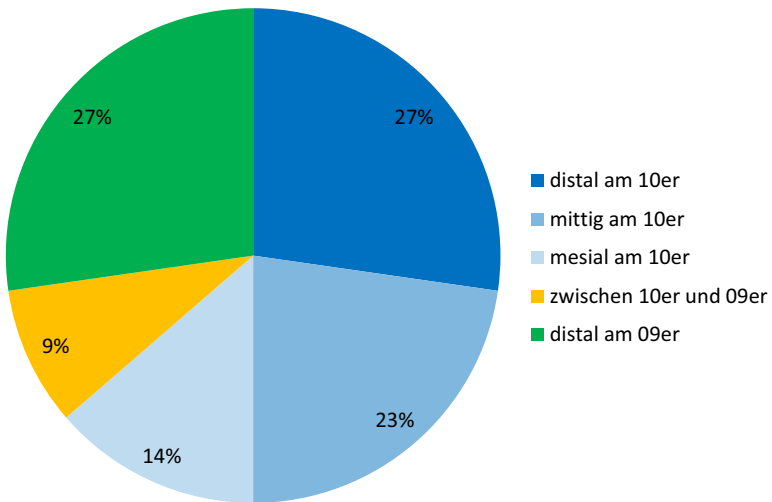
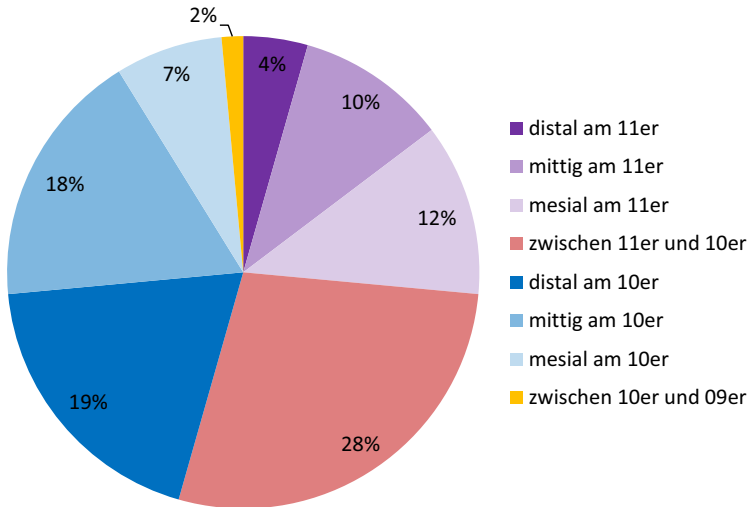


Diagramm 15 - Verteilung der Anheftungspunkte des SSM am PCI/*processus alveolaris* in Relation zu den Backenzähnen in AG 2



7.4.4.2 Bestimmung der Anheftungspunkte des SSM an der Maxilla in Relation zu den Backenzähnen

Diagramm 16, Seite 64, sowie Diagramm 17, Seite 64, verdeutlichen die prozentuale Verteilung der Anheftungspunkte des SSM an der Maxilla in Relation zu den Backenzähnen nach Altersgruppen getrennt.

Bei der Beschreibung des Ansatzes des SSM an der Maxilla wurde unterschieden, ob dieser sich „distal“, „mittig“ oder „mesial“ in Relation zum jeweiligen Zahn, bzw. zwischen zwei Zähnen, befunden hatte. Folgende Daten hinsichtlich der Verteilung der Anheftungspunkte des SSM konnten erhoben werden:

- Auf Höhe distal am 11er wurde insgesamt ein SSM-Anheftungspunkt an der Maxilla identifiziert; das dazugehörige Pferd wurde AG 2 zugeordnet.
- Auf Höhe mittig am 11er wurden insgesamt zwei SSM-Anheftungspunkte an der Maxilla identifiziert; alle davon in AG 2.

- Auf Höhe mesial am 11er wurden insgesamt drei SSM-Anheftungspunkte an der Maxilla identifiziert; alle davon in AG 2.
- Auf Höhe zwischen 11er und 10er wurden insgesamt sieben SSM-Anheftungspunkte an der Maxilla identifiziert; alle davon in AG 2.
- Auf Höhe distal am 10er wurden insgesamt zwölf SSM-Anheftungspunkte an der Maxilla identifiziert; davon drei in AG 1 und neun davon in AG 2.
- Auf Höhe mittig am 10er wurden insgesamt zwölf SSM-Anheftungspunkte an der Maxilla identifiziert; davon drei in AG 1 und neun davon in AG 2.
- Auf Höhe mesial am 10er wurden insgesamt 15 SSM-Anheftungspunkte an der Maxilla identifiziert; davon einer in AG 1 und 14 davon in AG 2.
- Auf Höhe zwischen 09er und 10er wurden insgesamt drei SSM-Anheftungspunkte an der Maxilla identifiziert; alle davon in AG 1.
- Auf Höhe distal am 09er wurden insgesamt 13 SSM-Anheftungspunkte an der Maxilla identifiziert; davon vier in AG 1 und neun davon in AG 2.
- Auf Höhe mittig am 09er wurden insgesamt zwölf SSM-Anheftungspunkte an der Maxilla identifiziert; davon sechs in AG 1 und sechs davon in AG 2.
- Auf Höhe mesial am 09er wurden insgesamt zehn SSM-Anheftungspunkte an der Maxilla identifiziert; davon zwei in AG 1 und acht davon in AG 2.

Somit wurde innerhalb der AG 1 der am weitesten kaudal gelegene Anheftungspunkt des SSM an der Maxilla distal am 10er detektiert, der am weitesten rostral gelegene Anheftungspunkt befand sich mesial am 09er. Innerhalb der AG 2 wurde der am weitesten kaudal gelegene Anheftungspunkt des SSM an der Maxilla distal am 11er detektiert, der am weitesten rostral gelegene Anheftungspunkt befand sich mesial am 09er.

Diagramm 16 - Anheftungspunkt des SSM an der Maxilla in Relation zu den Backenzähnen in

AG 1

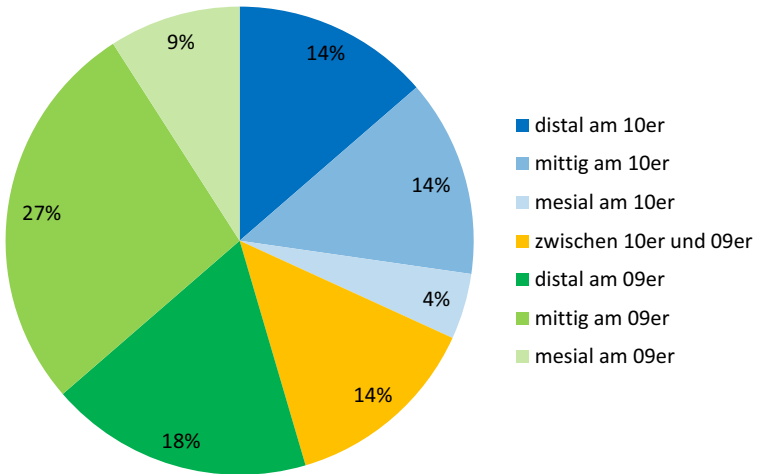
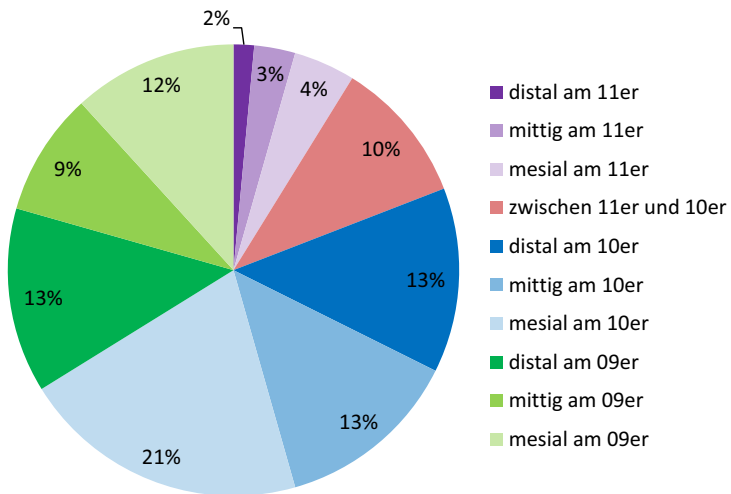


Diagramm 17 - Anheftungspunkt des SSM an der Maxilla in Relation zu den Backenzähnen in

AG 2



7.4.5 Bestimmung der Ausdehnung der BSSM

Bei dieser Untersuchung wurden bei 46 Pferden insgesamt 89 BSSM untersucht. Diagramm 18, Seite 66, sowie Diagramm 19, Seite 66, verdeutlichen die Verteilung der kaudalen Ausdehnung der BSSM nach Altersgruppen getrennt.

In Altersgruppe 1 (AG 1) wurden elf Pferdeschädel (n = 22 BSSM) untersucht, in Altersgruppe 2 (AG 2) waren dies 35 Pferdeschädel (n = 67 BSSM). Folgende Daten hinsichtlich der kaudalen Ausdehnung der BSSM konnten erhoben werden:

- Bis auf eine Höhe kaudal der 11er (kaudal der Zahnreihe) reichte die kaudale Ausdehnung der BSSM bei insgesamt neun Untersuchungen; alle davon in AG 2.
- Bis auf eine Höhe distal am 11er reichte die kaudale Ausdehnung der BSSM bei insgesamt 19 Untersuchungen; alle davon in AG 2.
- Bis auf eine Höhe mittig am 11er reichte die kaudale Ausdehnung der BSSM bei insgesamt 16 Untersuchungen; davon zwei in AG 1 und 14 davon in AG 2.
- Bis auf eine Höhe mesial am 11er reichte die kaudale Ausdehnung der BSSM bei insgesamt 23 Untersuchungen; davon vier in AG 1 und 19 davon in AG 2.
- Bis auf eine Höhe zwischen 10er und 11er reichte die kaudale Ausdehnung der BSSM bei insgesamt fünf Untersuchungen; alle davon in AG 2.
- Bis auf eine Höhe distal am 10er reichte die kaudale Ausdehnung der BSSM bei insgesamt acht Untersuchungen; davon sieben in AG 1 und eine davon in AG 2.
- Bis auf eine Höhe mittig am 10er reichte die kaudale Ausdehnung der BSSM bei insgesamt sechs Untersuchungen; alle davon in AG 1.
- Bis auf eine Höhe mesial am 10er reichte die kaudale Ausdehnung der BSSM bei insgesamt einer Untersuchung in AG 1.
- Bis auf eine Höhe zwischen 09er und 10er reichte die kaudale Ausdehnung der BSSM bei insgesamt zwei Untersuchungen; alle davon in AG 1.

Somit wurde innerhalb der AG 1 die am weitesten kaudal gelegene Ausdehnung der BSSM auf einer Höhe mittig der 11er detektiert, die am weitesten rostral gelegene kaudale Ausdehnung der BSSM ragte bis auf eine Höhe zwischen 10er und 09er. Innerhalb der AG 2 wurde die am weitesten kaudal gelegene Ausdehnung der BSSM auf einer Höhe hinter dem M3 (Triadan 11)

detektiert, die am weitesten rostral gelegene kaudale Ausdehnung der BSSM ragte bis auf eine Höhe distal am 10er.

Diagramm 18 - kaudale Ausdehnung der BSSM in Relation zu den Backenzähnen in AG 1

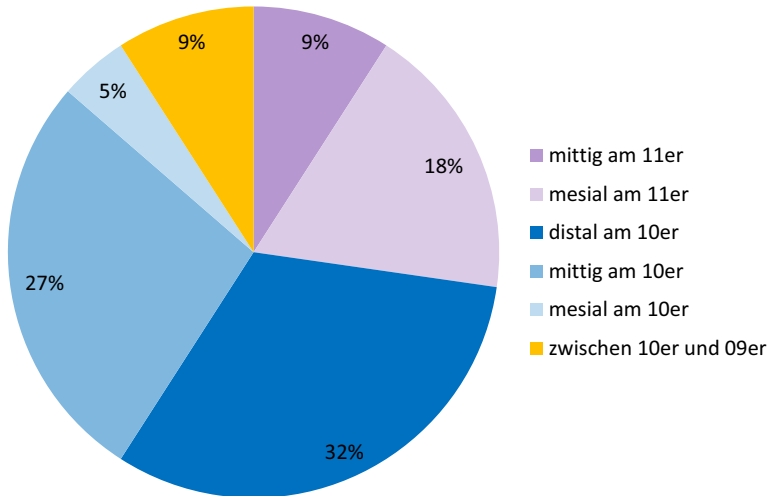
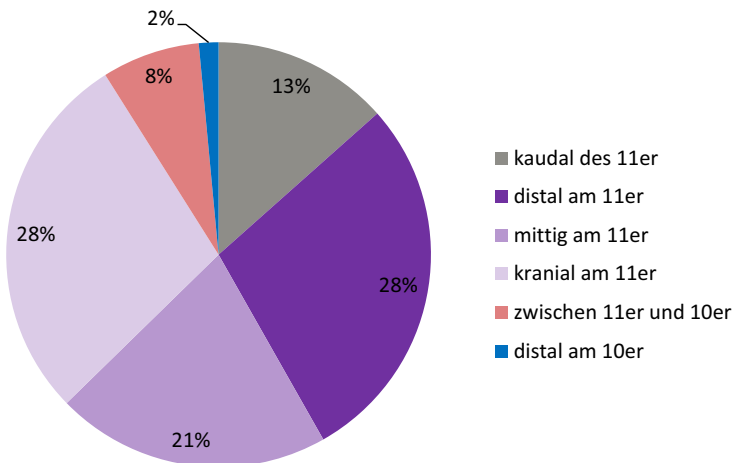


Diagramm 19 - kaudale Ausdehnung der BSSM in Relation zu den Backenzähnen in AG 2



7.5 Zahnwurzelpositionen in Relation zu den Nasennebenhöhlen

Für diese Untersuchung wurden unter Berücksichtigung der Ein- und Ausschlusskriterien insgesamt 542 Zähne und 1626 einzelne Wurzelpositionen bei 46 Pferden ausgewertet.

Davon wurden elf Pferde mit insgesamt 132 Zähnen und 396 einzelne Wurzelpositionen, bzw. entsprechende Areale der Reservekronen, AG 1 zugeordnet. Innerhalb AG 2 waren dies bei 36 Pferden insgesamt 410 Zähne, bzw. 1230 einzelne Wurzelpositionen, die ausgewertet wurden. Die Abbildungen 16, 17, 18 und 19 zeigen die prozentuale Verteilung der einzelnen Zahnwurzelkontakte zu diversen NNH je Altersgruppe. Da bei keinem der untersuchten Pferde jedweder Kontakt zwischen den NNH und den 06ern und 07ern bestanden hatte, wurden diese Zähne bei den grafischen Darstellungen nicht abgebildet.

7.5.1 Kontakt zwischen den Zahnwurzeln und dem SMC

Alleiniger Kontakt zwischen den Zahnwurzeln und dem SMC konnte auf Höhe des M2 und M3 (11er und 10er) identifiziert werden. Die prozentuale Verteilung der Wurzelkontakte mit dem SMC ist in den Abbildungen 16 und 17 für jede Altersgruppe separat dargestellt.

Auf Höhe der 10er und 11er konnten bei 46 Pferden insgesamt 182 Zähne und 546 Wurzelpositionen bewertet werden; davon 44 Zähne und 132 Wurzelpositionen in Altersgruppe 1 (AG 1), sowie 138 Zähne und 414 Wurzelpositionen in Altersgruppe 2 (AG 2). Von diesen hatten in AG 1 insgesamt 84 Wurzeln (64%), sowie in AG 2 insgesamt 217 Wurzeln (52%) alleinigen Kontakt zum SMC (siehe Abbildung 16, Seite 72, sowie Abbildung 17, Seite 73).

In AG 1 bestand der überwiegende Teil der Wurzelkontakte mit dem SMC auf Höhe der 11er mit 59 von insgesamt 66 Messungen (89%); davon hatte die bukkodistale Zahnwurzel in 22 von 22 Messungen (100%), die bukkomesiale Wurzel in 22 von 22 Messungen (100%), sowie die palatinale Wurzel in 15 von 22 Messungen (68%) Kontakt zum SMC (siehe Abbildung 16, Seite 72).

Auf Höhe der 10er wurde in AG 1 in 26 von insgesamt 66 Messungen (39%) ein Kontakt zum SMC detektiert; davon hatte die bukkodistale Zahnwurzel in 17 von 22 Messungen (77%) und die bukkomesiale Wurzel in acht von 22 Messungen (36%) Kontakt zum SMC (siehe Abbildung 17, Seite 73).

In AG 2 bestand der überwiegende Teil der Wurzelkontakte mit dem SMC auf Höhe der 11er mit insgesamt 158 von insgesamt 207 Messungen (76%); davon hatte die bukkodistale Zahnwurzel in 69 von 69 Messungen (100%), die bukkomesiale Wurzel in 67 von 69 Messungen (97%), sowie die palatinale Wurzel in 22 von 69 Messungen (32%) alleinigen Kontakt zum SMC (siehe Abbildung 16, Seite 72).

Auf Höhe der 10er wurden in AG 2 in 59 von insgesamt 207 Messungen (29%) ein Kontakt detektiert; davon hatte die bukkodistale Zahnwurzel in 39 von 69 Messungen (57%), die bukkomesiale Wurzel in acht von 69 Messungen (12%), sowie die palatinale Wurzel in zwölf von 69 Messungen (17%) alleinigen Kontakt zum SMC (siehe Abbildung 17, Seite 73).

7.5.2 Zahnwurzeln mit Kontakt sowohl zum SCM als auch zum SMR

Insgesamt wurden bei den Untersuchungen 74 Zahnwurzeln identifiziert, bei denen sowohl Kontakt zum SMC als auch zum SMR bestand. Die prozentuale Verteilung der Wurzelkontakte sowohl mit dem SMC, als auch mit dem SMR ist in den Abbildungen 16, 17 und 18 für jede Altersgruppe separat dargestellt.

Die entsprechenden Wurzeln gehörten zur bukkalen Wurzelreihe (bukkomesial, bukkodistal) von Zähnen der 09er, 10er und 11er. Gleichzeitiger Kontakt zum SMC und SMR einer palatinalen Wurzel wurde in keinem Fall beobachtet.

Auf Höhe der 09er, 10er und 11er konnten bei 46 Pferden insgesamt 274 Zähne und 822 Wurzelpositionen bewertet werden; davon 66 Zähne und 198 Wurzelpositionen in Altersgruppe 1 (AG 1), sowie 208 Zähne und 624 Wurzelpositionen in Altersgruppe 2 (AG 2). Von diesen hatten in AG 1 insgesamt 14 Wurzeln (7%), sowie in AG 2 insgesamt 60 Wurzeln (10%) gleichzeitigen Kontakt sowohl zum SMC, als auch zum SMR (siehe Abbildung 16, Seite 72, Abbildung 17, Seite 73, sowie Abbildung 18, Seite 74).

In AG 1 bestand der überwiegende Teil gleichzeitiger Wurzelkontakte mit dem SMC und SMR auf Höhe der 10er mit neun von insgesamt 66 Messungen (14%); davon hatte die bukkodistale Zahnwurzel in einer von 22 Messungen (5%) und die bukkomesiale Wurzel in acht von 22 Messungen (36%) gleichzeitigen Kontakt sowohl zum SMC, als auch zum SMR (siehe Abbildung 17, Seite 73).

Auf Höhe der 09er wurde in AG 1 in fünf von insgesamt 66 Messungen (8%) ein gleichzeitiger Kontakt detektiert; alle gleichzeitigen Kontakte sowohl zum SMC, als auch zum SMR wurden

an einer bukkodistalen Zahnwurzel festgestellt – dies entspricht für diese Zahnwurzel in dieser Altersgruppe einem Anteil von 23% (siehe Abbildung 18, Seite 74).

Auf Höhe der 11er wurde in AG 1 kein gleichzeitiger Kontakt einer Wurzel zum SCM und SMR festgestellt.

In AG 2 bestand der überwiegende Teil gleichzeitiger Wurzelkontakte mit dem SMC und SMR auf Höhe der 10er mit 53 von insgesamt 207 Messungen (26%); davon hatte die bukkodistale Zahnwurzel in 25 von 69 Messungen (36%) und die bukkomesiale Wurzel in 28 von 69 Messungen (40%) gleichzeitigen Kontakt sowohl zum SMC als auch zum SMR (siehe Abbildung 17, Seite 73).

Auf Höhe der 09er wurde in AG 2 in fünf von insgesamt 198 Messungen (3%) ein gleichzeitiger Kontakt detektiert; alle gleichzeitigen Kontakte sowohl zum SMC als auch zum SMR wurden an einer bukkodistalen Zahnwurzel festgestellt – dies entspricht für diese Zahnwurzel in dieser Altersgruppe einem Anteil von 8% (siehe Abbildung 18, Seite 74).

Auf Höhe der 11er wurde in zwei von insgesamt 207 Messungen (1%) ein gleichzeitiger Kontakt detektiert; alle gleichzeitigen Kontakte sowohl zum SMC als auch zum SMR wurden an einer bukkomesialen Zahnwurzel festgestellt – dies entspricht für diese Zahnwurzel in dieser Altersgruppe einem Anteil von 3% (siehe Abbildung 16, Seite 72).

7.5.3 Kontakt zwischen den Zahnwurzeln und SMR

Alleiniger Kontakt zwischen den Zahnwurzeln und dem SMR konnte bei den Untersuchungen auf Höhe der 08er, 09er und 10er identifiziert werden. Kein Pferd hatte alleinigen Kontakt zum SMR mit den 06ern, 07ern und 11ern. Die prozentuale Verteilung der Wurzelkontakte mit dem SMR ist in den Abbildungen 17, 18 und 19 für jede Altersgruppe separat dargestellt.

Auf Höhe der 08er, 09er und 10er konnten bei 46 Pferden insgesamt 269 Zähne und 807 Wurzelpositionen bewertet werden; davon 66 Zähne und 198 Wurzelpositionen in Altersgruppe 1 (AG 1), sowie 203 Zähne und 609 Wurzelpositionen in Altersgruppe 2 (AG 2). Von diesen hatten in AG 1 insgesamt 105 Wurzeln (53%), sowie in AG 2 insgesamt 352 Wurzeln (58%) alleinigen Kontakt zum SMR (siehe Abbildung 17, Seite 73, Abbildung 18, Seite 74, sowie Abbildung 19, Seite 75).

In AG 1 bestand der überwiegende Teil der Wurzelkontakte mit dem SMR auf Höhe der 08er mit 52 von insgesamt 66 Messungen (79%); davon hatte die bukkodistale Zahnwurzel in 18

von 22 Messungen (82%), die bukkomesiale Wurzel in 18 von 22 Messungen (82%), sowie die palatinale Wurzel in 16 von 22 Messungen (73%) alleinigen Kontakt zum SMR (siehe Abbildung 19, Seite 75).

Auf Höhe der 09er wurde in 43 von insgesamt 66 Messungen (65%) ein Kontakt detektiert; davon hatte die bukkodistale Zahnwurzel in 17 von 22 Messungen (77%), die bukkomesiale Wurzel in 22 von 22 Messungen (100%), sowie die palatinale Wurzel in vier von 22 Messungen (18%) Kontakt zum SMR (siehe Abbildung 18, Seite 74).

Auf Höhe der 10er wurde in zehn von insgesamt 66 Messungen (15%) ein Kontakt detektiert; davon hatte die bukkodistale Zahnwurzel in vier von 22 Messungen (18%), die bukkomesiale Wurzel in sechs von 22 Messungen (28%), sowie die palatinale Wurzel in keiner von 22 Messungen (0%) Kontakt zum SMR (siehe Abbildung 17, Seite 73).

In AG 2 bestand der überwiegende Teil der Wurzelkontakte mit dem SMR auf Höhe der 09er mit 178 von insgesamt 198 Messungen (90%); davon hatte die bukkodistale Zahnwurzel in 61 von 66 Messungen (92%), die bukkomesiale Wurzel in 66 von 66 Messungen (100%), sowie die palatinale Wurzel in 51 von 66 Messungen (77%) alleinigen Kontakt zum SMR (siehe Abbildung 18, Seite 74).

Auf Höhe der 08er wurde in 123 von insgesamt 204 Messungen (60%) ein Kontakt detektiert; davon hatte die bukkodistale Zahnwurzel in 41 von 68 Messungen (60%), die bukkomesiale Wurzel in 41 von 68 Messungen (60%), sowie die palatinale Wurzel in 41 von 68 Messungen (60%) alleinigen Kontakt zum SMR (siehe Abbildung 19, Seite 75).

Auf Höhe der 10er wurde in 51 von insgesamt 207 Messungen (25%) ein Kontakt detektiert; davon hatte die bukkodistale Zahnwurzel in fünf von 69 Messungen (7%), die bukkomesiale Wurzel in 33 von 69 Messungen (48%), sowie die palatinale Wurzel in 13 von 69 Messungen (19%) alleinigen Kontakt zum SMR (siehe Abbildung 17, Seite 73).

7.5.4 Kontakt zwischen den Zahnwurzeln und SCV

Bei den Untersuchungen hatten lediglich die palatinalen Zahnwurzeln Kontakt zum SCV, daher werden die bukkodistale, sowie die bukkomesiale Zahnwurzel hier nicht weiter beschrieben. Insgesamt 360 palatinale Wurzelpositionen konnten auf Höhe der 08er bis 11er bewertet werden; davon 88 in Altersgruppe 1 (AG 1), sowie 272 Wurzelpositionen in Altersgruppe 2 (AG 2). Von diesen hatten in AG 1 insgesamt 49 Wurzeln (56%), sowie in AG 2 insgesamt 106

Wurzeln (39%) Kontakt zum SCV. Die prozentuale Verteilung der palatinalen Wurzelkontakte mit dem SCV ist in den Abbildungen 16, 17, 18 und 19 für jede Altersgruppe separat dargestellt.

In AG 1 bestand der überwiegende Teil der Wurzelkontakte mit dem SCV auf Höhe der 10er mit 22 von insgesamt 22 Messungen (100%). Auf Höhe der 09er wurde in 18 von insgesamt 22 Messungen (82%), auf Höhe der 11er in sieben von insgesamt 22 Messungen (32%), sowie auf Höhe der 08er in zwei von 22 Messungen (9%) ein Kontakt zwischen der palatinalen Wurzel und dem SCV festgestellt (siehe Abbildung 16, Seite 72, Abbildung 17, Seite 73, Abbildung 18, Seite 74, sowie Abbildung 19, Seite 75).

In AG 2 bestand der überwiegende Teil der Wurzelkontakte mit dem SCV auf Höhe der 11er mit 47 von insgesamt 69 Messungen (68%). Auf Höhe der 10er wurde in 44 von insgesamt 69 Messungen (64%), auf Höhe der 09er in 15 von insgesamt 66 Messungen (23%) ein Kontakt zwischen der palatinalen Wurzel und dem SCV festgestellt. Auf Höhe der 08er konnte in dieser Altersgruppe kein Kontakt zum SCV festgestellt werden (siehe Abbildung 16, Seite 72, Abbildung 17, Seite 73, Abbildung 18, Seite 74, sowie Abbildung 19, Seite 75).

7.5.5 Wurzelanteile ohne jeglichen Kontakt zum System der Nasennebenhöhlen

Kein Zahnanteil der 06er und 07er hatte Kontakt zu den NNH.

Auf Höhe der 08er hatten in AG 1 insgesamt vier Zähne (von insgesamt 22 untersuchten 08ern) keinerlei Kontakt zu den NNH; dies entspricht 18% aller Messungen auf dieser Zahnposition (siehe Abbildung 19, Seite 75).

Auf Höhe der 08er hatten in AG 2 insgesamt 27 Zähne (von insgesamt 68 untersuchten 08ern) keinerlei Kontakt zu den NNH; dies entspricht 40% aller Messungen auf dieser Zahnposition (siehe Abbildung 19, Seite 75).

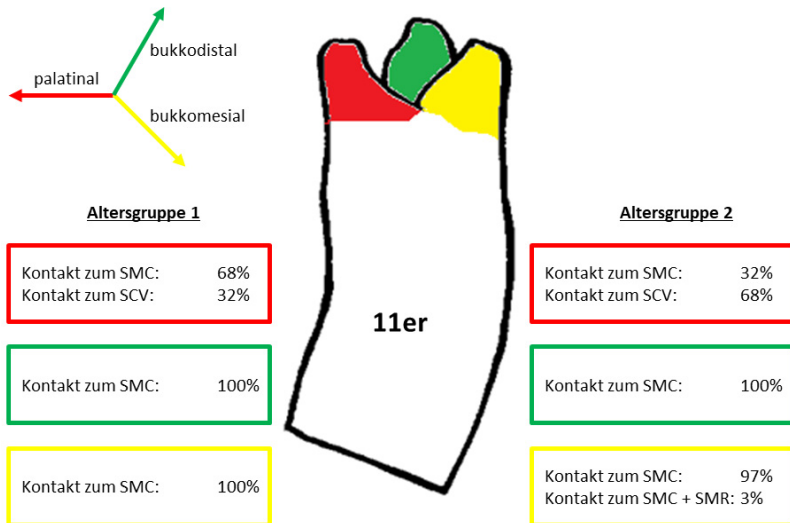


Abbildung 16

Schematische Darstellung der Kontakte einzelner Zahnwurzelanteile zu den NNH auf Höhe der 11er.

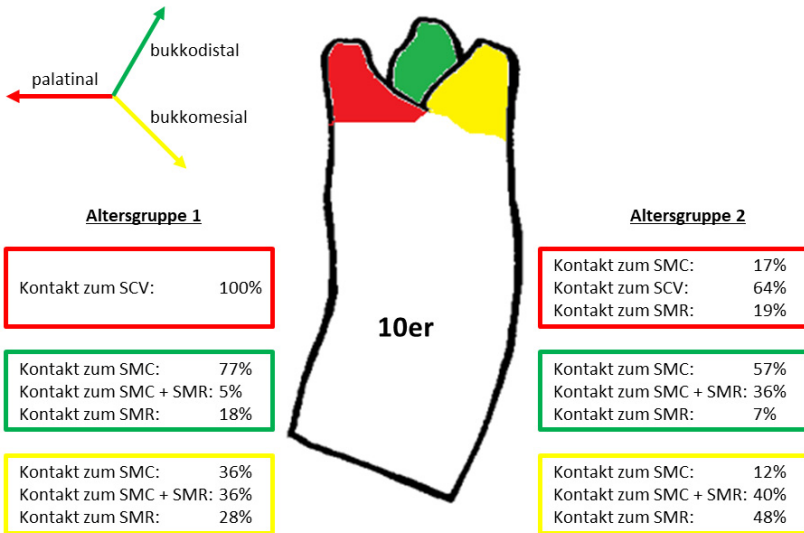


Abbildung 17

Schematische Darstellung der Kontakte einzelner Zahnwurzelanteile zu den NNH auf Höhe der 10er.

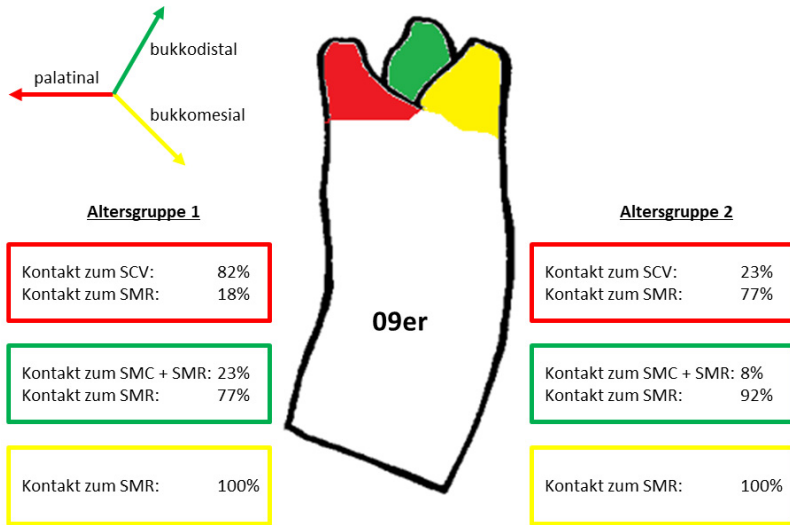


Abbildung 18

Schematische Darstellung der Kontakte einzelner Zahnwurzelanteile zu den NNH auf Höhe der 09er.

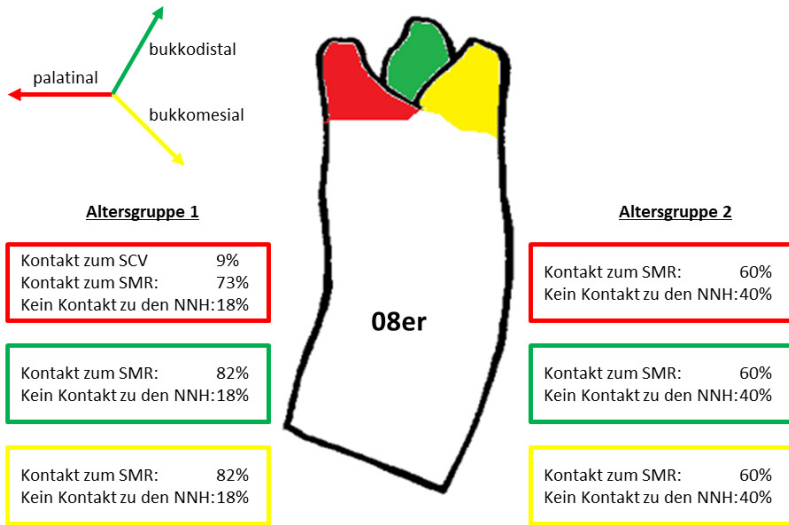


Abbildung 19

Schematische Darstellung der Kontakte einzelner Zahnwurzelanteile zu den NNH auf Höhe der 08er.

8 Diskussion

8.1 Diskussion von Material und Methode

8.1.1 Material

Bei der Auswahl der Pferdeköpfe wurde Wert daraufgelegt, dass eine möglichst heterogene Gruppe von Probanden unterschiedlichen Alters und Rasse verwendet wurde, um einen möglichst großen Durchschnitt durch die Pferdepopulation zu erhalten.

Zu diesem Zweck wurden CT-Datenstapel dreier verschiedener Quellen verwendet (aus der Pferdeklinik der University of Veterinary and Pharmaceutical Sciences Brno, Tschechien, aus der Pferdeklinik der Stiftung Tierärztliche Hochschule, Hannover der Kollegin Dr. Bienert-Zeit sowie des Kollegen Dr. Brinkschulte).

Bei der Auswahl der CT-Datenstapel wurde nicht berücksichtigt, ob die Tiere *intra vitam* oder *post mortem* gescannt worden waren. In Arbeiten anderer Autoren wird darauf hingewiesen, dass die Schleimhäute der Nasenhöhle aufgrund veränderter Druckverhältnisse während der Allgemeinanästhesie und der dorsalen Lagerung des Tieres während der Untersuchung anschwellen (Probst et al., 2005; Brinkschulte, 2012). Jedoch weisen Probst et al. (2005) und Kaminsky et al. (2016) in ihren Arbeiten darauf hin, dass die Auskleidung der Nasennebenhöhlen im CT nicht darstellbar ist, da diese nur aus einigen wenigen Epithelschichten besteht. Des Weiteren besitzt sie nur eine marginale Blutversorgung und keinen Venenplexus. Diese Aussage deckt sich mit der Beobachtung der vorliegenden Studie. In dieser Arbeit ging es vornehmlich um die Vermessung knöcherner Strukturen der Nasennebenhöhlen (z.B. die *Apertura maxillopalatina*), bzw. um qualitative Analysen morphologischer Strukturen am Pferdekopf (z.B. Zahnwurzelpositionen in Relation zu den Nasennebenhöhlen). Die Auswertung der Messungen führten zu der Schlussfolgerung, dass es für die Ergebnisse unerheblich war, ob ein Pferd *intra vitam* oder *post mortem* gescannt worden war. Ferner wurden diejenigen Köpfe, die keine genaue Beurteilung der Fragestellung zuließen (z.B. pathologische Veränderungen, postmortale Flüssigkeitsansammlungen in den Nasennebenhöhlen etc.), für diesen Teilaspekt der Untersuchungen von der Analyse ausgeschlossen.

Die Einteilung der untersuchten Pferdeköpfe in 2 Altersgruppen (AG 1: ≤ 6 Jahre, AG 2: alle Pferde > 6 Jahre) wurde aus folgenden Gründen vorgenommen: Bei Pferden, die älter sind als sechs Jahre ist davon auszugehen, dass das permanente Gebiss vollständig eruptiert und „erwachsen“ ist (Staszuk, 2011; Kölle und Staszuk, 2014; Salomon, 2015b; Schoppe et al., 2017). Diese Beobachtungen konnten in der vorliegenden Arbeit bei der Auswertung der CT-Bilder bestätigt werden. Eine weitere Alterseinteilung der erwachsenen Pferde, beispielsweise in eine „senile Altersgruppe“ (Pferde > 15 Jahre), wie sie bei den Untersuchungen von Liuti et al. (2016), Liuti et al. (2017) und Schoppe et al. (2017) vorgenommen worden war, wurde aufgrund der geringen Anzahl der Probanden, die dieser Kategorie entsprochen hätten, nicht durchgeführt. Auch war eine weitere Unterteilung der erwachsenen Pferde für die Beantwortung der Fragestellung in der vorliegenden Arbeit nach Ansicht des Autors nicht notwendig.

8.1.2 Computertomographie

Die CT-Untersuchung anatomischer Strukturen im Inneren des Pferdeschädels hat einige Vorteile. Dazu gehören u.a. die Genauigkeit und Reproduzierbarkeit der Messungen, die, nach entsprechender Anpassung der Rohdaten anhand von anatomischen Markerpunkten mit Hilfe der CT-Software-Werkzeuge, Messartefakte und andere Messfehlerquellen minimieren kann (Solano und Brawer, 2004; Veraa et al., 2009a; Cissell et al., 2012; Conchou et al., 2012; Fiske-Jackson et al., 2012; Bühler et al., 2014; Dakin et al., 2014; Dixon et al., 2015; Brinkschulte et al., 2016; Dixon et al., 2017). Diese Vorteile der CT und die Tatsache, dass in der vorliegenden Studie insbesondere das NNH-System untersucht worden ist, also Strukturen betrachtet wurden, an denen ein guter Kontrast zwischen Luft und Knochen besteht, veranlassten den Autor die CT als Untersuchungsmedium zu wählen.

Die in der vorliegenden Studie durchgeführte Verarbeitung der CT-Datenstapel wurde mit der CT-Software TomoCon[®] durchgeführt. Notwenige Modifikationen der CT-Rohdaten (Schnittbildanpassungen anhand von Markerpunkten, MPR etc.) erwiesen sich dabei als einfach durchführbar. Durch diese Vorbereitung und Vereinheitlichung der CT-Rohdaten wurden standardisierte Messungen möglich, die genauere Ergebnisse lieferten, da eventuelle, lagerungsbedingte Artefakte dadurch ausgeglichen werden konnten. Die Nutzung diverser Software-Werkzeuge (HU-Knochenfilter, „spot-density-measurement“, Werkzeuge zur

Abstandsmessung etc.) vereinfachte die Untersuchungen zusätzlich. Auch andere Arbeiten nutzten eine ähnliche Vereinheitlichung der CT-Schnittbildserien und konnten dadurch Pferdeköpfe, die beim CT-Scan nicht optimal gelagert waren, mittels MPR und Schichtebenenanpassung zunächst an die anderen angleichen (Brinkschulte, 2012; Puchalski, 2012; Selberg und Easley, 2013; Schoppe et al., 2017).

Die Genauigkeit der CT-Untersuchung ist allerdings unter anderem begrenzt durch die Schichtdicke der Bilder. Anatomische Strukturen, die kleiner sind als die gewählte Schichtdicke, sind somit nicht korrekt darstell- und auswertbar; sie erscheinen dem Betrachter verschwommen (Brinkschulte et al., 2014; Kaminsky et al., 2016; Tucker et al., 2016). Dieses Phänomen wird als „Partialvolumeneffekt“ bezeichnet. Beispielsweise wurde in einer Studie zur Darstellung feiner Strukturen, wie Austrittlöchern der Kopfnerven, eine Schichtdicke von 2mm verwendet (Gonçalves et al., 2015). Bei der vorliegenden Arbeit wurde mit einer Schichtdicke von 1,25-1,5mm gearbeitet, was zu sehr guten, hochauflösenden CT-Bildern und auswertbaren, repräsentativen Ergebnissen führte. Auch diverse andere Autoren, die sich der CT als Untersuchungsmedium bedienten, um anatomisch-morphologische Gegebenheiten im Pferdekopf zu beschreiben, arbeiteten mit einer Schichtdicke zwischen 1,25-2mm (Brinkschulte et al., 2013; Bahar et al., 2014; Bühler et al., 2014; Liuti et al., 2016; Hargreaves und Dixon, 2018).

Trotz der sehr guten Auflösung und kleinen Schichtdicke wurde allerdings auch in der vorliegenden Arbeit die Begrenzung der CT-Technik deutlich. Anatomische Strukturen, welche im Submillimeterbereich liegen, konnten auch in der vorliegenden Arbeit nicht zuverlässig dargestellt werden. Daher wurden bei einigen quantitativen Untersuchungen keine absoluten Zahlen angegeben, sondern Kategorien geschaffen, nach denen die Ergebnisse eingeteilt wurden. Bei der Vermessung des *Septum sinuum maxillarium* beispielsweise wurde die Dicke in < 1mm, 1-2mm und > 2mm unterteilt. Auch über scheinbar miteinander verschmolzene Knochenlamellen und aufeinanderliegende Membranen konnte, trotz der verwendeten kleinen Schichtdicke, keine zuverlässige Aussage getroffen werden. Daher könnten für zukünftige Studien mit Fokus auf Beschreibungen von anatomischen Strukturen im Millimeter- und Submillimeterbereich andere Untersuchungsmethoden, wie beispielsweise die μ CT, sinnvoller eingesetzt werden. Die μ CT-Technik ermöglicht Schichtdicken von unter 0,1mm (Kopke et al., 2012). Kleinere Schichtdicken ergeben zwar eine bessere Auflösung, erfordern jedoch eine längere Scanzeit und produzieren größere Datenstapel (Barbee et al., 1987). Bei

längerer Scanzeit steigt zudem die Wahrscheinlichkeit für Bewegungsartefakte, insbesondere beim „standing-CT“ (Dakin et al., 2014). Diese an das Pferd adaptierte Modifikation der CT, die vor einigen Jahren entwickelt worden ist, brachte einen wichtigen Vorteil gegenüber der üblichen Prozedur in Allgemeinanästhesie, denn sie reduziert deutlich das Narkoserisiko; es wird nur noch eine Sedation des Patienten benötigt. Es sind mittlerweile etliche Studien zu Protokollen, sowie Vor- und Nachteilen der „standing-CT“ beim Pferd veröffentlicht worden (Jose-Cunilleras und Piercy, 2007; Dakin et al., 2014; Porter und Werpy, 2014). Moderne Multidetektor-CT-Geräte sind in der Lage, bei relativ kleiner Schichtdicke (z.B. 1,25mm), Bilder mit feiner Auflösung in relativ kurzer Zeit zu generieren (Dakin et al., 2014; Dixon et al., 2017). Auch in der vorliegenden Studie wurden 16-Slice-Multidetektorgeräte verwendet.

8.2 Diskussion der Ergebnisse

8.2.1 *Sinus sphenopalatinus*

Der *Sinus sphenopalatinus* ist beim Pferd von klinischer Relevanz. Eine Entzündung dieser Nasennebenhöhle kann auf wichtige benachbarte Strukturen übergreifen und beispielsweise eine *Nervus-Opticus*-Atrophie und nachfolgende Blindheit sowie Meningitiden verursachen (Roth und Siatkowski, 2000; Freeman, 2003; McCann et al., 2004; Waibl, 2004; König und Liebich, 2005a; Barnett et al., 2008; Wissdorf et al., 2010c; Waguespack und Taintor, 2011; Radcliffe et al., 2016; Allbaugh et al., 2017). Auch Tumoren und in diesen Bereich hineinragende PEH's sind beschrieben worden, die zu ähnlichen Symptomen führen können (Roth und Siatkowski, 2000; Dixon et al., 2011b; Textor et al., 2012; Radcliffe et al., 2016; Sano et al., 2017).

Die meisten Autoren gehen davon aus, dass der *Sinus sphenopalatinus* über den *Sinus maxillaris caudalis* belüftet wird (Waibl, 2004; Simon et al., 2009; Tatarniuk et al., 2010; Easley und Freeman, 2013; Kölle et al., 2014; Tannahill, 2018) und bei einer Entzündung auch in diesen drainiert (Hartley und Grundon, 2017).

Generell erweist sich die Untersuchung des *Sinus sphenopalatinus* als schwierig, selbst endoskopisch. Die CT wird als die akkuratere Untersuchungsmethode angesehen (Dixon et al., 2012; Manso-Díaz et al., 2015).

8.2.1.1 Morphologische Untersuchung des *Sinus sphenopalatinus*

In der vorliegenden Arbeit zeigte sich bei der morphologischen Untersuchung des *Sinus palatinus* und *Sinus sphenoidalis*, dass beide *Sinūs* in 28% der untersuchten Kopfhälften getrennt voneinander vorlagen, und nicht zu einem einheitlichen *Sinus sphenopalatinus* verbunden waren. Der Unterschied in den Häufigkeiten zwischen den Altersgruppen (41% in AG 1 und 24% in AG 2) war dabei statistisch nicht signifikant.

Dass bei fast jeder dritten untersuchten Kopfhälfte eine Trennung zwischen beiden *Sinūs* festgestellt werden konnte widerspricht den meisten bisherigen Angaben in der Literatur; eine mögliche Trennung der beiden *Sinūs* wurde zwar bereits beschrieben, betraf allerdings Einzelfälle. So kommunizierten in der Studie von Tucker et al. (2016) lediglich bei einem untersuchten Pferdekopf der *Sinus palatinus* und der *Sinus sphenoidalis* nicht miteinander, bei Radcliffe et al. (2016) sind es „manche“. In einer Studie von McCann et al. (2004) wurde festgestellt, dass in seltenen Fällen der *Sinus sphenoidalis* eine eigene Verbindung zu dem „ethmoidal sinus“ haben kann; dies beschreibt diese Arbeit sowohl bei Pferden, als auch bei Eseln. Der Autor der vorliegenden Arbeit geht davon aus, dass damit die Siebbeingänge, die *Meatūs ethmoidales*, gemeint sind; der Begriff „ethmoidal sinus“ findet sich nicht in der NAV (2017). Generell wird die Anatomie des *Sinus sphenoidalis* und des *Sinus palatinus* bei McCann et al. (2004) als variabel beschrieben; es wird sogar vorgeschlagen, dass die Benennung des *Sinus sphenopalatinus* für das Pferd eine Fehlbenennung darstelle.

Obwohl in dieser Arbeit in mehr Fällen als erwartet der *Sinus palatinus* und der *Sinus sphenoidalis* nicht miteinander kommunizierten, konnte dennoch bei der Mehrzahl ein einheitlicher *Sinus sphenopalatinus* gefunden werden. Daher ist es nach Meinung des Autors der vorliegenden Studie die Bezeichnung „*Sinus sphenopalatinus*“ eine durchaus angebrachte Benennung beim Pferd.

Bahar et al. (2014) stellten in ihrer Studie fest, dass der *Sinus sphenoidalis* bei drei von insgesamt fünf untersuchten weiblichen Araberfohlen (acht- bis zwölf Wochen alt) rostral mit dem ventralen *Meatus ethmoidalis* kommunizierte. Diese Verbindung wurde "sphenoidal aperture" genannt. O'Leary und Dixon (2011) schreiben, dass der *Sinus sphenopalatinus* über den *Sinus maxillaris caudalis* zwar belüftet wird, aber bei den meisten Pferden auch mit dem „ethmoidal sinus“ kommuniziert. Auch bei Nickel et al. (2004b), sowie Robinson und Furlow (2007) wird ein eigener Belüftungsweg vom *Sinus sphenoidalis* zu den Siebbeingängen erwähnt. Diese Vermutung hat auch der Autor der vorliegenden Arbeit, obwohl dies in den

CT-Studien nicht eindeutig darstellbar war. Da beispielsweise zwei aufeinander liegende Knochenlamellen, welche von respiratorischer Schleimhaut überzogen sind und somit eine Belüftung erlauben würden, mittels CT in der angewendeten Schichtdicke nicht voneinander getrennt dargestellt werden können, sind weiterführende Untersuchungen mit anderer Methodik nötig, um diese Limitierung in der Darstellbarkeit auszugleichen.

Nickel et al. (2004b) berichten, dass der *Sinus sphenoidalis* beim Pferd gelegentlich fehlen kann. Diese Aussage konnte in der vorliegenden Studie nicht bestätigt werden, da trotz der festgestellten Variation hinsichtlich der Verbindung des *Sinus palatinus* mit dem *Sinus sphenoidalis* doch beide *Sinūs* in allen Untersuchungen identifiziert werden konnten.

8.2.1.2 Ausdehnung des *Sinus sphenopalatinus*

Bisher gab es in der Literatur nur volumetrische Messungen des *Sinus sphenopalatinus* (Brinkschulte et al., 2013; Liuti et al., 2017), jedoch liegen keine Daten zu einer Vermessung der Ausdehnungen dieser Nasennebenhöhle vor. Brinkschulte et al. (2013) gibt das Volumen des *Sinus sphenopalatinus* mit durchschnittlich ca. 28ml an, wobei keine Links-Rechts-Abweichung feststellbar war. Nach Liuti et al. (2017) ist der *Sinus sphenopalatinus* durchschnittlich 31cm³ groß. Der *Sinus sphenopalatinus* ist somit volumetrisch gesehen die zweitkleinste Nasennebenhöhle nach dem *Sinus conchae mediae* (Brinkschulte et al., 2013).

Die maximale dorso-ventrale Ausdehnung des *Sinus sphenopalatinus* betrug in der vorliegenden Studie 24mm, die maximale latero-laterale Ausdehnung betrug 33mm; bei keinem Pferdekopf erschienen die *Sinūs sphenopalatinae* höher als breit. Des Weiteren zeigten sich die Höhe und Breite des *Sinus sphenopalatinus* in dieser Arbeit statistisch als altersunabhängig. Dies steht im Gegensatz zur rostro-kaudalen Ausdehnung des *Sinus sphenopalatinus*, dessen Dimensionen in anderen Arbeiten als altersabhängig beschrieben wurden (McCann et al., 2004); mit zunehmendem Alter wird dabei nicht nur das *Os praesphenoidale*, sondern auch das *Os basisphenoidale* vom *Sinus sphenopalatinus* pneumatisiert (Nickel et al., 2004b).

Die Längen- und Breitenvermessung der vorliegenden Arbeit, sowie die volumetrischen Messergebnisse von Brinkschulte et al. (2013), bestätigen die Tatsache, dass der *Sinus sphenopalatinus* recht klein ist. Untersuchungen des *Sinus sphenopalatinus* können sich daher als schwierig gestalten, zumal auch die Öffnung in den *Sinus palatinus* recht klein ist und sich

dieser zusätzlich in einem für endoskopische Untersuchungen ungünstigen Winkel befindet (Tucker et al., 2016). Der nachgeschaltete *Sinus sphenoidalis* ist daher mit einem Endoskop mit gängigem Durchmesser (11mm) so gut wie unmöglich einzusehen. Es wird ein deutlich dünneres Endoskop (4mm) empfohlen (Tucker et al., 2016). Sowohl Tucker et al. (2016) als auch andere Autoren halten die CT daher für die Beurteilung des *Sinus sphenopalatinus* für eine entweder ergänzende oder sogar akkuratere Untersuchungsmethode verglichen mit anderen bildgebenden Verfahren (Dixon et al., 2012; Manso-Díaz et al., 2015; Radcliffe et al., 2016). Aufgrund der vorliegenden Messergebnisse schließt sich der Autor der vorliegenden Studie dieser Einschätzung an.

8.2.1.3 Vermessung der Knochendicke des *Os praesphenoidale ventral des Chiasma opticum*

Bereits in anderen Arbeiten wurden die CT und die MRT als ideale Untersuchungsmethoden zur Identifikation von Erkrankungen des *Chiasma opticum* sowie zur Bestimmung der Ausmaße der Läsionen beschrieben (D'Août et al., 2015; Beltran et al., 2017).

In der vorliegenden Arbeit wurde die Knochendicke des *Os praesphenoidale ventral des Chiasma opticum* vermessen, und anschließend das Messergebnis in $\leq 1\text{mm}$ oder $> 1\text{mm}$ angegeben. Diese Einteilung wurde vorgenommen, da die optische Auflösung der Schnittbilder im CT-Programm zuverlässige Angaben im Submillimeterbereich nicht zugelassen hätte. Dabei konnte festgestellt werden, dass in Altersgruppe 1 insgesamt 45% und in Altersgruppe 2 insgesamt 22% der untersuchten *Ossa praesphenoidalia* eine Knochendicke von $\leq 1\text{mm}$ besaßen. Eine Knochendicke von $> 1\text{mm}$ wiesen in Altersgruppe 1 55% und in Altersgruppe 2 78% aller untersuchten *Ossa praesphenoidalia* auf. Trotz dieser Unterschiede waren die Ergebnisse altersunabhängig, der Alterseinfluss auf die Knochendicke statistisch nicht signifikant ($p = 0,0656$).

Fasst man die Ergebnisse also unabhängig von der Altersgruppe zusammen, war somit bei einem guten Viertel (28%) der untersuchten Pferdeköpfe das *Os praesphenoidale* $\leq 1\text{mm}$ dick, wohingegen bei einem Großteil der untersuchten Schädel (72%) die Knochendicke $> 1\text{mm}$ betrug.

McCann et al. (2004) stellten fest, dass sich der *Sinus sphenoidalis* bei allen 16 untersuchten Köpfen in unmittelbarer Nähe der Sehnerven befand. Dies deckt sich mit den Ergebnissen der

vorliegenden Arbeit; es konnte jederzeit eine Vermessung der Knochendicke des *Os praesphenoidale* innerhalb des *Sinus sphenoidalis* ventral des *Chiasma opticum* vorgenommen werden.

In der Studie von McCann et al. (2004) wurden die im Dach des *Os basisphenoidale* gut zu identifizierenden anatomischen Strukturen (*Sulcus nervi ophthalmici*, *Nervus trochlearis* und *Sulcus nervi maxillaris*) mit ihren entsprechenden Nerven bei Pferden, deren *Sinus sphenoidalis* bis in das *Os basisphenoidale* hineinragte, nur durch eine dünne Knochenplatte von einer Breite < 1mm vom Lumen des *Sinus sphenoidalis* getrennt. Diese Angaben von McCann et al. (2004) treffen lediglich auf 28% der untersuchten Pferdeköpfe der vorliegenden Arbeit zu.

In einer Studie von Tucker et al. (2016) wird bezüglich der knöchernen Begrenzungen des *Sinus sphenopalatinus* nur von dünnen, hyperdensen Knochenwänden berichtet, eine Angabe über die Knochendicke in Millimetern fehlt allerdings. Auch bei Easley und Freeman (2013) werden die lateralen Wände und die dorsale Wand des *Sinus sphenopalatinus* lediglich als „dünn“ beschrieben.

Die Nähe des Sehnervs zum *Sinus sphenopalatinus* ist insofern klinisch relevant, als diese Struktur bei Erkrankung des *Sinus sphenopalatinus* auch von dieser geschädigt werden kann (McCann et al., 2004; Barnett et al., 2008; Radcliffe et al., 2016). So wird in der Studie von Textor et al. (2012) beschrieben, dass fünf Jahre nach Diagnose eines progressiven Siebbeinhämatoms (PEH) eine Blindheit bei dem Pferd festgestellt worden war; möglicherweise hatte die Erosion des *Canalis opticus* und die dadurch verursachte Schädigung des *Nervus opticus* die Blindheit des Patienten verursacht (Textor et al., 2012).

Generell kann gesagt werden, dass die Knochendicke des *Os praesphenoidale* ventral des *Chiasma opticum* bei den untersuchten Pferden der vorliegenden Arbeit dicker war, als es bisher in der Literatur beschrieben und angenommen worden war.

8.2.1.4 Untersuchung der Darstellbarkeit und Kontinuität des *Septum sinuum sphenoidalium*

Das *Septum sinuum sphenoidalium* konnte bei allen 47 untersuchten Köpfen dieser Studie dargestellt werden. Es zeigte sich dabei stets komplett durchgängig darstellbar und es konnten bei keiner Untersuchung Perforationen des Septums festgestellt werden. Bei allen Köpfen wurde der linke *Sinus sphenopalatinus* somit immer komplett vom rechten *Sinus sphenopalatinus* getrennt. In den Fällen, in welchen der *Sinus palatinus* vom *Sinus sphenoidalium* getrennt vorlag, trennte das *Septum sinuum sphenoidalium* die beiden *Sinūs sphenoidales* vollständig voneinander.

McCann et al. (2004) beschreiben in ihrer Studie eine variable Position des Septums, bestätigten jedoch auch, dass sich das Septum stets als komplett durchgängig darstellen ließ. Im Gegensatz dazu wurde in einer anderen Arbeit festgestellt, dass die anatomischen Eigenschaften des *Septum sinuum sphenoidalium* sehr variabel sind. Bei einigen Köpfen konnte das Septum nur unvollständig dargestellt werden, bei anderen konnte es gar nicht gefunden werden (Tucker et al., 2016). Diese Autoren postulieren, dass ein fehlendes oder nicht durchgängiges *Septum sinuum sphenoidalium* nicht immer pathologisch sein muss. Dementsprechend gebe es eine physiologische Verbindung zwischen dem rechten und linken Sinussystem (Tucker et al., 2016). Der Versuchsaufbau der Tucker-Studie unterschied sich insofern von der vorliegenden Arbeit, als dass neben CT-Scans der Schädel auch Röntgenuntersuchungen sowie Sektionen vorgenommen wurden. Jedoch konnte auch in CT-Scans festgestellt werden, dass das Septum nicht immer vorhanden war. Ob diese stark voneinander abweichenden Ergebnisse zwischen der vorliegenden Studie und der Studie von Tucker et al. (2016) dadurch begründet werden können, dass in dieser Doktorarbeit eine Schichtdicke von 1,25-1,5mm für die Untersuchungen verwendet wurde, wohingegen in der Studie von bei Tucker et al. (2016) die Pferdeschädel mit einer Schichtdicke von 4mm, überlappend in 2mm-Intervallen, gescannt wurden, kann an dieser Stelle nicht abschließend beantwortet werden. Da es sich beim *Septum sinuum sphenoidalium* jedoch um eine recht dünne knöcherne Struktur (ca. 1-2mm) handelt, ist so eine Abweichung denkbar. Allerdings wurde in der Tucker-Studie auch bei den Sektionen einiger Köpfe kein *Septum sinuum sphenoidalium* vorgefunden. Man kann also von divergierenden Ergebnissen ausgehen. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit, die diejenigen anderer Autoren (McCann et al., 2004; Textor et al., 2012) bestätigen, legen nahe, dass das *Septum sinuum sphenoidalium*

physiologisch beim Pferd stets intakt sein muss und dass eine Verbindung beider Nasennebenhöhlensysteme nur pathologisch, beispielsweise durch einschmelzende Prozesse, wie Entzündungen, die das Septum perforieren, vorkommen kann. Beispielsweise berichtet Barnett et al. (2008) in seiner Studie von einem Pferdekopf, bei dem aufgrund einer umfangreichen Entzündung das *Septum sinuum sphenoidalium* pathologisch nicht mehr vollständig war. Auch beim Esel konnte in einer CT-Studie das *Septum sinuum sphenoidalium* zwar mit variablem Verlauf, aber stets komplett dargestellt werden (El-Gendy et al., 2014).

8.2.2 *Apertura maxillopalatina*

Der Autor der vorliegenden Arbeit hält die auch von Nickel et al. (2004b) verwendete Bezeichnung „*Apertura maxillopalatina*“ für geeignet. In der NAV (2017) wird dieser Begriff, allerdings nur zur Beschreibung der *Sinūs paranasales* der Wiederkäuer, verwendet.

8.2.2.1 Vermessung der *Apertura maxillopalatina* im Querschnitt, morphologische Beurteilung

Die *Apertura maxillopalatina* ist in ihrer morphologischen Erscheinungsform überwiegend als „oval“ zu bezeichnen, dies war in knapp der Hälfte der Fälle aller untersuchten *Aperturæ* in der vorliegenden Studie der Fall. Nur bei einem untersuchten Schädel konnte die *Apertura maxillopalatina* beidseits als „rundlich“ bezeichnet werden. Die Kategorien „länglich“ und „oval“ machten zusammen mit 78% aller Messungen den Großteil der untersuchten Erscheinungsformen der *Apertura maxillopalatina* aus.

Bezüglich der Längen- und Breitenvermessung der *Apertura maxillopalatina* konnte für die Länge ein Mittelwert von 34mm ermittelt werden, für die Breite ein Mittelwert von 11mm. Bei keinem Pferd war die *Apertura maxillopalatina* breiter als lang.

Sowohl die Erscheinungsform als auch das Breitenverhältnis sind unabhängig von Alter und Geschlecht. Lediglich für das Längenverhältnis wurde ein Geschlechtsunterschied festgestellt; mit einem Wert von $p = 0,0092$ war dies statistisch auffällig. Dass sich, beide Schädelseiten zusammen betrachtet, die Länge der *Apertura maxillopalatina* beim männlichen Pferd im Mittel um ca. 4,6mm kürzer als bei der Stute darstellt, ist bisher nicht beschrieben worden.

Nach Probst et al. (2005) hat die *Apertura maxillopalatina* beim Pferd eine Länge von 15-25mm, eine Breite von 10-26mm und besitzt eine sagittal-oblique Orientierung im Schädel. Die Unterschiede in den Ergebnissen, vor allem die Länge der *Apertura maxillopalatina* betreffend, die bei Probst et al. (2005) im Mittel ca. 30% kürzer ausgefallen sind, sind auffällig. Allerdings ist beim Vergleich der Messergebnisse die Tatsache erwähnenswert, dass Probst et al. (2005) für ihre Untersuchungen eine CT-Schichtdicke von 5mm verwendet haben; des Weiteren gibt es keine genaue Angabe wo genau die Öffnung vermessen wurde. Dies könnte die doch deutlichen Unterschiede zu den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit eventuell erklären.

El-Gendy et al. (2014) haben die *Apertura maxillopalatina* beim Esel vermessen und gaben für die Länge 15-20mm und für die Breite 8-10mm an, jedoch wurde auch in dieser Studie keine Angabe zur genauen Lokalisation der Vermessung angegeben. Dementsprechend ist die *Apertura maxillopalatina* des Pferdes bei ungefähr gleicher Breite um ca. 30% länger als beim Esel.

Wie bereits in Abschnitt 8.2.1.2 erläutert, gestaltet sich die endoskopische Untersuchung des *Sinus palatinus* aufgrund der kleinen Dimensionen der *Apertura maxillopalatina* nach Tucker et al. (2016) und Radcliffe et al. (2016) regelmäßig als schwierig. Berücksichtigt man die Ergebnisse der vorliegenden Studie vor dem Hintergrund, dass die bei Tucker et al. (2016) und Radcliffe et al. (2016) verwendeten Endoskope einen Durchmesser von 11mm besaßen, dann ist die Schwierigkeit der endoskopischen Untersuchung des *Sinus palatinus* nachvollziehbar; insbesondere da in der vorliegenden Studie für die Breite der *Apertura maxillopalatina* lediglich 11mm als Mittelwert ermittelt werden konnte. Auch die Tatsache, dass männliche Pferde in der vorliegenden Studie eine im Mittel um ca. 5mm kürzere *Apertura maxillopalatina* aufwiesen, als weibliche Pferde, legt die Vermutung nahe, dass sich eine endoskopische Untersuchung bei diesem Geschlecht als noch schwieriger darstellen könnte. Die Verwendung eines 4mm-Endoskops, bzw. der CT als sinnvolles ergänzendes bildgebendes Verfahren für die Untersuchung des *Sinus palatinus*, wird daher empfohlen (Radcliffe et al., 2016; Tucker et al., 2016). Die Ergebnisse der vorliegenden Studie unterstützen diese Empfehlung.

8.2.2.2 Vermessung der *Apertura maxillopalatina* zwischen dem Siebbein und dem *Nervus nasalis caudalis*

Es wurden Abstandsmessungen der *Apertura maxillopalatina* zwischen dem Siebbein und dem *Nervus nasalis caudalis* durchgeführt, eine mediale sowie eine laterale Messung. Bezüglich der medialen Messung konnte ein Mittelwert von 11mm ermittelt werden, sowohl für die linken als auch für die rechten Kopfhälften. Die Messwerte reichten von 4-19mm. Für die lateralen Abstände galten 14mm als Mittelwert; die Messwerte reichten von 6-23mm. Die Werte der lateralen Abstandsmessungen waren überwiegend größer als diejenigen der medialen Abstände. Bei der Vermessung konnte keine Altersabhängigkeit festgestellt werden.

Die in der vorliegenden Arbeit vorgenommenen Abstandsmessungen zeigen, dass zum Teil nur geringe Abstände zwischen wichtigen anatomischen Strukturen im Bereich der *Apertura maxillopalatina* bestehen. Diese können bei progressiven Erkrankungen leicht überbrückt und so die angrenzenden Strukturen, wie Nerven und Gefäße, geschädigt werden (Dixon et al., 2011b; Dixon, 2014).

8.2.3 *Sinus conchae mediae*

8.2.3.1 Symmetrie des *Sinus conchae mediae* im Rechts-Links-Vergleich

In der vorliegenden Studie wurde bei 42 Pferdeschädeln die Seitensymmetrie der *Sinūs conchae mediae* beurteilt. Bei ca. einem Drittel aller Pferdeköpfe waren der linke und rechte *Sinus conchae mediae* nicht symmetrisch zueinander. Während bei jungen Pferden noch die meisten *Sinūs* symmetrisch im Seitenvergleich erschienen, war dies bei erwachsenen Pferden nur noch in ungefähr der Hälfte der Untersuchungen der Fall. Dass die Wahrscheinlichkeit für eine morphologische Seitensymmetrie des *Sinus conchae mediae* mit dem Alter des Pferdes abnimmt, ist ein überraschendes Ergebnis, zumal es sich um statistisch deutliche Unterschiede ($p = 0,0357$) zwischen den Altersgruppen handelt.

8.2.3.2 Belüftungswege zum *Sinus conchae mediae*

In der Literatur herrscht Uneinigkeit darüber, über welchen Weg der *Sinus conchae mediae* belüftet wird. Die meisten Autoren beschreiben eine Belüftung über den *Sinus maxillaris caudalis* (Trotter, 1993; Morrow et al., 2000; Waibl, 2004; Wissdorf et al., 2010c; Brinkschulte et al., 2013; Bahar et al., 2014), andere beschreiben eine Verbindung zum „ethmoidal sinus“ (hiermit ist vermutlich das Siebbein gemeint), bzw. zur Nasenhöhle (Nickel et al., 2004b; O'Leary und Dixon, 2011; Kölle et al., 2014). Auch beim Esel besteht in der Regel eine Verbindung zwischen dem *Sinus conchae mediae* und dem *Sinus maxillaris caudalis* (El-Gendy et al., 2014).

In der vorliegenden Arbeit konnte bei 80% aller untersuchten *Sinūs* eine eindeutige Belüftung über den *Sinus maxillaris caudalis* dargestellt werden, bei den restlichen 20% war die Darstellung eines eigenen Belüftungswegs mittels CT nicht möglich. Der Autor der vorliegenden Arbeit vermutet in diesen Fällen eine Belüftung über das Ethmoid. Andererseits ist es durchaus möglich, dass die Belüftung über den *Sinus maxillaris caudalis* durch das direkte Aufeinanderliegen von mit respiratorischem Epithel überzogenen Knochenlamellen mittels CT nicht darstellbar gewesen war. Eine weitere Untersuchung beispielsweise mittels μ CT könnte darüber Klarheit verschaffen.

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit bezüglich der Darstellbarkeit des Belüftungswegs stimmen mit denen von Nowak und Schulte-Bahrenberg (2011) überein; auch dort wird berichtet, dass der Zugang zum *Sinus conchae mediae* nicht regelmäßig darstellbar ist.

8.2.3.3 Vermessung der Öffnung des *Sinus conchae mediae*

Bezüglich der Längen- und Breitenvermessung der Öffnung des *Sinus conchae mediae* konnte für die Länge ein Mittelwert von 12mm ermittelt werden, für die Breite ein Wert von 3mm. Die Werte für die Länge rangierten dabei zwischen 5-26mm, für die Breite zwischen 1-5mm. El-Gendy et al. (2014) untersuchten die Öffnung des *Sinus conchae mediae* beim Esel und ermittelten eine Länge von 4mm, bzw. eine Breite von 2mm. Diese Werte stimmen zum Teil mit denen des Pferdes überein, jedoch wurden in der vorliegenden Studie auch deutlich größere Längen und Breiten für das Pferd ermittelt, was für eine gewisse Variation beim Pferd spricht.

Eine statistisch relevante Alterskorrelation konnte bei den Vermessungen der Öffnung zum *Sinus conchae mediae* nicht festgestellt werden.

8.2.3.4 Morphologische Form der Öffnung des *Sinus conchae mediae*

Die morphologische Erscheinungsform der Öffnung des *Sinus conchae mediae* konnte in rund 90% der Fälle für beide Altersgruppen als „schlitzförmig“ bezeichnet werden. Auch Kölle et al. (2014) gaben die Öffnung als „schlitzförmig“ an. Die Erscheinungsform der Öffnung des *Sinus conchae mediae* unterscheidet sich somit zwischen Pferd und Esel, da El-Gendy et al. (2014) die Öffnung des *Sinus conchae mediae* beim Esel als „oval“ beschrieben haben.

8.2.4 *Septum sinuum maxillarium*

8.2.4.1 Bestimmung der Dicke des *Septum sinuum maxillarium*

Die Bestimmung der Dicke des *Septum sinuum maxillarium* wurde an insgesamt 90 Kopfhälften in dessen ventralem Bereich durchgeführt. Sowohl in Altersgruppe 1 als auch in Altersgruppe 2, konnte in rund 75% aller Untersuchungen eine Dicke zwischen 1-2mm festgestellt werden, wohingegen nur in rund 5% der Fälle in Altersgruppe 1 und 2 eine Dicke von < 1mm gemessen werden konnte. Diese Ergebnisse decken sich nicht mit denen von Taterniuk et al. (2010); dort wurde die Dicke des Septums mit 1mm oder weniger angegeben. Andere Autoren haben die Dicke des *Septum sinuum maxillarium* als ventral dichtere Struktur und dorsal dünner, bzw. „cribriform“ oder „eierschalendünn“ werdend beschrieben (Trotter, 1993; Freeman, 2003; Finnegan et al., 2011; Kölle et al., 2014). Auf diese dünnwandige kaudale Ausbuchtung des Septums (*Bulla septi sinuum maxillarium*) wird in Abschnitt 4.4.3.3 eingegangen.

Es konnte bezüglich der Knochendicke des *Septum sinuum maxillarium* keine Alterskorrelation in der vorliegenden Studie festgestellt werden.

8.2.4.2 Bewertung der morphologischen Ähnlichkeit des *Septum sinuum maxillarium* im Rechts-Links-Vergleich eines Pferdeschädels

Es wurde die morphologische Ähnlichkeit der Verläufe der *Septum sinuum maxillarium* im Rechts-Links-Vergleich untersucht. Hierzu wurden insgesamt 44 Pferdeschädel ausgewertet. Wie in Diagramm 13, Seite 59, gut ersichtlich waren sowohl symmetrische, als auch asymmetrische Verläufe in beiden Altersgruppen fast gleichmäßig verteilt. In Altersgruppe 2 war der Anteil der symmetrischen Verläufe etwas höher als derjenige der asymmetrischen Verläufe. Bezüglich der Wahrscheinlichkeit bilateral ähnlicher Verläufe konnte statistisch keine Alterskorrelation festgestellt werden.

Generell waren die Verläufe des *Septum sinuum maxillarium* von hoher Variabilität beim vergleichenden Betrachten verschiedener Pferdeköpfe; deshalb sind morphologisch ähnliche Verläufe nur im Links-Rechts-Vergleich eines Schädels zu erwarten; diese Beobachtungen machten bereits andere Autoren (Waibl, 2004; Wissdorf et al., 2010c; Brinkschulte et al., 2016).

Obwohl die Morphologie des Septums sehr individuell erschien, verläuft es dennoch generell von rostro-lateraler in kaudo-medialer Richtung. Auch diese Beobachtung entspricht derjenigen anderer Arbeiten (Barakzai, 2011; O'Leary und Dixon, 2011).

8.2.4.3 Bestimmung der Kontinuität des *Septum sinuum maxillarium*

Die Bestimmung der Kontinuität des *Septum sinuum maxillarium* wurde an 90 Schädelhälften untersucht und diese in allen Fällen festgestellt. Somit war der *Sinus maxillaris rostralis* jederzeit vom *Sinus maxillaris caudalis* getrennt; es wurden keine Perforationen detektiert. Diese Ergebnisse decken sich mit denen anderer Autoren (Trotter, 1993; Waibl, 2004; König und Liebich, 2005b; Nöller et al., 2007; Tatarniuk et al., 2010; Brinkschulte et al., 2013; Liuti et al., 2017), bei denen das *Septum sinuum maxillarium* im gesunden Zustand als stets intakt und kontinuierlich beschrieben wird, wohingegen andere Autoren schreiben, dass es auch physiologisch unvollständig, bzw. perforiert sein kann (Bertone et al., 1993; Wissdorf et al., 2010c; Liuti et al., 2017). Auch beim Esel soll das *Septum sinuum maxillarium* physiologisch nicht immer vollständig sein (El-Gendy et al., 2014); beim Maulesel, bzw. Maultieren kann es sogar gänzlich fehlen (Bertone et al., 1993; Wissdorf et al., 2010c).

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit unterstützen die These, dass das *Septum sinuum maxillarium* beim Pferd nur bei pathologischen Veränderungen perforiert sein kann.

8.2.4.4 Bestimmung der Anheftungspunkte des *Septum sinuum maxillarium* am PCI/*processus alveolaris* in Relation zu den Backenzähnen

Es wurden die Anheftungspunkte des *Septum sinuum maxillarium* am PCI/*processus alveolaris* in Relation zu den Backenzähnen untersucht.

In Altersgruppe 1 war der Anheftungspunkt des Septums am PCI/*processus alveolaris* im überwiegenden Teil (64%) der Untersuchungen mit dem 10er assoziiert, wobei in jeweils rund einem Viertel der Fälle das Septum entweder distal oder mesial am 10er anheftete. Bei den restlichen Untersuchungen konnte eine Verbindung auf Höhe der 09er, bzw. zwischen Triadan 09 und 10, festgestellt werden.

In Altersgruppe 2 zeigte sich ein eher heterogenes Bild. Der Anheftungspunkt des Septums am PCI/*processus alveolaris* war im überwiegenden Fall der Fälle entweder mit dem 10er oder 11er assoziiert.

Das auffälligste Ergebnis dieser Untersuchung ist die Assoziation mit Triadan 09: in Altersgruppe 1 machte diese Position noch über 36% aller Anheftungspunkte aus, wohingegen in Altersgruppe 2 das Septum nur noch in einem einzigen Fall zwischen Triadan 09 und 10 ansetzte. In keinem Fall setzte das Septum am 08er an.

Für beide Altersgruppen kann somit zusammengefasst festgestellt werden, dass der Anheftungspunkt des *Septum sinuum maxillarium* am PCI/*processus alveolaris* überwiegend mit Triadan 10 assoziiert ist. Zu diesem Ergebnis kamen auch bereits Schumacher und Perkins (2015).

Generell kann der Ansatz des Septums mit zunehmendem Alter des Pferdes weiter kaudal gefunden werden. Zu dieser Feststellung kommen auch Brinkschulte et al. (2013), die allerdings in ihrer Studie zusätzlich in Einzelfällen einen Ansatz des Septums am 08er feststellen konnten. Außerdem befanden sich bei diesem Autor die meisten Ansätze des Septums bei insgesamt 18 untersuchten Pferden auf Höhe von Triadan 09 (47%), gefolgt von Triadan 10 (44%). Auch bei anderen Autoren werden Triadan 09 und 10, allerdings ohne Gewichtung, als Anheftungspunkte des Septums genannt (Trotter, 1993; Freeman, 2003; Robinson und Furlow, 2007; Waguespack und Taintor, 2011; Easley und Freeman, 2013); dies

trifft nur für Altersgruppe 1 in der vorliegende Arbeit zu, und dies auch nur eingeschränkt, da auch bei den jungen Pferden das Septum öfter an Triadan 10 als an Triadan 09 ansetzte.

Die Ergebnisse dieser Arbeit legen nahe, dass der Ansatz des *Septum sinuum maxillarium* am PCI/*processus alveolaris* generell etwas weiter kaudal zu lokalisieren ist als bisher oft in der Literatur angegeben.

Beim Esel verläuft das *Septum sinuum maxillarium* generell weiter kaudal als beim Pferd, nämlich auf Höhe von Triadan 10 und 11 (El-Gendy et al., 2014).

8.2.4.5 Bestimmung der Anheftungspunkte des *Septum sinuum maxillarium* an der Maxilla in Relation zu den Backenzähnen

Es wurde der Anheftungspunkt des *Septum sinuum maxillarium* an der Maxilla in Bezug auf die Backenzähne untersucht.

In Altersgruppe 1 war der Anheftungspunkt des Septums in knapp 70% der Fälle mit Triadan 09 assoziiert, 14% hiervon zwischen waren zwischen 09er und 10er gelegen. In den restlichen Fällen bestand eine Assoziation mit Triadan 10.

In Altersgruppe 2 war der Anheftungspunkt in knapp der Hälfte der Fälle auf Höhe des 10er zu finden, bei einem Zehntel zwischen 10er und 11er. In einem Drittel der Fälle war der Ansatz mit dem 09er assoziiert, der 11er als Ansatzpunkt machte nur einen Bruchteil aus. Die Gesamtauswertung der Ergebnisse spiegelt einen vorwiegend rostro-lateralen nach kaudo-medialen Verlauf des *Septum sinuum maxillarium* wider. Die Anheftungspunkte des *Septum sinuum maxillarium* am PCI/*processus alveolaris* sind in beiden Altersgruppen überwiegend weiter kaudal gelegen als die Anheftungspunkte an der Maxilla. Insbesondere ist zu beachten, dass in Altersgruppe 2 der Ansatz des *Septum sinuum maxillarium* an der Maxilla in einem deutlich größeren Anteil der Fälle mit dem 09er assoziiert ist als der Ansatz am PCI/*processus alveolaris*.

In keinem Fall reichte das *Septum sinuum maxillarium* bis auf die Höhe von Triadan 08. Dies widerspricht den Beobachtungen von Dixon und Du Toit (2011), bei denen das *Septum sinuum maxillarium* bis auf diese rostrale Position reichen konnte.

8.2.4.6 Bestimmung der Ausdehnung der *Bulla septi sinuum maxillarium*

In der vorliegenden Arbeit wurde die kaudale Ausdehnung (Protrusion) der *Bulla septi sinuum maxillarium* in den *Sinus maxillaris caudalis* in Assoziation zu den Oberkieferbackenzähnen untersucht.

In Altersgruppe 1 war die kaudale Ausdehnung der *Bulla septi sinuum maxillarium* überwiegend mit dem 10er assoziiert. In keinem Fall reichte die *Bulla septi sinuum maxillarium* bis kaudal hinter den 11er. In Altersgruppe 2 war die *Bulla septi sinuum maxillarium* in 90% der Fälle mit dem 11er assoziiert, oder ragte über die Höhe des 11er weiter hinaus nach kaudal.

Generell verändert sich die relative Position der *Bulla septi sinuum maxillarium* zu den Oberkieferbackenzähnen; sie liegt bei adulten Pferden weiter kaudal im Vergleich zu jungen Pferden. Diese Ergebnisse unterstützen die Aussage von Liuti et al. (2017), die von einer erheblichen Variation, die kaudale Ausdehnung der *Bulla septi sinuum maxillarium* betreffend, ausgeht. Zwar konnte in der vorliegenden Studie bei allen Untersuchungen die *Bulla septi sinuum maxillarium* im CT identifiziert werden, diese Ergebnisse stehen allerdings im Gegensatz zu Liuti et al. (2017), in deren Studie diese Struktur nicht jederzeit uneingeschränkt im CT darstellbar war.

8.2.5 Zahnwurzelpositionen in Relation zu den Nasennebenhöhlen

Die diagnostische Wichtigkeit um das Wissen der exakten Position der Zahnwurzeln und ihre Beziehung zu den Nasennebenhöhlen wurde bereits mehrfach dargelegt (Dyce et al., 2002; König und Liebich, 2005a; Dixon et al., 2012; Brinkschulte et al., 2013; Staszuk, 2014; Liuti et al., 2017; Hargreaves und Dixon, 2018).

In der Literatur herrscht generell kein Konsens darüber, ob und welche Backenzahnwurzeln beim Pferd Kontakt zu den Nasennebenhöhlen haben. Größtenteils unstrittig ist der Kontakt zu den Nasennebenhöhlen bei den letzten drei Oberkieferbackenzähnen (Triadan 09-11). Die Wurzeln von Triadan 06 und 07 stehen in keinerlei Kontakt zu den Nasennebenhöhlen (Brinkschulte et al., 2013; Liuti et al., 2017; Hargreaves und Dixon, 2018). Auch in der vorliegenden Arbeit war dies der Fall.

Über den Kontakt der Zahnwurzeln von Triadan 08 gibt es allerdings unterschiedliche Aussagen. Staszuk (2011) sagt aus, dass die letzten 4 Backenzähne (Triadan 08-11) regelmäßig

Kontakt zu den Nasennebenhöhlen haben. Andere Autoren beschreiben, dass bei jungen Pferden die letzten 4 Backenzähne und bei adulten Pferden die letzten 3 Backenzähne mit den Nasennebenhöhlen in Verbindung stehen und postulieren somit eine Altersabhängigkeit (Dyce et al., 2002). Bei der Studie von Brinkschulte et al. (2013) gab es große Unterschiede bezüglich des Kontakts von Triadan 08. Wenn ein Kontakt zu den Nasennebenhöhlen festgestellt werden konnte, so bestand dieser stets zum rostralen Sinussystem; dies betraf Pferde aller Altersgruppen. Bei Hargreaves und Dixon (2018) hatten die meisten 08er keinerlei Kontakt zum NNH-System.

Auch die Frage, welcher Zahnwurzelanteil mit welchem NNH-System (rostrales oder kaudales NNH-System) in Verbindung steht, wird in der Literatur kontrovers diskutiert. So präzisiert Brinkschulte et al. (2013) in seiner Studie den Kontakt der Wurzeln zum NNH-System genauer: die palatinalen Wurzeln der entsprechenden Oberkieferbackenzähne standen in Kontakt mit dem *Sinus maxillaris caudalis*, dem *Sinus maxillaris rostralis*, sowie mit dem *Sinus conchae ventralis*; die beiden bukkalen Wurzeln hatten Kontakt entweder zum *Sinus maxillaris caudalis* oder dem *Sinus maxillaris rostralis*. Die meisten anderen Autoren beschreiben lediglich einen Kontakt von Triadan 10 und 11 zum *Sinus maxillaris caudalis*, sowie von Triadan 08 und 09 zum *Sinus maxillaris rostralis*; eine Erwähnung des *Sinus conchae ventralis* fehlt (Bertone et al., 1993; Dyce et al., 2002; Nöller et al., 2007; Staszuk, 2011; Hartley und Grundon, 2017). Auch Dixon und Du Toit (2011) beschreiben diese Konstellation des Kontakts als die häufigste, aber auch, dass Variationen, je nach Ansatz des *Septum sinuum maxillarium*, möglich sind.

In der vorliegenden Arbeit wurde der Kontakt der einzelnen Zahnwurzelanteile der Oberkieferbackenzähne mit den Nasennebenhöhlen sowohl bei jungen Pferden als auch bei adulten Pferden untersucht. Dabei hatten auf Höhe von Triadan 11 sowohl die bukkodistale als auch die bukkomesiale Wurzel bzw. der entsprechende Aspekt der Reservekrone, sowohl in Altersgruppe 1 als auch in Altersgruppe 2, stets Kontakt zum *Sinus maxillaris caudalis*. Für die bukkomesiale Wurzel in Altersgruppe 2 konnte in 2 Fällen ein gleichzeitiger Kontakt zum *Sinus maxillaris rostralis* festgestellt werden. In gut zwei Dritteln der Untersuchungen ist die palatinale Wurzel bei jungen Pferden (AG 1) mit dem *Sinus maxillaris caudalis* assoziiert, ein Drittel mit dem *Sinus conchae ventralis*; bei adulten Pferden ist dieses Verhältnis genau andersherum: in einem Drittel der Fälle bestand auf Höhe der 11er Kontakt zum *Sinus maxillaris caudalis*; in zwei Dritteln der Fälle Kontakt zum *Sinus conchae ventralis*, und damit also folglich auch zum *Sinus maxillaris rostralis*.

Bei den Ergebnissen von Triadan 10 zeigt sich ein recht heterogenes Bild der Zahnwurzelpositionen. Hervorzuheben ist, dass in einigen Fällen (in Altersgruppe 1 sogar fast 20%) die bukkodistalen Zahnwurzeln bereits ausschließlich mit dem *Sinus maxillaris rostralis* in Kontakt standen; in Altersgruppe 2 hatten immerhin 36% der bukkodistalen Zahnwurzeln Kontakt sowohl zum *Sinus maxillaris caudalis* als auch zum *Sinus maxillaris rostralis*. Die palatinale Wurzel der 10er bei jungen Pferden lag zu 100% im *Sinus conchae ventralis*, bei adulten Pferden war dies noch in zwei Drittel aller Untersuchungen der Fall. Zusätzlich hatte fast jede 5. palatinale Zahnwurzel der 10er (19%) in Altersgruppe 2 ausschließlichen Kontakt zum *Sinus maxillaris rostralis* und somit keinerlei Kontakt zum kaudalen NNH-System. In Altersgruppe 1 hatten rund zwei Drittel aller bukkomesialen Wurzeln Kontakt zum *Sinus maxillaris rostralis* (hiervon auch 36% zusätzlichen Kontakt zum *Sinus maxillaris caudalis*); in Altersgruppe 2 waren es sogar 88% (hiervon hatten 40% zusätzlichen Kontakt zum *Sinus maxillaris caudalis*).

Dieses Ergebnis zeigt, dass in der hier untersuchten Studiengruppe die Mehrheit der 10er und 11er bei adulten Pferden, und zumindest ein recht hoher Anteil der 10er und 11er bei jungen Pferden, mit mindestens einer Wurzel Kontakt zum rostralen NNH-System aufweisen.

Triadan 09 hatte in Altersgruppe 1 mit der palatinalen Wurzel in über 80% der Fälle Kontakt zum *Sinus conchae ventralis*, wohingegen dies in Altersgruppe 2 in nur knapp 25% der Fälle zu beobachten war. Eine Verbindung zum kaudalen Sinussystem mit der bukkodistalen Wurzel konnte auf Höhe der 09er bei jungen Pferden (Altersgruppe 1) in knapp 25% der Fälle festgestellt werden, bei adulten Pferden war dies nur in 8% der Untersuchungen auf dieser Position der Fall.

Dass fast jedes vierte junge Pferd mit dem 09er Kontakt zum kaudalen NNH-System aufweist, steht im Gegensatz zu der Aussage einiger Autoren, die bisweilen lediglich von „Einzelfällen“ sprechen (Bertone et al., 1993; Liuti et al., 2017), wohingegen andere Autoren den Kontakt des 09ers zu den Nasennebenhöhlen bereits differenzierter sehen (König und Liebich, 2005b; Staszuk, 2011; Kölle et al., 2014; Schumacher und Perkins, 2015).

In der vorliegenden Arbeit konnte bei der Mehrzahl der untersuchten Wurzeln der 08er ein Kontakt zu den Nasennebenhöhlen festgestellt werden; in Altersgruppe 1 waren dies sogar 82% und in Altersgruppe 2 noch 60% aller untersuchten Wurzelanteile der 08er. Der Großteil der einzelnen Zahnwurzelanteile von Triadan 08 ragten dabei in den *Sinus maxillaris rostralis*;

lediglich bei 2 palatinalen Wurzeln von Pferden der Altersgruppe 1 bestand Kontakt zum *Sinus conchae ventralis*.

Diese Ergebnisse entsprechen der Aussage vieler anderer Autoren (Dixon und Dacre, 2005; Staszuk, 2011; Brinkschulte et al., 2013; Hartley und Grundon, 2017) und widersprechen denjenigen von Hargreaves und Dixon (2018), die bei den meisten 08ern in ihren Untersuchungen keinen Kontakt zu den Nasennebenhöhlen feststellen konnten und die Aussage treffen, dass es sehr unwahrscheinlich sei, dass die Wurzeln der 08er an der Entstehung von dentogener Sinusitis beteiligt seien. Obwohl in der vorliegenden Arbeit die adulten Pferde verglichen mit jungen Pferden generell seltener Kontakt zu den Nasennebenhöhlen auf Höhe der 08er aufwiesen, so lässt sich die erwähnte Allgemeinaussage von Dyce et al. (2002) - dass adulte Pferde mit ihren 08ern keinerlei Kontakt zum NNH-System haben - nicht aufrechterhalten, da noch immer die Mehrzahl (60%) der Zahnwurzeln der 08er bei adulten Pferden in der vorliegenden Arbeit in direktem Kontakt zur rostralen Kieferhöhle stand.

Generell bestätigen die Ergebnisse dieser Arbeit in Hinblick auf die Position von Triadan 08 eine große Variabilität, was den Kontakt zum rostralen Sinusystem betrifft. Eine einheitliche Aussage, ob ein Pferd - unabhängig von dessen Alter - mit seinen 08ern Kontakt zum NNH-System hat, kann somit nicht getroffen werden, obwohl die Wahrscheinlichkeit dafür, besonders bei jungen Pferden, hoch ist. Diese Ergebnisse stehen im Gegensatz zu denen von Brinkschulte et al. (2013) und Hargreaves und Dixon (2018), die lediglich von vereinzelt Kontakten des 08ers mit dem NNH-System sprechen und decken sich mit den Ergebnissen von Liuti et al. (2017), in dessen Untersuchungen ebenfalls sämtliche 08er in Kontakt mit dem NNH-System standen. Dass der *Sinus conchae ventralis* nur mit der palatinalen Wurzel eines Zahnes in Verbindung stehen kann, und nicht mit den bukkalen, wurde bereits von Brinkschulte et al. (2013) beschrieben; es ist allerdings, nach Wissen des Autors, das erste Mal, dass festgestellt worden ist, dass auch der 08er mit seiner palatinalen Wurzel Kontakt zum *Sinus conchae ventralis* haben kann.

Auch die Ergebnisse auf den anderen Zahnpositionen (Triadan 09-11) erhärten die Schlussfolgerung, dass allgemeine Aussagen der Literatur, wie diejenige, dass Triadan 08 und 09 generell Kontakt zum rostralen-, sowie Triadan 10 und 11 zum kaudalen NNH-System hätten, nicht mehr gültig erscheinen. Vielmehr ist der Kontakt der einzelnen Zahnwurzeln zu den Nasennebenhöhlen beim Pferd höchst individuell und variabler als bislang vermutet.

Einige neuere Arbeiten sprechen bereits von einem sehr variablen Kontakt der letzten 4 Backenzähne zu den NNH-Kompartimenten (Brinkschulte et al., 2013; Brinkschulte et al., 2014; Kölle et al., 2014; Brinkschulte et al., 2016; Liuti et al., 2017).

8.2.6 Nomenklatur anatomischer Strukturen am Pferdekopf

Die Übergänge zwischen den einzelnen Nasennebenhöhlen sind zwar fast alle benannt, allerdings fallen nomenklatorische Unterschiede vor allem beim Vergleich englisch- und deutschsprachiger Literatur auf, die zu Missverständnissen führen können.

Etliche Autoren bezeichnen die Verbindung des *Sinus maxillaris caudalis* mit dem *Sinus palatinus*, welche in der NAV (2017), allerdings nur für Wiederkäuer, als *Apertura maxillopalatina* benannt ist, als „sphenopalatine aperture“, bzw. als „sphenopalatine opening“ (Morrow et al., 2000; Probst et al., 2005; Tarniuk et al., 2010; Bahar et al., 2014; El-Gendy et al., 2014). Eine weitere Bezeichnung für diese Verbindung ist „*Apertura palatomaxillaris*“ (Simon et al., 2009; Brinkschulte et al., 2014); auch wird die *Apertura maxillopalatina* bisweilen lediglich als "luftführender Abschnitt zwischen Auge und unterhalb des Siebbeins" bezeichnet (Gerlach et al., 2009). In der vorliegenden Arbeit wurde die Bezeichnung *Apertura maxillopalatina* verwendet, wie sie auch bei Nickel et al. (2004b) als Ausdruck für die Verbindung zwischen dem *Sinus maxillaris caudalis* und dem *Sinus sphenopalatinus* beim Pferd zu finden ist.

Eine weitere Verbindung, die von manchen Autoren unterschiedlich benannt wird, ist die *Apertura nasomaxillaris*. In englischsprachigen Veröffentlichungen wird häufig der Begriff „nasomaxillary opening“, bzw. „nasomaxillary aperture“ verwendet (Bertone et al., 1993; Morrow et al., 2000). Auch die Begriffe „nasomaxillary ostium“ (Bell et al., 2009) und „sinonasal aperture“ (O’Leary und Dixon, 2011) werden für die *Apertura nasomaxillaris* genutzt. Der Autor der vorliegenden Arbeit verwendete den Terminus *Apertura nasomaxillaris*, wie er auch in der NAV (2017) angegeben ist.

Die *Concha nasalis ventralis* enthält im rostralen Abschnitt eine luftgefüllte ‚Bulla‘, welche korrekterweise als *Bulla conchalis ventralis* bezeichnet wird (NAV, 2017). Vor allem in englischsprachigen Veröffentlichungen wird diese Struktur regelmäßig als "ventral conchal bulla" bezeichnet (Giavitto und Barakzai, 2019). Verwirrenderweise wird bei vielen Autoren allerdings auch der dorsale Aspekt des *Septum sinuum maxillarium* ebenso "ventral conchal

bulla" genannt (Freeman, 2003; Perkins et al., 2009b; Tatarniuk et al., 2010; Finnegan et al., 2011; Dixon und Gerard, 2012; Easley und Freeman, 2013). Diese Problematik wurde bereits sowohl von Nöller et al. (2007), als auch von Liuti et al. (2017) angesprochen. Um den dorsalen Aspekt des *Septum sinuum maxillarium* korrekt zu benennen und somit Verwechslungen zu vermeiden, wurde kürzlich vorgeschlagen, diese blasenartige Protrusion als "maxillary septal bulla", bzw. „bulla of the maxillary septum“ zu bezeichnen (Dixon et al., 2015; Froydenlund et al., 2015; Liuti et al., 2016; Bach et al., 2019). Ein weiterer Benennungsvorschlag ist der Terminus "*Bulla septi sinuum maxillarium*" (Brinkschulte et al., 2014; Dixon et al., 2015; Brinkschulte et al., 2016), der auch in dieser Doktorarbeit verwendet wurde.

Auch der anatomische Ursprung der *Bulla septi sinuum maxillarium* wird in der Literatur bisweilen unterschiedlich bewertet. In einem Artikel wird sie als kaudo-dorsale Ausdehnung des *Sinus maxillaris rostralis* bezeichnet (Quinn et al., 2005), in einem anderen als "Dach" des "*Sinus conchalis ventralis*" (Nöller et al., 2007). Nickel et al. (2004b) schreibt, dass die Spirallamelle in den kaudalen Abteilungen mit ihren jeweiligen Nachbarknochen verschmilzt und sich in der ventralen Muschel der *Sinus conchae ventralis* mit einer ‚Bulla‘ bildet. Diese unterschiedliche Beschreibung dieser anatomischen Struktur trägt zusätzlich zur Verwirrung des Lesers bei. Die plausibelste und am einfachsten nachvollziehbare Beschreibung der *Bulla septi sinuum maxillarium* ergibt sich, wenn nicht die *Sinūs* als Beschreibungsgrundlage herangezogen werden, sondern das *Septum sinuum maxillarium*. Demgemäß wurde in der vorliegenden Arbeit die *Bulla septi sinuum maxillarium* als dorsaler Aspekt des von ventral aufsteigenden *Septum sinuum maxillarium* beschrieben.

Im Zuge der Verkürzung der Reservekronen der Oberkieferbackenzähne mit zunehmendem Alter des Pferdes bildet sich aus den *Processūs alveolares* der Oberkieferbackenzähne eine knöcherne, bislang in der Literatur nicht weiter benannte, Lamelle aus. Diese trägt auf ihrem dorsalen freien Rand den *Canalis infraorbitalis*. Um terminologischen Verwirrungen vorzubeugen, schlägt der Autor der vorliegenden Arbeit den Begriff *Ponticulus canalis infraorbitalis* (PCI) vor.

9 Zusammenfassung

Auf die Nasennebenhöhlen des Pferdes sowie ihre Beziehung zu den Oberkieferbackenzähnen und die Übergänge der Nasennebenhöhlen, wurde bereits in der Vergangenheit in zahlreichen Studien der Fokus gelegt. Hierzu wurden neben morphologischen Studien auch vielfach bildgebende Verfahren eingesetzt; neben der CT auch die Sinuskopie sowie Röntgen und MRT. Die Nasennebenhöhlen sind beim Pferd zu einem komplizierten System ausgebildet, mit dem Kliniker häufig im Praxisalltag konfrontiert werden. Insbesondere ihre Nähe zu den Oberkieferbackenzähnen und daraus resultierende Erkrankungen wie dentogene Sinusitiden verkörpern eine Herausforderung. Hinzu kommt, dass in Bezug auf den Kontakt der Oberkieferbackenzähne mit den Nasennebenhöhlen bisweilen Uneinigkeit in der Fachliteratur herrscht. Aber auch die Morphologie der kleineren Nasennebenhöhlen sowie deren Übergänge sind bislang nur wenig beschrieben.

Eines der Ziele der vorliegenden Arbeit bestand in der genaueren Untersuchung der genannten Strukturen mit Hilfe der CT. Die Ergebnisse sollten helfen, einige kontroverse Fragen, die morphologischen Verhältnisse im Pferdekopf betreffend, zu beantworten und somit für Diagnostik und Therapie weitere Informationen zu liefern.

In der Literatur herrscht zusätzlich Uneinheitlichkeit über die Nomenklatur mancher Strukturen der Nasennebenhöhlen; einige Strukturen sind gar nicht benannt. Daneben ist anzumerken, dass es zwischen der deutschsprachigen und englischsprachigen Literatur Abweichungen gibt, welche zu dieser Problematik beitragen. Ein weiteres Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die abweichenden Begriffe zusammenzutragen und deren Bedeutung zu klären. Insbesondere die *Bulla septi sinuum maxillarium*, der Steg des *Canalis infraorbitalis* und die *Apertura maxillopalatina* standen hier im Fokus. Für den knöchernen Steg des *Canalis infraorbitalis* wurde ein Benennungsvorschlag gemacht – *Ponticulus canalis infraorbitalis* (PCI).

Einige Ergebnisse der morphologischen Untersuchung der vorliegenden Arbeit waren überraschend. So zeigte sich, dass in ca. einem Drittel (28%) aller untersuchten Pferdeköpfe (n= 26 Kopfhälften) der *Sinus sphenoidalis* getrennt vom *Sinus palatinus* vorlag. Bislang wurde angenommen, dass dies nur eine anatomische Variante ist, welche lediglich vereinzelt vorkommt. Es konnte zudem gezeigt werden, dass das *Septum sinuum sphenoidalium* jederzeit die linke von der rechten Seite trennt. Diese Erkenntnis widerspricht der Aussage vorangegangener Studien, in denen das Septum nicht immer dargestellt werden konnte.

Ein weiterer Punkt ist die Knochendicke des *Os praesphenoidale* unterhalb des *Chiasma opticum*. Bei den Untersuchungen stellte sich heraus, dass bei jungen Pferden (≤ 6 Jahre) in fast der Hälfte der Fälle (45%) der Knochen $< 1\text{mm}$ dick war. Entgegen bisheriger Beschreibungen in der Literatur wurde in fast 80% der untersuchten Köpfe bei adulten Pferden (> 6 Jahre) eine Knochendicke des *Chiasma opticum* von $> 1\text{mm}$ gemessen.

In Bezug auf die *Apertura maxillopalatina* wurde herausgefunden, dass männliche Pferde eine kürzere Öffnung besitzen als weibliche Pferde.

Ferner konnte in der vorliegenden Studie gezeigt werden, dass sowohl die Höhe als auch die Breite des *Sinus sphenopalatinus* keiner Altersabhängigkeit unterliegen. Dies steht im Gegensatz zur Längenausdehnung dieser Nasennebenhöhle; für diese wird in anderen Quellen postuliert, dass sich mit zunehmendem Alter der *Sinus sphenopalatinus* auch in das *Os basisphenoidale* ausdehnen kann.

Bisher wurden keine umfangreicheren Untersuchungen des *Sinus conchae mediae* mittels CT veröffentlicht; es gibt lediglich eine Studie über den *Sinus conchae mediae* beim Esel. Es wurde in der vorliegenden Arbeit erstmals gezeigt, dass in rund 80% der untersuchten *Sinus* eine Verbindung zum *Sinus maxillaris caudalis* dargestellt werden konnte. Dies widerspricht der Aussage mancher Autoren, die eine alleinige Belüftung über die Nasenhöhle angeben. Des Weiteren wurde die Seitensymmetrie des *Sinus conchae mediae* untersucht. Hier überrascht das Ergebnis, dass die Wahrscheinlichkeit für eine morphologische Seitensymmetrie des *Sinus conchae mediae* mit dem Alter des Pferdes abnimmt.

Bei der Untersuchung des *Septum sinuum maxillarium* konnte eine gleichmäßige Verteilung sowohl symmetrischer als auch asymmetrischer Verläufe in beiden Altersgruppen gefunden werden. Es zeigte sich in der vorliegenden Studie bei allen untersuchten Pferdeköpfen als durchgehend intakt. Dies widerspricht der Aussage manch anderer Autoren, die in ihren Studien feststellten, dass das Septum auch physiologisch perforiert sein kann.

Es wurde des Weiteren eine Untersuchung der Anheftungspunkte des *Septum sinuum maxillarium* sowohl an der Maxilla als auch am *PCI/Processus alveolaris* durchgeführt. Dabei war der Anheftungspunkt am *PCI/Processus alveolaris* überwiegend mit dem M2 assoziiert, mit zunehmendem Alter der Pferde setzte das *Septum sinuum maxillarium* jedoch weiter kaudal an. Für junge Pferde (≤ 6 Jahre) konnte eine Verbindung sowohl mit dem M1 als auch dem M2 festgestellt werden, wohingegen bei adulten Pferden (> 6 Jahre) das *Septum sinuum maxillarium* generell mit dem M2 und dem M3 assoziiert war. Bezüglich des Ansatzes an der

Maxilla war das Septum bei jungen Pferden (≤ 6 Jahre) überwiegend mit dem M1 assoziiert, bei adulten Pferden (> 6 Jahre) aber überwiegend mit dem M1 und dem M2. Insgesamt war der Ansatz am PCI/*Processus alveolaris* weiter kaudal gelegen als die Anheftungspunkte an der Maxilla. Die Aussage anderer Autoren, dass das Septum auch mit dem P4 assoziiert ist, konnte in der vorliegenden Studie nicht bestätigt werden.

Die *Bulla septi sinuum maxillarium* konnte in der vorliegenden Arbeit jederzeit mittels CT dargestellt werden. Sie ragte bei jungen Pferden (≤ 6 Jahre) nicht über den M3 hinaus; in 27% der Untersuchungen war sie mit dem M3 assoziiert, in den meisten Fällen jedoch mit dem M2 (73%). Bei adulten Pferden (> 6 Jahre) war die *Bulla septi sinuum maxillarium* in den meisten Fällen mit dem M3 assoziiert (85%), bzw. ragte über diesen hinaus (13%). Somit ist die relative Position der *Bulla septi sinuum maxillarium* bei älteren Pferden deutlich weiter kaudal gelegen als bei jüngeren Pferden.

Entgegen der Aussage vieler anderer Autoren wurde gezeigt, dass der P4 beim Pferd durchaus regelmäßig in Kontakt mit dem Nasennebenhöhlensystem steht und dass der M1, insbesondere bei jungen Pferden (≤ 6 Jahren), einen Kontakt zum kaudalen Nasennebenhöhlensystem aufweist. Des Weiteren wurde gezeigt, dass die Zähne M2 und M3 in deutlich über 60% der Pferde mit permanentem Gebiss, eine Verbindung zum *Sinus conchae ventralis* und damit zum rostralen Sinussystem aufweisen.

Die CT erwies sich als gutes bildgebendes Werkzeug, welches jedoch bei der Darstellung anatomischer Strukturen im Submillimeterbereich an ihre Grenzen stößt.

Nomenklatorische Widersprüchlichkeiten und Missverständnisse konnten aufgeklärt werden. Die Ergebnisse dieser Arbeit liefern sowohl anatomisch als auch klinisch relevante Erkenntnisse über die anatomisch-morphologischen Gegebenheiten der Nasennebenhöhlen des Pferdes sowie insbesondere die mit ihnen in Verbindung stehenden Oberkieferbackenzahnwurzeln.

10 Summary

The paranasal sinuses of the horse as well as their relationship to the maxillary cheek teeth and the paranasal passages were the subject of numerous studies in the past. In addition to morphological studies, diagnostic imaging techniques were used, including techniques such as computed tomography (CT), sinuscopy, x-ray and MRI.

The paranasal sinuses of the horse represent a complex system, which clinicians are confronted with in their daily routine frequently. Especially the sinuses' close relationship to the maxillary cheek teeth and resulting diseases such as dentogenous sinusitis, could be challenging, diagnostically as well as therapeutically, adding the fact that there is lack of unity in literature concerning the contact between certain paranasal sinuses and maxillary cheek teeth. The smaller paranasal sinuses' morphology (eg. the sphenopalatine sinus and the middle conchal sinus), as well as their passages leading to the caudal maxillary sinus, are only infrequently described so far.

One of the aims of this study was the closer examination of the abovementioned structures using computed tomography. The results' intended purpose is to help answering questions concerning morphology and provide further information for diagnostics and therapy. Another focus of this study was set on a detailed examination of the maxillary cheek teeth roots and their individual contact with paranasal sinuses; concerning this topic, there is numerous differing information in literature, partly even contradicting one another.

Moreover, in literature, there is inconsistency concerning nomenclature of some structures of paranasal sinuses; some structures aren't even correctly named. Furthermore, there is divergence between English and German literature, contributing to this problem. Especially the determination of the correct terminology of the maxillary septal bulla and maxillopalatinal aperture was one further task of this study. Concerning the bony lamella, which carries the infraorbital canal on its dorsal end and which is built by the maxillary cheek teeth' alveolar processes, a nomenclatory suggestion was made - *Ponticulus canalis infraorbitalis* (PCI).

Some results of the morphological studies where surprising, for in one third of all examined heads, the sphenoidal sinus and palatinal sinus where separated from each other. This finding has been assumed to be just an infrequent anatomical variation so far. Moreover, the study at hand could show that the sphenopalatine septum always separates the left and right side. This finding contradicts previous studies, where this septum was not always recognizable.

Another investigation dealt with the thickness of the praesphenoidal bone below the optic chiasm. It became apparent that in almost half the cases (45%), young horses' (\leq six years of age) praesphenoidal bones measured <1 mm. Contrary to common literature, in almost 80% of examined praesphenoidal bones of adult horses ($>$ six years of age) the thickness added up to >1 mm.

Concerning the maxillopalatal aperture, it was found that male horses possess a shorter opening compared to female horses.

Another finding was that the sphenopalatine sinuses' height and width are not age-dependent. This fact contrasts to the sphenoplatine sinus' length expansion; other sources state that the sphenopalatine sinus expands into the basisphenoidal bone.

As far as to the author's knowledge, more considerable studies concerning the middle conchal sinus haven't been issued until today; there is one study dealing with the middle conchal sinus in donkeys. The study at hand could show that in 80% of examined sinuses, there is a connection between middle conchal sinus and caudal maxillary sinus. This result contradicts other authors, who described an exclusive ventilation of the middle conchal sinus via a slit in the nasal cavity. Furthermore the middle conchal sinus' symmetry was examined. Surprisingly, the probability for morphological symmetry decreases with age.

The examination of the maxillary sinus septum revealed a uniform distribution regarding symmetric and asymmetric courses in both age-groups. In all cases, the septum appeared intact. This fact contradicts other authors, who found the septum to be sometimes perforated physiologically.

Furthermore, the connection points of the maxillary sinus septum with the maxilla as well as with the PCI, or the alveolar process respectively, were explored. In young horses (\leq 6 years of age), an association with M1 and M2 was found, whereas in adult horses ($>$ 6 years of age) there was an association with M2 and M3 in most cases. Consequently, the medial connection point was predominantly associated with M2, however with increasing age, it connected more caudally. Concerning the maxillary connection point, the septum was mainly associated with M1 in young horses (\leq 6 years of age); in adult horses ($>$ 6 years of age) mainly with M1 and M2. Taken all together, the PCI's connection points were found more caudally compared to the maxilla's connection points. Other authors' statements, saying that the septum was associated with P4 as well, could not be confirmed in this study.

The maxillary septal bulla could be found in all cases in this study. It did not expand beyond M3 in young horses (≤ 6 years of age); in most cases it was associated with M2. In adult horses (> 6 years of age), the bulla was mostly associated with M3 or expanded beyond it, respectively. Summarized it can be stated that the bulla markedly expands more caudally in older horses.

In contrast to statements of other authors, it was shown that P4 had contact to the paranasal sinus system frequently. Moreover, it was found that M1 had contact with the caudal paranasal sinus system, especially in young horses. It shall be emphasized that a quite high number of specimens ($> 60\%$ of horses with a permanent dentition) displayed a contact of M2 and M3 with the rostral paranasal sinus system via the ventral conchal sinus.

The CT-technique turned out to be a useful tool in diagnostic imaging but had its limitations in displaying structures of submillimeter-size.

Misunderstandings concerning nomenclature were resolved.

The results of this study provided anatomically and clinically relevant results concerning the anatomic-morphological condition of the paranasal sinuses of the horse as well as their related structures, especially the roots of the maxillary cheek teeth.

11 Anhang

Tabelle 2 - Alters-, Geschlechts- und Rassenverteilung der untersuchten Pferde

	Alter der Pferde	Geschlecht	Rasse
1	2	♀	Achal-Tekkiner
2	2	♀	Englisches Vollblut
3	2	♀	Hannoveraner
4	3	♀	Hannoveraner
5	3	♂	Belgisches Warmblut
6	3	♂	Hannoveraner
7	4	♂	Englisches Vollblut
8	4	♂	Englisches Vollblut
9	5	♀	Hannoveraner
10	5	♀	Oldenburger
11	6	♂	Friese
12	7	♂	Englisches Vollblut
13	7	♂	Arabisches Vollblut
14	7	♂	Hannoveraner
15	8	♂	Westfale
16	8	♂	Oldenburger
17	8	♂	Hannoveraner
18	9	♂	Englisches Vollblut
19	9	♂	Westfale
20	9	♂	Sorraia
21	11	♀	Schwarzwälder Fuchs
22	12	♀	Tschechisches Warmblut
23	12	♀	Haflinger
24	12	♀	Isländer
25	12	♀	Hannoveraner

26	13	♂	Belgisches Kaltblut (Brabanter)
27	13	♂	Arabisches Vollblut
28	13	♂	Warmblut
29	14	♀	Hannoveraner
30	15	♀	Englisches Vollblut
31	15	♂	Kladruber
32	16	♀	Polo Pony
33	16	♀	Friese
34	17	♂	Russisches Warmblut
35	17	♀	Hannoveraner
36	18	♂	Tschechisches Warmblut
37	18	♀	Warmblut
38	19	♂	Hannoveraner
39	20	♂	Hannoveraner
40	20	♀	Trakehner
41	22	♂	Arabisches Vollblut
42	24	♂	Kaltblut
43	24	♀	Knabstrupper
44	25	♂	Shetlandpony
45	25	♂	Fjordpferd
46	26	♂	Hannoveraner
47	28	♀	Englisches Vollblut

12 Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich ganz besonders bei Herrn Prof. Dr. Carsten Staszyc bedanken für die Möglichkeit, diese Doktorarbeit anzufertigen, die Bereitstellung dieses spannenden Themas, ebenso wie seine stets freundliche und konstruktive Unterstützung und Beratung.

Ebenso gebührt mein Dank Herrn Dr. Klaus Failing für seine Hilfe und Unterstützung bei statischen Fragestellungen.

Besonders bedanken möchte ich mich auch bei Frau Dr. Astrid Bienert-Zeit für die Bereitstellung von CT-Datenstapeln.

Ein ganz herzliches Dankeschön gilt den Mitarbeitern der Pferdeklinik sowie der Kleintierklinik der UVPS Brno, Herrn MVDr. Zdeněk Žert, CSc., Herrn MVDr. Pavel Proks, Ph.D., und Herrn MVDr. Ladislav Stehlík, Ph.D..

Von ganzem Herzen bedanke ich mich bei meiner Familie für die endlose Geduld und Unterstützung während meiner Doktorarbeitszeit, insbesondere bei meiner Claudia und meinem Jochen. Mein allergrößter und ewiger Dank gebührt jedoch meinem Johannes, für sein Verständnis, seine Unterstützung und immerwährende Liebe!

13 Erklärung

Ich erkläre: „Ich habe die vorgelegte Dissertation selbständig und ohne unerlaubte fremde Hilfe und nur mit den Hilfen angefertigt, die ich in der Dissertation angegeben habe. Alle Textstellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder nicht veröffentlichten Schriften entnommen sind, und alle Angaben, die auf mündlichen Auskünften beruhen, sind als solche kenntlich gemacht. Bei der von mir durchgeführten und in der Dissertation erwähnten Untersuchungen habe ich die Grundsätze guter wissenschaftlicher Arbeit, wie sie in der „Satzung der Justus-Liebig-Universität Gießen zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis“ niedergelegt sind, eingehalten“.

Gießen, im November 2020

Franziska Braune

14 Literaturverzeichnis

- Allbaugh RA, Townsend WM, Wilkie DA (2017):** Diseases of the Equine Vitreous and Retina. In: Gilger BC (Hrsg.), Equine ophthalmology. John Wiley & Sons Inc Third edition, Ames, Iowa, 469–507.
- Alsafy MAM, El-Gendy SAA, El Sharaby AA (2013):** Anatomic reference for computed tomography of paranasal sinuses and their communication in the Egyptian buffalo (*Bubalus bubalis*). *Anatomia, histologia, embryologia* 42: 220–231.
- Arencibia A, Vazquez JM, Jaber R, Gil F, Ramiirez JA, Rivero M, Gonzalez N, Wisner ER (2000a):** Magnetic resonance imaging and cross sectional anatomy of the normal equine sinuses and nasal passages. *Veterinary Radiology & Ultrasound* 41: 313–319.
- Arencibia A, Vazquez JM, Rivero M, Latorre R, Sandoval JA, Vilar JM, Ramirez JA (2000b):** Computed Tomography of Normal Cranioencephalic Structures in Two Horses. *Anatom Histol Embryol* 29: 295–299.
- Arencibia A, Vázquez JM, Ramirez JA, Sandoval JA, Ramirez G, Sosa C (1997):** Anatomy of the Cranioencephalic Structures of the Goat (*Capra hircus* L.) by Imaging Techniques: A Computerized Tomographic Study. *Anatom Histol Embryol* 26: 161–164.
- Ariji Y, Ariji E, Yoshiura K, Kanda S (1996):** Computed tomographic indices for maxillary sinus size in comparison with the sinus volume. *Dentomaxillofacial radiology* 25: 19–24.
- Bach FS, Böhler A, Schieder K, Handschuh S, Simhofer H (2019):** Surgical enlargement of the nasomaxillary aperture and transnasal conchotomy of the ventral conchal sinus: Two surgical techniques to improve sinus drainage in horses. *Veterinary surgery*: 1–13.
- Bahar S, Bolat D, Dayan MO, Paksoy Y (2014):** Two- and Three-Dimensional Anatomy of Paranasal Sinuses in Arabian Foals. *J. Vet. Med. Sci.* 76: 37–44.
- Barakzai SZ (2011):** Dental Imaging. In: Easley J, Dixon PM, Schumacher J (Hrsg.), Equine dentistry. Saunders 3rd ed., Edinburgh, New York, 199–237.
- Barakzai SZ, Dixon PM (2014):** Standing equine sinus surgery. *The Veterinary clinics of North America. Equine practice* 30: 45–62.
- Baratt R (2013):** Advances in equine dental radiology. *The Veterinary clinics of North America. Equine practice* 29: 367-395.

- Barbee DD, Allen JR, Gavin PR (1987):** Computed tomography in horses. *Veterinary Radiology* 28: 144–151.
- Barnett KC, Blunden AS, Dyson SJ, Whitwell KE, Carson D, Murray R (2008):** Blindness, optic atrophy and sinusitis in the horse. *Veterinary ophthalmology* 11 Suppl 1: 20–26.
- Bell C, Tatarniuk D, Carmalt J (2009):** Endoscope-Guided Balloon Sinuplasty of the Equine Nasomaxillary Opening. *Veterinary surgery* 38: 791–797.
- Beltran E, Matiasek K, Hartley C (2017):** Equine Neuro-Ophthalmology. In: Gilger BC (Hrsg.), *Equine ophthalmology*. John Wiley & Sons Inc Third edition, Ames, Iowa, 567–590.
- Bertone JJ, Biller DS, Ruggles A (1993):** Diagnostic Techniques for Evaluation of the Paranasal Sinuses. *Veterinary Clinics of North America: Equine Practice* 9: 75–91.
- Blanco D, Rivero MA, Vázquez JM, Arencibia A (2015):** Sectional anatomic and computed tomography features of the nasal and oral cavities of the one-humped camel (*Camelus dromedarius*). *Anatomia, histologia, embryologia* 44: 50–58.
- Bolger WE, Butzin CA, Parsons DS (1991):** Paranasal sinus bony anatomic variations and mucosal abnormalities: CT analysis for endoscopic sinus surgery. *The Laryngoscope* 101: 56–64.
- Boulton CH (1985):** Equine nasal cavity and paranasal sinus disease: a review of 85 cases. *Equine Veterinary Science* Volume 5 Number 5: 268–274.
- Bregger MDK, Koch C, Zimmermann R, Sangiorgio D, Schweizer-Gorgas D (2019):** Cone-beam computed tomography of the head in standing equids. *BMC veterinary research* 15: 289.
- Brinkschulte M (2012):** Morphologische Untersuchung der Apertura nasomaxillaris des Pferdes sowie deren Verzweigung in die Nasennebenhöhlen unter Anwendung dreidimensionaler Rekonstruktion computertomographischer Schnittbildserien. Hannover, Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover, Dissertation. Cuvillier Verlag, 1st ed., Göttingen.
- Brinkschulte M, Bienert-Zeit A, Lüpke M, Hellige M, Ohnesorge B, Staszyc C (2014):** The sinonasal communication in the horse: examinations using computerized three-dimensional reformatted renderings of computed-tomography datasets. *BMC veterinary research* 10: 72.

Brinkschulte M, Bienert-Zeit A, Lüpke M, Hellige M, Staszyc C, Ohnesorge B (2013): Using semi-automated segmentation of computed tomography datasets for three-dimensional visualization and volume measurements of equine paranasal sinuses. *Veterinary Radiology & Ultrasound* 54: 582–590.

Brinkschulte M, Heilige M, Paar M, Bienert-Zeit A (2016): Die klinische Relevanz der Topographie des Sinus conchae ventralis des Pferdes. Erläuterungen anhand einer Fallbesprechung - wissenschaftliches Poster. Internationale Gesellschaft zur Funktionsverbesserung der Pferde Zähne e.V. – Kongress 2016.

Bühler M, Fürst A, Lewis FI, Kummer M, Ohlerth S (2014): Computed tomographic features of apical infection of equine maxillary cheek teeth: a retrospective study of 49 horses. *Equine veterinary journal* 46: 468–473.

Cihak A, Borstel M von, Gehlen H, Feige K, Ohnesorge B (2008): Necrosis of the nasal conchae in 12 horses. *The Veterinary record* 163: 300–302.

Cissell DD, Wisner ER, Textor J, Mohr FC, Scrivani PV, Théon AP (2012): Computed tomographic appearance of equine sinonasal neoplasia. *Veterinary Radiology & Ultrasound* 53: 245–251.

Conchou F, Sautet J, Raharison F, Morigato G (2012): Magnetic resonance imaging of normal nasal cavity and paranasal sinuses in cats. *Anatom Histol Embryol* 41: 60–67.

Dakin SG, Lam R, Rees E, Mumby C, West C, Weller R (2014): Technical set-up and radiation exposure for standing computed tomography of the equine head. *Equine Veterinary Education* 26: 208–215.

D'Août C, Nisolle JF, Navez M, Perrin R, Launois T, Brogniez L, Clegg P, Hontoir F, Vandeweerd JM (2015): Computed Tomography and Magnetic Resonance Anatomy of the Normal Orbit and Eye of the Horse. *Anatomia, histologia, embryologia* 44: 370–377.

Diament MJ, Senac MO, Gilsanz V, Baker S, Gillespie T, Larsson S (1987): Prevalence of incidental paranasal sinuses opacification in pediatric patients: a CT study. *Journal of computer assisted tomography* 11: 426–431.

Dixon J, Lam R, Weller R, Manso-Díaz G, Smith M, Piercy RJ (2017): Clinical application of multidetector computed tomography and magnetic resonance imaging for evaluation of

cranial nerves in horses in comparison with high resolution imaging standards. *Equine Veterinary Education* 29: 376–384.

Dixon PM (2002): The Gross, Histological, and Ultrastructural Anatomy of Equine Teeth and Their Relationship to Disease - Proceedings of the AAEP Convention 2002. *AAEP Proceedings* Vol. 48: 421–437.

Dixon PM (2014): A review of swellings of the frontal region of the equine head. *Equine Veterinary Education* 26: 365–371.

Dixon PM, Dacre I (2005): A review of equine dental disorders. *Veterinary journal* (London, England : 1997) 169: 165–187.

Dixon PM, Du Toit N (2011): Dental Anatomy. In: Easley J, Dixon PM, Schumacher J (Hrsg.), *Equine dentistry*. Saunders 3rd ed., Edinburgh, New York, 51–96.

Dixon PM, Du Toit N, Dacre I (2011a): Equine Dental Pathology. In: Easley J, Dixon PM, Schumacher J (Hrsg.), *Equine dentistry*. Saunders 3rd ed., Edinburgh, New York, 129–147.

Dixon PM, Froydenlund T, Luiti T, Kane-Smyth J, Horbal A, Reardon RJM (2015): Empyema of the nasal conchal bulla as a cause of chronic unilateral nasal discharge in the horse: 10 cases (2013-2014). *Equine veterinary journal* 47: 445–449.

Dixon PM, Gerard MP (2012): Oral Cavity and Salivary Glands. In: Auer JA, Stick JA (Hrsg.), *Equine Surgery*. Elsevier/Saunders 4th ed., St. Louis, Mo, 339–367.

Dixon PM, Hawkes C, Townsend N (2008): Complications of equine oral surgery. *Veterinary Clinics: Equine Practice* 24: 499-514.

Dixon PM, Parkin TD, Collins N, Hawkes C, Townsend N, Tremaine WH, Fisher G, Ealey R, Barakzai SZ (2012): Equine paranasal sinus disease: a long-term study of 200 cases (1997-2009): ancillary diagnostic findings and involvement of the various sinus compartments. *Equine veterinary journal* 44: 267–271.

Dixon PM, Parkin TD, Collins N, Hawkes C, Townsend NB, Fisher G, Ealey R, Barakzai SZ (2011b): Historical and clinical features of 200 cases of equine sinus disease. *The Veterinary record* 169: 439.

- Dixon PM, Tremaine WH, Pickles K, Kuhns L, Hawe C, Mccann J, Mcgorum BC, Railton DI, Brammer S (2000):** Equine dental disease Part 4: a long-term study of 400 cases: apical infections of cheek teeth. *Equine veterinary journal* 32: 182–194.
- Dixon WJ (1992):** BMDP statistical software manual. To accompany the 7.0 software release. University of California Press, Berkeley.
- Döring S, Arzi B, Barich CR, Hatcher DC, Kass PH, Verstraete FJM (2018):** Evaluation of the diagnostic yield of dental radiography and cone-beam computed tomography for the identification of anatomic landmarks in small to medium-sized brachycephalic dogs. *American journal of veterinary research* 79: 54–61.
- Du Toit N, Kempson SA, Dixon PM (2008):** Donkey dental anatomy. Part 1: Gross and computed axial tomography examinations. *The Veterinary Journal* 176: 338–344.
- Dyce KM, Sack WO, Wensing CJG (2002):** The Head And Ventral Neck Of The Horse. In: Dyce KM, Sack WO, Wensing CJG (Hrsg.), *Textbook of veterinary anatomy*. Saunders 3rd ed., Philadelphia, Pa., 479–509.
- Easley JT, Freeman DE (2013):** New ways to diagnose and treat equine dental-related sinus disease. *The Veterinary clinics of North America. Equine practice* 29: 467-485.
- El-Gendy SAA, Alsafy MAM, El Sharaby AA (2014):** Computed tomography and sectional anatomy of the head cavities in donkey (*Equus asinus*). *Anatomical science international* 89: 140–150.
- Feige K, Geissbühler U, Fürst A, Ehrat F, Schwarzwald C (2000):** Sinusitis beim Pferd: Eine retrospektive Untersuchung anhand von 55 Fällen. *PHK* 16: 495–501.
- Finnegan CM, Townsend NB, Barnett TP, Barakzai SZ (2011):** Radiographic identification of the equine ventral conchal bulla. *The Veterinary record* 169: 683.
- Fiske-Jackson AR, Pollock PJ, Witte TH, Woolford L, Perkins JD (2012):** Fungal sinusitis resulting in suspected trigeminal neuropathy as a cause of headshaking in five horses. *Equine Veterinary Education* 24: 126–133.
- Floyd MR (1991):** The modified Triadan system: nomenclature for veterinary dentistry. *Journal of Veterinary Dentistry* 8: 18–19.

- Freeman DE (2003):** Sinus disease. *Veterinary Clinics of North America: Equine Practice* 19: 209–243.
- Froydenlund TJ, Dixon PM, Smith SH, Reardon RJM (2015):** Anatomical and histological study of the dorsal and ventral nasal conchal bullae in normal horses. *The Veterinary record* 177: 542.
- George TF, Smallwood JE (1992):** Anatomic atlas for computed tomography in the mesaticephalic dog: head and neck. *Veterinary Radiology & Ultrasound* 33: 217–240.
- Gerlach K, Flatz K, Brehm W, Seeger J (2009):** Klinische Anatomie des Gesichtsbereiches des Pferdes in der Magnetresonanztomographie. *PHK* 25: 45–52.
- Giavitto AE, Barakzai SZ (2019):** Radiographic identification of the equine dorsal and ventral nasal conchal bullae. *Equine Veterinary Education* 31: 264–270.
- Gonçalves R, Malalana F, McConnell JF, Maddox T (2015):** Anatomical study of cranial nerves emergence and skull foramina in the horse using magnetic resonance imaging and computed tomography. *Veterinary Radiology & Ultrasound* 56: 391–397.
- Guyot H, Michiels M-P, Dahmani A, Snaps F, Jolly S, Ramery E, Rollin F (2011):** Computed tomography diagnosis of pituitary abscess in a dairy cow, Liège, Belgique.
- Hargreaves L, Dixon JJ (2018):** Computed tomographic description of the highly variable imaging features of equine oromaxillary sinus and oronasal fistulae. *Veterinary Radiology & Ultrasound* 59: 571–576.
- Hartley C, Grundon RA (2017):** Diseases and Surgery of the Globe and Orbit. In: Gilger BC (Hrsg.), *Equine ophthalmology*. John Wiley & Sons Inc Third edition, Ames, Iowa, 151–196.
- Heney CM, Arzi B, Kass PH, Hatcher DC, Verstraete FJM (2019):** Diagnostic Yield of Dental Radiography and Cone-Beam Computed Tomography for the Identification of Anatomic Structures in Cats. *Frontiers in veterinary science* 6: 58.
- Henninger W, Mairi Frame E, Willmann M, Simhofer H, Malleczek D, Kneissl SM, Mayrhofer E (2003):** CT features of alveolitis and sinusitis in horses. *Veterinary Radiology & Ultrasound* 44: 269–276.
- Jose-Cunilleras E, Piercy RJ (2007):** Advanced diagnostic imaging options in horses with neurological disease that localises to the head. *Equine Vet Educ* 19: 179–181.

- Kaminsky J, Bienert-Zeit A, Hellige M, Ohnesorge B (2014):** 3 Tesla magnetic resonance imaging of the nasal cavities, paranasal sinuses and adjacent anatomical structures in 13 healthy horses. *PHK* 30: 413–431.
- Kaminsky J, Bienert-Zeit A, Hellige M, Rohn K, Ohnesorge B (2016):** Comparison of image quality and in vivo appearance of the normal equine nasal cavities and paranasal sinuses in computed tomography and high field (3.0 T) magnetic resonance imaging. *BMC veterinary research* 12: 13.
- Kinns J, Pease A (2009):** Computed tomography in the evaluation of the equine head. *Equine Veterinary Education* 21: 291–294.
- Kölle S, Reese S, Mülling C (2014):** Kopf. In: Budras K-D, Mülling C, Pfarrer C, Reese S, Kölle S (Hrsg.), *Atlas der Anatomie des Pferdes*. Schlütersche Verlagsgesellschaft 7., vollständig überarbeitete Aufl., Hannover, 164–205.
- Kölle S, Staszyc C (2014):** Kopf. Schädel mit Gebiss. Klinisch-funktionelle Anatomie. In: Budras K-D, Mülling C, Pfarrer C, Reese S, Kölle S (Hrsg.), *Atlas der Anatomie des Pferdes*. Schlütersche Verlagsgesellschaft 7., vollständig überarbeitete Aufl., Hannover, 168.
- Kološ F, Bodeček Š, Žert Z (2017):** Trans-endoscopic diode laser fenestration of equine conchae via contralateral nostril approach. *Veterinary surgery* 46: 915–924.
- König HE, Liebich H-G (2005a):** Atmungsapparat (Apparatus respiratorius). In: König HE, Liebich H-G (Hrsg.), *Anatomie der Haussäugetiere. Lehrbuch und Farbatlas für Studium und Praxis* ; Ausgabe in einem Band. Schattauer 3., überarb. und erw. Aufl., Stuttgart, 367–388.
- König HE, Liebich H-G (2005b):** Skelett des Stammes (Skeleton axiale). In: König HE, Liebich H-G (Hrsg.), *Anatomie der Haussäugetiere. Lehrbuch und Farbatlas für Studium und Praxis* ; Ausgabe in einem Band. Schattauer 3., überarb. und erw. Aufl., Stuttgart, 47–108.
- Kopke S, Angrisani N, Staszyc C (2012):** The dental cavities of equine cheek teeth: three-dimensional reconstructions based on high resolution micro-computed tomography. *BMC veterinary research* 8: 173.
- Lee K, Yamada K, Tsuneda R, Kishimoto M, Shimizu J, Kobayashi Y, Furuoka H, Matsui T, Sasaki N, Ishii M, Inokuma H, Iwasaki T, Miyake Y (2009):** Clinical experience of using multidetector-row CT for the diagnosis of disorders in cattle. *The Veterinary record* 165: 559–562.

Lim CK, Saulez MN, Viljoen A, Carstens A (2013): Basilar skull fracture in a Thoroughbred colt: radiography or computed tomography? *Journal of the South African Veterinary Association* 84: 1-6.

Liuti T, Reardon R, Dixon PM (2017): Computed tomographic assessment of equine maxillary cheek teeth anatomical relationships, and paranasal sinus volumes. *The Veterinary record* 181: 452.

Liuti T, Reardon R, Smith S, Dixon PM (2016): An anatomical study of the dorsal and ventral nasal conchal bullae in normal horses: Computed tomographic anatomical and morphometric findings. *Equine veterinary journal* 48: 749–755.

Lososky JM, Abbott LC, Kuriashkin I v. (1997): Computed tomography of the normal feline nasal cavity and paranasal sinuses. *Veterinary Radiology & Ultrasound* 38: 251–258.

Luz J, Greutmann D, Wiedemeier D, Rostetter C, Rücker M, Stadlinger B (2018): 3D-evaluation of the maxillary sinus in cone-beam computed tomography. *International journal of implant dentistry* 4: 17.

Manoso-Díaz G, García-López JM, Maranda L, Taeymans O (2015): The role of head computed tomography in equine practice. *Equine Veterinary Education* 27: 136–145.

McCann JL, Dixon PM, Mayhew IG (2004): Clinical anatomy of the equine sphenopalatine sinus. *Equine veterinary journal* 36: 466–472.

Morrow KL, Park R, Spurgeon TL, Stashak TS, Arceneaux B (2000): Computed tomographic imaging of the equine head. *Veterinary Radiology & Ultrasound* 41: 491–497.

Mozzo P, Procacci C, Tacconi A, Tinazzi Martini P, Bergamo Andreis IA (1998): A new volumetric CT machine for dental imaging based on the cone-beam technique: preliminary results. *European Radiology* 8: 1558–1564.

NAV (2017): *Nomina Anatomica Veterinaria*. 6th Edition.

Nickel R, Schummer A, Seiferle E (2004a): Peripheres Nervensystem. In: Nickel R, Schummer A, Seiferle E (Hrsg.), *Lehrbuch der Anatomie der Haustiere - Nervensystem, Sinnesorgane, Endokrine Drüsen*. Parey 4., unveränd. Aufl., Berlin, 228–385.

- Nickel R, Schummer A, Wille KH, Wilkens H (2004b):** Knochenlehre, Osteologia. In: Nickel R, Schummer A, Seiferle E (Hrsg.), Lehrbuch der Anatomie der Haustiere - Bewegungsapparat. Parey 8., unveränd. Aufl., Stuttgart, 15–214.
- Nickels FA (2012):** Nasal Passages and Paranasal Sinuses. In: Auer JA, Stick JA (Hrsg.), Equine Surgery. Elsevier/Saunders 4th ed., St. Louis, Mo, 557–568.
- Nöller C, Nowak M, Hamann J, Fritsch G, Budras K-D (2007):** Klinische Anatomie der Nasen-Nasennebenhöhlen des Pferdes - Grundlagen für die Endoskopie, Computertomographie und Chirurgie. PHK 23: 47–58.
- Nowak M, Schulte-Bahrenberg S (2011):** Dentogene Sinuserkrankungen. In: Vogt C (Hrsg.), Lehrbuch der Zahnheilkunde beim Pferd. Schattauer 1. Auflage, Stuttgart, 247–256.
- Nowak M, Zwick T (2011):** Weiterführende Diagnostik. Computertomographie (CT). In: Vogt C (Hrsg.), Lehrbuch der Zahnheilkunde beim Pferd. Schattauer 1. Auflage, Stuttgart, 98–100.
- O'Leary JM, Dixon PM (2011):** A review of equine paranasal sinusitis. Aetiopathogenesis, clinical signs and ancillary diagnostic techniques. Equine Veterinary Education 23: 148–159.
- Parente EJ, Franklin SH, Derksen FJ, Weishaupt MA, Chalmers HJ, Tessier C (2012):** Diagnostic Techniques in Equine Upper Respiratory Tract Disease. In: Auer JA, Stick JA (Hrsg.), Equine Surgery. Elsevier/Saunders 4th ed., St. Louis, Mo, 536–556.
- Perkins JD, Bennett C, Windley Z, Schumacher J (2009a):** Comparison of sinoscopic techniques for examining the rostral maxillary and ventral conchal sinuses of horses. Veterinary surgery 38: 607–612.
- Perkins JD, Windley Z, Dixon PM, Smith M, Barakzai SZ (2009b):** Sinoscopic treatment of rostral maxillary and ventral conchal sinusitis in 60 horses. Veterinary surgery 38: 613–619.
- Philipp MJ (2007):** Computed Tomography of the Equine Upper Respiratory Tract. In: McGorum BC (Hrsg.), Equine respiratory medicine and surgery. Saunders Elsevier, Edinburgh, New York, 263–270.
- Porter EG, Werpy NM (2014):** New concepts in standing advanced diagnostic equine imaging. The Veterinary clinics of North America. Equine practice 30: 239–268.
- Probst A, Henninger W, Willmann M (2005):** Communications of normal nasal and paranasal cavities in computed tomography of horses. Veterinary Radiology & Ultrasound 46: 44–48.

Puchalski SM (2012): Advances in equine computed tomography and use of contrast media. *The Veterinary clinics of North America. Equine practice* 28: 563–581.

Quinn GC, Kidd JA, Lane JG (2005): Modified frontonasal sinus flap surgery in standing horses: surgical findings and outcomes of 60 cases. *Equine veterinary journal* 37: 138–142.

Radcliffe RM, Messiaen Y, Irby NL, Divers TJ, Dewey CW, Mitchell KJ, Schnabel LV, Bezuidenhout AJ, Scrivani PV, Ducharme NG (2016): Transnasal, Endoscopically Guided Skull-Based Surgery by Pharyngotomy for Mass Removal from the Sphenopalatine Sinus in a Horse. *Veterinary surgery* 45: 1108–1117.

Rasmussen L, Saunders JH, van der veen H, Raes E, van veggel E, Vanderperren K (2018): Contrast-enhanced computed tomography features of oblique and straight distal sesamoidean ligament injury in thirty-one horses. *Vlaams Diergeneeskundig Tijdschrift* 87: 245–254.

Riggs GG, Arzi B, Cissell DD, Hatcher DC, Kass PH, Zhen A, Verstraete FJM (2016): Clinical Application of Cone-Beam Computed Tomography of the Rabbit Head: Part 1 - Normal Dentition. *Frontiers in veterinary science* 3: 93.

Robinson NE, Furlow PW (2007): Anatomy of the Respiratory System. In: McGorum BC (Hrsg.), *Equine respiratory medicine and surgery*. Saunders Elsevier, Edinburgh, New York, 3–17.

Roth DB, Siatkowski RM (2000): Bilateral blindness as the initial presentation of lymphoma of the sphenoid sinus. *American Journal of Ophthalmology* 129: 256–258.

Sahlstrand-Johnson P, Jannert M, Strömbeck A, Abul-Kasim K (2011): Computed tomography measurements of different dimensions of maxillary and frontal sinuses. *BMC medical imaging* 11: 8.

Salomon F-V (2015a): Atmungsapparat, Apparatus respiratorius. In: Salomon F-V, Geyer H, Gille U (Hrsg.), *Anatomie für die Tiermedizin*. Enke Verlag 3. Aufl., Stuttgart, 341–381.

Salomon F-V (2015b): Verdauungsapparat, Apparatus digestorius. In: Salomon F-V, Geyer H, Gille U (Hrsg.), *Anatomie für die Tiermedizin*. Enke Verlag 3. Aufl., Stuttgart, 248–340.

Sano Y, Okamoto M, Ootsuka Y, Matsuda K, Yusa S, Taniyama H (2017): Blindness associated with nasal/paranasal lymphoma in a stallion. *The Journal of veterinary medical science* 79: 579–583.

Saunders J, Windley Z (2011): Equine Sinonasal And Dental. In: Schwarz T, Saunders J (Hrsg.), Veterinary computed tomography. Wiley-Blackwell, Chichester, West Sussex, UK, Ames, Iowa, 427–442.

Schoppe C, Hellige M, Rohn K, Ohnesorge B, Bienert-Zeit A (2017): Comparison of computed tomography and high-field (3.0 T) magnetic resonance imaging of age-related variances in selected equine maxillary cheek teeth and adjacent tissues. BMC veterinary research 13: 280.

Schumacher J, Perkins J (2015): Frontal Nasal and Maxillary Sinusotomy Performed With the Horse Standing. In: Hawkins JF (Hrsg.), Advances in equine upper respiratory surgery. John Wiley & Sons Inc, Chichester, West Sussex, Hoboken, 171–176.

Schwieder A (2018): Untersuchung zur histologischen Beschaffenheit der Schleimhaut der Sinus paranasales des Pferdes unter Berücksichtigung von Topographie und Alter. Hannover, Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover, Dissertation. Cuvillier Verlag, Göttingen.

Selberg K, Easley JT (2013): Advanced imaging in equine dental disease. The Veterinary clinics of North America. Equine practice 29: 397-409.

Simon T, Herold I, Schlemper H (2009): Erkrankungen der Nasennebenhöhlen. In: Simon T, Herold I, Schlemper H (Hrsg.), Praxisleitfaden Zahn- und Kiefererkrankungen des Pferdes. Thieme Verlag 1. Aufl., 129–137.

Solano M, Brawer RS (2004): CT of the Equine Head: Technical Considerations, Anatomical Guide, and Selected Diseases. Clinical Techniques in Equine Practice 3: 374–388.

Som PM (1985): CT of the paranasal sinuses. Neuroradiology 27: 189–201.

Staszky C (2011): Anatomie. In: Vogt C (Hrsg.), Lehrbuch der Zahnheilkunde beim Pferd. Schattauer 1. Auflage, Stuttgart, 1–29.

Staszky C (2014): Kopf. Nasennebenhöhlen und Zungenbein. Klinisch-funktionelle Anatomie. In: Budras K-D, Mülling C, Pfarrer C, Reese S, Kölle S (Hrsg.), Atlas der Anatomie des Pferdes. Schlütersche Verlagsgesellschaft 7., vollständig überarbeitete Aufl., Hannover, 172.

Tannahill VJ (2018): Best way to assess the sphenopalatine sinus. Equine Veterinary Education 30: 475–476.

- Tatarniuk DM, Bell C, Carmalt JL (2010):** A description of the relationship between the nasomaxillary aperture and the paranasal sinus system of horses. *Veterinary journal* (London, England : 1997) 186: 216–220.
- Textor JA, Puchalski SM, Affolter VK, MacDonald MH, Galuppo LD, Wisner ER (2012):** Results of computed tomography in horses with ethmoid hematoma: 16 cases (1993-2005). *Journal of the American Veterinary Medical Association* 240: 1338–1344.
- Thomé H (2004):** Mundhöhle und Schlundkopf. In: Nickel R, Schummer A, Seiferle E (Hrsg.), *Lehrbuch der Anatomie der Haustiere - Eingeweide*. Parey 4., unveränd. Aufl., Stuttgart, 19–102.
- Tremaine H, Freeman DE (2007):** Disorders of the Paranasal Sinuses. In: McGorum BC (Hrsg.), *Equine respiratory medicine and surgery*. Saunders Elsevier, Edinburgh, New York, 393–407.
- Tremaine WH, Dixon PM (2001):** A long-term study of 277 cases of equine sinonasal disease. Part 1: Details of horses, historical, clinical and ancillary diagnostic findings. *Equine veterinary journal* 33: 274–282.
- Tremaine WH, Schumacher J (2011):** Exodontia. In: Easley J, Dixon PM, Schumacher J (Hrsg.), *Equine dentistry*. Saunders 3rd ed., Edinburgh, New York, 319–344.
- Trotter GW (1993):** Paranasal Sinuses. *Veterinary Clinics of North America: Equine Practice* 9: 153–169.
- Tucker R, Windley ZE, Abernethy AD, Witte TH, Fiske-Jackson AR, Turner S, Smith LJ, Perkins JD (2016):** Radiographic, computed tomographic and surgical anatomy of the equine sphenopalatine sinus in normal and diseased horses. *Equine veterinary journal* 48: 578–584.
- Veraa S, Dijkman R, Klein WR, van den Belt AJM (2009a):** Computed tomography in the diagnosis of malignant sinonasal tumours in three horses. *Equine Veterinary Education* 21: 284–288.
- Veraa S, Voorhout G, Klein WR (2009b):** Computed tomography of the upper cheek teeth in horses with infundibular changes and apical infection. *Equine veterinary journal* 41: 872–876.
- Waguespack RW, Taintor J (2011):** Paranasal sinus disease in horses. *Compendium (Yardley, PA)* 33: E2.

Waibl H (2004): Atmungsapparat. In: Nickel R, Schummer A, Seiferle E (Hrsg.), Lehrbuch der Anatomie der Haustiere - Eingeweide. Parey 4., unveränd. Aufl., Stuttgart, 223–307.

Waibl H, Wilkens H, Münster W (2005): Arterien, Arteriae. In: Nickel R, Schummer A, Seiferle E (Hrsg.), Lehrbuch der Anatomie der Haustiere - Kreislaufsystem, Haut und Hautorgane. Parey 4., unveränd. Aufl., Stuttgart, 74–189.

Wissdorf H, Bartmann CP, Staszyc C, Otto B, Gerhards H (2010a): Zähne und ihr Halteapparat. In: Wissdorf H, Gerhards H, Huskamp B, Deegen E (Hrsg.), Praxisorientierte Anatomie und Propädeutik des Pferdes. M. & H. Schaper 3., erg. und völlig überarb. Aufl., Hannover, 156–189.

Wissdorf H, Otto B, Gerhards H (2010b): Klinisch bedeutsame Nerven im Angesichtsbereich. In: Wissdorf H, Gerhards H, Huskamp B, Deegen E (Hrsg.), Praxisorientierte Anatomie und Propädeutik des Pferdes. M. & H. Schaper 3., erg. und völlig überarb. Aufl., Hannover, 83–90.

Wissdorf H, Otto B, Huskamp B (2010c): Naseneingang, Nasenhöhle und Nasennebenhöhlen. In: Wissdorf H, Gerhards H, Huskamp B, Deegen E (Hrsg.), Praxisorientierte Anatomie und Propädeutik des Pferdes. M. & H. Schaper 3., erg. und völlig überarb. Aufl., Hannover, 197–207.

Wollanke B, Gerhards H, Cronau M (2006): Diagnosis and therapy of periorbital diseases in horses: Indication for computed tomography (CT) or magnetic resonance tomography (MRT). PHK 22: 431–438.

Zafra R, Carrascosa C, Rivero M, Peña S, Fernández T, Suarez-Bonnet A, Raduan Jaber J (2012): Analysis of equine cervical spine using three-dimensional computed tomographic reconstruction. Journal of Applied Animal Research 40: 108–111.

Zani D de, Borgonovo S, Biggi M, Vignati S, Scandella M, Lazzaretti S, Modena S, Zani D (2010): Topographic comparative study of paranasal sinuses in adult horses by computed tomography, sinuscopy, and sectional anatomy. Veterinary research communications 34 Suppl 1: 13-16.



VVB



édition scientifique
VVB LAUFERSWEILER VERLAG

VVB LAUFERSWEILER VERLAG
STAUENBERGRING 15
D-35396 GIESSEN

Tel: 0641-5599888 Fax: -5599890
redaktion@doktorverlag.de
www.doktorverlag.de

ISBN: 978-3-8359-6915-5



9 783835 196915 5