

JOHANNES BRAUNE

Morphologische Untersuchungen zum *Nervus infraorbitalis* und *Nervus alveolaris inferior* des Pferdes mittels Computertomographie



Inaugural-Dissertation zur Erlangung des Grades eines
Dr. med. vet.
beim Fachbereich Veterinärmedizin der Justus-Liebig-Universität Gießen

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 2023

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 2023

© 2023 by VVB LAUFERSWEILER VERLAG, Giessen
Printed in Germany



édition 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 Veterinär-Anatomie, -Histologie und -Embryologie“

Betreuer: Prof. Dr. Carsten Staszky

**Morphologische Untersuchungen zum *Nervus infraorbitalis*
und *Nervus alveolaris inferior* des Pferdes mittels
Computertomographie**

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung des Grades eines

Dr. med. vet.

im Fachbereich Veterinärmedizin

der Justus-Liebig-Universität Gießen

eingereicht von

Johannes Braune

Tierarzt aus Göttingen

Gießen 2023

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

Dekan:

Prof. Dr. Dr. Stefan Arnhold

Mitglieder der Prüfungskommission:

Vorsitzender und 1. Gutachter

Prof. Dr. Carsten Staszuk

2. Gutachter

Prof. Dr. Martin Schmidt

Prüfer

Prof. Dr. Phill Olias

Tag der Disputation:

10.11.2023

Meiner bezaubernden Frau und
meinen geliebten Töchtern

Inhaltsverzeichnis

1	Abkürzungsverzeichnis	IV
2	Grafische Verzeichnisse	VII
2.1	Abbildungsverzeichnis	VII
2.2	Diagrammverzeichnis.....	VIII
2.3	Tabellenverzeichnis.....	IX
3	Einleitung und Fragestellung	1
3.1	Einleitung	1
3.2	Frage- und Aufgabestellung.....	2
4	Literaturübersicht	3
4.1	Überblick der Anatomie.....	3
4.1.1	Das Pferdegebiss.....	3
4.1.1.1	Zahnwechsel	4
4.1.1.2	Die Schneidezähne.....	5
4.1.1.3	Die Hengstzähne und die Wolfszähne	6
4.1.1.4	Die prämolaren und die molaren Backenzähne des Pferdes	7
4.1.1.5	Physiologische Anisognathie und Okklusion	10
4.2	Entwicklung.....	12
4.2.1	Entwicklung der Nasennebenhöhlen.....	12
4.2.2	Entwicklung der Nerven.....	12
4.2.3	Entwicklung der Zähne.....	12
4.3	Spezielle Anatomie	14
4.3.1	Equine Nasennebenhöhlen.....	14
4.3.1.1	<i>Sinūs maxillares</i>	14
4.3.1.2	<i>Sinus conchae ventralis</i>	15
4.3.1.3	<i>Sinus conchofrontalis</i>	16
4.3.1.4	<i>Sinus sphenopalatinus</i>	17
4.3.1.5	<i>Sinus conchae mediae</i>	17
4.3.2	<i>Canalis infraorbitalis</i> mit <i>Nervus infraorbitalis</i>	18
4.3.3	<i>Canalis mandibulae</i> mit <i>Nervus alveolaris inferior</i>	20
4.4	Darstellung der Nasennebenhöhlen mittels bildgebender Verfahren	22
4.4.1	Die Computertomographie in der Tiermedizin.....	22

4.4.2	Endoskopie.....	23
4.5	Offene Fragen	24
5	Material und Methode	25
5.1	Probanden.....	25
5.2	CT-Daten	26
5.2.1	Anpassung der Schnittebenen im CT-Programm.....	26
5.2.2	Anpassung der extrapolierten CT-Bilder.....	29
5.2.3	Datenverarbeitung.....	30
5.3	Nomenklatur	30
5.4	Statistische Datenanalyse	31
6	Datenerhebung	32
6.1	Untersuchungen zum <i>Canalis infraorbitalis</i> am Pferdekopf mittels CT	32
6.1.1	Abgrenzung zwischen <i>Canalis infraorbitalis</i> und Reservekrone bei direktem Kontakt	32
6.1.2	Abstandsmessung zwischen <i>Canalis infraorbitalis</i> und Reservekronen.....	33
6.1.3	Untersuchung der knöchernen Verbindung zwischen <i>Canalis infraorbitalis</i> und Reservekronen	33
6.1.4	Beschreibung des Längsverlaufs des <i>Canalis infraorbitalis</i>	35
6.1.5	Beschreibung des Querschnitts des <i>Canalis infraorbitalis</i>	37
6.1.6	Positionsbestimmung des <i>Foramen infraorbitale</i>	39
6.1.7	Weitere anatomische Untersuchungen mit Bezug zum <i>Canalis infraorbitalis</i>	39
6.1.7.1	Darstellbarkeit des <i>Canalis alveolaris</i> mittels CT.....	39
6.1.7.2	Morphologischer Vergleich der <i>Rami alveolares superiores medii et rostrales</i> mittels CT	40
6.2	CT-Untersuchungen zum <i>Nervus alveolaris inferior</i> beim Pferd	41
6.2.1	Darstellbarkeit des <i>Nervus alveolaris inferior</i> mittels CT.....	41
6.2.2	Abstandsmessung zwischen <i>Nervus alveolaris inferior</i> und Zähnen mittels CT.....	44
7	Ergebnisse.....	45
7.1	CT-Untersuchungen zum <i>Canalis infraorbitalis</i> beim Pferd	45
7.1.1	Abstandsmessung zwischen dem <i>Canalis infraorbitalis</i> und den Backenzähnen	45
7.1.2	Abgrenzung zwischen dem <i>Canalis infraorbitalis</i> und den Backenzähnen/dem Dentalorgan bei direktem Kontakt	49

7.1.3	Morphologische Beschreibung des <i>Ponticulus canalis infraorbitalis</i>	51
7.1.4	Morphologischer Vergleich des Längsverlaufs des <i>Canalis infraorbitalis</i>	52
7.1.5	Morphologischer Vergleich des Querschnitts des <i>Canalis infraorbitalis</i>	54
7.1.6	Positionsbestimmung des <i>Foramen infraorbitale</i> in Relation zu den Backenzähnen bei Pferden verschiedener Altersgruppen.....	59
7.1.7	Weitere anatomische Untersuchungen in Bezug auf den <i>Canalis infraorbitalis</i>	60
7.1.7.1	Darstellbarkeit des <i>Canalis alveolaris</i> mittels CT.....	60
7.1.7.2	Darstellbarkeit der <i>Rami alveolares superiores medii et rostrales</i> mittels CT.....	60
7.2	CT-Untersuchungen zum <i>Nervus alveolaris inferior</i> beim Pferd	61
7.2.1	Hounsfield-units- (HU-) Wertemessung des <i>Nervus alveolaris inferior</i>	61
7.2.2	Darstellbarkeit des <i>Nervus alveolaris inferior</i> mittels CT.....	62
7.2.3	Untersuchung und Vergleich des Längsverlaufs des <i>Nervus alveolaris inferior</i> mittels CT	64
7.2.4	Abstandsmessung zwischen <i>Nervus alveolaris inferior</i> und Zähnen mittels CT.....	69
8	Diskussion	74
8.1	Diskussion von Material und Methode.....	74
8.1.1	Material.....	74
8.1.2	Computertomographie	75
8.2	Diskussion der Ergebnisse.....	77
8.2.1	Darstellbarkeit nervaler Strukturen beim Pferd mittels CT	77
8.2.2	Der <i>Canalis infraorbitalis</i> in Relation zu den Backenzähnen	78
8.2.3	Morphologie des <i>Canalis infraorbitalis</i> und PCI	80
8.2.4	Position des <i>Foramen infraorbitale</i> in Relation zu den Oberkieferbackenzähnen....	84
8.2.5	Der <i>Nervus alveolaris inferior</i> in Relation zu den Unterkieferbackenzähnen	85
9	Zusammenfassung	88
10	Summary	90
11	Anhang	92
12	Danksagung	102
13	Erklärung	103
14	Literaturverzeichnis	104

1 Abkürzungsverzeichnis

®	“registered” (eingetragenes Warenzeichen)
μCT	Mikro-CT
A.	Arteria
AG	Altersgruppe
AMP	Apertura maxillopalatina
ANM	Apertura nasomaxillaris
BS	Basisphenoid/ Os basisphenoidale
BSSM	Bulla septi sinuum maxillarium
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
CBCT	Cone-beam computed tomography
CFd	Crista facialis dextra
CFs	Crista facialis sinistra
CI	Canalis infraorbitalis
CII	Canalis interincisivus
CL	Canalis lacrimalis
cm ³	Kubikzentimeter
CNV	Concha nasalis ventralis
CO	Chiasma opticum
CT	Computertomografie
d.h.	das heißt
DICOM	Digital Imaging and Communications in Medicine
Dr.	Doktor
et al.	et alii (lat.: “und andere”)
etc.	et cetera
FI	Foramen infraorbitale
FMa	Foramen maxillare
Fmd	Foramen mandibulae
For.	Foramen
ggf.	gegebenenfalls
HU	Houndsfield unit

Abkürzungsverzeichnis

JLU	Justus-Liebig-Universität
M	Molar
M.	Musculus
MCCT	Multi-Slice-CT
ml	Milliliter
MPR	Multiplanare Rekonstruktion
MRT	Magnetresonanztomografie
N.	Nervus
NAV	Nomina Anatomica Veterinaria
NI	Nervus infraorbitalis
NM	Nervus maxillaris
Nn.	Nervi (Plural von Nervus)
NNC	Nervus nasalis caudalis
NNH	Nasennebenhöhlen
NO	Nervus opticus
NPM	Nervus palatinus major
NPP	Nervus pterygopalatinus
o.g.	oben genannte(r)
ON	Os nasale
OP	Os palatinum
P	Prämolar
p	Prämolar (Milchzahn)
PCI	Ponticulus canalis infraorbitalis
PCR	Polymerase-Chain-Reaction
PEH	Progressive Ethmoid Hematoma
proc.	Processus
PS	Praesphenoid/ Os praesphenoidale
Rr.	Rami
s.g.	so genannte(n)
s.r.o.	Společnost s ručením omezeným (Rechtsform in der Tschechischen Republik)
SCD	Sinus concha dorsalis
SCM	Sinus conchae mediae

SCV	Sinus conchae ventralis
SF	Sinus frontalis
SMC	Sinus maxillaris caudalis
SMR	Sinus maxillaris rostralis
SN	Septum nasi
SP	Sinus palatinus
SS	Sinus sphenoidalis
SSM	Septum sinuum maxillarium
SSP	Sinus sphenopalatinus
SSPs	Sinus sphenopalatinus sinister
SSS	Septum sinuum sphenoidalium
TiHo	Tierärztliche Hochschule
™	“trade mark” (eingetragenes Warenzeichen)
u.a.	unter anderem
USA	United States of America
UVPS	University of Veterinary and Pharmaceutical Sciences
V.	Vena
z.B.	zum Beispiel
z.T.	zum Teil
ZNS	Zentrales Nervensystem

2 Grafische Verzeichnisse

2.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 - Transversales CT-Schnittbild zur Darstellung der Schnittebenenanpassung.....	27
Abbildung 2 - Horizontales CT-Schnittbild zur Darstellung der Schnittebenenanpassung	28
Abbildung 3 - Sagittales CT-Schnittbild zur Darstellung der Schnittebenenanpassung	29
Abbildung 4 - Transversales CT-Schnittbild zur Darstellung der knöchernen Abgrenzung zwischen CI und Reservekrone eines zweijährigen Pferdes auf Höhe von M1 (Triadan 09)...	32
Abbildung 5 - Transversales CT-Schnittbild zur Darstellung der knöchernen Abgrenzung zwischen CI und Reservekrone eines dreijährigen Pferdes auf Höhe von M2 (Triadan 10)....	33
Abbildung 6 - Transversales CT-Schnittbild zur Morphologie des PCI.....	34
Abbildung 7 - Transversales CT-Schnittbild zur Morphologie des PCI.....	35
Abbildung 8 - Sagittales CT-Schnittbild eines geradlinig verlaufenden CI.....	36
Abbildung 9 - Sagittales CT-Schnittbild eines „bogenförmigen“ CI.....	36
Abbildung 10 - Sagittales CT-Schnittbild eines im rostralen Verlaufsabschnitt nach ventral zum FI hin abknickenden CI	37
Abbildung 11 - Transversales CT-Schnittbild eines dreijährigen Pferdes mit einem „bohnenförmigen“ Querschnitt des CI auf Höhe von Triadan 110.....	38
Abbildung 12 - Transversales CT-Schnittbild eines 14-jährigen Pferdes mit einem rundlichen Querschnitt des CI auf Höhe des Triadan 210.....	38
Abbildung 13 - Transversales CT-Schnittbild eines 14-jährigen Pferdes mit einem ovalen Querschnitt des CI auf Höhe des Triadan 111.....	39
Abbildung 14 - Transversales CT-Schnittbild der Aufzweigung von CI und CA	40
Abbildung 15 - Transversales CT-Schnittbild der RASMR	41
Abbildung 16 - Transversales CT-Schnittbild zur Darstellung des NAI	42
Abbildung 17 - Sagittales CT-Schnittbild zur Visualisierung des NAI.....	43
Abbildung 18 - Transversales CT-Schnittbild zur Visualisierung des NAI	43
Abbildung 19 - Transversales CT-Schnittbild zur Abstandsmessung zwischen NAI	44
Abbildung 20 - Modifizierte Abbildung eines Pferdeunterkiefers.....	64
Abbildung 21 a-c - Schematische Darstellung verschiedener Verlaufsvarianten des NAI	66
Abbildung 21 d-f - Schematische Darstellung verschiedener Verlaufsvarianten des NAI	67
Abbildung 21 g-i - Schematische Darstellung verschiedener Verlaufsvarianten des NAI	68

2.2 Diagrammverzeichnis

Diagramm 1 - Abstand des CI zum 08er	46
Diagramm 2 - Abstand des CI zum 09er	47
Diagramm 3 - Abstand des CI zum 10er	48
Diagramm 4 - Abstand des CI zum 11er	49
Diagramm 5 - Darstellbarkeit der knöchernen Lamelle zwischen CI und Zahnwurzel bei direktem Kontakt.....	51
Diagramm 6 - Morphologie des CI - AG 1 (n = 20).....	53
Diagramm 7 - Morphologie des CI - AG 2 (n = 72).....	53
Diagramm 8 - Morphologie des CI - alle Pferde (n = 92)	54
Diagramm 9 - rundlicher/rundlich-polymorpher Querschnitt des CI - AG 1 (n = 24).....	55
Diagramm 10 - rundlicher/rundlich-polymorpher Querschnitt des CI - AG 2 (n = 90).....	56
Diagramm 11 - ovaler/oval-polymorpher Querschnitt des CI - AG 1 (n = 43).....	57
Diagramm 12 - ovaler/oval-polymorpher Querschnitt des CI - AG 2 (n = 167).....	57
Diagramm 13 - bohnenförmiger Querschnitt des CI - AG 1 (n = 21)	58
Diagramm 14 - Position des FI – AG 1 (n = 22)	59
Diagramm 15 - Position des FI – AG 2 (n = 72)	60
Diagramm 16 - Verteilung der sichtbaren RASMR (n = 284)	61
Diagramm 17 - Abstand des NAI zum 06er.....	70
Diagramm 18 - Abstand des NAI zum 07er.....	70
Diagramm 19 - Abstand des NAI zum 08er.....	71
Diagramm 20 - Abstand des NAI zum 09er.....	71
Diagramm 21 - Abstand des NAI zum 10er.....	72
Diagramm 22 - Abstand des NAI zum 11er.....	72

2.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 - Alters- und Geschlechtsverteilung der untersuchten Pferde	25
Tabelle 2 - Kategorie 1, keine knöcherner Lamelle im CT darstellbar	63
Tabelle 3 - Kategorie 2, sichtbar <1mm Durchmesser/knöcherner Lamelle partiell darstellbar	63
Tabelle 4 - Kategorie 3, sichtbar >1mm Durchmesser und durchgängig darstellbar	63
Tabelle 5 - Alters-, Geschlechts- und Rassenverteilung der untersuchten Pferde	92
Tabelle 6 - Abstandsmessungen CI - Backenzähne.....	94
Tabelle 7 - Morphologische Ausprägung des PCI	95
Tabelle 8 - Morphologischer Vergleich des Längsverlauf des CI vom FM zum FI.....	96
Tabelle 9 - Morphologischer Vergleich des Querschnitts des CI auf Höhe jedes Backenzahns	97
Tabelle 10 - Anatomische Position des FI in Relation zu den Backenzähnen	98
Tabelle 11 - Position des Austritts sowie Anzahl der RASMR.....	99
Tabelle 12 - Darstellbarkeit des CAI im CT	100

3 Einleitung und Fragestellung

3.1 Einleitung

Erkrankungen des Nasennebenhöhlensystem des Pferdes, sowie der Zähne, insbesondere der Ober- und Unterkieferbackenzähne, spielen in der Pferdemedizin eine große Rolle und fordern den praktisch arbeitenden Tierarzt sowohl in diagnostischer, als auch in therapeutischer Hinsicht (Freeman, 2003; Dacre et al., 2008; Nowak und Schulte-Bahrenberg, 2011; Casey, 2013; Easley und Freeman, 2013; Brinkschulte et al., 2014; Epperly und Whitty, 2020). Insbesondere die enge Beziehung zwischen den Nasennebenhöhlen (NNH), der Oberkieferbackenzähne und der begleitenden neurovaskulären Strukturen begünstigt häufig pathologische Prozesse, die diese Strukturen gemeinsam betreffen (Tremaine und Dixon, 2001; Dyce et al., 2002a; Philipp, 2007; Dixon et al., 2011; Liuti et al., 2017).

Zur erfolgreichen Behandlung dieser komplexen Strukturen ist ein detailliertes Wissen über die Anatomie nötig, sowohl der Nasennebenhöhlen (NNH) und der Zähne als auch der begleitenden Strukturen, insbesondere der Nerven (Parente et al., 2012; Brinkschulte et al., 2013, 2013; Iacopetti et al., 2015; Hargreaves und Dixon, 2018; Liuti et al., 2018). Zu diesen klinisch wichtigen anatomischen Regionen im Pferdekopf fehlen teilweise noch immer detaillierte Untersuchungen (Nannarone et al., 2016). Iatrogene Verletzungen sowohl der betroffenen als auch der umgebenden Strukturen können schwerwiegende Folgen für den Patienten haben (Dixon et al., 2008; Iacopetti et al., 2015).

Die Computertomographie (CT) als weiterführendes diagnostisches Mittel kann hier helfen, die individuelle Anatomie des Patienten zu studieren, Pathologien zu identifizieren, zu einer Diagnose zu kommen und Eingriffe zu planen (Morrow et al., 2000; Kinns und Pease, 2009; Barakzai, 2011; Puchalski, 2012; Textor et al., 2012; Selberg und Easley, 2013; Barakzai und Dixon, 2014; Manso-Díaz et al., 2015; Beltran et al., 2017; Khorshidi et al., 2017; Schoppe et al., 2017).

Die CT gewinnt zunehmend an Bedeutung in der Tiermedizin. Es wird mittlerweile sowohl bei Behandlungen von Kleintieren wie Hund und Katze, als auch von Pferden, Eseln und anderen Tieren eingesetzt (Barakzai, 2014; Blanco et al., 2015), und wird auch zu Forschungszwecken bei diesen Tieren verwendet (Mozzo et al., 1998; Du Toit et al., 2008; Kopke et al., 2012; Blanco et al., 2015; Döring et al., 2018; Bregger et al., 2019; Heney et al., 2019). Manche Autoren betrachten die CT bereits als „gold standard“ in der bildgebenden Diagnostik (Waguespack

und Taintor, 2011; Manso-Díaz et al., 2015; Hargreaves und Dixon, 2018). Durch die Einführung des so genannten „standing CT“ kann dieses wertvolle Diagnostikum am sedierten Pferd mit geringerem Risiko eingesetzt werden, da auf eine Allgemeinanästhesie verzichtet werden kann (Nowak und Zwick, 2011; Porter und Werpy, 2014).

Sowohl Behandlungen erkrankter Nasennebenhöhlen und Zähne, insbesondere der Ober- und Unterkieferbackenzähne, werden heutzutage am stehenden, sedierten Patienten durchgeführt, da eine Allgemeinanästhesie bei Pferden recht große Risiken birgt (Jose-Cunilleras und Piercy, 2007; Dakin et al., 2014; Porter und Werpy, 2014; Tanner und Hubbell, 2019; Galloway und Earley, 2020). Zur Unterstützung der Schmerzausschaltung werden beispielsweise bei Zahnbehandlungen Leitungsanästhesien und andere Lokalanästhesietechniken eingesetzt (Fletcher, 2004; Tremaine, 2007b; Staszuk et al., 2008; Simon et al., 2009c; Doherty und Schumacher, 2011; Campoy und Sedgwick, 2020; Weber et al., 2020).

3.2 Frage- und Aufgabestellung

In konsekutiver Weise wurden folgende Forschungsfragen /-aufgaben behandelt:

- Morphologische Untersuchungen des *Canalis infraorbitalis* und *Nervus infraorbitalis* und seiner assoziierten anatomischen Strukturen
- Untersuchung des *Canalis infraorbitalis* und *Nervus infraorbitalis* in Relation zu den Oberkieferbackenzähnen
- Morphologische Untersuchungen des *Canalis mandibulae* und *Nervus alveolaris inferior* und seiner assoziierten anatomischen Strukturen
- Untersuchung des *Canalis mandibulae* und *Nervus alveolaris inferior* in Relation zu den Oberkieferbackenzähnen

4 Literaturübersicht

4.1 Überblick der Anatomie

4.1.1 Das Pferdegebiss

Das Gebiss des Pferdes ist diphyodont, d.h. das Milchgebiss wird durch ein permanentes Gebiss ersetzt; dieses wird auch Dauergebiss genannt. Im Zuge des Zahnwechsels werden Resorptionsvorgänge durch die heranwachsenden, permanenten Zähne (*Dentes permanentes*) verursacht, es kommt zur Resorption der Wurzeln der Milchzähne (*Dentes decidui*). Dadurch verlieren die Milchzähne ihren Halt und fallen aus (Budras et al., 2014).

Die Zähne des Pferdes sind weitestgehend hypsodonte (hochkronige) Zähne. Nur der *Caninus* und die ersten Prämolaren werden als brachyodonte (kurzkronige) Zähne bezeichnet (Budras et al., 2014).

Das fortgesetzte Wachstum der schmelztragenden Zahnkrone kennzeichnet die hypsodonten Zähne des Pferdes. Nach dem eigentlichen Durchbruch des Zahnes in die Maulhöhle wachsen diese Zähne zunächst weiter, der Zahnschmelz wird allerdings nur über eine bestimmte Zeitspanne nach Durchbruch des Zahnes gebildet, bei den Backenzähnen sind es etwa fünf Jahre. Es bilden sich nach diesem Zeitpunkt Wurzeln aus, die aus Dentin und Zahnzement bestehen. Später verliert der Zahn auch das Vermögen, sich am apikalen, wurzelseitigen Ende durch Dentinbildung zu verlängern, es wird nur noch Zahnzement gebildet. Große Anteile der Zahnkrone sind im *Alveolus dentis* lokalisiert, dieser Anteil wird als "Reservekrone" bezeichnet. Mit dem stetigen Abrieb des Zahnes schieben sich weitere Teile der Krone in die Maulhöhle, parallel zu dem oben beschriebenen Zahnwachstum. Dies stellt eine Anpassung der Equiden an die Nahrung dar. Der jährliche Abrieb des Zahnes beträgt ca. 2-4mm (Thomé, 2004; Budras et al., 2014). Man unterscheidet im Allgemeinen beim Pferd vier Zahntypen nach ihren Funktionen. Zum einen die Schneidezähne, *Dentes incisivi*, die Eck- oder Hakenzähne, *Dentes canini*, die vorderen Backenzähne, *Dentes premolares*, sowie die hinteren Backenzähne, *Dentes molares* (Wissdorf et al., 2010a; Budras et al., 2014). Diese Art des Gebisses wird auch heterodontes Gebiss genannt (Budras et al., 2014).

Die Zahnformel für das Milchgebiss ist wie folgt:

$$\begin{array}{c} \text{iii (c) (+) ppp +++} \\ \text{iii (c) (+) ppp +++} \end{array}$$

Hieraus folgt eine Zahnanzahl von 28 Zähnen (Thomé, 2004; Budras et al., 2014).

Die Zahnformel für das Dauergebiss ist wie folgt:

$$\frac{\text{III (C) (P) PPP MMM}}{\text{III (C) (P) PPP MMM}}$$

Hieraus resultiert eine Mindestanzahl von 40, jedoch maximal 44 Zähnen (Thomé, 2004; Budras et al., 2014).

Über dem Querstrich werden die Zähne einer Oberkieferhälfte geschrieben, unter dem Querstrich jene einer Unterkieferhälfte. Die Milchzähne werden von kleinen Buchstaben symbolisiert, die bleibenden Zähne von Großbuchstaben. Das Plus in der Milchgebissformel symbolisiert einen Zuwachszahn, das bedeutet einen Zahn, der keinen Milchzahnvorläufer besitzt. Permanente Zähne, welche einen Milchzahnvorläufer aufweisen, werden als Ersatzzähne bezeichnet. Die Zahnsymbole in Klammern zeigen Zähne an, welche inkonstant vorkommen (Budras et al., 2014).

Mittlerweile wird in der Tiermedizin vermehrt ein Zahnnummerierungssystem nach Triadan (1972) und Floyd (1991) verwendet. Jeder Zahn wird hierbei durch eine dreizifferige Nummer eindeutig deklariert. Die erste Ziffer bezeichnet den Quadranten, in dem sich der Zahn befindet. Die Quadranten werden wie folgt nummeriert: der rechte Oberkiefer stellt Quadrant 1 dar, der linke Oberkiefer Quadrant 2, der linke Unterkiefer Quadrant 3 und der rechte Unterkiefer Quadrant 4. Beginnend mit I1 werden die Zähne durchnummeriert, wobei der I1 mit der Ziffer 01 bezeichnet wird. Die Aufzählung geht dann weiter nach kaudal bis zum M3 mit der Ziffer 11. Diese Zuordnung wird auch beibehalten, sollte ein Zahn fehlen oder nicht angelegt sein. Für Milchzähne werden die Quadranten nicht mit der Ziffer 1 bis 4 gekennzeichnet, sondern mit den Ziffern 5 bis 8. Der P4 des rechten Oberkiefers wird somit als 108 bezeichnet, der Milchprämolare 4 als 508 (Staszky, 2014).

4.1.1.1 Zahnwechsel

Durch den Zahnwechsel kann bei manchen Pferden die Futterraufnahme erschwert, sowie der Kauprozess gestört werden. Besonders im Alter von 2,5 Jahren kann dies auftreten, da zu diesem Zeitpunkt 12 Zähne gleichzeitig gewechselt werden. Dies kann zu Problemen und Leistungsabfall führen bei Pferden, die schon zweijährig Rennen laufen, bzw. im Sport

eingesetzt werden, beispielsweise Traber und Galopper (Wissdorf et al., 2010a). Allerdings gibt es in Bezug auf den Zahnwechsel starke rassetypische, sowie individuelle Schwankungen, somit kann der Zeitpunkt des Wechsels, bzw. Durchbruchs eines Zahnes stark variieren (Budras et al., 2014). Ungefähr ein halbes Jahr nach dem Durchbruch der Zähne erreichen sie ihre funktionellen Positionen und nehmen Kontakt zu den antagonistierenden Zähnen auf. Somit sollte ein Pferd im Alter von ungefähr fünf Jahren ein vollständiges permanentes Gebiss besitzen, mit entsprechender Okklusion und funktioneller Reibung. Die permanenten *Canini* können zwischen dem vierten bis fünften (sechsten) Lebensjahr durchbrechen, sofern sie denn angelegt sind (Thomé, 2004; Budras et al., 2014).

4.1.1.2 Die Schneidezähne

Die Schneidezähne bilden den rostralen Anteil der beiden Zahnbögen (Wissdorf et al., 2010a). Sie weisen als Milchzähne eine Gliederung in eine schaufelförmige Zahnkrone, eine konische Zahnwurzel und einen Zahnhals auf. Häufig allerdings schiebt sich das Zahnfleisch so weit auf die Zahnkrone vor, dass eine Unterscheidung zwischen Milch- und permanentem Schneidezahn häufig schwerfällt (Budras et al., 2014). Alle drei Schneidezähne werden gewechselt. Der Id(1) bricht vor der Geburt, bzw. in den ersten Lebenstagen nach der Geburt durch. Er wird in einem Alter von 2,5 Jahren gewechselt. Der Id(2) bricht bis zur vierten Lebenswoche durch, spätestens bis zur achten Lebenswoche, und wird mit 3,5 Jahren gewechselt. Zuletzt bricht der Id(3) durch, dies geschieht im Alter zwischen fünf und neun Monaten. Er wird auch als letztes gewechselt, mit 4,5 Jahren (Thomé, 2004; Wissdorf et al., 2010a; Budras et al., 2014).

Das Pferd weist drei Schneidezähne pro Kieferhälfte auf, in mediolateraler Reihenfolge als Zangen, Mittel- und Eckschneidezahn bezeichnet (Thomé, 2004; Budras et al., 2014). Im Gegensatz zu den Backenzähnen bilden die Schneidezähne nur eine Wurzel aus (Thomé, 2004; Budras et al., 2014).

Die permanenten Schneidezähne erreichen im Schnitt eine Länge von bis zu 75mm. Zunächst weisen sie eine querovale Kaufläche auf, in apikale Richtung wechselt die Form des Zahnquerschnittes über trapezoid und dreieckig bis hin zu längsoval. Hieraus resultiert eine Veränderung der Form der Kaufläche im Alter (Thomé, 2004; Budras et al., 2014).

Bei jungen Tieren bilden die Schneidezähne des Ober- und Unterkiefers jeweils einen Halbkreis, wobei die Kronen der Zähne senkrecht aufeinander stehen, und sich die Kaufläche eines jeden Zahnes mit seinem Antagonisten vollständig deckt. Diese Zahnstellung wird als „Zangengebiss“ bezeichnet (Thomé, 2004). Mit zunehmendem Alter schiebt sich der schwach gebogene intraalveoläre Anteil des Zahnes weiter hervor, die länger gewordenen extraalveolären Anteile der Zähne kommen mehr und mehr in eine Ebene. Der horizontale Zahnbogen flacht sich ab, und die Schneidezähne beider Kiefer stehen in immer spitzer werdendem Winkel zueinander - so entsteht daraus ein „Winkelgebiss“ (Thomé, 2004).

Die *Infundibula* der Oberkieferschneidezähne sind initial bis zu 36mm tief, diejenigen der Unterkieferschneidezähne bis zu 26mm (Budras et al., 2014). Die *Infundibula* sind schmelzberandete Vertiefungen auf den Kauflächen, die durch Einstülpungen der Zahnwand von lingual her entstanden sind (Wissdorf et al., 2010a). Allerdings wird die von okklusal sichtbare Tiefe der *Infundibula* durch eine variierende Zementfüllung bestimmt und ist stark variabel. Zement und Dentin werden stärker abgerieben als Zahnschmelz, somit entstehen zwei Schmelzringe, welche als Schmelzleisten fühlbar sind (Budras et al., 2014).

Nachdem die *Infundibula* fast vollständig abgerieben wurden, erscheint auf der Kaufläche die sogenannte „Kundenspur“, wobei es sich um den kompakten Boden des *Infundibulum*s handelt (Thomé, 2004; Budras et al., 2014). Der vollständige Abrieb der *Infundibula* ist abhängig vom Zeitpunkt des Durchbruchs der Zähne; es ist aber auch rassebedingt (Wissdorf et al., 2010a). Neben der Kundenspur wird die Position des pulpafüllten *Cavum dentis* auf der Kaufläche abgebildet und als „Zahnsternchen“ bezeichnet. Die Zahnpulpa wird durch Sekundär- und Tertiärdentin im Zuge des Zahnabriebes bedeckt, um eine Eröffnung des Pulparaumes zu verhindern (Budras et al., 2014).

4.1.1.3 Die Hengstzähne und die Wolfszähne

Die *Canini* kommen geschlechtsspezifisch als sogenannte „Hengstzähne“ vor (Budras et al., 2014). Es sind brachyodonte, schmelzhöckerige Zähne, und besitzen in der Regel eine Länge von 40-50mm, wobei der extraalveoläre Anteil nur etwa 10mm ausmacht. Sie weisen somit eine sehr lange und massive Wurzel auf. Die *Canini* befinden sich im Kiefer in einigem Abstand zu den Eckschneidezähnen, und haben keine Funktion für die Nahrungsaufnahme (Thomé, 2004; Budras et al., 2014). Bei der Stute brechen die *Canini* nur in ganz seltenen Fällen durch,

sie sind dann sehr klein und unscheinbar. Zwischen den *Canini* und den ersten Prämolaren befindet sich der sogenannte *Margo interalveolaris* und stellt einen zahnfreien Abschnitt im Kiefer dar (Thomé, 2004). Der deziduale *Caninus* bricht selten durch, der permanente *Caninus* erscheint in einem Alter von vier bis fünf (sechs) Jahren (Thomé, 2004; Budras et al., 2014).

Die ersten Prämolaren (P1), auch „Wolfszähne“ genannt, kommen nur als rudimentäre Zähne vor. Ebenso wie die *Canini* haben die ersten Prämolaren keine Funktion für die Nahrungsaufnahme und sind somit entbehrlich für das Pferd. Zudem weisen sie eine hohe morphologische Variabilität auf (Budras et al., 2014).

Der erste Prämolare kommt vor allem im Oberkiefer vor, selten im Unterkiefer. Er zeigt sich als stiftchenförmiger, schmelzhöckeriger und zumeist einwurzeliger Zahn, der meistens an der mesialen Fläche des P2 (06) liegt (Budras et al., 2014). Allerdings kann er auch weiter rostral im *Margo interalveolaris* liegen, oder auch bukkal oder palatinal, bzw. lingual verlagert auftreten (Wissdorf et al., 2010a). Er fällt oft schon frühzeitig aus und wird nicht ersetzt (Thomé, 2004).

Sowohl der *Caninus* als auch der erste Prämolare können unter der Gingiva verborgen bleiben, man spricht dann von "blinden" Wolfs- bzw. Hengstzähnen (Budras et al., 2014). Dieser Umstand kann bei Reit- bzw. Rennpferden Probleme bei der Benutzung eines Trensengebisses verursachen (Wissdorf et al., 2010a).

4.1.1.4 Die prämolaren und die molaren Backenzähne des Pferdes

Das Pferd besitzt pro Kiefer sechs Backenzähne: drei prämolare und drei molare Backenzähne (Thomé, 2004). Die Prämolaren besitzen Milchzahnvorläufer – im Gegensatz dazu sind die Molaren Zuwachszähne ohne Milchzahnvorläufer (Wissdorf et al., 2010a; Staszky, 2011b; Kölle et al., 2014). Die Prämolaren P2 und P3 (06 und 07) wechseln mit ca. zweieinhalb Jahren, P4 (08) mit ca. dreieinhalb Jahren. Der erste molare Backenzahn M1 (09) bricht mit sechs bis neun Monaten bis zur Vollendung des ersten Lebensjahres durch, der zweite molare Backenzahn M2 (10) bis zwei bis zweieinhalb Jahren und der dritte molare Backenzahn M3 (11) mit dreieinhalb bis viereinhalb Jahren. Das Wachstum der Backenzähne ist mit sechs bis sieben Jahren abgeschlossen (Thomé, 2004; Kölle und Staszky, 2014a; Salomon, 2015c).

Die prämolaren Backenzähne haben sich in ihrer Form und Größe den Molaren angepasst (Dixon, 2002; Dixon und Dacre, 2005; Simon et al., 2009a; Staszky, 2011b; Kölle et al., 2014;

Salomon, 2015c). Der Querschnitt der Oberkieferbackenzähne ist fast quadratisch, wohingegen der Querschnitt der Unterkieferbackenzähne eher rechteckig ist. Der Querschnitt der ersten und letzten Backenzähne P2 und M3 (06 und 11) ist fast dreieckig. Die maxillären Backenzähne sind breiter als die mandibulären Backenzähne (Dixon, 2002; Thomé, 2004; Simon et al., 2009a; Dixon und Du Toit, 2011; Staszuk, 2011b; Kölle et al., 2014). Die durchschnittliche Länge der Backenzähne beträgt zwischen 80-105mm (Thomé, 2004), die Eruptionsrate beträgt 2-3mm pro Jahr (Dixon und Du Toit, 2011).

Des Weiteren sind die Backenzähne unterschiedlich positioniert im Kiefer. P2 und P3 (06 und 07) im Oberkiefer sind rostral geneigt, P4 und M1 (08 und 09) stehen fast senkrecht, die letzten beiden Oberkieferbackenzähne sind nach kaudal geneigt. Im Oberkiefer markiert der M1 (09) den antiklinalen Zahn, im Unterkiefer ist es der P3 (07) (Dixon und Du Toit, 2011; Staszuk, 2011b). Der P2 (06) des Unterkiefer ist nach kaudal geneigt, P4 bis M3 (08 bis 11) des Unterkiefers nach rostral (Thomé, 2004).

Nach Abschluss des Zahnwachstums bilden die Oberkieferbackenzähne drei Wurzeln aus, die Unterkieferbackenzähne bilden zwei Wurzeln bzw. der letzte Unterkieferbackenzahn M3 (11) bildet gelegentlich drei Wurzeln aus. Die Wurzeln besitzen keine Schmelzanteile, sie bestehen nur aus Dentin und Zahnzement. Die Wurzeln der Oberkieferbackenzähne sind in bukkomesialer, bukkodistaler und palatinaler Position; die Wurzeln der Unterkieferbackenzähne sind in mesialer und distaler Position (Thomé, 2004; Wissdorf et al., 2010a; Dixon und Du Toit, 2011; Staszuk, 2011b; Salomon, 2015c). Die Wurzeln der Unterkieferbackenzähne sind etwas länger als die ihrer maxillären Antagonisten (Dixon, 2002; Dixon und Du Toit, 2011). Nach Dixon und Du Toit (2011) entwickeln sich die Zahnwurzeln ca. zwei Jahre nach Zahneruption, nach Staszuk (2011b) ist dies ab sechs Jahren nach dem Durchbruch in die Maulhöhle der Fall. Die Backenzähne weisen Wurzelkanäle und Pulpaäste auf (Kopke et al., 2012), wobei die Anzahl variieren kann. P3 bis M2 (07 bis 10) weisen fünf Pulpaäste, die P2 (06) und die mandibulären M3 (311/411) weisen sechs Pulpaäste und die maxillären M3 (111/211) weisen sieben Pulpaäste auf. Auf den Okklusalfächen der Backenzähne stellen sich die Pulpapositionen dunkel dar (Wissdorf et al., 2010a; Dixon und Du Toit, 2011; Staszuk, 2011b; Kopke et al., 2012; Dixon et al., 2013; Kölle et al., 2014).

Im Oberkiefer werden vom *N. infraorbitalis* welcher im *Canalis infraorbitalis* verläuft Zweige an die Backenzähne abgegeben. Durch das *Foramen apicale* treten Pulpanerven in den Zahn ein; sie führen sensorische Fasern vom *N. trigeminus*.

Der *N. mandibularis* ist der dritte der drei Hauptäste des *N. trigeminus*. Dieser gibt nach Eintritt durch das *Foramen mandibulae* im Unterkiefer, als *N. alveolaris inferior* im *Canalis mandibulae* verlaufend, Zweige an die Backenzähne ab (Staszzyk et al., 2008; Dixon und Du Toit, 2011).

Im Zuge des Zahndurchbruchs und Zahnwechsels und den damit verbundenen Wachstumsprozessen kann es zur Ausbildung sogenannter „bumps“, „Knäste“ oder auch „Eruptionssysteme“ apikal der Zahnkörper der Backenzähne kommen. Sie treten im Alter von drei bis fünf Jahren auf. Im Bereich des Zahnsäckchens des austreibenden Zahns wird der Knochen resorbiert, gegenüberliegend bilden sich Auftreibungen des Knochens. Je mehr Zahnmaterial resorbiert wird, desto mehr Knochen wird gegenüber angelagert. In Extremfällen kann es zur Eröffnung der Zahnalveole kommen – es bildet sich ein Fistelgang aus. Nach vollständigem Durchtreten des Zahns bzw. nach ein bis zwei Jahren kommt es zu einer Rückbildung dieser Vorgänge. Neben persistierenden Milchklappen werden auch andere Ursachen für dieses Phänomen diskutiert. Insbesondere im Bereich des *Margo ventralis mandibulae*, aufgrund der Imbalance zwischen Tiefe des Unterkieferknochens und Zahnlänge, können die Eruptionssysteme unterhalb des Triadan 07 und 08 beobachtet werden (Dixon und Du Toit, 2011; Staszzyk, 2011b). Auch im Oberkiefer treten diese Eruptionssysteme auf, werden hier aber von der Muskulatur verdeckt (Kölle und Staszzyk, 2014a). Bei jungen Pferden ist der ventrale Rand des *Corpus mandibulae* aufgrund der langen Reservekronen breit und abgerundet; wenn die Zähne durchbrechen und die Reservekronen kürzer werden, wird der ventrale Rand dünner (Dixon und Du Toit, 2011).

Die Oberkieferbackenzähne weisen zwei Schmelzbecher, sogenannte *Infundibula* auf; diese fehlen an den Unterkieferbackenzähnen (Thomé, 2004; Wissdorf et al., 2010a). Die *Infundibula* senken sich bis zum Boden des Zahnkörpers ab. Sie sind mit Zement ausgefüllt (Kölle et al., 2014). Bleibt diese Füllung mit Zement unvollständig, liegt eine infundibuläre Hypozementose vor – auch „central infundibular cemental hypoplasia“ genannt (Veraa et al., 2009b; Dixon und Du Toit, 2011; Saunders und Windley, 2011; Staszzyk, 2011b; Kölle et al., 2014).

Die Oberkieferbackenzähne weisen einen engen Kontakt zu den Nasennebenhöhlen auf, insbesondere zu den Kieferhöhlen (Dyce et al., 2002a; Staszzyk, 2014). Die Wurzeln von P4 und M1 (08 und 09) haben Kontakt zum *Sinus maxillaris rostralis* (Trotter, 1993; Robinson und Furlow, 2007; O'Leary und Dixon, 2011; Staszzyk, 2011b; Kölle et al., 2014). Nach Salomon

(2015a) und Liuti et al. (2017) kann zusätzlich noch der M2 (10) Kontakt zum *Sinus maxillaris rostralis* aufweisen.

Die Zahnwurzeln von M2 und M3 (10 und 11) haben Kontakt zum *Sinus maxillaris caudalis* (Robinson und Furlow, 2007; O'Leary und Dixon, 2011; Salomon, 2015a). Nach Kölle et al. (2014), Staszuk (2011b) und Liuti et al. (2017) kann auch der *Alveolus dentalis* von M1 (09) Kontakt zum *Sinus maxillaris caudalis* haben (siehe hierzu auch 4.3.1.1, Seite 14).

Abgesehen von der engen Lagebeziehung zu den Kieferhöhlen liegen die palatinalen Wurzeln einiger Oberkieferbackenzähne auch in enger Nachbarschaft zum *Sinus conchae ventralis* (Kölle et al., 2014). Laut Hartley und Grundon (2017) stößt der letzte Molar im Oberkiefer an den *Sinus sphenopalatinus*.

Die Zahnalveolen von P2 und P3 (06 und 07) haben keinen Kontakt zu den Nasennebenhöhlen (Liuti et al., 2017; Hargreaves und Dixon, 2018).

4.1.1.5 Physiologische Anisognathie und Okklusion

Das Gebiss des Pferdes weist im Bereich der Backenzähne eine physiologische Anisognathie auf, d.h. die Backenzähne stehen nicht mit ihren gesamten Kauflächen aufeinander. Dies wird dadurch verursacht, dass die Unterkieferkörper enger zueinanderstehen als die *Processus alveolares* des Oberkiefers (Budras et al., 2014). In zentraler Okklusion weisen der linguale Rand der Unterkieferbackenzähne und der vestibuläre Rand der Oberkieferbackenzähne keinen Kontakt miteinander auf, nur das linguale Drittel der Kaufläche der Oberkieferbackenzähne und die bukkale Hälfte der Unterkieferbackenzähne berühren sich (Nickel et al., 2004a; Wissdorf et al., 2010a). Hinzu kommt eine nach schräg lateroventral gekippte Okklusionsebene der Backenzähne, verursacht durch abgeschrägte Okklusionsflächen derselben. Die stellt eine Anpassung an den laterolingual gerichteten Kauschlag des Pferdes dar (Budras et al., 2014). Des Weiteren sind die Oberkieferbackenzähne alternierend zu den Unterkieferbackenzähnen angeordnet. Das bedeutet, dass jeder Oberkieferbackenzahn einen Hauptantagonisten besitzt, dessen Kaufläche er zu dreiviertel in Anspruch nimmt, und einen Nebenantagonisten, dessen Kaufläche er zu einem Viertel abreibt. Ausschließlich der M3 (11) des Oberkiefers besitzt nur einen Antagonisten, den M3 (11) des Unterkiefers (Nickel et al., 2004a; Wissdorf et al., 2010a).

In abnormen Fällen können durch ungleichmäßige Abnutzung der linguale Rand der Unterkieferbackenzähne und der bukkale Rand der Oberkieferbackenzähne scharfe Kanten aufweisen. Es entsteht ein sogenanntes Kantengebiss, in hochgradigen Fällen auch Scherengebiss genannt (Nickel et al., 2004a). Ursache solch einer ungleichmäßigen Abnutzung kann beispielsweise die moderne Fütterung des Pferdes mit Kraftfutter sein, wodurch die Zähne nicht genug abgerieben werden, bzw. ein Mangel an Raufutter. Auch die Schneidezähne können hiervon betroffen sein (Wissdorf et al., 2010a).

Zahnkanten an den Oberkieferbackenzähnen können zu Verletzungen der Backenschleimhaut führen, wohingegen Zahnkanten an den Unterkieferbackenzähnen die Zungenschleimhaut verletzen können. Hinsichtlich der Korrektur solcher Zahnkanten gilt es zu beachten, dass einige Pulpaäste auf unterschiedlichem Niveau liegen können und es beim Abschleifen der Zähne zur Eröffnung der Pulpaäste kommen kann (Wissdorf et al., 2010a).

Im Gegensatz zu Zahnhaken, die durch eine reduzierte Seitwärtsbewegung des Unterkiefers entstehen, können sich durch eine Einschränkung der Kaudorostralbewegung des Unterkiefers Zahnhaken an den Backenzähnen bilden. Hiervon betroffen sein können der M3 (11) des Unterkiefers sowie der P2 (06) des Oberkiefers (Wissdorf et al., 2010a).

Neben der bereits erwähnten Gefahr der Eröffnung der Pulpaäste beim Einschleifen der Zähne, kann es bei unsachgemäßem Vorgehen während der Zahnbehandlung zu Verletzungen am harten Gaumen kommen, bis hin zur Schädigung des Venenplexus im harten Gaumen oder der *A. palatina major* selbst. Hierdurch kann es im schlimmsten Fall zum Verbluten des Tieres kommen.

4.2 Entwicklung

4.2.1 Entwicklung der Nasennebenhöhlen

Die Nasennebenhöhlen entwickeln sich in der Embryonalphase zwischen den Laminae einzelner Schädelknochen (Nickel et al., 2004c; Waibl, 2004; Wissdorf et al., 2010c; Salomon, 2015a), bereits ab viereinhalb Monaten fetalen Alters finden sich erste Hinweise auf diesen Vorgang (Nöller et al., 2007). In der späten Fetalperiode dringen vom mittleren Nasengang zwei Epithelknospen ins Mesenchym der Nasenwand vor; sie erweitern sich zu Schleimhauttaschen, von denen sich eine dann zum rostralen Sinussystem und eine sich zum kaudalen Sinussystem entwickelt (Kölle et al., 2014; Brehm, 2019).

Postnatal sind die Nasennebenhöhlen noch recht klein, stülpen sich aber im Alter bis zum Abschluss des Schädelwachstums zunehmend aus, sodass benachbarte Knochen zunehmend pneumatisiert werden (Nickel et al., 2004c; Kölle et al., 2014; Salomon, 2015a; Brehm, 2019). Die weiterhin zunehmende Größe der Nasennebenhöhlen im Alter entsteht dann durch das Verschieben der Reservekronen der Oberkieferbackenzähne in die Maulhöhle (Dyce et al., 2002a; Freeman, 2003; Nöller et al., 2007; Dixon und Du Toit, 2011; Nickels und Williams, 2012).

4.2.2 Entwicklung der Nerven

Die Neuralinduktion gegen Ende der zweiten Woche der embryonalen Entwicklung leitet die Entwicklung des Nervensystems ein. Die Entwicklung erfolgt aus dem Ektoderm, wobei das Neuralrohr als Anlage des Zentralnervensystems dient. Aus der Neuralleiste bildet sich das periphere Nervensystem. Die bindegewebigen Anteile des Nervensystems werden aus dem Mesenchym gebildet (Dyce et al., 2002b; Kressin, 2019b).

4.2.3 Entwicklung der Zähne

Die aus ektodermalem ondotogenem Epithel gebildete Zahnleiste wächst zu Beginn des zweiten Monats in das umgebende (Ekto-)Mesenchym. Es bilden sich ektodermale Zahnanlagen aus, das Schmelzorgan (Staszuk, 2011b; Kressin, 2019a). Die nun entstehende Schmelzglocke fungiert als innere Zahnpapille und Zahnsäckchen (Kressin, 2019a). Es hat sich

ein Zahnkeim gebildet – bestehend aus Zahnpapille, Zahnsäckchen und Schmelzorgan (Dixon und Du Toit, 2011). Aus dem Zahnsäckchen entstehen Anteile des Zahnhalteapparates, bestehend aus dem Zahnzement, dem parodontalem Ligament und den Alveolarknochen (Staszyk, 2011b; Kressin, 2019a).

Es findet sich ein äußeres und ein inneres Schmelzepithel, dazwischen die Schmelzpulpa. Das innere Schmelzepithel veranlasst die Entwicklung von Odontoblasten aus dem Mesenchym – sie bilden Dentin aus (Dixon und Du Toit, 2011; Staszyk, 2011b; Kressin, 2019a). Diese Entwicklung verlässt eine Differenzierung von Ameloblasten aus dem inneren Schmelzepithel – sie beginnen, Schmelz zu produzieren (Dixon und Du Toit, 2011). Das glockenförmigen Schmelzorgan nimmt nun eine Hülseform an und es werden Vorstufen von Schmelz und Dentin gebildet (Staszyk, 2011b). Mit zunehmender Bildung von Dentin und Schmelz wandern Odontoblasten und Ameloblasten in entgegengesetzte Richtungen, so dass sie nicht eingeschlossen werden (Dixon und Du Toit, 2011). Diese Entwicklung beginnt an der Kronenspitze und setzt sich in apikale Richtung fort (Staszyk, 2011b; Kressin, 2019a).

Von hier an entwickeln sich brachyodonte und hypsodonte Zähne unterschiedlich (Staszyk, 2011b).

Bei brachyodonten Zähnen ist die Bildung der Zahnkrone nun weitestgehend abgeschlossen. Das Schmelzorgan verlängert sich in apikale Richtung und bildet die epitheliale Wurzelscheide (Dixon und Du Toit, 2011; Staszyk, 2011b; Kressin, 2019a). Es bildet sich Dentin. An der Dentinoberfläche, durch Kontakt mit dem Zahnsäckchen, wird Zahnzement abgelagert; in der Peripherie bildet sich die Zahnalveole – dazwischen das periodontale Ligament (Dixon und Du Toit, 2011; Staszyk, 2011b). Die Zahnkrone, bestehend aus Schmelz, wird in die Maulhöhle ausgeschoben, die mit Zement überzogene Zahnwurzel verbleibt in der Alveole (Staszyk, 2011b).

In Bezug auf die hypsodonten Zähne gibt es einige Unterschiede. Das Schmelzorgan bleibt bis ca. fünf Jahre nach Durchbruch der Zähne in die Maulhöhle erhalten, erst dann wird eine Zahnwurzel ausgebildet. So kann die Zahnkrone noch weiterwachsen. Des Weiteren wird Zahnzement an der gesamten Zahnkrone abgelagert (Dixon und Du Toit, 2011; Staszyk, 2011b).

4.3 Spezielle Anatomie

4.3.1 Equine Nasennebenhöhlen

Die equinen Nasennebenhöhlen pneumatisieren einzelne Schädelknochen und werden in ein rostrales und ein kaudales System unterteilt (Nickel et al., 2004c; Kölle et al., 2014). Der *Sinus maxillaris rostralis* sowie der *Sinus conchae ventralis* bilden das rostrale Sinussystem. Der *Sinus maxillaris caudalis*, der *Sinus conchofrontalis*, der *Sinus sphenopalatinus* und der *Sinus conchae mediae* bilden das größere kaudale Sinussystem (Waibl, 2004; Brinkschulte et al., 2013; Kölle et al., 2014). Das rostrale und das kaudale Sinussystem sind über die *Apertura nasomaxillaris* mit dem *Meatus nasi medius* und der Nasenhöhle verbunden (Waibl, 2004; Nöller et al., 2007).

4.3.1.1 *Sinūs maxillares*

Die Kieferhöhle wird in zwei Anteile unterteilt, den *Sinus maxillaris rostralis* und den *Sinus maxillaris caudalis* (Nickel et al., 2004c; Waibl, 2004). Die Grenzen der Kieferhöhle bilden die *Maxilla*, das *Os lacrimale*, das *Os zygomaticum* und das *Os ethmoidale* (Waibl, 2004). Über die schlitzförmige *Apertura nasomaxillaris* sind die *Sinūs maxillares*, und ihnen angeschlossen alle anderen Nasennebenhöhlen, mit dem *Meatus nasi medius* und der Nasenhöhle verbunden – sie stellt somit den einzigen Belüftungsweg des Nasennebenhöhlensystems dar (Waibl, 2004; Nöller et al., 2007; Staszuk, 2014). Die *Apertura nasomaxillaris* ist auf Höhe des zweiten bzw. dritten molaren Oberkieferbackenzahns zu finden (Wissdorf et al., 2010c). Andere Autoren berichten von einer Position auf Höhe des ersten und zweiten molaren Oberkieferbackenzahns (Brinkschulte et al., 2014). Die *Apertura nasomaxillaris* ist zweigeteilt – ein Gang führt in den *Sinus maxillaris rostralis* und ein Gang führt in den *Sinus maxillaris caudalis* (Nöller et al., 2007; Wissdorf et al., 2010c; Brinkschulte et al., 2014; Kölle et al., 2014). Der *Sinus maxillaris rostralis* wird durch das *Septum sinuum maxillarium* vom *Sinus maxillaris caudalis* abgetrennt. Es wird durch eine knöcherne, von kaudomedial nach rostrolateral verlaufende Scheidewand gebildet (Wissdorf et al., 2010c; Barakzai, 2011; Brinkschulte et al., 2014), welche dorsal in eine blasenartige, nach kaudal in den *Sinus maxillaris caudalis* hineinragende Struktur übergeht, die *Bulla septi sinuum maxillarium*, welche eine Protrusion

des *Sinus conchae ventralis* darstellt (O'Leary und Dixon, 2011; Brinkschulte et al., 2014; Kölle et al., 2014).

Medial des *Sinus maxillaris rostralis* liegt der *Sinus conchae ventralis* – ihre Verbindung stellt die *Apertura conchomaxillaris* dar, die von ventral durch den *Canalis infraorbitalis* begrenzt wird (Kölle et al., 2014).

Nach Waibl (2004) finden folgende Nasennebenhöhlen an den *Sinus maxillaris caudalis* Anschluss:

- der *Sinus conchofrontalis* von dorsal über die *Apertura frontomaxillaris*
- der *Sinus sphenopalatinus* von kaudoventral über die *Apertura maxillopalatina*
- der *Sinus conchae mediae* von medial über eine enge, schlitzförmige Öffnung (Freeman, 2003).

Die *Sinūs maxillares* haben eine enge Lagebeziehung zu den Oberkieferbackenzähnen durch die in sie hineinragenden Zahnalveolen (Staszyk, 2014). Bezüglich der Position der Oberkieferbackenzähne in den Nasennebenhöhlen gibt es verschiedene Angaben in der Literatur. Nach Staszyk (2011b), Dixon und Du Toit (2011) und Robinson und Furlow (2007) ragen die Wurzeln des dritten Prämolaren P4 (08) und des ersten Molaren M1 (09) in den *Sinus maxillaris rostralis*. Nach Salomon (2015a) hat zusätzlich auch noch der zweite Molare M2 (10) Kontakt zum *Sinus maxillaris rostralis*. Wissdorf et al. (2010c) bestätigt einen variablen Kontakt der Zahnalveole des zweiten Molaren. Andere Autoren geben an, dass die Wurzeln der letzten beiden Molaren M2 und M3 (10 und 11) (Robinson und Furlow, 2007; Dixon und Du Toit, 2011; Salomon, 2015a) oder letzten drei Backenzähne M1-M3 (09, 10 und 11) in Verbindung mit dem *Sinus maxillaris caudalis* stehen (Staszyk, 2011b; Kölle et al., 2014).

Weitere, wichtige Strukturen, welche durch die *Sinūs maxillares* ziehen, sind der *Canalis infraorbitalis* und der *Canalis lacrimalis* (Waibl, 2004; Wissdorf et al., 2010c; Nickels und Williams, 2012; Salomon, 2015a).

4.3.1.2 *Sinus conchae ventralis*

Der *Sinus conchae ventralis* ist medial des *Sinus maxillaris rostralis* gelegen (Brinkschulte et al., 2014; Kölle et al., 2014). Er wird vom kaudalen Anteil der ventralen Nasenmuschel, *Concha nasalis ventralis*, gebildet. Der rostrale Anteil der *Concha nasalis ventralis* steht in offener Verbindung mit der Nasenhöhle, und ist aus Bullae und Cellulae aufgebaut (Nowak und

Schulte-Bahrenberg, 2011; Kölle et al., 2014). Der rostrale und der kaudale Anteil der *Concha nasalis ventralis* sind durch ein Septum voneinander getrennt (Nöller et al., 2007; Nowak und Schulte-Bahrenberg, 2011; Waguespack und Taintor, 2011), das *Septum conchae ventralis* (Waibl, 2004; NAV, 2017).

Über die *Apertura conchomaxillaris*, welche dorsal des *Canalis infraorbitalis* gelegen ist, steht der *Sinus conchae ventralis* mit dem *Sinus maxillaris rostralis* in Verbindung (Freeman, 2003; Nickel et al., 2004c; Waibl, 2004; Nöller et al., 2007; Kölle et al., 2014). Er wird somit, ebenso wie die an den *Sinus maxillaris caudalis* angeschlossenen Nasennebenhöhlen, indirekt über die *Apertura nasomaxillaris* in die Nasenhöhle drainiert (Nowak und Schulte-Bahrenberg, 2011; Kölle et al., 2014). Bei jüngeren Pferden ist die *Apertura conchomaxillaris* recht eng, wird aber mit zunehmendem Alter weiter (Nowak und Schulte-Bahrenberg, 2011; Liuti et al., 2017). Der *Sinus conchae ventralis* weist eine nach kaudodorsal ziehende, blasenartige, knöcherne Erweiterung auf, welche mit dem *Septum sinuum maxillarium* verschmilzt und in den *Sinus maxillaris caudalis* hineinragt (Freeman, 2003; Brinkschulte et al., 2014; Schumacher und Perkins, 2015). Diese Struktur wird nach Brinkschulte et al. (2014) und Dixon et al. (2015) als *Bulla septi sinuum maxillarium* bezeichnet.

Die palatinalen Wurzeln der Oberkieferbackenzähne P4-M3 (08-11) können in Kontakt zum *Sinus conchae ventralis* stehen (Kölle et al., 2014).

4.3.1.3 *Sinus conchofrontalis*

Der *Sinus conchofrontalis* wird aus zwei Anteilen gebildet: dem *Sinus conchae dorsalis* und dem *Sinus frontalis* (Nickel et al., 2004c). Der *Sinus conchalis dorsalis* stellt den kaudalen Anteil der *Concha nasalis dorsalis* dar. Der rostrale Anteil der dorsalen Nasenmuschel steht in offener Verbindung mit der Nasenhöhle und weist ebenso wie die *Concha nasalis ventralis* bullae und cellulae auf (Waibl, 2004; Kölle et al., 2014). Der *Sinus frontalis*, welcher das *Os frontale* pneumatisiert, bildet den zweiten Anteil des *Sinus conchofrontalis* (Nickel et al., 2004c). Beide *Sinūs* stehen in offener Verbindung zueinander (Nöller et al., 2007; Waguespack und Taintor, 2011). Der linke und der rechte *Sinus* werden durch das *Septum sinuum frontium* getrennt (Waibl, 2004; O'Leary und Dixon, 2011).

Von dorsomedial schließt sich der *Sinus conchofrontalis* über die *Apertura frontomaxillaris* an den *Sinus maxillaris caudalis* an (Nickel et al., 2004c; Waibl, 2004; Kölle et al., 2014) und wird

somit auch indirekt durch die *Apertura nasomaxillaris* mit der Nasenhöhle verbunden (Wissdorf et al., 2010c). Der Boden des *Sinus frontalis* steht in enger Lagebeziehung zum Ethmoid (Nickel et al., 2004c; Waguespack und Taintor, 2011).

Die Schleimhaut des *Sinus conchofrontalis* wird vom *N. sinuum frontalem* und dem *N. frontalis* innerviert (Wissdorf et al., 2010c).

4.3.1.4 *Sinus sphenopalatinus*

Der *Sinus sphenopalatinus* wird vom *Sinus palatinus* und *Sinus sphenoidalis* gebildet (Waibl, 2004; Simon et al., 2009b). Der *Sinus palatinus* pneumatisiert die *Lamina perpendicularis* des *Os palatinum*, der *Sinus sphenoidalis*, welcher kaudal von ihm gelegen ist, pneumatisiert das Praesphenoid und mit zunehmendem Alter auch das Basisphenoid (Nickel et al., 2004c). Der *Sinus sphenopalatinus* schließt sich von kaudal an den *Sinus maxillaris caudalis* an (Nickel et al., 2004c; Simon et al., 2009b) und wird somit indirekt über die *Apertura nasomaxillaris* belüftet (Nickel et al., 2004c; Kölle et al., 2014; Hartley und Grundon, 2017).

Die Verbindung zwischen *Sinus sphenopalatinus* und *Sinus maxillaris caudalis* wird als *Apertura maxillopalatina* bezeichnet (Waibl, 2004; Simon et al., 2009b), welche von dorsomedial durch das Ethmoid (Kölle et al., 2014), sowie auch durch den *Canalis infraorbitalis* und die Orbita begrenzt wird (Nöller et al., 2007; Nowak und Schulte-Bahrenberg, 2011). Eine zusätzliche Belüftung über einen „Ethmoidsinus“ wird ebenso genannt (O'Leary und Dixon, 2011). Der linke und der rechte *Sinus sphenopalatinus* sind voneinander getrennt; hierfür sorgt das *Septum sinuum sphenoidalium* (Nickel et al., 2004c; Waibl, 2004; Textor et al., 2012). Erkrankungen des *Sinus sphenopalatinus* können aufgrund seiner engen Lagebeziehung zum *N. opticus* zu Sehstörungen bis zur Erblindung führen. Aber auch Meningitiden können als Folge einer Entzündung vorkommen (Freeman, 2003; Wissdorf et al., 2010c; Hartley und Grundon, 2017).

4.3.1.5 *Sinus conchae mediae*

Die *Concha nasalis mediae* dient als knöcherne Grundlage für den kleinen *Sinus conchae mediae* (Waibl, 2004; Kölle et al., 2014), welche bis auf die Höhe des letzten Molaren im Oberkiefer ragt (Wissdorf et al., 2010c). Der *Sinus conchae mediae* ist medial des *Sinus*

maxillaris caudalis gelegen (Kölle et al., 2014) und schließt sich über eine kleine Öffnung an diesen an (Trotter, 1993; Freeman, 2003; Waibl, 2004; Easley und Freeman, 2013). Insgesamt ist der *Sinus conchae mediae* klinisch eher von geringer Bedeutung (Trotter, 1993; Wissdorf et al., 2010c; Waguespack und Taintor, 2011).

4.3.2 Canalis infraorbitalis mit Nervus infraorbitalis

Kaudal am Pferdeschädel, in der *Fossa pterygopalatina*, beginnt der *Canalis infraorbitalis* am *Foramen maxillare* (Nickel et al., 2004c). Er ist knöchern, relativ dick und an der nasenseitigen Wand der Kieferhöhlen gelegen (Nöller et al., 2007; Wissdorf et al., 2010c). Am Boden der Kieferhöhlen ragt eine knöcherne Leiste empor, welche den *Canalis infraorbitalis* auf dem Verlauf durch die Kieferhöhlen trägt (Nickel et al., 2004c; Nickel et al., 2004b; Waibl et al., 2005). Diese Knochenleiste unterteilt den *Sinus maxillaris caudalis* in zwei Abteilungen (Waibl, 2004; Nickels und Williams, 2012; Salomon, 2015a). In seinem Verlauf durchzieht der *Canalis infraorbitalis* das *Septum sinuum maxillarium* und tritt am *Foramen infraorbitale* aus dem Schädel aus (Salomon, 2015a).

Kurz vor dem Durchtritt durch das *Foramen infraorbitale* entlässt der *Canalis infraorbitalis* den *Canalis alveolaris*, welcher weiter nach rostral zu den Alveolen des Eckzahnes und der Schneidezähne zieht (Nickel et al., 2004c).

Das *Foramen infraorbitale* findet sich auf Höhe des P4 (08) und des M1 (09) im Oberkiefer (Nickel et al., 2004c). Verbindet man die *Crista facialis* und die *Incisura nasoincisiva* durch eine Linie, findet sich das *Foramen infraorbitale* einen fingerbreit hinter der Mitte dieser Linie (Nickel et al., 2004c; Berg und Budras, 2014). Eine andere Technik, um das *Foramen infraorbitale* aufzufinden, ist der „Drei-Finger-Griff“:

- der Mittelfinger ruht an der *Incisura nasoincisiva*
- der Daumen liegt auf dem rostralen Ende der *Crista facialis*
- der Zeigefinger liegt dann auf dem *Foramen infraorbitale*

Der *M. levator nasolabialis* und der *M. levator labii superioris* bedecken das *Foramen infraorbitale* und müssen zu dessen Auffindung zur Seite geschoben werden (Wissdorf et al., 2010b; Berg und Budras, 2014).

Der *Canalis infraorbitalis* hat bei jungen Pferden eine enge Lagebeziehung zu den Oberkieferbackenzähnen. Er liegt hier direkt auf dem Reservekronen auf und ist häufig nach dorsal gebogen. Die ihn tragende Knochenleiste wird erst später durch die Verkürzung der Reservekronen gebildet - sie verbindet dann den *Canalis infraorbitalis* mit den Zahnalveolen (Dixon und Du Toit, 2011). Nach Earley und Galloway (2020) trifft dieser Umstand nur auf den zweiten und dritten molaren Oberkieferbackenzahn M2 und M3 (10 und 11) zu.

Der *Canalis infraorbitalis* mit seiner ihn tragenden Knochenleiste gilt als Grenze zwischen dem *Sinus conchae ventralis* und dem *Sinus maxillaris rostralis*. Beide *Sinūs* kommunizieren miteinander dorsal über den Kanal hinweg durch die *Apertura conchomaxillaris* (Nickel et al., 2004c; Waibl, 2004; Nöller et al., 2007; Nickels und Williams, 2012; Easley und Freeman, 2013; Kölle et al., 2014).

Der *Canalis infraorbitalis* enthält den sensiblen *N. infraorbitalis* und dessen Begleitgefäße, die *A. infraorbitalis* und *V. infraorbitalis* (Waihl et al., 2005).

Die *A. infraorbitalis* tritt durch das *Foramen maxillare* in den *Canalis infraorbitalis* ein und begleitet den *N. infraorbitalis*. Kleine *Rr. dentales* werden an die Molaren M1-3 (09-11) und den letzten Prämolaren P4 (08) abgegeben. Weitere Äste ziehen durch den *Canalis alveolaris* zu den rostralen Zähnen. Über das *Foramen infraorbitale* tritt die *A. infraorbitalis* aus dem Schädel aus (Waihl et al., 2005; Wissdorf et al., 2010a).

Die *V. infraorbitalis* zieht ebenso durch den *Canalis infraorbitalis*. Sie wird durch Äste aus ihrem Vaskularisationsgebiet auf der Angesichtsfläche, Nase und Oberlippe sowie den *Rr. dentales* gebildet und mündet in die *V. profunda faciei* (Waihl et al., 2005; Wissdorf et al., 2010a).

Der *N. infraorbitalis* ist ein sensibler Nerv mit einem großen Innervationsgebiet. Er ist die rostrale Fortsetzung des *N. maxillaris* (Salomon, 2015b), welcher einer der drei Hauptäste des *N. trigeminus* darstellt (König et al., 2019). Noch vor Eintritt in den *Canalis infraorbitalis* durch das *Foramen maxillare* entlässt der *N. infraorbitalis* die *Rr. alveolares superiores caudales*, welche über *Foramina alveolares* in die Maxilla dringen und die kaudalen Oberkieferbackenzähne versorgen (Nickel et al., 2004b; Salomon, 2015b). Oberhalb der Zahnwurzeln bilden die Äste des *N. infraorbitalis* einen *Plexus dentalis* - er gibt *Rr. dentales* an die Zähne und *Rr. gingivales* an das Zahnfleisch ab (Nickel et al., 2004b). Auf seinem Weg durch den *Canalis infraorbitalis* werden die *Rr. dentales superiores medii* an die Backenzähne, sowie kurz vor Durchtritt des Kanals durch das *Foramen infraorbitale* die *Rr. dentales superiores*

rostrales an die rostralen Zähne entlassen (Dyce et al., 2002b; Nickel et al., 2004b; Staszuk et al., 2008; Wissdorf et al., 2010b; Kölle et al., 2014; Salomon, 2015b).

Der *N. infraorbitalis* tritt durch das *Foramen infraorbitale* auf die Außenseite des Schädels (Nickel et al., 2004b; Wissdorf et al., 2010b; Dixon und Du Toit, 2011), und verzweigt sich dort sofort in seine Endäste (Nickel et al., 2004b). Nach Austritt des Nervens versorgt er Muskulatur und Haut des Nasenrückens, Muskulatur, Haut und Schleimhaut des Nasenlochs sowie Muskulatur, Haut und Sinneshaare der Oberlippe über *Rr. nasales externi et interni* sowie *Rr. labiales superiores* (Wissdorf et al., 2010b; Kölle et al., 2014; Salomon, 2015b; König et al., 2019).

Bei mittelgradigen bis hochgradigen Entzündungen der Kieferhöhlen, beispielsweise durch Zahnwurzelerkrankungen verursachte Sinusitiden, kann der *Canalis infraorbitalis* insofern betroffen sein (Nöller et al., 2007; Easley und Freeman, 2013), als er aus seiner ursprünglichen Position verdrängt werden kann (Henninger et al., 2003). Hierbei kann es zu Schädigungen der Nerven und Gefäße kommen, die mit dem *Canalis infraorbitalis* assoziiert sind (Waibl, 2004). Durch Beeinträchtigung des *N. infraorbitalis* kann es zu Sensibilitätsstörungen der Zähne im Oberkiefer oder auch zum sogenannten „headshaking“ kommen (Wissdorf et al., 2010c; Gilsenan et al., 2014).

4.3.3 *Canalis mandibulae* mit *Nervus alveolaris inferior*

Der *Canalis mandibulae* durchzieht bogenförmig die Mandibula. Er beginnt kaudal am *Ramus mandibulae* mit dem *Foramen mandibulae* und zieht nach rostral zum *Foramen mentale*. Der *Canalis mandibulae* entlässt nach rostral zum Caninus und den Incisivi den *Canalis alveolaris* (Nickel et al., 2004c).

Das *Foramen mentale* liegt zwischen Backenzahn- und Schneidezahnanteil lateral am *Corpus mandibulae*. Es ist einen fingerbreit unterhalb des *Margo interalveolaris* tastbar, in etwa auf Höhe des Kinnwinkels (Nickel et al., 2004c).

Der *N. mandibularis* ist einer der drei Hauptäste des *N. trigeminus*. Er tritt durch die *Incisura ovalis* des *Foramen lacerum* aus der Schädelhöhle aus und zieht medial des Kiefergelenks entlang. Er entlässt mehrere Äste und tritt als *N. alveolaris inferior* durch das *Foramen mandibulae* in den *Canalis mandibulae* ein. Er entlässt auf seinem Weg kleine Nervenäste, die *Rr. alveolares inferiores caudales et medii* zu den Unterkieferbackenzähnen. Durch den *Canalis alveolaris* gelangen weitere Äste, die *Rr. alveolares inferiores rostrales* zum Eckzahn und zu

den Schneidezähnen (Dyce et al., 2002b; Nickel et al., 2004b; Wissdorf et al., 2010b; Kölle et al., 2014; Salomon, 2015b; König et al., 2019). Vergleichbar mit den Ästen des *N. infraorbitalis* bilden auch die Äste des *N. alveolaris inferior* im Bereich der Zahnfächer den *Plexus dentalis inferior* – von ihm ziehen *Rr. gingivales inferiores* zum Zahnfleisch (Nickel et al., 2004b; Salomon, 2015b).

Der *Canalis mandibulae* mit dem *N. alveolaris inferior* sowie seine Begleitgefäße ziehen unterhalb der Apices der Backenzähne durch die Mandibula. Bei jungen Pferden mit kürzlich durchgebrochenen Zähnen wird die Mandibula von diesen ausgefüllt – der *Canalis mandibulae* liegt nun medial der sich entwickelnden Zähne (Dixon und Du Toit, 2011).

Der Endast des *N. alveolaris inferior*, der *N. mentalis*, verlässt durch das *Foramen mentale* die Mandibula, tritt auf die Außenseite und versorgt Haut und Schleimhaut der Unterlippe und des Kinns (Dyce et al., 2002b; Nickel et al., 2004b; Wissdorf et al., 2010b; Dixon und Du Toit, 2011; Kölle et al., 2014; Salomon, 2015b; König et al., 2019).

Die *A. alveolaris inferior* entspringt der *A. maxillaris*. Sie tritt, zusammen mit dem *N. alveolaris inferior*, durch das *Foramen mandibulae* in den Unterkiefer ein. Auf ihrem Weg durch den *Canalis mandibulae* entlässt sie *Rr. dentales* an die Molaren und Prämolaren. Durch den *Canalis mandibulae* ziehen weitere *Rr. dentales* zum Caninus und den Incisivi des Unterkiefers. Durch das *Foramen mentale* tritt die *A. mentalis* nun aus und verzweigt sich in ihre Endäste. Die *V. mentalis* tritt durch das *Foramen mentale* ein, zieht als *V. alveolaris inferior* durch den *Canalis mandibulae* und nimmt die *Rr. dentales* auf. Sie mündet in den *Plexus pterygoideus* (Waibl et al., 2005; Wissdorf et al., 2010a).

4.4 Darstellung der Nasennebenhöhlen mittels bildgebender Verfahren

4.4.1 Die Computertomographie in der Tiermedizin

In den letzten Jahrzehnten hat sich die Computertomographie als diagnostisches Mittel in der Pferdemedizin etabliert (Schoppe et al., 2017). Erstmals wurde es bei einem Pferd 1984 an der Washington State University angewandt (Nowak und Zwick, 2011).

Anfänglich fand es in der Pferdemedizin nur limitierte Anwendung aufgrund hoher Kosten, Verfügbarkeit und logistischer Probleme (Arencibia et al., 2000). Jedoch wurde die Technik weiterentwickelt, beispielsweise die Möglichkeit der CT-Untersuchung am stehenden Pferd („Standing CT“), sodass die CT für eine höhere Patientenzahl zugänglich geworden ist und Risiken minimiert werden (Nowak und Zwick, 2011; Barakzai, 2014; Dakin et al., 2014).

Insbesondere in der Diagnostik von Zahnerkrankungen, sowie Erkrankungen der Nasenhöhle und Nasennebenhöhlen gilt die CT als wichtiges Medium, insbesondere aufgrund der detaillierten und hochauflösenden Darstellung von Strukturen mit Schnittbildern und ohne Überlagerungen (Kinns und Pease, 2009; Barakzai, 2011; Cissell et al., 2012; Puchalski, 2012; Bühler et al., 2014; Dixon et al., 2017; Hargreaves und Dixon, 2018). Somit ist es in der Diagnostik von Erkrankungen den Pferdeschädel betreffend dem Röntgen deutlich überlegen (Dakin et al., 2014; Manso-Díaz et al., 2015; Epperly und Whitty, 2020). Auch für die Planung chirurgischer Eingriffe am Pferdekopf sowie die Nachuntersuchung ist es hervorragend geeignet (Kinns und Pease, 2009; Nowak und Zwick, 2011; Puchalski, 2012; Selberg und Easley, 2013; Dakin et al., 2014). Die Durchführung einer CT-Untersuchung wird auch bei Patienten empfohlen, bei denen auch nach endoskopischer Untersuchung keine definitive Diagnose gestellt werden kann, oder eine Beteiligung des Nasennebenhöhlensystem oder eine multifokale Erkrankung vermutet werden (Textor et al., 2012).

Aber auch in anderen Bereichen der Tiermedizin sowie in der Forschung kommt die CT zum Einsatz. So wurden in der Vergangenheit Studien mit CT bei Pferden, Eseln, Kamelen, (Morrow et al., 2000; Du Toit et al., 2008; Kinns und Pease, 2009; Cissell et al., 2012; Kopke et al., 2012; Textor et al., 2012; Brinkschulte et al., 2013; Brinkschulte et al., 2014; Blanco et al., 2015; Schoppe et al., 2017), Hunden, Katzen, Rindern (Hagag und Tawfik, 2018; Strohmayer et al., 2020; Davis et al., 2021; Hebel et al., 2021) und anderen Tierarten durchgeführt.

Ende der neunziger Jahre wurde in der Humanmedizin eine neue Technik eingeführt, das volumetrische CT oder auch „cone-beam CT“ (CBCT). Es findet vor allem in der Zahnmedizin,

aber auch in der Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie Anwendung. Die CBCT ermöglicht kürzere Scanzzeiten, eine somit geringere Strahlungs dosis und ist weniger kostenintensiv (Mozzo et al., 1998). Studien über die Anwendungsmöglichkeiten und Nützlichkeit des CBCT wurden bereits bei Katzen, Hunden und Pferden durchgeführt (Döring et al., 2018; Bregger et al., 2019; Heney et al., 2019; Stewart et al., 2021).

4.4.2 Endoskopie

Neben der Computertomographie ist die Endoskopie ein wichtiges Hilfsmittel um Erkrankungen der Nasenhöhle und der Nasennebenhöhle zu diagnostizieren (Feige et al., 2000; Nöller et al., 2007; Perkins et al., 2009; Nowak und Schulte-Bahrenberg, 2011). Zur Diagnose von Zahnerkrankungen ist sie laut Dixon et al. (2012) nur eingeschränkt geeignet. Bisher wurden Sinusendoskopien über Trepanationszugänge von außen durchgeführt (Nowak und Schulte-Bahrenberg, 2011). Da diese Herangehensweise recht invasiv ist, wurde eine minimalinvasive Technik entwickelt, die transnasale Sinusendoskopie. In Kombination mit einem recht flexiblen Endoskop sind somit recht detaillierte Untersuchungen der Nasenhöhle und Nasennebenhöhle möglich (Tremaine, 2007a; Nowak und Schulte-Bahrenberg, 2011). Zur weiteren Standardisierung des Verfahrens wurden von Nöller et al. (2007) Landmarken festgelegt.

Die Trepanation zur Sinusendoskopie junger Pferde ist mit größter Vorsicht durchzuführen, da die Reservekronen einen Großteil der Sinus ausfüllen und die Sinus somit recht klein sind. Die Wurzeln von P4 und M1 (08 und 09) im Oberkiefer könnten verletzt werden (Tremaine, 2007a; Perkins et al., 2009; Nowak und Schulte-Bahrenberg, 2011). Auch der *Canalis infraorbitalis* kann bei ungünstig gewählten Zugängen verletzt werden (Nöller et al., 2007).

Die Diagnose einer apikalen Zahninfektion mittels Endoskopie ist häufig allerdings nur eingeschränkt möglich, da die darüberliegende Schleimhaut im mitbetroffenen Sinus in der Regel stark entzündet ist und die Betrachtung der Zahnalveole stört (Dixon et al., 2012).

Laut Tremaine (2007a) sind Komplikationen nach Sinusendoskopie selten. Es können vorübergehende Periostreaktionen sowie Osteomyelitis an der Trepanationsstelle vorkommen, sowie eine Entzündung des Weichteilgewebes und subkutane Emphyseme.

4.5 Offene Fragen

Die klinische Relevanz des *Canalis infraorbitalis* (CI) beim Pferd ist unumstritten; viele Krankheitsbilder (z.B. „headshaking“) sind mit (iatrogenen) Verletzungen und Pathologien des CI assoziiert; dabei überwiegen die dentogenen Pathologien. Obwohl sich bereits viele Studien und Arbeiten mit der Morphologie und Anatomie des CI in Relation zu den Nasennebenhöhlen (NNH) und den Oberkieferbackenzähnen beschäftigt haben, gibt es zum Teil sich widersprechende Ergebnisse und Aussagen. Die vorliegende Arbeit soll eine morphologische Beschreibung des CI auf jeder Zahnposition bei Pferden verschiedener Altersgruppen und Rassen und somit wertvolle Informationen für den Praktiker liefern. Auch die Beschreibung der (unterschiedlichen) Längsverläufe des CI, sowie der Position des *Foramen infraorbitale* (FI), liefern dem Praktiker z.B. bei der Planung einer Anästhesie vor einem chirurgischen Eingriff wertvolle Hinweise.

Über den anatomischen Verlauf und die Morphologie des *Nervus alveolaris inferior* (NAI) gibt es in der Literatur weit weniger Angaben. Eine Arbeit von Iacopetti et al. (2015) beschreibt den Verlauf des NAI im Unterkiefer nach Präparation der Pferdeschädel. Die Analyse des NAI in Relation zu jeder Zahnposition bei Pferden unterschiedlicher Rasse und Alter soll das anatomische Verständnis dieser wichtigen Struktur verbessern helfen.

Eine weitere Aufgabe der vorliegenden Arbeit besteht darin die CT als Untersuchungsmethode zur Beschreibung nervaler Strukturen zu bewerten.

5 Material und Methode

5.1 Probanden

Für die Untersuchungen standen CT-Datensätze von insgesamt 47 Pferden zur Verfügung. Die Datensätze wurden mit Genehmigung von den Pferdekliniken der University of Veterinary and Pharmacological Sciences (UVPS), Brno, Tschechien, sowie der Tierärztlichen Hochschule Hannover, Deutschland, zur Verfügung gestellt. Die untersuchten Pferde waren zwischen 2 und 28 Jahre alt; davon waren 19 männlichen und 27 weiblichen Geschlechts (siehe Tabelle 1, Seite 25). Folgende Pferderassen waren vertreten: zehn Vollblüter, 25 Warmblüter, sechs Kaltblüter, fünf Ponys und ein Wildpferd (siehe Tabelle 5, Seite 92).

Die CT-Daten wurden sowohl von lebenden Pferden als auch *post mortem* erhoben.

Wenn pathologische Veränderungen der zu untersuchenden anatomischen Strukturen in den CT-Scans zu sehen waren, so wurden die entsprechenden Kopfhälften bei den deskriptiven Beschreibungen und morphometrischen Messungen nicht berücksichtigt.

Nachdem zuvor festgestellt worden war, ob das Individuum ein bereits vollständig permanentes Gebiss hatte oder nicht, wurden die untersuchten Pferde ihrem Zahnstatus entsprechend in zwei Altersgruppen eingeteilt: In der ersten Altersgruppe (AG 1) befanden sich insgesamt elf juvenile Pferde (Alter 0 bis 6 Jahre), deren Gebiss noch nicht vollständig permanent war. In der zweiten Altersgruppe befanden sich insgesamt 36 Pferde (Alter >6 Jahre), deren Gebiss vollständig permanent war (siehe Tabelle 1, Seite 25).

Tabelle 1 - Alters- und Geschlechtsverteilung der untersuchten Pferde

Altersgruppe	Männlich	Weiblich	Anzahl
0 - 6 Jahre	5	6	11
über 6 Jahre	22	14	36
insgesamt	27	20	47

5.2 CT-Daten

Für die Bearbeitung und Auswertung der CT-Daten (DICOM-Format) wurde die Software TomoCon[®] (TatraMed spol. s.r.o., Bratislava, Slowakei) verwendet. Als CT-Scanner wurden ein 16-multislice, GE LightSpeed (Milwaukee, Wisconsin, USA), sowie ein 16-multislice Brilliance[™] BigBore Onkologie-CT von Philips Medical Systems (Best, Niederlande) verwendet. Die CT-Bilder wurden mit folgendem Scanprotokoll angefertigt:

- 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

5.2.1 Anpassung der Schnittebenen im CT-Programm

Zur einheitlichen Standardbetrachtung aller Pferdeköpfe wurde eine Anpassung der Schnittebenen im CT-Programm vorgenommen. Hierzu wurden anatomische Markerpunkte am Pferdeschädel festgelegt. In der transversalen, sowie der horizontalen Betrachtungsebene galten die *Cristae faciales*, sowie das *Septum nasi* als Referenzpunkte (siehe Abbildung 1, Seite 27 und Abbildung 2, Seite 28). In der medianen Ansicht wurde die horizontale Schnittachse in eine Ebene mit dem Nasengrund gebracht; die transversale Schnittachse wurde anschließend orthogonal zur horizontalen Achse ausgerichtet (siehe Abbildung 3, Seite 29).

Zur Betrachtung individueller anatomischer Strukturen wurden die Schnittachsen gegebenenfalls angepasst, um eine verfälschte Darstellung zu vermeiden und korrekte Messdaten zu erhalten.

Die für diese Arbeit ausgewählten Abbildungen wurden zur vereinfachten Darstellung mit einer für die jeweilige Betrachtungsebene festgelegten Farbe gerahmt:

- Horizontale Betrachtungsebene: Grüner Rahmen
- Transversale Betrachtungsebene: Blauer Rahmen
- Mediane/sagittale Betrachtungsebene: Lilafarbener Rahmen

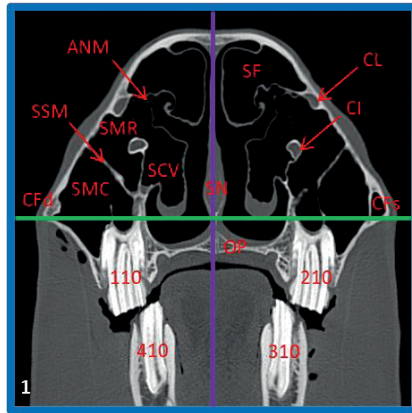


Abbildung 1 - Transversales CT-Schnittbild zur Darstellung der Schnittebenenanpassung durch den Kopf einer 28-jährigen Stute auf Höhe von M2 (Triadan 10). Die horizontale Schnittachse (grüne Linie) wurde durch beide *Cristae faciales* gelegt, die mediane Schnittachse (lila Linie) wurde am *Septum nasi* (SN) ausgerichtet.

ANM: *Apertura nasomaxillaris*; SSM: *Septum sinuum maxillarium*; CL: *Canalis lacrimalis*; CI: *Canalis infraorbitalis*; SF: *Sinus frontalis*; SCV: *Sinus conchae ventralis*; SMR: *Sinus maxillaris rostralis*; SMC: *Sinus maxillaris caudalis*; CFd: *Crista facialis dextra*; CFS: *Crista facialis sinistra*

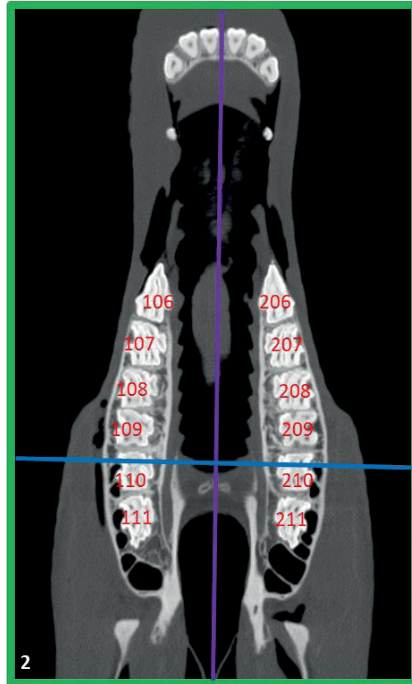


Abbildung 2 - Horizontales CT-Schnittbild zur Darstellung der Schnittebenenanpassung durch den Kopf der 28-jährigen Stute aus Abbildung 1, Seite 27. Die mediane Schnittachse (lilafarbene Linie) wurde zwischen Triadan 101 und 201 gelegt. Die transversale Schnittachse (blaue Linie) wurde anschließend orthogonal dazu ausgerichtet.

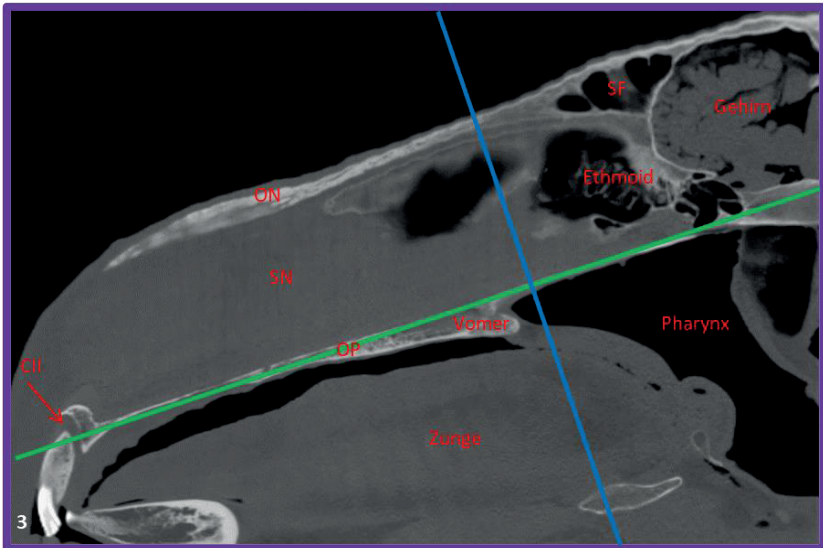


Abbildung 3 - Sagittales CT-Schnittbild zur Darstellung der Schnittebenenanpassung durch den Kopf der 28-jährigen Stute aus Abbildung 1, Seite 27 und Abbildung 2, Seite 28. Die horizontale Schnittachse (grüne Linie) wurde durch den Nasengrund bzw. das *Os palatinum* gelegt. Die transversale Schnittachse (blaue Linie) wurde anschließend orthogonal dazu ausgerichtet. SN: *Septum nasi*; CII: *Canalis interincisivus*; OP: *Os palatinum*; ON: *Os nasale*; SF: *Sinus frontalis*

5.2.2 Anpassung der extrapolierten CT-Bilder

Für eine bessere visuelle Darstellung und korrekte Messdatenerhebung wurden diverse Werkzeuge der CT-Software (TomoCon®) verwendet. Dazu gehörten unter anderem HU-Filtereinstellungen, sowie Werkzeuge zur Längenvermessung und „spot-density“-Messung. Bei letzter genannter Messung werden die unterschiedlichen Röntgenstrahldichten verschiedener Gewebsarten dazu genutzt, um bei schlechter visueller Sicht diverse Strukturen besser voneinander abzugrenzen.

5.2.3 Datenverarbeitung

Die in dieser Arbeit verwendeten Abbildungen sind Screenshots aus der Bildbetrachtungs-Software TomoCon®. Die Programme Word®, Excel® und Powerpoint® (Office 365, Microsoft Corporation, Redmond, Washington, USA) wurden für die Bearbeitung, Beschriftung und Formatierung dieser Abbildungen verwendet. Die in dieser Arbeit verwendeten Diagramme und Tabellen wurden ebenfalls mit Excel® erstellt und anschließend in Powerpoint® für die Verwendung in Word® bearbeitet und formatiert.

Die für die Fragestellungen erhobenen Daten wurden in Excel®-Tabellen erfasst; dabei wurden die quantitativen Messergebnisse auf volle Millimeter gerundet und die qualitativen Daten der untersuchten Pferdeköpfe (Geschlecht, Schädelseite etc.) kodiert als Zahl angegeben. Diese Daten-Tabellen wurden anschließend mit diversen Statistik-Programmen ausgewertet (siehe Unterpunkt Statistische Datenanalyse 5.4, Seite 31).

5.3 Nomenklatur

Die Zähne der untersuchten Pferde wurden sowohl in den Abbildungen, als auch im Fließtext nach dem modifizierten Nummerierungssystem nach Floyd (1991) benannt. Die Bezeichnungen für anatomische Strukturen wurden der NAV (2017) entnommen. Eine bislang noch nicht in der NAV (2017) aufgeführte Struktur ist die knöcherne Leiste auf die der *Canalis infraorbitalis* (CI) bei kürzer werdenden Reservekronen ruht – diese Struktur wurde in dieser Arbeit *Ponticulus canalis infraorbitalis* (PCI) genannt.

5.4 Statistische Datenanalyse

Die statistische Datenanalyse wurde in Zusammenarbeit mit der Arbeitsgruppe „Biomathematik und Datenverarbeitung“ des Fachbereichs Veterinärmedizin der Justus-Liebig-Universität (JLU) Gießen unter Leitung von Dr. K. Failing durchgeführt. Dafür wurden die in Excel-Tabellen erfassten und aufbereiteten Messergebnisse und Daten mit Hilfe des Statistikprogram-Paketes „BMDP statistical software“ (Dixon, 1992) einer statistischen Datenanalyse unterzogen und folgende Analysen zur Beantwortung der Fragestellungen durchgeführt:

- Für die qualitativen Merkmale: Ein- und mehrdimensionale Häufigkeitsauszählungen (Programm BMDP4F)
- Für die quantitativen Messgrößen: Berechnung von Mittelwert, Standardabweichung, Median, Quartilen, Minimum und Maximum (Programm BMDP2D)
- Korrelationsanalyse und Regressionsanalyse (mit Bestimmung des Rangkorrelationskoeffizienten nach Spearman) zur Darstellung einer möglichen Altersabhängigkeit für die metrischen Variablen (Programm BMDP6D)
- Eindimensionale Häufigkeitsauszählung: Gegenüberstellung der qualitativen Merkmale gegen Alter (Bildung von Altersgruppen) und Geschlecht inklusive Prüfung des statistischen Zusammenhangs mithilfe des „Chi-Quadrat-Tests“ nach Pearson (Programm BMDP4F)
- 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))

6 Datenerhebung

6.1 Untersuchungen zum *Canalis infraorbitalis* am Pferdekopf mittels CT

Der *Canalis infraorbitalis* (CI) steht in enger Beziehung zu den Reservekronen der Zähne des Oberkiefers und wird in der Entwicklungsphase des Gebisses in seiner Form und Position von ihnen beeinflusst. Aus diesem Grunde lag der Fokus bei den entsprechenden Untersuchungen auf der Detektion altersabhängiger Veränderungen.

6.1.1 Abgrenzung zwischen *Canalis infraorbitalis* und Reservekrone bei direktem Kontakt

Bei Jungpferden mit sich entwickelndem Gebiss steht der CI häufig in direktem Kontakt mit der Zahnalveole. Dieser Kontaktbereich wurde in der Transversalebene des CT-Programms in Hinblick auf das Vorhandensein einer knöchernen Lamelle untersucht. Dabei wurde unterschieden, ob diese Lamelle „darstellbar“, „partiell darstellbar“ oder „nicht darstellbar“ war (siehe Abbildung 4, Seite 32 und Abbildung 5, Seite 33).

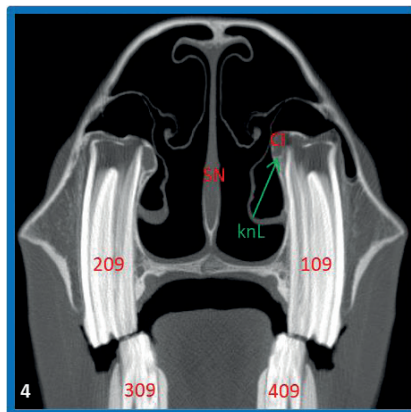


Abbildung 4 - Transversales CT-Schnittbild zur Darstellung der knöchernen Abgrenzung zwischen CI und Reservekrone eines zweijährigen Pferdes auf Höhe von M1 (Triadan 09). Die knöchernen Lamellen, die die CI von den Reservekronen abgrenzen sind auf Höhe des 109er in diesem Fall lediglich partiell im CT darstellbar.

SN: *Septum nasi*; CI: *Canalis infraorbitalis*; knL: knöcherne Lamelle

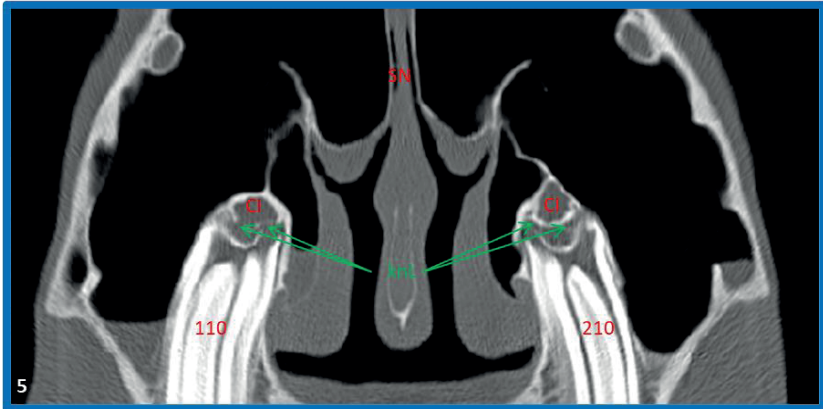


Abbildung 5 - Transversales CT-Schnittbild zur Darstellung der knöchernen Abgrenzung zwischen CI und Reservekrone eines dreijährigen Pferdes auf Höhe von M2 (Triadan 10). Die knöchernen Lamellen, die die CI von den Reservekronen abgrenzen sind auf Höhe des 110er in diesem Schnittbild lediglich partiell, auf Höhe des 210er hingegen durchgehend darstellbar. SN: *Septum nasi*; CI: *Canalis infraorbitalis*; knL: knöcherne Lamelle

6.1.2 Abstandsmessung zwischen *Canalis infraorbitalis* und Reservekronen

Bei Pferden ohne Kontakt zwischen dem CI und den molaren, bzw. prämolaren Backenzähnen des Oberkiefers wurde der bestehende Abstand vermessen. Als ventraler Markerpunkt diente das apikale Ende der palatinalen Wurzel der Backenzähne, bzw. der entsprechende dorsopalatinale Bereich bei jüngeren Pferden ohne ausgebildete Wurzeln. Als dorsaler Markerpunkt galt der ventrale Punkt des CI bzw. der Ansatzpunkt des knöchernen Septums am CI. Die Abstandsmessung wurde in der transversalen Ebene vorgenommen, die Ergebnisse in Millimetern angegeben.

6.1.3 Untersuchung der knöchernen Verbindung zwischen *Canalis infraorbitalis* und Reservekronen

Der knöchernen Steg, auf dem der CI ruht (*Ponticulus canalis infraorbitalis* (PCI)), trennt den SMR bzw. SMC vom SCV, zum Teil gemeinsam mit anderen Strukturen (unter anderem die Zahnalveole). Dieser Aspekt wurde bei dieser Untersuchung genauer betrachtet.

Einerseits wurde untersucht, ob die Trennung dieser Kompartimente der Nasennebenhöhlen (NNH) vollständig war und durch welche anatomischen Strukturen diese voneinander getrennt waren. Zu dieser Fragestellung kamen drei verschiedene Arten der Trennung in Frage: „durch den PCI“, „durch den Zahn bzw. durch den *Proc. alveolaris* der Maxilla“, „durch den PCI und den *Proc. alveolaris* der Maxilla“. Des Weiteren wurden morphologische Besonderheiten/Variationen, wie z.B. Seitenvariabilität beider PCI's innerhalb eines Pferdeschädels beschrieben (siehe Abbildung 6, Seite 34 und Abbildung 7, Seite 35). Zur Auswertung des Stegs wurden alle drei Schnittebenen des CT-Programms genutzt.

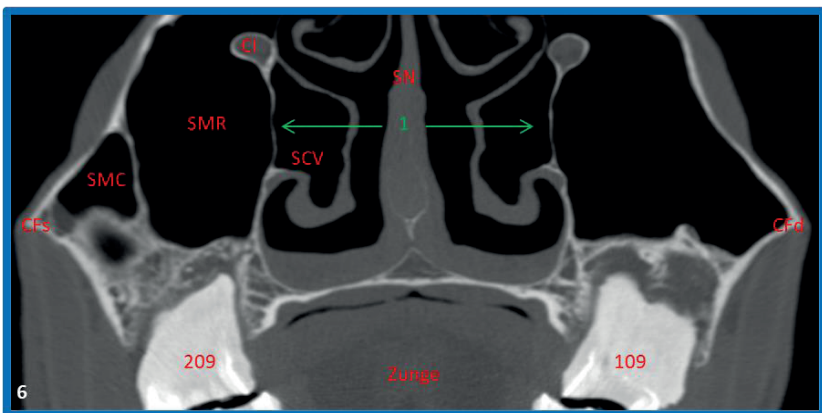


Abbildung 6 - Transversales CT-Schnittbild zur Morphologie des PCI eines 28-jährigen Pferdes. Beide PCI's (1) erscheinen durchgängig und im Seitenvergleich morphologisch ähnlich.
 SN: *Septum nasi*; SCV: *Sinus conchae ventralis*; SMC: *Sinus maxillaris caudalis*; SMR: *Sinus maxillaris rostralis*; CI: *Canalis infraorbitalis*; CF1: *Crista facialis dextra*; CF2: *Crista facialis sinistra*; PCI: *Ponticulus canalis infraorbitalis*

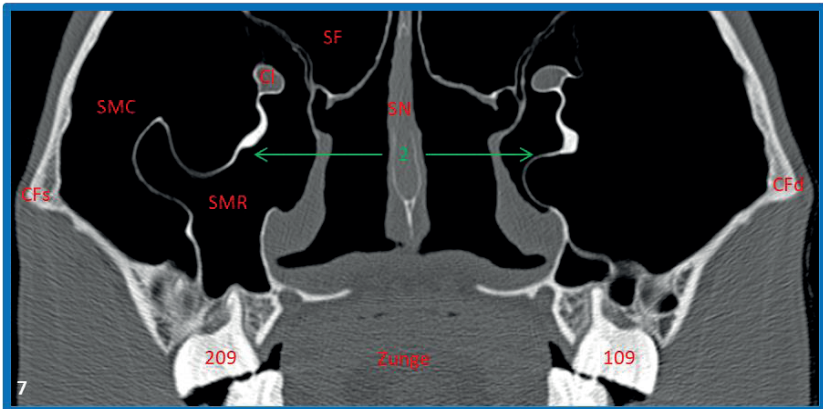


Abbildung 7 - Transversales CT-Schnittbild zur Morphologie des PCI eines 25-jährigen Pferdes. Beide PCI's (2) erscheinen durchgängig, aber durchgebogen und seitenvariabel.

SN: *Septum nasi*; SF: *Sinus frontalis*; SMC: *Sinus maxillaris caudalis*; SMR: *Sinus maxillaris rostralis*; CI: *Canalis infraorbitalis*; CF1: *Crista facialis dextra*; CF2: *Crista facialis sinistra*; PCI: *Ponticulus canalis infraorbitalis*

6.1.4 Beschreibung des Längsverlaufs des *Canalis infraorbitalis*

Bei dieser Untersuchung wurde der Längsverlauf des CI durch den Oberkiefer bzw. durch die Nasennebenhöhlen beschrieben. Die Betrachtung erfolgte hauptsächlich in der sagittalen Ebene; zusätzlich wurde die transversale Ebene genutzt. Es wurde sowohl untersucht, durch welche Nasennebenhöhlen (NNH) der CI verläuft, als auch seine Verlaufsmorphologie beschrieben. Hierfür wurden folgende Attribute verwendet: „geradliniger Verlauf“ (siehe Abbildung 8, Seite 36), „bogenförmig - kaudaler Verlaufsabschnitt nach dorsal und im weiteren Verlauf nach ventral gebogen“ (siehe Abbildung 9, Seite 36), „kaudal geradlinig Verlauf, im rostralen Verlaufsabschnitt nach ventral abknickend“ (siehe Abbildung 10, Seite 37).

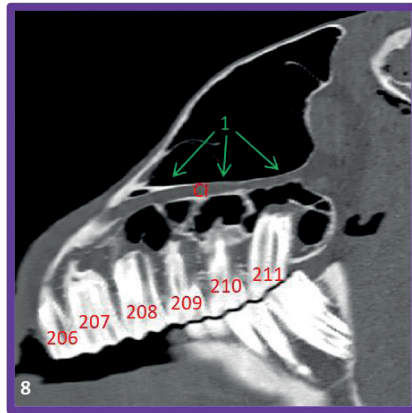


Abbildung 8 - Sagittales CT-Schnittbild eines geradlinig verlaufenden CI (1) bei einem siebenjährigen Pferd.

CI: *Canalis infraorbitalis*

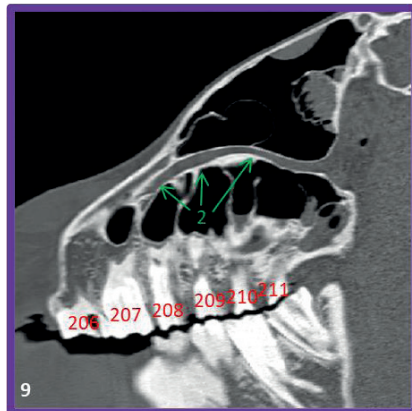


Abbildung 9 - Sagittales CT-Schnittbild eines „bogenförmigen“ (kaudal nach dorsal und im weiteren Verlauf nach ventral gebogenen) CI (2) bei einem 25-jährigen Pferd.

CI: *Canalis infraorbitalis*



Abbildung 10 - Sagittales CT-Schnittbild eines im rostralen Verlaufsabschnitt nach ventral zum FI hin abknickenden CI (3) bei einem 22-jährigen Pferd.

FI: *Foramen infraorbitale*

6.1.5 Beschreibung des Querschnitts des *Canalis infraorbitalis*

Der Querschnitt des CI auf Höhe jedes einzelnen Backenzahns (08er bis 11er) wurde in der transversalen Schnittebene untersucht. Hierfür wurde der CI an seiner längsten und an seiner breitesten Stelle im Querschnitt vermessen. Des Weiteren wurde die Morphologie des Querschnitts in die Kategorien „bohnenförmig“ (siehe Abbildung 11, Seite 38), „rundlich/rundlich-polymorph“ (siehe Abbildung 12, Seite 38), „oval/oval-polymorph“ (siehe Abbildung 13, Seite 39) eingeteilt.

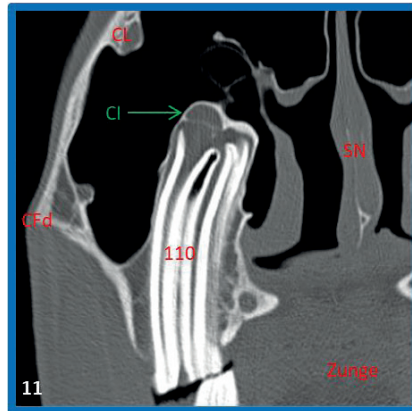


Abbildung 11 - Transversales CT-Schnittbild eines dreijährigen Pferdes mit einem „bohnenförmigen“ Querschnitt des CI auf Höhe von Triadan 110.

SN: *Septum nasi*; CL: *Canalis lacrimalis*; CI: *Canalis infraorbitalis*; CF1: *Crista facialis dextra*

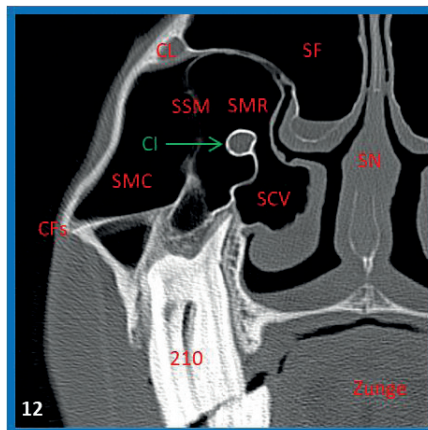


Abbildung 12 - Transversales CT-Schnittbild eines 14-jährigen Pferdes mit einem rundlichen Querschnitt des CI auf Höhe des Triadan 210.

SN: *Septum nasi*; CL: *Canalis lacrimalis*; SF: *Sinus frontalis*; SCV: *Sinus conchae ventralis*; SMC: *Sinus maxillaris caudalis*; SMR: *Sinus maxillaris rostralis*; SSM: *Septum sinuum maxillarium*; CI: *Canalis infraorbitalis*; CF2: *Crista facialis sinistra*

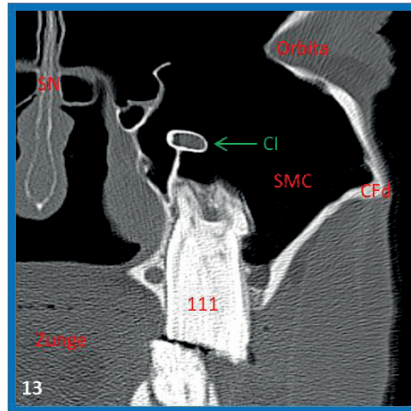


Abbildung 13 - Transversales CT-Schnittbild eines 14-jährigen Pferdes mit einem ovalen Querschnitt des CI auf Höhe des Triadan 111.

SN: *Septum nasi*; SMC: *Sinus maxillaris caudalis*; CI: *Canalis infraorbitalis*; CF1: *Crista facialis dextra*

6.1.6 Positionsbestimmung des *Foramen infraorbitale*

Die Position des *Foramen infraorbitale* (FI) in Relation zu den Oberkieferbackenzähnen wurde bestimmt. Hierfür wurde hauptsächlich die transversale Ebene des CT-Programms verwendet. Als Orientierungspunkt diente derjenige prämolare Backenzahn des Oberkiefers, auf dessen Höhe der CI durch das FI hindurchtrat. Da z.T. Links-rechts-Unterschiede an einem Schädel vorgelegen haben, wurden die Ergebnisse dieser Untersuchung für die rechte, bzw. linke Seite gesondert angegeben (siehe Abbildung 14, Seite 40).

6.1.7 Weitere anatomische Untersuchungen mit Bezug zum *Canalis infraorbitalis*

6.1.7.1 Darstellbarkeit des *Canalis alveolaris* mittels CT

Der *Canalis alveolaris* (CA), der im Bereich des FI vom CI abzweigt und zu den rostralen Prämolaren zieht, wurde untersucht. Zum einen wurde untersucht, ob der CA generell identifiziert werden kann, zum anderen, ob sein Verlauf zu den Prämolaren in den CT-Schnittbildern nachvollzogen werden kann (siehe Abbildung 14, Seite 40).

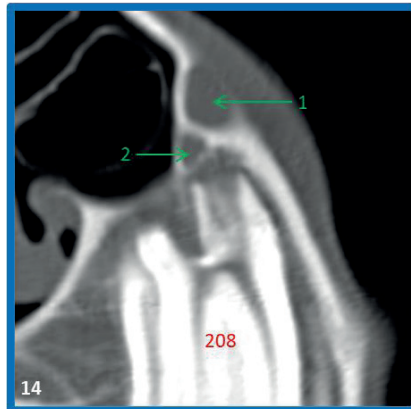


Abbildung 14 - Transversales CT-Schnittbild der Aufzweigung von CI und CA eines siebenjährigen Pferdes. Auf Höhe von Triadan 208 tritt der CI am FI (1) aus. Kurz vor seinem Austritt verlässt der CA (2) den CI, um weiter nach rostral zu den Prämolaren zu ziehen. Auf diesem Schnittbild sind beide Kanäle bereits gut sichtbar durch eine knöcherne Lamelle getrennt.

FI: *Foramen infraorbitale*; CI: *Canalis infraorbitalis*; CA: *Canalis mandibulae*

6.1.7.2 Morphologischer Vergleich der *Rami alveolares superiores medii et rostrales* mittels CT

Die *Rami alveolares superiores medii et rostrales* (RASMR), welche den CI auf seinem Weg durch die Nasennebenhöhlen (NNH) verlassen, um die Innervation der Backenzähne zu gewährleisten, wurden hinsichtlich ihrer generellen Darstellbarkeit, sowie der Position ihrer Austrittsstelle aus dem CI bei den vorliegenden Köpfen untersucht (siehe Abbildung 15, Seite 41). Die Anzahl der darstellbaren Äste wurde dokumentiert. Da die Ergebnisse z.T. eine Links-rechts-Abweichung aufwiesen, wurden die Ergebnisse für beide Seiten gesondert angegeben.

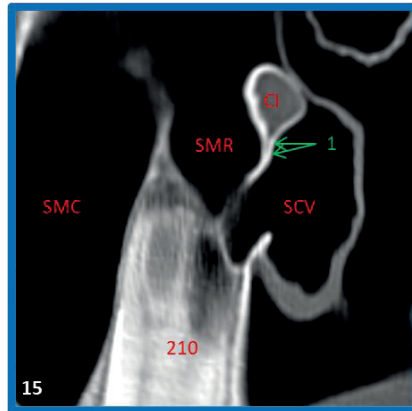


Abbildung 15 - Transversales CT-Schnittbild der RASMR eines 12-jährigen Pferdes. Auf Höhe des Triadan 210 kann man den Austritt des Nervenastes aus dem CI, wie er in den PCI (1) abgegeben wird, nachvollziehen.

SCV: *Sinus conchae ventralis*; SMC: *Sinus maxillaris caudalis*; SMR: *Sinus maxillaris rostralis*; CI: *Canalis infraorbitalis*

6.2 CT-Untersuchungen zum *Nervus alveolaris inferior* beim Pferd

Der *Nervus alveolaris inferior* (NAI) steht in enger Beziehung zu den Reservekronen der Zähne des Unterkiefers und wird in der Entwicklungsphase des Gebisses in seiner Form und Position von ihnen beeinflusst.

6.2.1 Darstellbarkeit des *Nervus alveolaris inferior* mittels CT

Es wurde zunächst überprüft, ob der NAI in einem knöchernen Kanal durch den Unterkiefer verläuft. Des Weiteren wurde die Lagebeziehung des NAI zu den Zahnwurzeln, bzw. den Reservekronen der Unterkieferbackenzähne untersucht. Der NAI wurde hierfür vom *Foramen mandibulae* (FMd) nach rostral zum *Foramen mentale* (FMe) mittels konsekutiver Transversalschnittbilder im CT verfolgt.

Eine eventuell vorhandene knöcherne Abgrenzung wurde kategorisiert in „nicht sichtbar“, „sichtbar <1mm Durchmesser und knöchernen Lamelle partiell darstellbar“ und „sichtbar >1mm Durchmesser und durchgehend darstellbar“ (siehe Abbildung 16, Seite 42). Die

Kategorisierung wurde auf Höhe jedes Backenzahns des Unterkiefers vorgenommen; dies entspricht 12 Beobachtungen pro Pferd und insgesamt 564 Untersuchungen bei 47 Pferden.

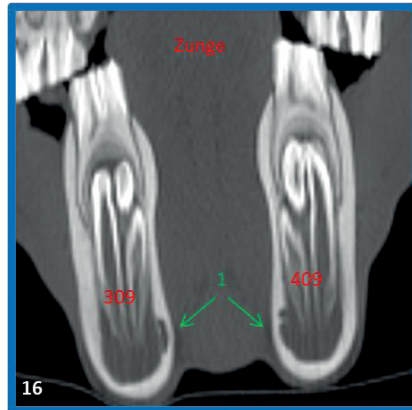


Abbildung 16 - Transversales CT-Schnittbild zur Darstellung des NAI bei einem zweijährigen Pferd. Beidseits sind knöcherne Sulci (1) zur Aufnahme des NAI an der medialen Seitenfläche des *Corpus mandibulae* gut sichtbar.

NAI: *Nervus alveolaris inferior*

Die Lage des NAI im Unterkiefer wurde in Relation zu den Backenzähnen, bzw. ihren Reservekronen/Wurzeln überprüft. Hierfür wurde zunächst das *Foramen mandibulae* (FMd) identifiziert, anschließend wurde der NAI in der Transversalachse bis zum *Foramen mentale* (FMe) verfolgt. Die Position des NAI im Unterkiefer wurde auf Höhe jedes Backenzahns angegeben, als Lagebezeichnungen wurden „medial“, „lateral“ oder „ventral“ gegenüber der jeweiligen Zahnwurzel verwendet. Die Position eines möglichen Umschlagpunktes des Nervs wurde angegeben. Zur korrekten Visualisierung des NAI wurden alle Schnittebenen, sowie die beschriebenen Werkzeuge des CT-Programms, wie beispielsweise HU-Messung, Filtereinstellungen und multiplanare Rekonstruktion (MPR), benutzt (siehe Abbildung 17, Seite 43 und Abbildung 18, Seite 43). Ferner wurde untersucht, ob Seitenunterschiede beim Nervenverlauf im jeweiligen Pferdeschädel bestanden haben.

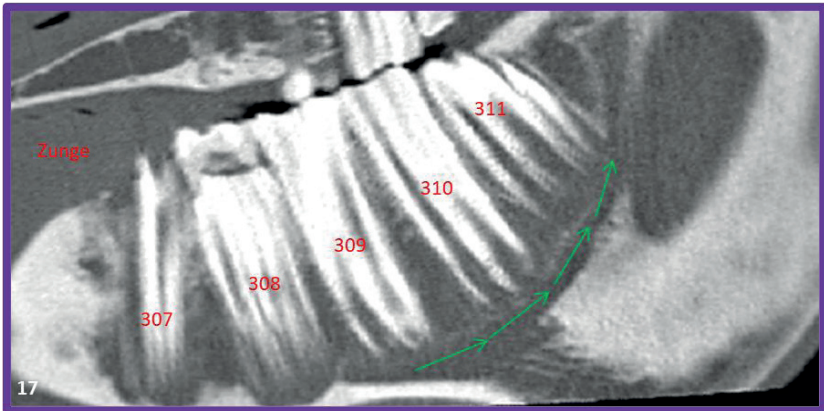


Abbildung 17 - Sagittales CT-Schnittbild zur Visualisierung des NAI durch den linken Unterkiefer eines dreijährigen Pferdes. Der NAI ist zwischen 309 und 311 sichtbar (mit grünen Pfeilen unterlegt).

NAI: *Nervus alveolaris inferior*

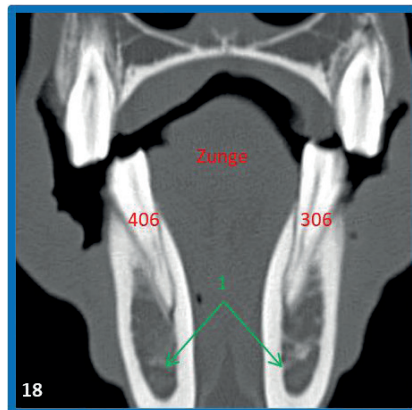


Abbildung 18 - Transversales CT-Schnittbild zur Visualisierung des NAI eines 13-jährigen Pferdes auf Höhe der 06er. Der Verlauf beider NAI's ist in dieser Schnittebene lediglich ungenau und nur durch eine dezente röntgendichte Abgrenzung darstellbar (1). Dennoch lässt sich der NAI durch HU-Messung, Filtereinstellungen und multiplanare Rekonstruktion (MPR) aus der sagittalen Ebene sehr gut auch in dieser Betrachtungsebene abgrenzen. In diesem Fall verläuft

der NAI ventral der 06er; es ist weder eine knöcherne Lamelle noch ein knöcherner Kanal sichtbar.

NAI (1): *Nervus alveolaris inferior*

6.2.2 Abstandsmessung zwischen *Nervus alveolaris inferior* und Zähnen mittels CT

Der Abstand des *Nervus alveolaris inferior* (NAI) zu den jeweiligen Wurzeln, bzw. Reservekronen wurde auf Höhe eines jeden Unterkieferbackenzahns gemessen; die Ergebnisse beider Altersgruppen wurden anschließend verglichen. Als Messpunkte diente der am weitesten ventral gelegene Punkt des Zahns, bzw. der Zahnwurzel sowie die diesem Punkt zugewandte äußere Begrenzung des NAI. Die Ergebnisse wurden auf ganze Millimeter gerundet (siehe Abbildung 19, Seite 44).

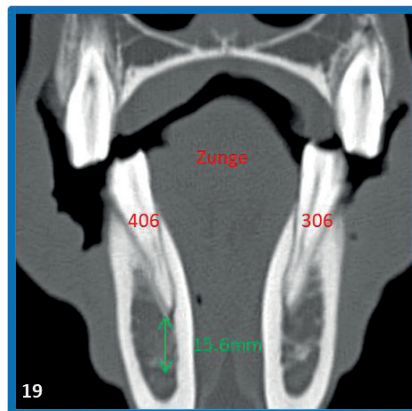


Abbildung 19 - Transversales CT-Schnittbild zur Abstandsmessung zwischen NAI und Zahnwurzel eines 13-jährigen Pferdes. Mit Hilfe eines CT-Abstandmesswerkzeugs wurde auf Höhe des 406er in diesem Fall ein Abstand von ca. 16mm zwischen der Zahnwurzel und der äußeren Begrenzung des NAI gemessen.

NAI: *Nervus alveolaris inferior*

7 Ergebnisse

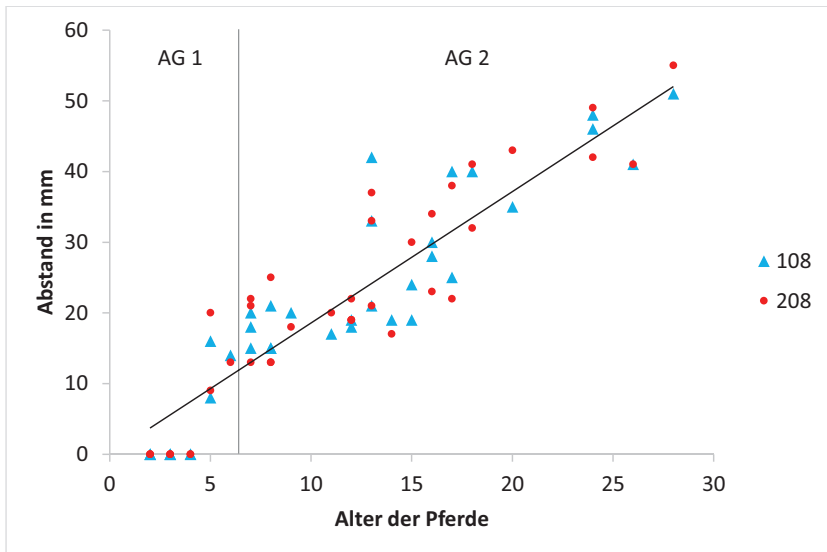
7.1 CT-Untersuchungen zum *Canalis infraorbitalis* beim Pferd

7.1.1 Abstandsmessung zwischen dem *Canalis infraorbitalis* und den Backenzähnen

Unter Beachtung der beschriebenen Ein- und Ausschlusskriterien konnten bei 19 Zähnen bei insgesamt vier verschiedenen Pferden keine Daten erhoben werden. Somit wurden bei insgesamt 47 Pferden 451 Positionen begutachtet (siehe Tabelle 6, Seite 94).

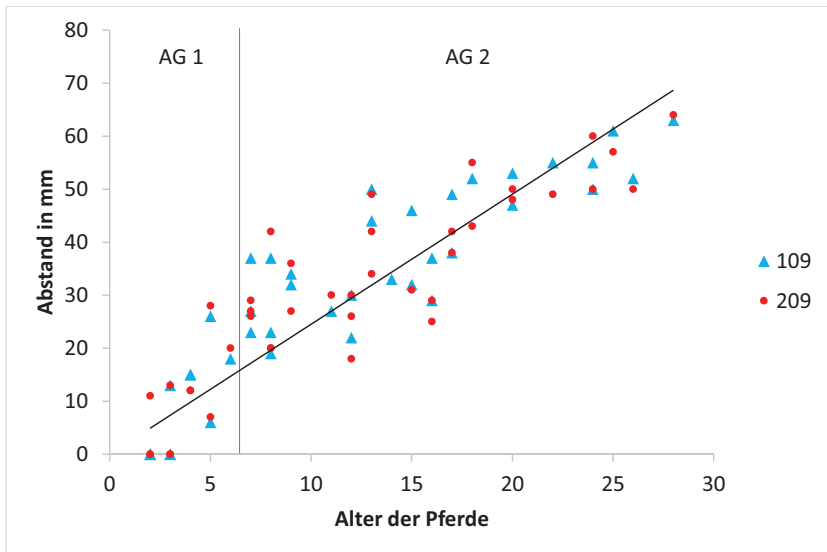
Auf Höhe der 07er wurde der größte Abstand zum *Canalis infraorbitalis* (CI) mit 51mm gemessen. Insgesamt 91 Untersuchungen wurden auf dieser Zahnposition durchgeführt. Es konnte lediglich bei einem Pferd auf beiden Schädelseiten eine Abstandsmessung zwischen den 07ern und dem CI vorgenommen werden; dies entspricht 2% aller untersuchten Positionen. Insgesamt bei drei Pferden bestand Kontakt zwischen dem CI und dem 07er; bei zwei Pferden beidseits. Alle drei Pferde waren Altersgruppe 1 zugeordnet somit standen insgesamt 5% aller untersuchten 07er in direktem Kontakt mit dem CI. Bei den übrigen Untersuchungen (93%) war der CI bereits durch das FI ausgetreten, bzw. der entsprechende Zahn fehlte für eine Messung. Für eine eventuelle Altersabhängigkeit der Abstandsgrößen zwischen CI und 07er wurden auf dieser Zahnposition zu wenig Messungen durchgeführt.

Diagramm 1 - Abstand des CI zum O8er



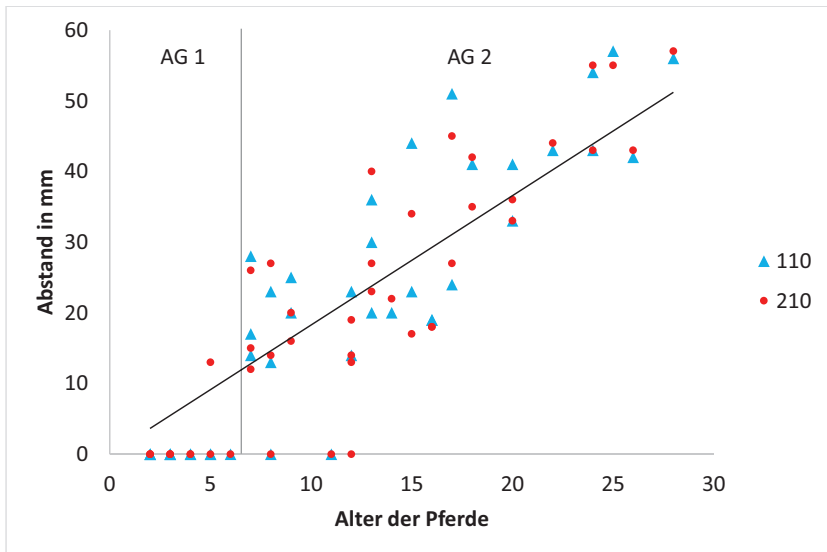
Auf Höhe der O8er wurde der größte Abstand zum CI mit 55mm gemessen (siehe Diagramm 1, Seite 46). Insgesamt 90 Untersuchungen wurden auf dieser Zahnposition durchgeführt. Es konnten bei 30 Pferden beidseits, bei vier Pferden auf einer Seite eine Abstandsmessung zwischen den O8ern und dem CI vorgenommen werden; dies entspricht 71% aller untersuchten Positionen. Insgesamt bei acht Pferden bestand Kontakt zwischen dem CI und dem O8er; bei allen acht Pferden beidseits. Alle acht Pferde waren Altersgruppe 1 zugeordnet somit standen insgesamt 18% aller untersuchten O8er in direktem Kontakt mit dem CI. Bei den übrigen Untersuchungen (11%) war der CI bereits durch das FI ausgetreten, bzw. der entsprechende Zahn fehlte für eine Messung. Die Abstände zwischen dem CI und dem O8er nahmen altersabhängig zu (siehe Trendlinie in Diagramm 1, Seite 46).

Diagramm 2 - Abstand des CI zum O9er



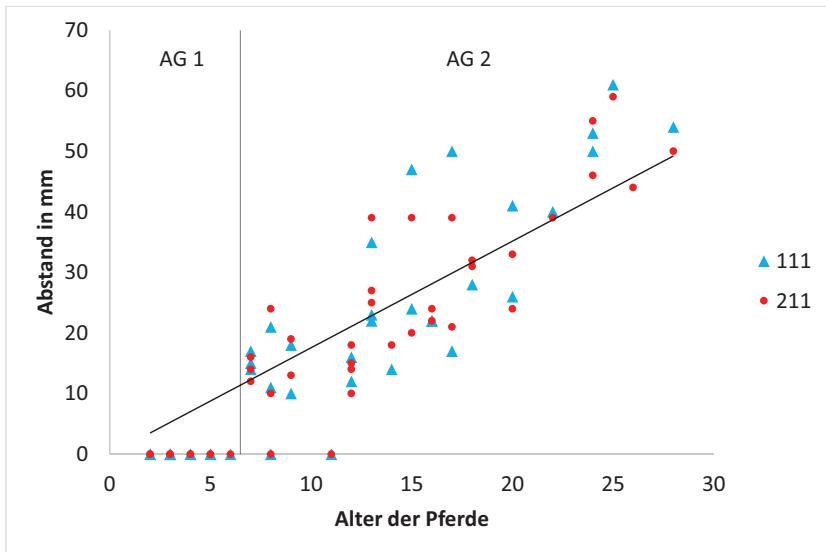
Auf Höhe der O9er wurde der größte Abstand zum CI mit 64mm gemessen (siehe Diagramm 2, Seite 47). Insgesamt 89 Untersuchungen wurden auf dieser Zahnposition durchgeführt. Es konnten bei 36 Pferden beidseits, bei sechs Pferden auf einer Seite eine Abstandsmessung zwischen den O9ern und dem CI vorgenommen werden; dies entspricht 88% aller untersuchten Positionen. Insgesamt bei fünf Pferden bestand Kontakt zwischen dem CI und dem O9er; bei vier Pferden beidseits. Alle Pferde waren Altersgruppe 1 zugeordnet; somit standen insgesamt 10% aller untersuchten O9er in direktem Kontakt mit dem CI. Bei den übrigen Untersuchungen (2%) fehlte der entsprechende Zahn für eine Messung. Die Abstände zwischen dem CI und dem O9er nahmen altersabhängig zu (siehe Trendlinie in Diagramm 2, Seite 47).

Diagramm 3 - Abstand des CI zum 10er



Auf Höhe der 10er wurde der größte Abstand zum CI mit 57mm gemessen (siehe Diagramm 3, Seite 48). Insgesamt 91 Untersuchungen wurden auf dieser Zahnposition durchgeführt. Es konnten bei 31 Pferden beidseits, bei drei Pferden auf einer Seite eine Abstandsmessung zwischen den 10ern und dem CI vorgenommen werden; dies entspricht 71% aller untersuchten Positionen. Insgesamt bei 14 Pferden bestand Kontakt zwischen dem CI und dem 10er; bei 12 Pferden beidseits. Elf Pferde waren Altersgruppe 1 zugeordnet, drei Pferde Altersgruppe 2; somit standen insgesamt 29% aller untersuchten 10er in direktem Kontakt mit dem CI. Die Abstände zwischen dem CI und dem 10er nahmen altersabhängig zu (siehe Trendlinie in Diagramm 3, Seite 48).

Diagramm 4 - Abstand des CI zum 11er



Auf Höhe der 11er wurde der größte Abstand zum CI mit 61mm gemessen (siehe Diagramm 4, Seite 49). Insgesamt 90 Untersuchungen wurden auf dieser Zahnposition durchgeführt. Es konnten bei 30 Pferden beidseits, bei vier Pferden auf einer Seite eine Abstandsmessung zwischen den 11ern und dem CI vorgenommen werden; dies entspricht 71% aller untersuchten Positionen. Insgesamt bei 12 Pferden bestand Kontakt zwischen dem CI und dem 11er; bei allen Pferden beidseits. Zehn Pferde waren Altersgruppe 1 zugeordnet, 2 Pferde Altersgruppe 2; somit standen insgesamt 27% aller untersuchten 11er in direktem Kontakt mit dem CI. Bei den übrigen Untersuchungen (2%) fehlte der entsprechende Zahn für eine Messung. Die Abstände zwischen dem CI und dem 11er nahmen altersabhängig zu (siehe Trendlinie in Diagramm 4, Seite 49).

7.1.2 Abgrenzung zwischen dem *Canalis infraorbitalis* und den Backenzähnen/dem Dentalorgan bei direktem Kontakt

Auf insgesamt 92 Zahnpositionen bei 15 verschiedenen Pferden bestand ein direkter Kontakt zwischen dem *Canalis infraorbitalis* (CI) und dem jeweiligen Backenzahn, bei neun Pferden (60%) bilateral symmetrisch (siehe Tabelle 6, Seite 94).

Alle elf Pferde der Altersgruppe 1 waren vertreten; insgesamt 83 Kontakte (90%) wurden in dieser Altersgruppe festgestellt, sowie neun Kontakte (10%) in Altersgruppe 2.

Auf Höhe der 07er hatten insgesamt vier untersuchte Pferde auf beiden Seiten Kontakt zum CI. Das älteste Pferd mit Kontakt auf dieser Zahnposition war vier Jahre alt. Auf Höhe der 08er hatten insgesamt zehn untersuchte Pferde auf beiden Seiten Kontakt zum CI. Das älteste Pferd mit Kontakt auf dieser Zahnposition war sechs Jahre alt. Auf Höhe der 09er hatten insgesamt sieben untersuchte Pferde auf beiden Seiten Kontakt zum CI. Das älteste Pferd mit Kontakt auf dieser Zahnposition war fünf Jahre alt. Auf Höhe der 10er hatten insgesamt 14 untersuchte Pferde Kontakt zum CI, elf davon auf beiden Seiten, zwei lediglich auf einer Seite. Das älteste Pferd mit Kontakt auf dieser Zahnposition war 12 Jahre alt. Auf Höhe der 11er hatten insgesamt 12 untersuchte Pferde auf beiden Seiten Kontakt zum CI. Das älteste Pferd mit Kontakt auf dieser Zahnposition war 12 Jahre alt.

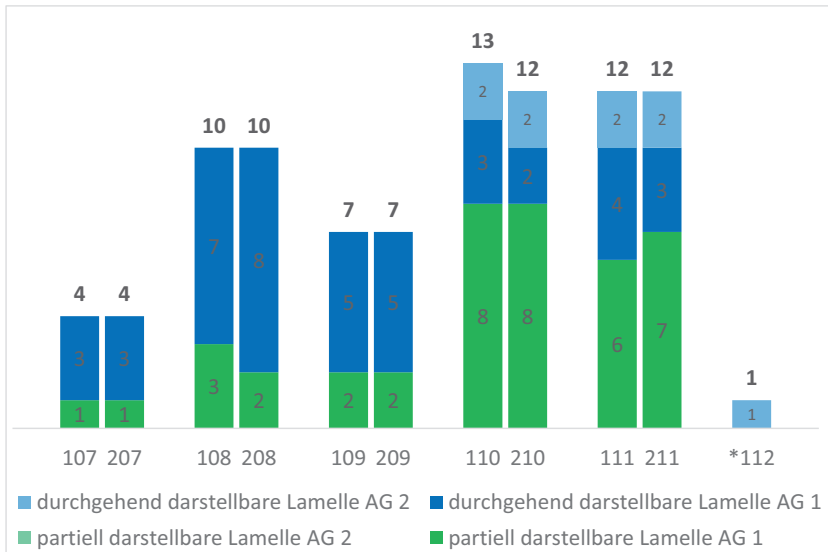
Bei einem Pferd aus Altersgruppe 2 wurde ein zusätzlicher Molar (*112) auf der rechten Seite entdeckt; ausschließlich dieser stand mit dem CI in direktem Kontakt. Das älteste Pferd mit direktem Kontakt war somit 12 Jahre alt. Die in Altersgruppe 2 detektierten Kontakte (n = 9) waren ausschließlich auf Zahnposition 10 und 11 zu finden (siehe Diagramm 5, Seite 51).

Der überwiegende Anteil der Zähne mit direktem Kontakt zum CI waren somit die 10er (ca. 27%) und 11er (ca. 26%), gefolgt von den 08ern (ca. 22%) und 09ern (ca. 15%). Die wenigsten Kontakte wurden auf Höhe der 07er (ca. 9%) ermittelt (siehe Diagramm 5, Seite 51).

Von 92 untersuchten Positionen mit direktem Kontakt zwischen CI und den Backenzähnen, bzw. dem Dentalorgan konnte auf 52 Positionen eine durchgehende knöcherne Lamelle im CT dargestellt werden (57%); auf 40 Positionen war die knöcherne Lamelle lediglich partiell im CT darstellbar (43%) - siehe Diagramm 5, Seite 51.

In Altersgruppe 2 zeigten sich die knöchernen Lamellen auf jeder ausgewerteten Position (n = 9) durchgängig darstellbar; in Altersgruppe 1 war dies der Fall vor allem auf den Zahnpositionen der 07er und 08er mit insgesamt drei von vier Positionen, bzw. 15 von 20 Positionen (je 75%), gefolgt vom 09er mit zehn von 14 Positionen (71%). Bei den Molaren 10 und 11 waren die knöchernen Lamellen in Altersgruppe 1 überwiegend nur partiell darstellbar; auf Höhe der 11er waren die knöchernen Lamellen bei sieben von 24 (29%) Untersuchungen, auf Höhe der 10er lediglich bei fünf von 25 (20%) Untersuchungen durchgängig darstellbar (siehe Diagramm 5, Seite 51).

Diagramm 5 - Darstellbarkeit der knöchernen Lamelle zwischen CI und Zahnwurzel bei direktem Kontakt



7.1.3 Morphologische Beschreibung des *Ponticulus canalis infraorbitalis*

Hinsichtlich der Untersuchung des *Ponticulus canalis infraorbitalis* (PCI) konnte von 47 Pferdeköpfen bei fünf aufgrund von Pathologien nur eine Seite ausgewertet werden; insgesamt wurden somit 89 PCI's ausgewertet.

Alle untersuchten PCI's waren kontinuierlich knöchern ausgebildet (siehe Tabelle 7, Seite 95). Bei 32 Pferden (60 PCI's) der Altersgruppe 2 waren die PCI's über die Gesamtlänge des CI ausgebildet. Bei elf Pferden (21 PCI's), vier davon aus Altersgruppe 2, bestand z.T. Kontakt zwischen dem CI und der Reservekrone bzw. dem Dentalorgan, so dass in diesen Bereichen noch kein PCI ausgebildet sein konnte. Bei vier Pferden (8 PCI's) der Altersgruppe 1 war beidseits noch kein PCI ausgebildet, da alle Zähne Kontakt mit dem CI aufwiesen.

Die Morphologie des PCI zeigte eine große Variabilität, teilweise auch im direkten Links-rechts-Vergleich an einem Schädel (siehe z.B. Abbildung 7, Seite 35). Von den 32 Pferden, bei denen der PCI bereits beidseits vollständig ausgebildet war, zeigte sich bei acht Pferden (25%) eine starke Seitenvariabilität; bei 24 Pferden (75%) waren beide PCI's im Seitenvergleich

morphologisch ähnlich. Die acht Pferde mit Seitenvariabilität gehörten sämtlich zu Altersgruppe 2.

Es konnte ein statistischer Zusammenhang zwischen der Wahrscheinlichkeit einer altersabhängigen Seitenvariabilität des PCI festgestellt werden.

7.1.4 Morphologischer Vergleich des Längsverlaufs des *Canalis infraorbitalis*

Der Längsverlauf des *Canalis infraorbitalis* (CI) durch den Gesichtsschädel vom *Foramen maxillare* (FMa) bis hin zum *Foramen infraorbitale* (FI) zeigte in dieser Untersuchung sowohl individuelle als auch Altersgruppen-Unterschiede (siehe Diagramm 6, Seite 53, sowie Diagramm 7, Seite 53 und Diagramm 8, Seite 54).

Unter Berücksichtigung sämtlicher Ein- und Ausschlusskriterien wurden bei dieser Untersuchung insgesamt 92 Verläufe des CI im CT nachvollzogen und verglichen.

In beiden Altersgruppen überwog der geradlinige Verlauf (Kategorie 1) mit insgesamt 37 (40%) und der geradlinige Verlauf mit ventraler Biegung im rostralen Verlaufsabschnitt (Kategorie 2) mit insgesamt 32 (35%) Untersuchungen (siehe Diagramm 8, Seite 54). Beide Verlaufsformen zusammen wurden somit in 69 Untersuchungen (75%) beschrieben, die bogenförmige Verlaufsform (Kategorie 3) kam mit insgesamt 23 Untersuchungen (25%) insgesamt seltener vor.

Bei 15 Pferden zeigte sich auf beiden Schädelseiten ein geradliniger Verlauf des CI (Kategorie 1); von diesen waren fünf Pferde Altersgruppe 1 zugeordnet.

Bei 13 Pferden zeigte sich der Kanal auf beiden Schädelseiten kaudal zunächst mit einem geradlinigen Verlauf mit ventraler Biegung im rostralen Verlaufsabschnitt (Kategorie 2); von diesen waren drei Pferde Altersgruppe 1 zugeordnet.

Bei 11 Pferden verlief der CI auf beiden Schädelseiten bogenförmig (Kategorie 3); von diesen waren zwei Pferde Altersgruppe 1 zugeordnet.

Bei sieben untersuchten Pferden (15%) zeigte sich der Verlauf des CI im CT seitenvariabel. Bei diesen sieben Pferden zeigte der CI auf je einer Seite einen geradlinigen Verlauf; bei sechs dieser Pferde verlief der kontralaterale CI kaudal zunächst geradlinig, dann zum FI hin nach ventral abknickend; bei einem Pferd verlief der kontralaterale CI bogenförmig. Die Pferde mit seitenvariablen Längsverläufen des CI wurden alle Altersgruppe 2 zugeordnet (siehe Tabelle 8, Seite 96).

Diagramm 6 - Morphologie des CI - AG 1 (n = 20)

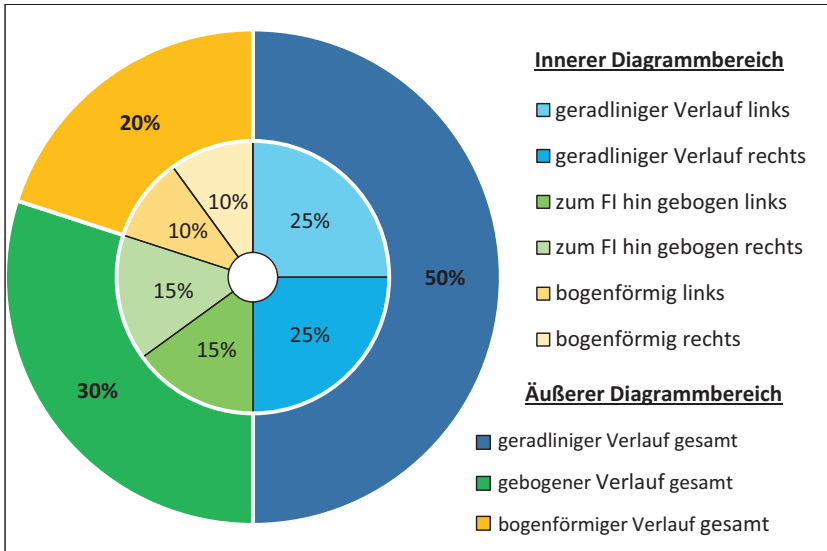


Diagramm 7 - Morphologie des CI - AG 2 (n = 72)

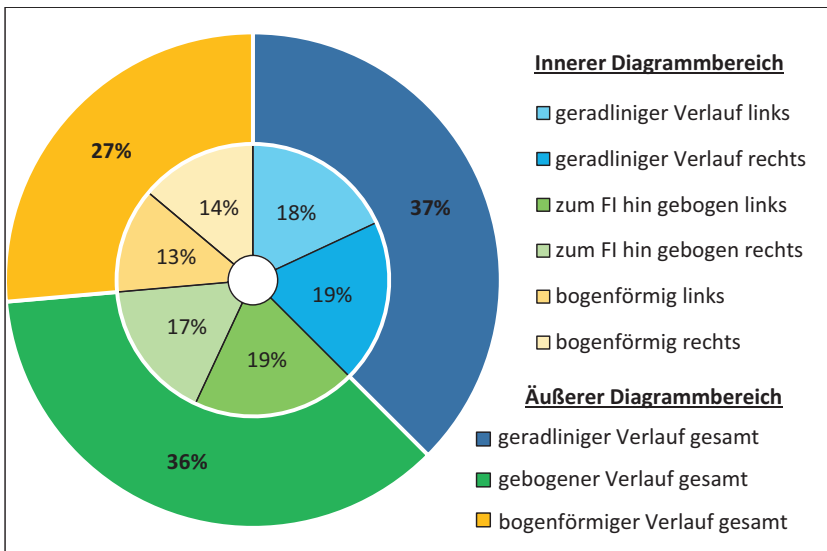
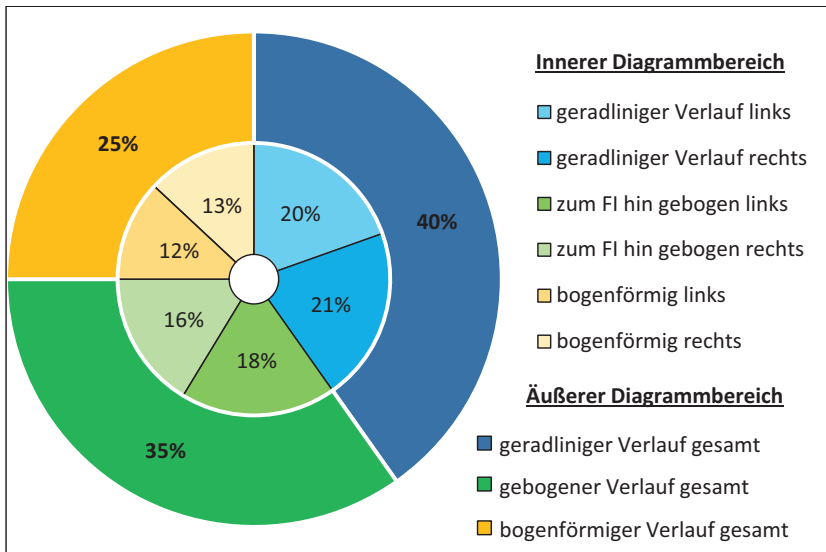


Diagramm 8 - Morphologie des CI - alle Pferde (n = 92)

7.1.5 Morphologischer Vergleich des Querschnitts des *Canalis infraorbitalis*

Bei acht Pferden der Altersgruppe 2 war der *Nervus infraorbitalis* (NI) auf Höhe der 08er bereits aus dem *Foramen infraorbitale* (FI) ausgetreten und somit wurden dort keine Messwerte mehr erhoben. Unter Berücksichtigung der restlichen Ein- und Ausschlusskriterien wurden bei dieser Untersuchung insgesamt 347 Messwerte erhoben; davon 88 in Altersgruppe 1 und 259 in Altersgruppe 2 (siehe Tabelle 9, Seite 97).

Bei 94% der untersuchten Pferde zeigte sich auf Höhe mindestens eines Backenzahns ein im Querschnitt rundlicher, bzw. rundlich-polymorpher CI. Bei keinem Pferd erschien der Querschnitt über die gesamte Länge beidseits rundlich. Insgesamt wurden 114 Messungen (33% aller Messungen) der Kategorie „rundlich/rundlich-polymorph“ zugeordnet; 24 Messungen wurden in Altersgruppe 1 (siehe Diagramm 9, Seite 55) und 90 in Altersgruppe 2 (siehe Diagramm 10, Seite 56) erhoben. Der überwiegende Teil rundlicher/rundlich-polymorpher Querschnitte des CI wurde mit insgesamt 74 Messungen (65%) auf Höhe der 08er und 09er erhoben. Auf Höhe von Triadan 111 und Triadan 210 wurden keine CI-Querschnitte dieser Kategorie zugeteilt. Die Durchmesser messung lag bei den

rundlich/rundlich-polymorphen Querschnitten des CI zwischen 6,0-9,5mm (im Mittel 7,6mm) Breite und 6,5-10,7mm Höhe (im Mittel 8,6).

Diagramm 9 - rundlicher/rundlich-polymorpher Querschnitt des CI - AG 1 (n = 24)

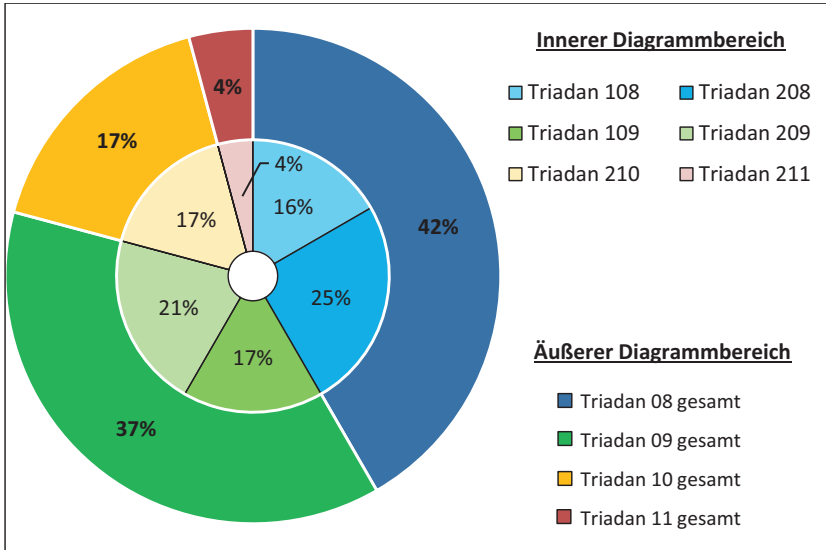
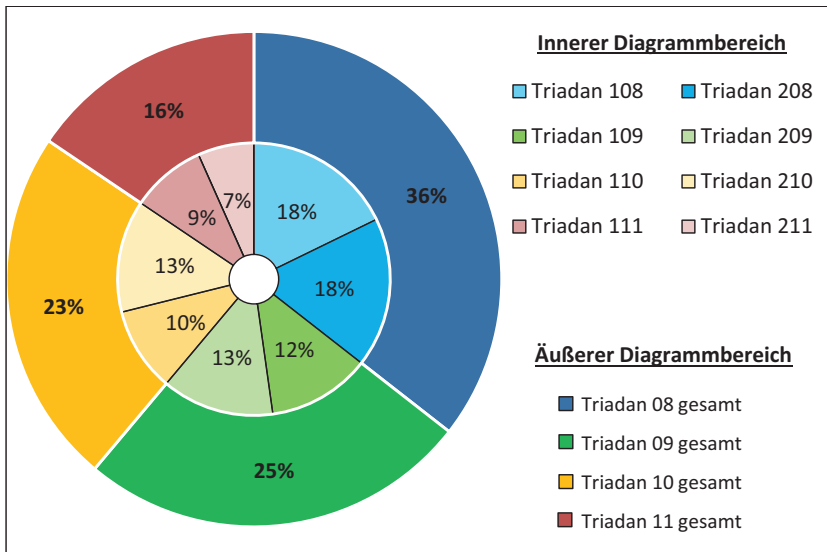


Diagramm 10 - rundlicher/rundlich-polymorpher Querschnitt des CI - AG 2 (n = 90)

Jedes der untersuchten Pferde zeigte auf der Höhe mindestens eines Backenzahns einen oval/oval-polymorphen Querschnitt des CI; insgesamt wurde diese Morphologie auf 210 untersuchten Positionen (61% aller Untersuchungen) beschrieben; 43 Messungen wurden in Altersgruppe 1 (siehe Diagramm 11, Seite 57) und 167 in Altersgruppe 2 (siehe Diagramm 12, Seite 57) erhoben. Der überwiegende Teil oval/oval-polymorpher Querschnitte des CI wurde mit insgesamt 121 Messungen (60%) auf Höhe der 10er und 11er erhoben. Bei einem 15-jährigen Pferd erschien der Querschnitt über die gesamte Länge beidseits oval; bei allen anderen Pferden wurde zumindest eine Messung einer der beiden anderen Kategorien zugeordnet. Die Durchmesser messung lag bei den oval/oval-polymorphen Querschnitten des CI zwischen 4,2-9,1mm Breite (im Mittel 6,4mm) und 7,0-13,7mm Höhe (im Mittel 9,8mm).

Diagramm 11 - ovaler/oval-polymorpher Querschnitt des CI - AG 1 (n = 43)

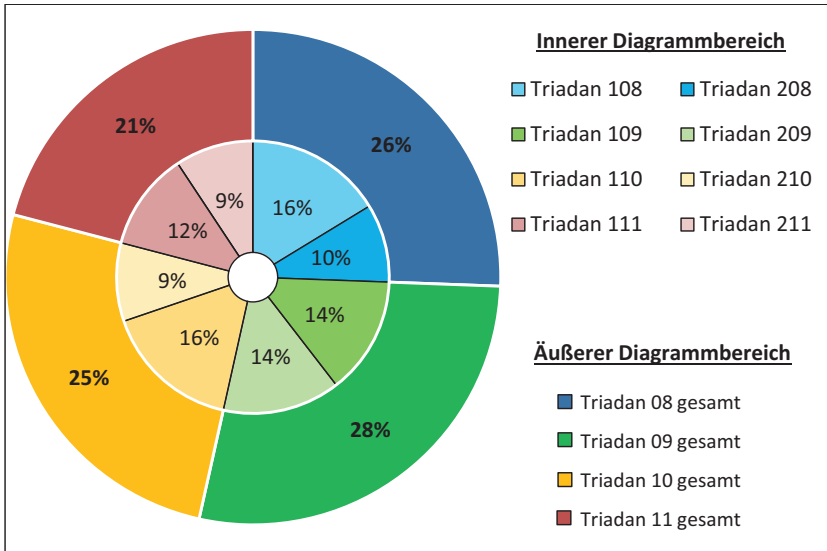
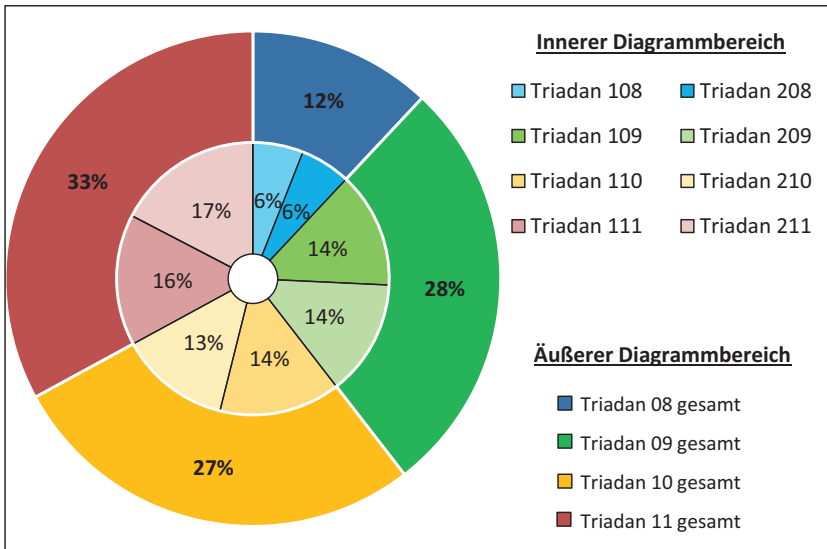


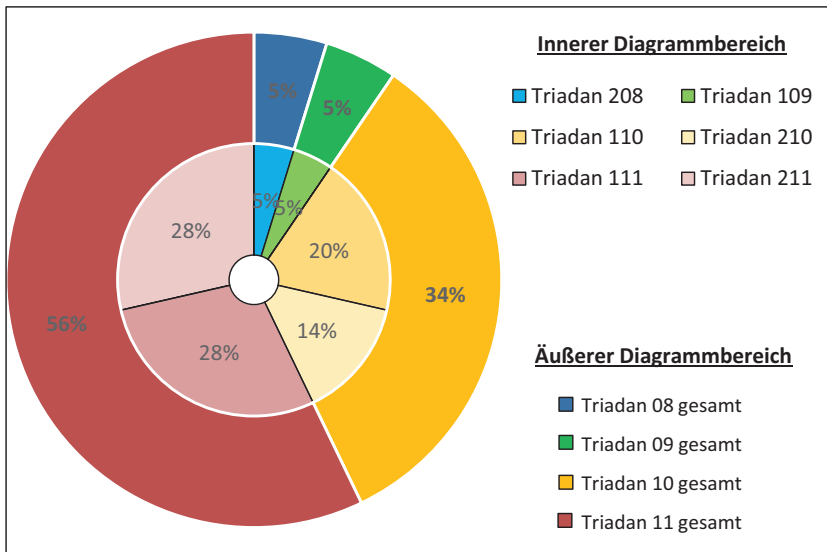
Diagramm 12 - ovaler/oval-polymorpher Querschnitt des CI - AG 2 (n = 167)



Bei acht Pferden, sieben davon aus Altersgruppe 1, zeigte sich auf insgesamt 23 Positionen eine bohnenförmige Morphologie des CI; dies entspricht 7% aller bei dieser Untersuchung durchgeführten Messungen. 21 Messungen wurden in Altersgruppe 1 (siehe Diagramm 13, Seite 58) und 2 in Altersgruppe 2 bei einem 24-jährigen Pferd auf Höhe von Triadan 110 und 210 erhoben. Bei 21 Positionen (91%) wurde diese Morphologie des CI somit auf Höhe der letzten beiden Molaren (10er und 11er) beobachtet; auf Höhe der 11er mit insgesamt 12 Messungen und auf Höhe der 10er mit insgesamt neun Messungen.

Die meisten bohnenförmigen Querschnitte des CI wurden auf Positionen beschrieben, auf welchen dieser in direktem Kontakt zur Reservekrone/Zähnen stand. Die Durchmesser-messung lag bei den bohnenförmigen Querschnitten des CI zwischen 3,3-6,1mm Breite (im Mittel 5,5mm) und 9,1-17,7mm Höhe (im Mittel 12,5mm).

Diagramm 13 - bohnenförmiger Querschnitt des CI - AG 1 (n = 21)



7.1.6 Positionsbestimmung des *Foramen infraorbitale* in Relation zu den Backenzähnen bei Pferden verschiedener Altersgruppen

Bei 47 Pferden wurden insgesamt 93 Positionsbestimmungen durchgeführt (siehe Tabelle 10, Seite 98).

In 48 Fällen (52%) befand sich das *Foramen infraorbitale* (FI) auf Höhe des Kontaktbereichs von Triadan 07 und 08, in 15 Fällen (16%) kaudal an den 07ern. Bei sechs Messungen (6%) öffnete sich das FI ventral an den 07ern, bei neun Messungen (10%) rostral an den 08ern. In elf Messungen (12%) befand sich das FI ventral an den 08ern und nur bei einer Messung (1%) kaudal am 108er. Bei zwei Pferden (4% der Studiengruppe; beide aus Altersgruppe 2) konnte eine Asymmetrie im Links-rechts-Vergleich festgestellt werden – die FI's befanden sich auf unterschiedlicher Position in Relation zu den Backenzähnen.

Die Unterschiede zwischen den Altersgruppen sind ersichtlich in Diagramm 14, Seite 59 und Diagramm 15, Seite 60. Generell liegt die Position des FI bei erwachsenen Pferden (AG 2) weiter kaudal als bei juvenilen Pferden (AG 1) in Relation zu den Backenzähnen; die Position des FI in Relation zu den Oberkieferbackenzähnen ist somit altersabhängig.

Diagramm 14 - Position des FI – AG 1 (n = 22)

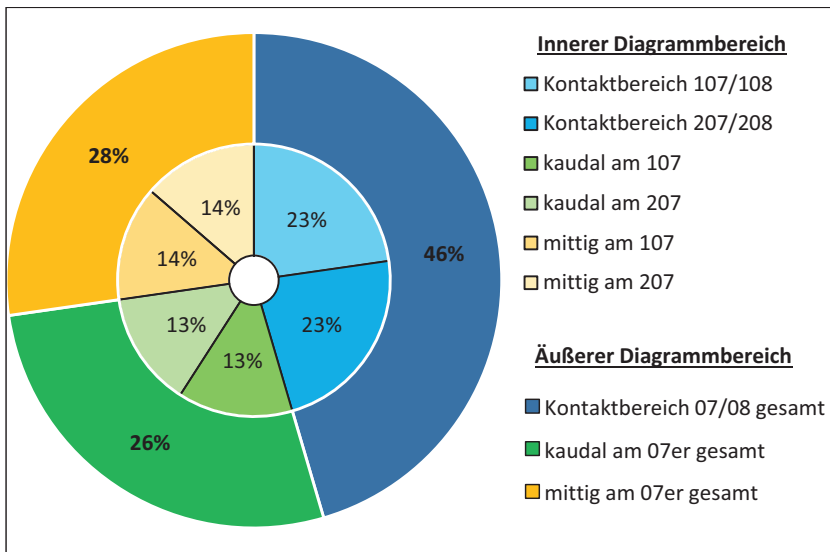
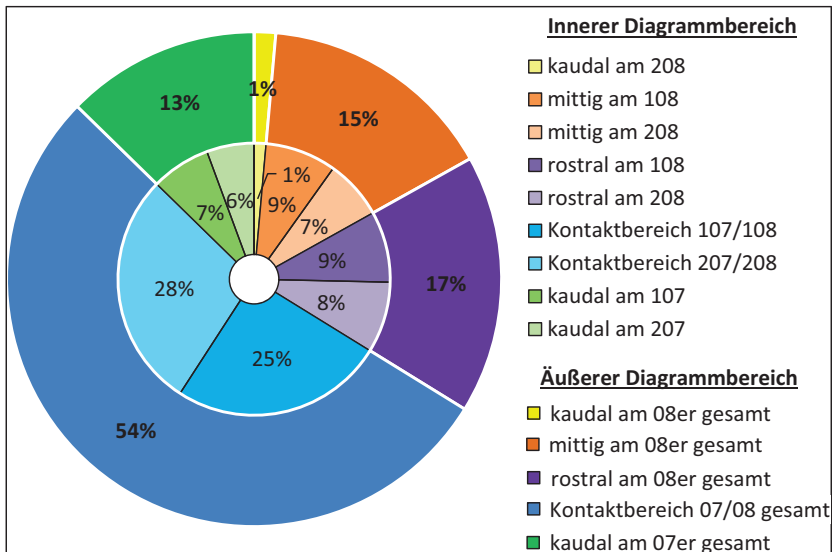


Diagramm 15 - Position des FI – AG 2 (n = 71)



7.1.7 Weitere anatomische Untersuchungen in Bezug auf den *Canalis infraorbitalis*

7.1.7.1 Darstellbarkeit des *Canalis alveolaris* mittels CT

Bei allen untersuchten Pferdeköpfen konnte der Austritt aus dem FI, sowie der Verlauf des *Canalis alveolaris* zu den Prämolaren beidseits nachvollzogen werden. Somit wurden insgesamt 92 Kanalverläufe im CT untersucht.

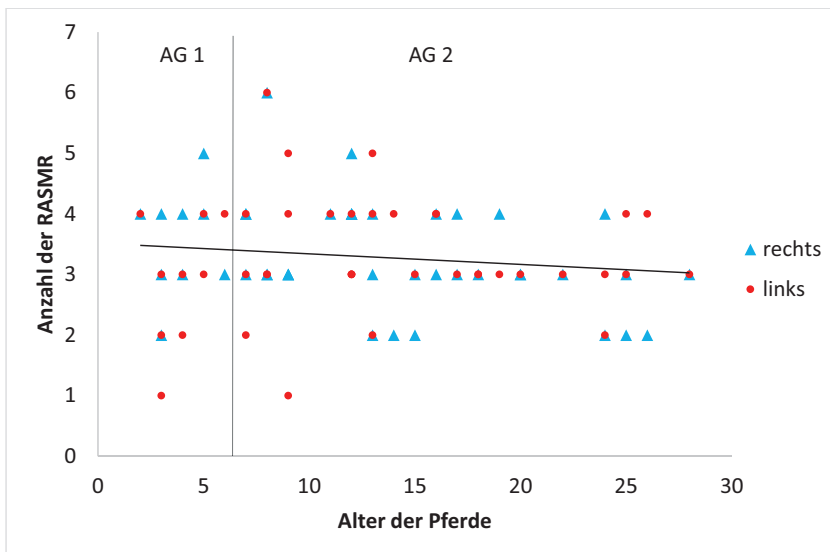
7.1.7.2 Darstellbarkeit der *Rami alveolares superiores medii et rostrales* mittels CT

Unter Berücksichtigung sämtlicher Ein- und Ausschlusskriterien wurden bei dieser Untersuchung 86 CI's untersucht; dabei konnten insgesamt 284 *Rami alveolares superiores medii et rostrales* (RASMR) zuverlässig dargestellt und identifiziert werden; 58 davon in Altersgruppe 1 und 226 in Altersgruppe 2 (siehe Tabelle 11, Seite 99). Die Anzahl der im CT nachvollzogenen RASMR aus dem CI einer Kopfhälfte variierte dabei zwischen zwei und sechs; dabei gab es zum Teil erhebliche Seitenunterschiede (siehe Diagramm 16, Seite 61).

Die Position der Nervenaustritte aus dem CI in Relation zur Position der Backenzahnwurzeln zeigte sich seitenvariabel. Die Gesamtanzahl der in einem Pferdeschädel (beide CI's

zusammen) mittels CT identifizierbaren RASMR variierte zwischen zwei und 12. Bei 39 Pferden (85%) konnten auf mindestens einer Seite drei oder vier RASMR mittels CT identifiziert werden. Auf 17 Positionen bei 14 Pferden verließen zwei RASMR kurz hintereinander den CI. Das Alter der untersuchten Pferde hatte keinen signifikanten Einfluss auf die Darstellbarkeit der RASMR (siehe, Diagramm 16, Seite 61).

Diagramm 16 - Verteilung der sichtbaren RASMR (n = 284)



7.2 CT-Untersuchungen zum *Nervus alveolaris inferior* beim Pferd

7.2.1 Hounsfield-units- (HU-) Wertemessung des *Nervus alveolaris inferior*

Der *Nervus alveolaris inferior* (NAI) wurde beidseits auf Höhe jedes Unterkieferbackenzahns mit dem „spot-density-tool“ der CT-Software untersucht. Die HU-Messung lieferte für den *Nervus alveolaris inferior* Ergebnisse zwischen -50 und +200 HU; in 90% der Fälle lagen die Werte zwischen +50 und +100 HU. Dieses enge Intervall half bei der Identifizierung des NAI an Positionen, wo kein knöcherner Kanal im CT darstellbar war.

7.2.2 Darstellbarkeit des *Nervus alveolaris inferior* mittels CT

Von den insgesamt 552 ausgewerteten Positionen war der *Nervus alveolaris inferior* (NAI) auf 353 Positionen (64%) gut im CT darstellbar. In Altersgruppe 1 war die Darstellbarkeit mit 98 von 120 (82%) durchgeführten Beobachtungen dabei deutlich besser, als in Altersgruppe 2 mit 255 von 432 Beobachtungen (dies entspricht ca. 59% aller Untersuchungen) - siehe Tabelle 12, Seite 100 im Anhang. Ursächlich für die bessere Sichtbarkeit bei jüngeren Pferden war die Tatsache, dass die Nerven durch die langen Reservekronen scheinbar „abgedrückt“ wurden und dadurch in Kanälen, bzw. *Sulci* im Unterkiefer verliefen. Zusätzlich stellten die langen Reservekronen im CT einen guten Kontrast zum NAI dar (siehe Abbildung 16, Seite 42).

Bei den Untersuchungen zeigte sich außerdem, dass der NAI vor allem in seinem kaudalen Verlaufsabschnitt auf Höhe der Molaren rein optisch in der Regel schwieriger zu beurteilen war als im rostralen Verlaufsabschnitt; Grund dafür war die Tatsache, dass im kaudalen Verlaufsabschnitt seltener sichtbare knöcherne Lamellen darstellbar waren (siehe Tabelle 2, Seite 63, Tabelle 3, Seite 63, sowie Tabelle 4, Seite 63). Besonders häufig schwerer im CT nachzuvollziehen im Vergleich zu anderen Positionen war der NAI auf Höhe der 09er, wenn keine knöcherne Lamelle auf dieser Position darstellbar vorhanden war (siehe Tabelle 2, Seite 63).

In Altersgruppe 1 konnten auf lediglich zehn Positionen (8%) keine knöcherne Lamelle dargestellt werden; diese wurden somit Kategorie 1 zugeordnet. Auf 63 Positionen (53%) hingegen konnte eine knöcherne Abgrenzung zumindest partiell (<1mm Durchmesser) festgestellt werden; diese Ergebnisse wurden somit Kategorie 2 zugeordnet. Eine durchgehend darstellbare knöcherne Lamelle (>1mm Durchmesser) konnte auf 47 Positionen (39%) festgestellt werden und somit Kategorie 3 zugeordnet werden.

In Altersgruppe 2 konnte auf 64 Positionen (15%) keine knöcherne Lamelle dargestellt werden (Kategorie 1). 285 Positionen (66%) wurden Kategorie 2 zugeordnet und 83 Positionen (19%) Kategorie 3.

Altersunabhängig wurden insgesamt 71 Positionen (13% aller Messungen) Kategorie 1 zugeordnet, da keine knöcherne Lamelle im CT sichtbar war. Auf lediglich 16 Positionen (22%) war der NAI dabei trotz fehlender knöcherner Lamelle gut erkennbar, wohingegen auf 55 Positionen (78%) der NAI bei fehlender knöcherner Lamelle nur schwer im CT nachzuvollziehbar war (siehe Tabelle 2, Seite 63).

Tabelle 2 - Kategorie 1, keine knöcherner Lamelle im CT darstellbar

Triadan	306	307	308	309	310	311	406	407	408	409	410	411
Undeutlich (n = 55)	-	7	5	14	5	1	-	6	3	13	1	-
Deutlich (n = 16)	-	4	-	-	-	2	1	4	1	2	-	2
	-	11	5	14	5	3	1	10	4	15	1	2

Altersunabhängig wurden insgesamt 348 Positionen (63% aller Messungen) Kategorie 2 zugeordnet, da eine dezente knöcherner Lamelle (<1mm Durchmesser) zumindest partiell im CT darstellbar war. Von allen dieser Kategorie zugeordneten Positionen war auf insgesamt 211 (61%) der NAI gut erkennbar, wohingegen dieser auf 137 Positionen (39%) trotz dezenter knöcherner Lamelle lediglich schwer nachvollzogen werden konnte (siehe Tabelle 3, Seite 63).

Tabelle 3 - Kategorie 2, sichtbar <1mm Durchmesser/knöcherner Lamelle partiell darstellbar

Triadan	306	307	308	309	310	311	406	407	408	409	410	411
Undeutlich (n = 137)	7	2	9	18	20	13	7	2	8	17	22	12
Deutlich (n = 211)	24	23	21	10	13	14	23	23	22	8	14	16
	31	25	30	28	33	27	30	25	30	25	36	28

Altersunabhängig wurden insgesamt 130 Positionen (24% aller Messungen) Kategorie 3 zugeordnet, da eine durchgehende knöcherner Lamelle (>1mm Durchmesser) im CT darstellbar war. Von allen dieser Kategorie zugeordneten Positionen war auf insgesamt 126 (97%) der NAI gut erkennbar, wohingegen dieser auf 4 Positionen (3%) trotz knöcherner Lamelle lediglich schwer nachvollzogen werden konnte (siehe Tabelle 4, Seite 63).

Tabelle 4 - Kategorie 3, sichtbar >1mm Durchmesser und durchgängig darstellbar

Triadan	306	307	308	309	310	311	406	407	408	409	410	411
Undeutlich (n = 4)	-	-	-	1	-	1	-	-	-	-	-	2
Deutlich (n = 126)	15	10	11	3	8	15	15	11	11	4	9	14
	15	10	11	4	8	16	15	11	11	4	9	16

7.2.3 Untersuchung und Vergleich des Längsverlaufs des *Nervus alveolaris inferior* mittels

CT

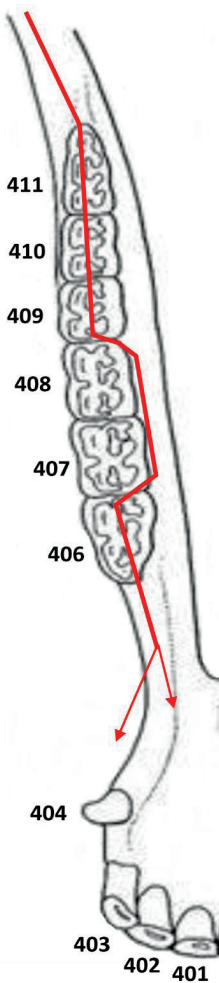


Abbildung 20 - Modifizierte Abbildung eines Pferdeunterkiefers nach Iacopetti et al. (2015) zur schematischen Darstellung derjenigen Verlaufsvariante des *Nervus alveolaris inferior* (NAI), die bei den meisten Pferden festgestellt werden konnte (hier exemplarisch für einen rechten Unterkiefer dargestellt).

Bei 46 untersuchten Pferden konnte der Verlauf des NAI vom *Foramen mandibulae* (FMD) zum *Foramen mentale* (FMe) im CT in beiden Unterkiefen ($n = 92$) verfolgt werden (siehe Tabelle 12, Seite 100).

Bei insgesamt 75% und somit den meisten Untersuchungen ($n = 69$) konnte der NAI im kaudalen Verlaufsabschnitt vom FMD bis rostral des 09er mittig ventral der Zahnwurzeln identifiziert werden. Von diesen 69 Untersuchungen verliefen 37 NAI's im weiteren Verlauf wie in Abbildung 20, Seite 64 dargestellt – es erfolgte ein Umschlag des NAI mit anschließend medialem Verlauf bis rostral des 07er, dann ein erneuter Umschlag mit anschließend ventralem Verlauf bis zum FMe; dieser Verlauf des NAI wurde somit in 40% aller Untersuchungen festgestellt.

Andere Verlaufsformen des NAI waren weniger häufig vertreten. Ein lateral gelegener NAI bis rostral des 11er konnte bei neun Pferden ($n = 18$ NAI's) bilateral festgestellt werden (siehe Abbildung 21b-c, Seite 66).

Bei sieben von diesen Pferden, bei sechs bilateral symmetrisch ($n = 13$), schlug der NAI im weiteren Verlauf zwischen Triadan 09 und 08 um, mit anschließend medialem Verlauf ohne erneuten Umschlag bis zum FMe (siehe Abbildung 21b, Seite 66).

Bei einem 12-jährigen Pferd konnte, bilateral symmetrisch, ein lateraler Verlauf des NAI bis rostral der 09er nachvollzogen werden ($n = 2$); zwischen Triadan 09 und 08 schlug der NAI anschließend von lateral nach medial um. Auch bei diesem Pferd blieb ein weiterer Umschlag

des NAI aus und dieser somit medial der Zahnwurzeln bis zu seinem Austritt aus dem FMe (siehe Abbildung 21 c, Seite 66).

Bei zwei weiteren Pferden mit kaudal lateralem Verlauf des NAI, bei einem Pferd bilateral symmetrisch ($n = 3$), erfolgte der Umschlag von ventral nach medial etwas weiter kaudal zwischen Triadan 10 und 09. Auch bei diesen Pferden konnte kein weiterer Umschlag des NAI detektiert werden (siehe Abbildung 21 a, Seite 66).

Bei insgesamt fünf Pferden schlugen die NAI's zwischen den 10ern und 09ern von ventral nach medial um; lediglich bei einem Pferd bilateral symmetrisch ($n = 6$). Auf dieser Position konnten somit die meisten Seitenunterschiede im NAI-Verlaufsvergleich festgestellt werden (siehe Abbildung 21d-f, Seite 67). Bei zwei von diesen Pferden ($n = 2$) erfolgte unilateral ein erneuter Umschlag des NAI von medial nach ventral zwischen Triadan 07 und 06 (siehe Abbildung 21d, Seite 67). Bei zwei Pferden ($n = 2$) erfolgte ein Umschlag des NAI unilateral von ventral nach medial zwischen Triadan 11 und 10, sowie im weiteren Verlauf ein weiterer Umschlag von medial nach ventral zwischen Triadan 08 und 07 (siehe Abbildung 21 e, Seite 67).

Bei insgesamt 36 Untersuchungen (39% aller Untersuchungen) konnte rostral des 09er im weiteren Verlauf zum FMe hin kein erneuter Umschlag des NAI festgestellt werden; der NAI verlief in diesen Fällen weiterhin medial der Zahnwurzeln. Bei insgesamt 17 Untersuchungen verlief der NAI dabei wie in Abbildung 21 f, Seite 67 dargestellt – dieser Verlauf des NAI war somit der zweithäufigste bei den Untersuchungen.

Bei insgesamt 7 Pferden aus Altersgruppe 2 konnte der NAI beidseits ohne Umschlag ventral im Unterkiefer gelegen vom FMe zum FMe hin verfolgt werden ($n = 14$); somit konnte bei 15% aller Verlaufsuntersuchungen kein Umschlag im Gesamtverlauf des NAI festgestellt werden (siehe Abbildung 21g, Seite 68). Zwei weitere Verlaufsvarianten des NAI konnten jeweils nur einmal ($n = 1$) festgestellt werden; bei einem Pferd schlug der NAI unilateral zwischen Triadan 10 und 09 von ventral nach medial um, ohne weiteren Umschlag im weiteren Verlauf (siehe Abbildung 21 i, Seite 68). Bei einem weiteren Pferd wurde ein Umschlag des NAI von ventral nach medial zwischen Triadan 09 und 08, sowie von medial nach ventral zwischen Triadan 08 und 07 festgestellt (siehe Abbildung 21 h, Seite 68).

Unabhängig vom Gesamtverlauf verlief der NAI bei 39 Pferden (85% aller Untersuchungen) im Seitenvergleich identisch, bei 7 Pferden (15%) gab es Unterschiede im Seitenvergleich.

Insgesamt wurden fünf verschiedene NAI-Verlaufsvarianten in Altersgruppe 1 festgestellt, in Altersgruppe 2 waren es acht verschiedene. Altersunabhängig waren insgesamt 10 unterschiedliche Varianten des NAI-Verlaufs im CT erkennbar.

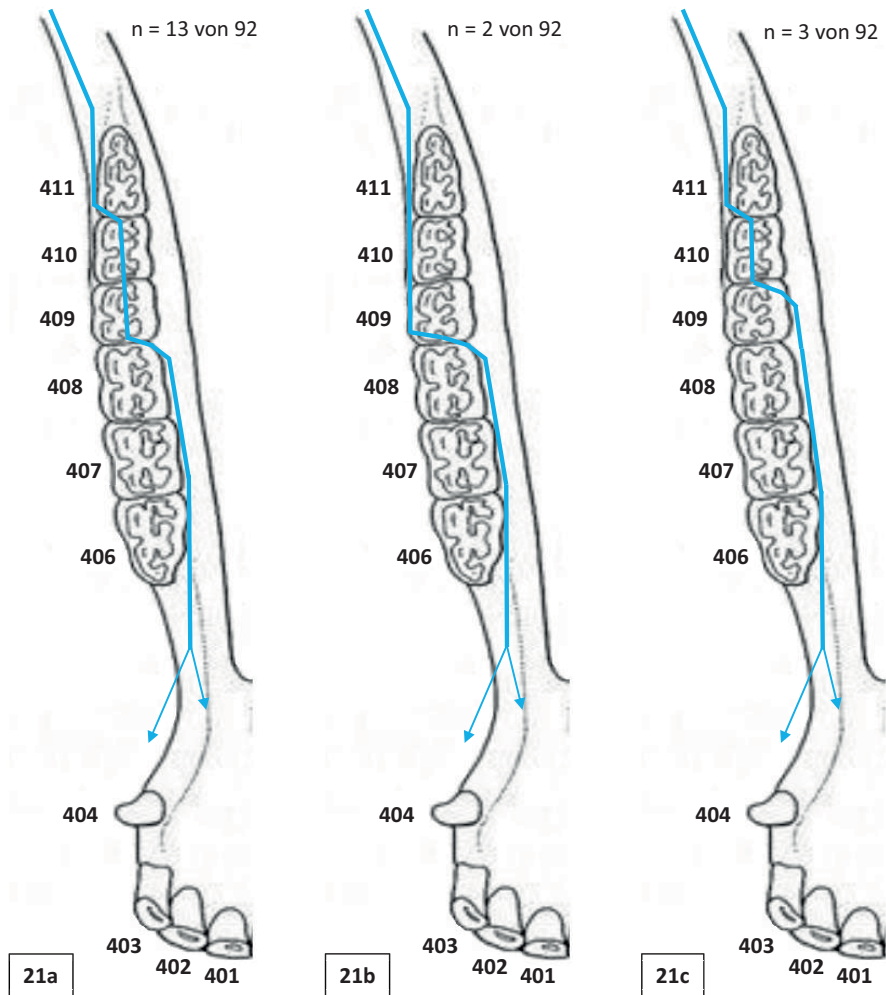


Abbildung 21b-c - Schematische Darstellung verschiedener Verlaufsvarianten des NAI

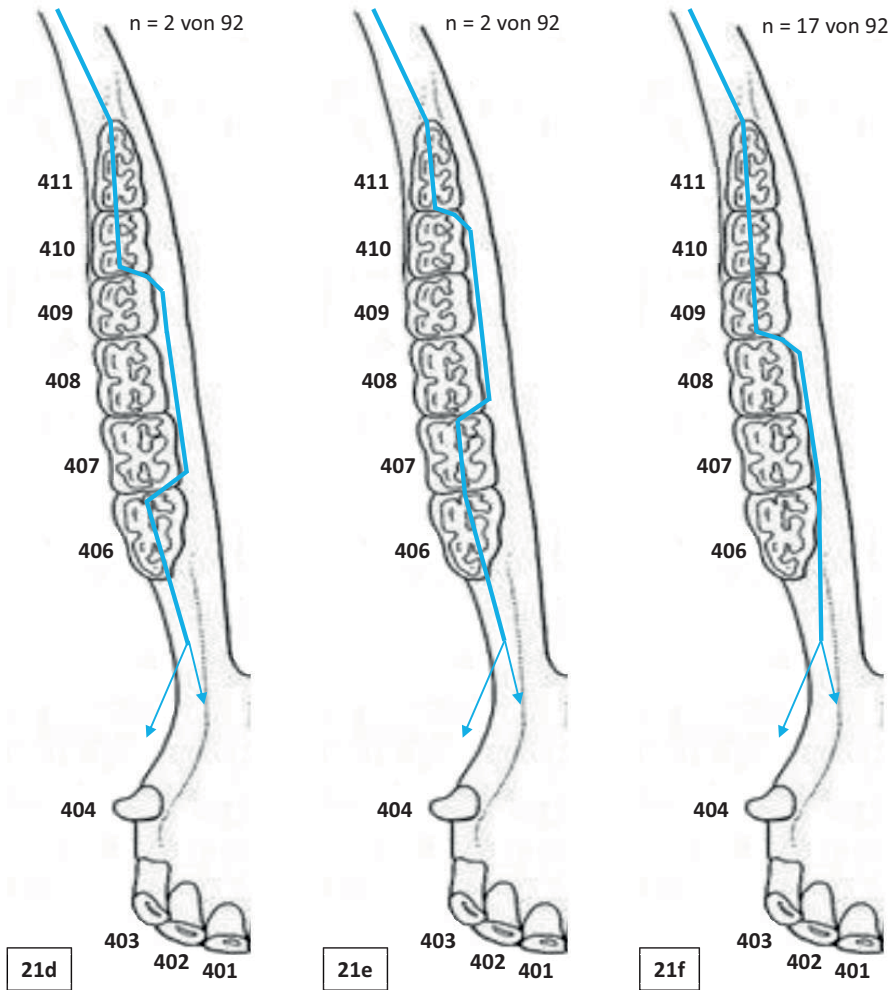


Abbildung 21d-f - Schematische Darstellung verschiedener Verlaufsvarianten des NAI

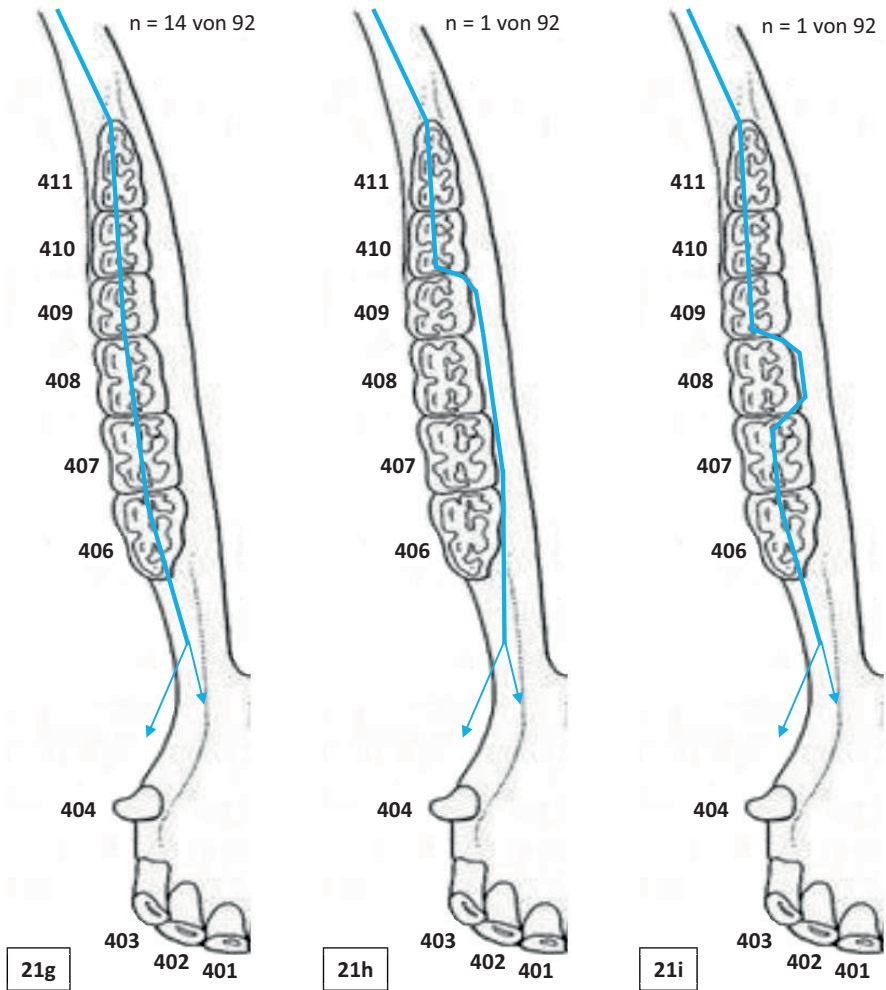


Abbildung 21g-i - Schematische Darstellung verschiedener Verlaufsvarianten des NAI

7.2.4 Abstandsmessung zwischen *Nervus alveolaris inferior* und Zähnen mittels CT

Bei der Abstandsmessung gab es altersabhängige Unterschiede, da bei älteren Tieren die Reservekronen/Zahnwurzeln in der Regel kürzer und der Abstand zwischen diesen und dem NAI größer waren. Dies konnte mit den Messungen im CT-Programm bestätigt werden (siehe Diagramm 17, Seite 70 bis einschließlich Diagramm 22, Seite 72).

Insgesamt wurden bei 46 Pferdeköpfen 552 Positionen zwischen dem NAI und dem jeweiligen Backenzahn bestimmt. Von diesen 552 konnte auf 267 Positionen eine Abstandsmessung vorgenommen werden, auf 284 Positionen bestand direkter Kontakt zwischen NAI und der jeweiligen Zahnwurzel. Auf einer Position konnte keine Auswertung vorgenommen werden, da der Zahn fehlte. In Altersgruppe 1 konnten auf lediglich 9 Positionen (von insgesamt 120 Positionen in dieser Altersgruppe - dies entspricht einem Anteil von 11%) Abstände gemessen werden, auf allen anderen Positionen bestand direkter Kontakt zwischen NAI und den Zähnen. Insgesamt wurden auf Höhe der 07er und 08er die meisten direkten Kontakte festgestellt; auf Höhe der 07er war dies in 65% der Untersuchungen der Fall, auf Höhe der 08er bei 74% aller Untersuchungen auf dieser Position. Auch die gemessenen Abstände auf diesen Positionen waren die kleinsten verglichen mit denen, die auf anderen Zahnhöhen erhoben wurden. Während der größte Abstand auf einer 07er-Position 31mm betrug, bzw. 36mm auf einer 08er Position, so lagen die maximalen Abstände der drei Molaren (von rostral nach kaudal) bei 46mm, 43mm und 47mm. Die wenigsten direkten Kontakte wurden auf der 06er-Position festgestellt; auf dieser Position bestand lediglich bei 36% aller Untersuchungen direkter Kontakt zwischen dem NAI und der Zahnwurzel (mit dem überwiegenden Anteil in Altersgruppe 1).

Das älteste Pferd, bei dem ein direkter Kontakt zwischen einem Zahn und dem NAI festgestellt werden konnte, war 20 Jahre alt.

Diagramm 17 - Abstand des NAI zum 06er

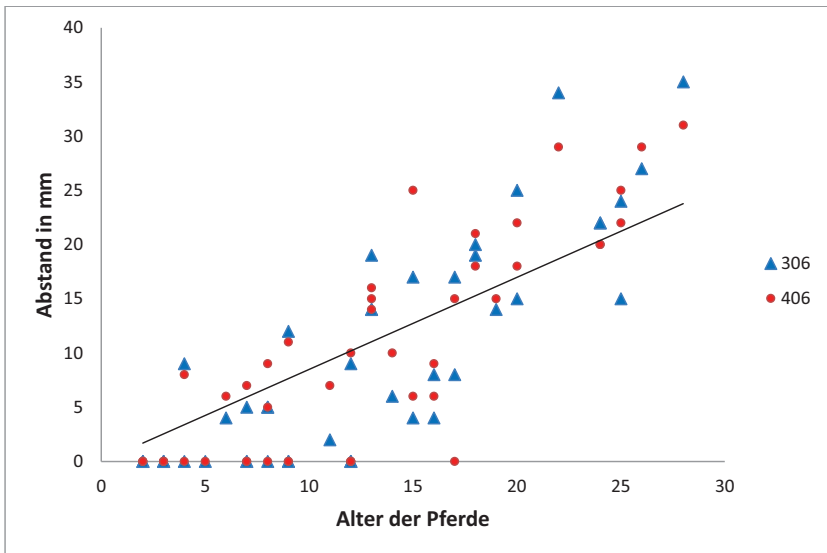


Diagramm 18 - Abstand des NAI zum 07er

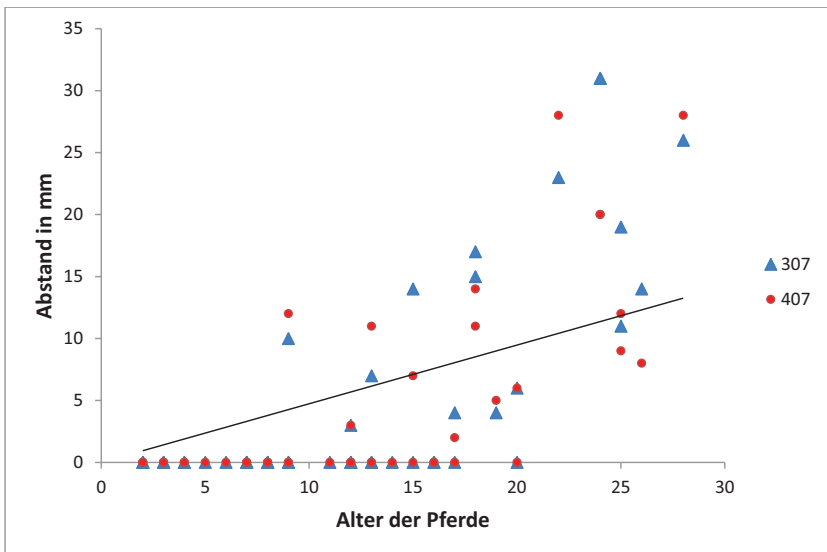


Diagramm 19 - Abstand des NAI zum O8er

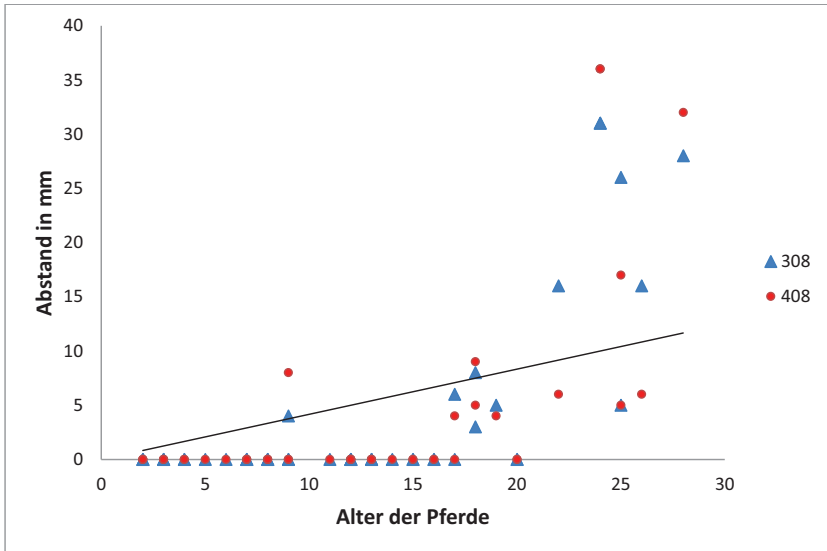


Diagramm 20 - Abstand des NAI zum O9er

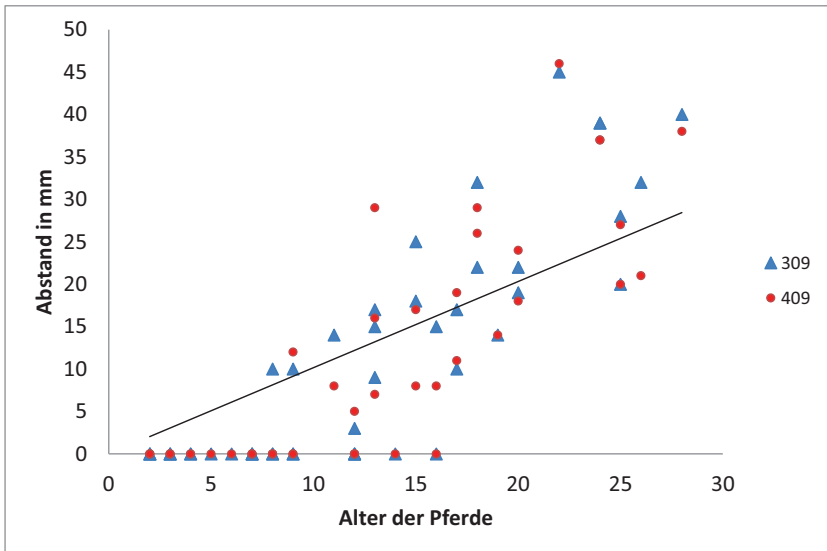


Diagramm 21 - Abstand des NAI zum 10er

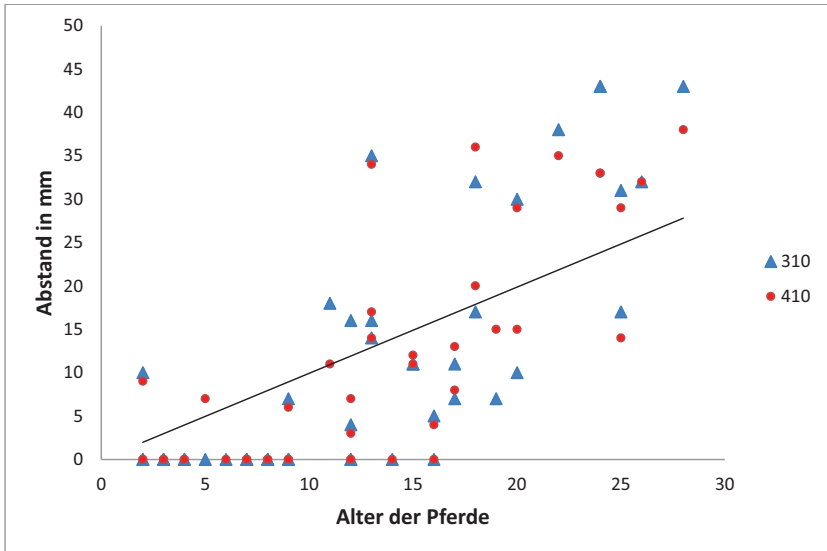


Diagramm 22 - Abstand des NAI zum 11er

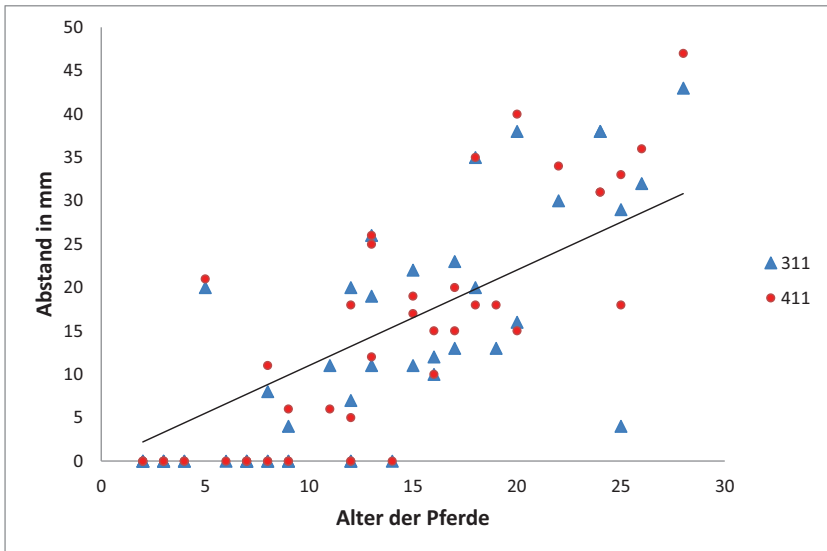


Diagramm 17-22 - Die Abstände zwischen dem NAI und den jeweiligen Backenzähnen (06er-11er) nehmen mit zunehmendem Alter zu. Die Trendlinie beim 08er verläuft deutlich flacher verglichen mit den anderen Zähnen.

NAI: *Nervus alveolaris inferior*

8 Diskussion

8.1 Diskussion von Material und Methode

8.1.1 Material

Um aussagekräftige Ergebnisse bei dieser Arbeit zu erzielen, wurde Wert daraufgelegt, eine möglichst heterogene Gruppe von Pferden unterschiedlichen Alters und Rasse zu untersuchen. Diesbezüglich wurden CT-Datenstapel aus drei verschiedenen Quellen bezogen und ausgewertet (aus der Pferdeklinik der University of Veterinary and Pharmaceutical Sciences Brno, Tschechien, aus der Pferdeklinik der Stiftung Tierärztliche Hochschule, Hannover der Kollegin PD Dr.habil. Bienert-Zeit sowie des Kollegen Dr. Brinkschulte).

Die Rohdaten stammten von Tieren, die sowohl *intra vitam* als auch *post mortem* gescannt worden waren – für die Fragestellungen dieser Arbeit war dies unerheblich und wurde deshalb bei der Auswahl der CT-Daten nicht berücksichtigt.

Ausschlusskriterien für die Verwendung der CT-Rohdaten beinhalteten pathologische Veränderungen der Pferdeschädel im Bereich der Zähne (z.B. fehlende Zähne, Frakturen, Wurzelentzündungen mit Knocheneinschmelzungen etc.) und der Nasennebenhöhlen (Sinusitiden mit oder ohne Knochenbeteiligungen, Flüssigkeitsansammlungen, Tumoren etc.). Bei Vorliegen dieser Pathologien wurde der Proband für den Teilaspekt der Untersuchungen im betroffenen Bereich ausgeschlossen.

Es wurde in der vorliegenden Arbeit eine Einteilung der untersuchten Pferdeköpfe in 2 Altersgruppen (AG 1: ≤6 Jahre, AG 2: alle Pferde >6 Jahre) vorgenommen, da davon auszugehen ist, dass bei Pferden, die älter sind als sechs Jahre, das permanente Gebiss vollständig eruptiert und in Reibung ist (Staszyk, 2011a; Kölle und Staszyk, 2014b; Salomon, 2015d; Schoppe et al., 2017). Auch in dieser Arbeit waren die Gebisse aller Altersgruppe 2 zugeordneten Pferde vollständig eruptiert und bestätigen somit die Beobachtungen der genannten Autoren. Eine Unterteilung der erwachsenen Pferde in beispielsweise eine weitere Gruppe für Pferde mit „senilen Gebissen“, die >15 Jahre alt sind, wie sie bei Liuti et al. (2016), Liuti et al. (2017) und Schoppe et al. (2017) vorgenommen worden war, wurde bewusst unterlassen, da die geringe Anzahl der Probanden, da ein solches Gliederungskriterium für die Fragestellung nicht relevant erscheint.

8.1.2 Computertomographie

Die Vorteile der CT, u.a. 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, sowie die Tatsache, dass in der vorliegenden Studie insbesondere knöcherne Strukturen (z.B. der *Canalis infraorbitalis*) untersucht worden sind, also Strukturen betrachtet wurden, an denen ein guter Kontrast zwischen Luft und Knochen besteht, waren ausschlaggebend dieses Untersuchungsmedium zu wählen. Die Vorteile der CT bei der Untersuchung und Beschreibung anatomischer Strukturen des Pferdeschädels wurden bereits vielfach beschrieben (Freeman, 2003; 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; Schoppe et al., 2017; Stieger-Vanegas und Hanna, 2022). Für die Diagnostik von Pathologien der Nasennebenhöhlen beim Pferd gilt die CT mittlerweile als Gold-Standard (Waguespack und Taintor, 2011; Manso-Díaz et al., 2015; Hargreaves und Dixon, 2018).

In der vorliegenden Arbeit wurde die CT-Software TomoCon® für die Bearbeitung der zusammengetragenen CT-Rohdaten verwendet. Die im Vorfeld der Messungen notwendigen Anpassungen zur Vereinheitlichung der CT-Rohdaten (Schnittbildangleichung anhand von anatomischen Markerpunkten, MPR etc.) erwiesen sich dabei als einfach durchführbar und ermöglichten standardisierte Messungen, da dadurch eventuelle lagerungsbedingte Artefakte ausgeglichen werden konnten. Durch die standardisierte Nutzung diverser Software-Werkzeuge (HU-Knochenfilter, „spot-density-measurement“, Werkzeuge zur Abstandsmessung etc.) wurden die Untersuchungen zusätzlich erleichtert. Eine entsprechend ähnlich standardisierte Vorbereitung von CT-Rohdaten half auch schon anderen Autoren beispielsweise lagerungsbedingte Unterschiede auszugleichen und somit repräsentative Ergebnisse zu liefern (Puchalski, 2012; Selberg und Easley, 2013; Brinkschulte, 2014; Schoppe et al., 2017; Stieger-Vanegas und Hanna, 2022).

Die Genauigkeit von CT-Untersuchungen wird allerdings limitiert durch die Schichtdicke des CT-Scans, so dass anatomische Strukturen, die kleiner sind als die gewählte Schichtdicke, dem Betrachter verschwommen erscheinen und somit nicht korrekt darstell- und auswertbar sind (Brinkschulte et al., 2014; Kaminsky et al., 2016; Tucker et al., 2016). Diesem als „Partialvolumeneffekt“ bezeichnetem Phänomen wird begegnet, indem man die Schichtdicke

der CT-Bilder reduziert (Bühler et al., 2014). Je kleiner die Schichtdicke, desto länger dauert allerdings der CT-Scan, was zu einer höheren Strahlenbelastung für das Individuum führt; außerdem erhöht sich das Datenvolumen stark (Barbee et al., 1987). Je länger die Scanzeit desto höher ist die Wahrscheinlichkeit für Bewegungsartefakte, insbesondere beim „standing-CT“ (Dakin et al., 2014). Das „standing-CT“ ist eine speziell für den Pferdepatienten angepasste Untersuchungsmethode. Dabei wird das Pferd lediglich sediert und Kopf und Hals in die Öffnung der in ihrer Höhe nicht veränderbaren CT-Gantry gefahren. Da bei dieser Methode keine Allgemeinanästhesie des Pferds mehr benötigt wird, ist das Narkoserisiko deutlich geringer. Etliche Studien beschreiben Protokolle, sowie Vor- und Nachteilen der „standing-CT“ beim Pferd (Jose-Cunilleras und Piercy, 2007; Dakin et al., 2014; Porter und Werpy, 2014; Galloway und Earley, 2020). Alternative der CT-Techniken, wie die „cone-beam-CT“ (CBCT) und μ -CT wurden nicht nur bei Pferden, sondern auch bei etlichen anderen Tierarten, wie Hund, Katze, Esel, Kamel angewandt und haben dort zu einem besseren Verständnis der komplexen Kopf-Anatomie geführt (Mozzo et al., 1998; Du Toit et al., 2008; Kopke et al., 2012; Blanco et al., 2015; Döring et al., 2018; Bregger et al., 2019; Heney et al., 2019; Berning et al., 2020). Der Vorteil der CBCT-Technik besteht darin, dass nur eine Gantry-Rotation benötigt wird, die Nachteile gegenüber der konventionellen CT, dass potentiell mehr Artefakte durch divergente Röntgenstrahlen entstehen können, sowie in der niedrigeren Kontrastauflösung (Stewart et al., 2021). Anatomisch-morphologische Abnormalitäten bei Pferde Zähnen konnten mit beiden CT-Techniken gut detektiert werden. Die CBCT hatte allerdings Schwierigkeiten bei der Darstellung von Veränderungen der Zahnpulpa; hier schnitt die konventionelle CT besser ab (van Zadelhoff et al., 2021). Es ist aus den genannten Gründen daher wichtig im Vorfeld zu entscheiden, welche Schichtdicke und welche Technik für die gewünschte Untersuchung notwendig, bzw. sinnvoll ist. Moderne Multidetektor-CT-Geräte sind zwar in der Lage, bei relativ kleiner Schichtdicke (z.B. 1,25mm), Bilder mit feiner Auflösung in relativ kurzer Zeit zu generieren (Selberg und Easley, 2013; Dakin et al., 2014; Dixon et al., 2017; Epperly und Whitty, 2020). Gerade um anatomisch-morphologische Gegebenheiten im Pferdekopf zu beschreiben ist die CT-Bildgebung in einer Schichtdicke zwischen 1,25-2mm sehr gut geeignet (Brinkschulte et al., 2013; Bahar et al., 2014; Bühler et al., 2014; Dakin et al., 2014; Gonçalves et al., 2015; Liuti et al., 2016; Hargreaves und Dixon, 2018). Auch in der vorliegenden Studie wurden 16-Slice-Multidetektorgeräte verwendet, die Bildserien mit sehr

feinen Schichtdicken von 1,25-1,5mm generierten; daraus konnten hochauflösende CT-Bilder extrapoliert und ausgewertet sowie repräsentative Ergebnisse erzielt werden.

Für noch feinere Strukturen im Submillimeterbereich ist die Standard-CT nicht geeignet, da der Partialvolumeneffekt dazu führt, dass Strukturen scheinbar „verschmelzen“, bzw. verschwimmen und nicht mehr klar vom menschlichen Auge erfasst und dementsprechend adäquat beschrieben werden können. Für solche Fragestellungen müssen andere Untersuchungsmethoden (z.B. μ -CT) verwendet werden, die Schichtdicken von beispielsweise 0,1mm, wie bei Kopke et al. (2012), ermöglichen. Auch in der vorliegenden Arbeit konnten delikate Strukturen, wie die knöcherne Ummantelung des *Nervus alveolaris inferior* bisweilen nur mit Hilfe der CT-Software-Werkzeuge sicher lokalisiert werden – trotz der sehr guten Auflösung und kleinen Schichtdicke. Dennoch machte diese Limitierung der CT-Technik es nötig bei einigen Untersuchungen Kategorien zu schaffen (z.B. in Absatz 7.2.2: Knochenlamelle sichtbar <1mm Durchmesser/knöcherner Lamelle partiell darstellbar; Knochenlamelle sichtbar >1mm Durchmesser/knöcherner Lamelle durchgehend darstellbar) und auf die Angabe absoluter Zahlen zu verzichten.

8.2 Diskussion der Ergebnisse

8.2.1 Darstellbarkeit nervaler Strukturen beim Pferd mittels CT

In der vorliegenden Studie wurden sowohl die Darstellbarkeit des *Nervus infraorbitalis* im *Canalis infraorbitalis*, des *Canalis alveolaris*, als auch des *Nervus alveolaris inferior* im *Canalis mandibulae*, sowie die *Rami alveolaris superiores medii et rostrales*, überprüft. Dabei zeigte sich, dass die CT als Untersuchungsmedium dafür geeignet ist. Vor allem die Möglichkeit der Bearbeitung der CT-Daten durch die Bildbearbeitungssoftware zur besseren Darstellbarkeit halfen bei der Beurteilung. Diese Feststellung deckt sich mit denen anderer Autoren; so führten beispielsweise Dixon et al. (2017) in ihrer Studie CT- und MRT-Untersuchungen an toten Pferden durch und verglichen diese. Sie fokussierten sich auf die Darstellbarkeit von Kopfnerven mit beiden Techniken. Mit einer Schichtdicke von 1mm konnte der *N. trigeminus* mit seinen drei Hauptästen im CT insbesondere an ihren knöchernen Austrittsstellen gut dargestellt werden. Sie konnten den *N. infraorbitalis* im *Canalis infraorbitalis* problemlos nachverfolgen. Allerdings sei es laut Dixon et al. (2017) schwierig, die Kopfnerven nach Austritt aus der Schädelhöhle zu identifizieren. D'Août et al. (2015) geben sogar an, dass Nerven nach

ihrem Austritt aus den Foramina nicht im CT darstellbar gewesen seien; diese Beobachtung konnte in der vorliegenden Arbeit nicht gemacht werden – so war es zwar bisweilen schwierig, aber dennoch jederzeit möglich die Nervenverläufe im CT zu identifizieren. Auch Gonçalves et al. (2015) führten eine Studie mit CT und MRT an Kadavern durch. Die CT-Bilder wurden mit einer Schichtdicke von 2mm rekonstruiert. Die Foramina am Pferdeschädel seien damit problemlos darstellbar gewesen und dadurch die Identifikation von Nerven an ihren Austrittsstellen erleichtert worden. Diese Beobachtung wurde auch vom Autor der vorliegenden Studie gemacht. Ferner weisen Gonçalves et al. (2015) darauf hin, dass das *post mortem* angesammelte Gas eventuell den Kontrast des CT erhöhe und somit die Sichtbarkeit des zu untersuchenden Nerven verbessere. Diese Aussage konnte in der vorliegenden Arbeit nicht bestätigt werden.

8.2.2 Der *Canalis infraorbitalis* in Relation zu den Backenzähnen

Die klinische Relevanz des *Nervus infraorbitalis*, bzw. des *Canalis infraorbitalis* ist unumstritten. Viele Krankheitsbilder (z.B. das headshaking-syndrome) entstehen aufgrund von (iatrogenen) Verletzungen, bzw. Entzündungen und anderen Pathologien des *Nervus infraorbitalis* (Gilsenan et al., 2014). Im überwiegenden Teil der Fälle sind dentogene Sinusitiden die Primärursache für entsprechende Krankheitsbilder (Dixon, 2002).

Bei Pferden mit einem Alter bis zwei Jahre ist der *Canalis infraorbitalis* dorsomedial der Zahnalveole benachbarter Backenzähne gelegen und liegt diesen auf (Easley und Freeman, 2013; Liuti et al., 2017). Liuti et al. (2017) konnten bei ihren Messungen der Abstände zwischen dem *Canalis infraorbitalis* und den Backenzähnen keine Abweichungen im Links-rechts-Vergleich feststellen. Dafür hatten alle Pferde, die älter waren als zwei Jahre, keinen direkten Kontakt zwischen der Zahnalveole und dem *Canalis infraorbitalis*. Laut Nannarone et al. (2016) können Pferde bis zu einem Alter von fünf Jahren Kontakt zwischen dem *Canalis infraorbitalis* und der Zahnalveole aufweisen; laut einer Studie von Kaminsky et al. (2014) bis zu einem Alter von sieben Jahren.

Der Abstand zwischen dem *Canalis infraorbitalis* und den Backenzähnen wurde in der vorliegenden Studie auf insgesamt 451 Positionen bei 47 Pferden untersucht. Dabei hatten 15 der untersuchten Pferde auf insgesamt 92 Zahnpositionen direkten Kontakt zwischen dem *Canalis infraorbitalis* und der jeweiligen Zahnalveole. Es waren alle 11 Pferde der Altersgruppe 1 mit insgesamt 83 Kontakten (90%) vertreten, sowie vier Pferde aus Altersgruppe 2 mit 9

Kontakten (10%). Das älteste Pferd mit direktem Kontakt zwischen Zahnalveole und *Canalis infraorbitalis* war 12 Jahre alt - mit Kontakt auf Höhe von Triadan 10 und 11. Da die Reservekronen der Zähne mit dem Alter der Pferde immer kürzer werden, nehmen auch die gemessenen Abstände mit dem Alter zu (Liuti et al., 2017). Aus diesem Grund wurde in Altersgruppe 1 bei relativ vielen Zahnpositionen ein direkter Kontakt zwischen dem *Canalis infraorbitalis* und der Zahnwurzel festgestellt – dies war in Altersgruppe 2 prozentual weit weniger oft der Fall. Diese Altersabhängigkeit der Abstände zwischen *Canalis infraorbitalis* und Zahnwurzel wurde für jede Zahnposition veranschaulicht in Diagramm 1, Seite 46 bis Diagramm 4, Seite 49. Dass Pferde auch noch mit einem Alter von bis zu 12 Jahren Kontakt zwischen dem *Canalis infraorbitalis* und Zahnalveolen aufweisen können deckt sich nicht mit den Beobachtungen anderer Autoren (Easley und Freeman, 2013; Nannarone et al., 2016; Liuti et al., 2017). Das jüngste Pferd, bei dem auf einer Zahnposition kein direkter Kontakt zwischen *Canalis infraorbitalis* und Zahnalveole festgestellt werden konnte, war drei Jahre alt; der Abstand wurde gemessen auf einer 09er-Position (siehe Diagramm 2, Seite 47) – diese Ergebnisse entsprechen den Beobachtungen von Easley und Freeman (2013) und Liuti et al. (2017), dass alle Pferde bis zu einem Alter von einschließlich zwei Jahren direkten Kontakt auf jeder Zahnposition haben.

Bei Jungpferden (Altersgruppe 1) hat der *Canalis infraorbitalis* dementsprechend oft direkten Kontakt mit der *Lamina dura denta* der Zahnalveole; diese radiologisch nicht immer sichtbare Knochenlamelle ist generell sehr dünn, so dass Zahnentzündungen schnell auf den *Canalis infraorbitalis* übergreifen können (Dixon, 2002; Easley und Freeman, 2013). Auch in der vorliegenden Arbeit konnte nicht immer eine durchgehende (knöcherne) Abgrenzung zwischen dem *Canalis infraorbitalis* und der jeweiligen Zahnwurzel bei direktem Kontakt im CT identifiziert werden. Generell wurden auf Höhe der letzten beiden Molaren (Triadan 10 und 11) die meisten direkten Kontakte zwischen Zahnalveole und *Canalis infraorbitalis* festgestellt; auch waren auf diesen Positionen die meisten knöchernen Abgrenzungen lediglich partiell im CT darstellbar (siehe Diagramm 5, Seite 51).

Entzündungen und sinuidale Zubildungen können den *Canalis infraorbitalis* bisweilen nicht nur schädigen, sondern auch aus seiner Position verlagern (Henninger et al., 2003; Philipp, 2007; Ahern und Parente, 2009; Manso-Díaz et al., 2015; Epperly und Whitty, 2020). Die Lagebeziehung des *Canalis infraorbitalis* zu den Zahnalveolen ist dementsprechend für den Kliniker von besonderem Interesse, zumal Operationen und Eingriffe im Bereich der Zähne

und der Nasennebenhöhlen beim Pferd oft signifikante Komplikationen haben können (Barakzai und Dixon, 2014).

8.2.3 Morphologie des *Canalis infraorbitalis* und PCI

Die vorliegende Arbeit liefert anatomische Erkenntnisse nicht nur zum Längsverlauf des *Canalis infraorbitalis* in verschiedenen Altersgruppen, sondern auch zum morphologischen Querschnitt des *Canalis infraorbitalis* auf jeder Zahnposition. Es ist bekannt, dass manche Pferde einen mehr gekrümmten Längsverlauf des *Canalis infraorbitalis* haben können (Roberts et al., 2009). Auch Nannarone et al. (2016) konnten im 3D-Modell des *Canalis infraorbitalis* aufzeigen, dass dieser im rostralen Bereich eine laterale Konkavität sowie einen serpentinartigen Verlauf aufweist. Dies bezieht sich in erster Linie auf die lateromediale Ausdehnung des *Canalis infraorbitalis*, jedoch nicht auf die dorsoventrale Ausdehnung. Bei der Untersuchung der dorsoventralen Ausdehnung des *Canalis infraorbitalis* in der vorliegenden Studie konnte gezeigt werden, dass dieser im kaudalen Bereich geradlinig verlaufen, jedoch im rostralen Bereich „abknicken“ und nach rostroventral ziehen kann. Eine Altersabhängigkeit konnte bei diesem Aspekt nicht festgestellt werden. Insofern sind die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit aufschlussreich, da die Variabilität des Längsverlaufs des *Canalis infraorbitalis* größer zu sein scheint, als bisher vermutet. In dieser Arbeit wurden insgesamt 92 Verläufe des *Canalis infraorbitalis* durch den Schädel, zwischen seiner Eintrittsstelle am *Foramen maxillare* und seiner Austrittsstelle, dem *Foramen infraorbitale*, verfolgt. Da Kopfhälften mit pathologischen Veränderungen in der vorliegenden Studie ausgeschlossen wurden, beziehen sich die angegebenen Verläufe auf physiologische Umstände. In weniger als die Hälfte aller Untersuchungen (40%) konnte ein geradliniger Verlauf des *Canalis infraorbitalis* festgestellt werden. In 60% der Fälle verlief der *Canalis infraorbitalis* gekrümmt: entweder nach kranioventral abknickend (35%) oder über seine gesamte Länge bogenförmig (25%) – siehe Abbildung 8, Seite 36 bis Abbildung 10, Seite 37. Zudem wurde bei sieben untersuchten Pferden im Links-rechts-Vergleich eine Seitenvariabilität festgestellt – ein Anteil von 15% aller untersuchten Pferdeköpfe.

Dixon und Du Toit (2011) berichten, dass bei jungen Pferden der *Canalis infraorbitalis* direkt über den Apices der kaudalen maxillären Backenzähne liegt, und an dieser Stelle oft nach dorsal gebogen ist; es wird allerdings nicht erwähnt, um welche Backenzähne es sich genau

handelt. Auch fehlen Aussagen über Verläufe bei älteren Pferden in der erwähnten Quelle. In der vorliegenden Studie konnte ein bogenförmiger Verlauf bei 20% der untersuchten *Canales infraorbitales* in AG 1 festgestellt werden, jedoch fanden sich auch in AG 2 bogenförmige Verläufe; sie machten 24% der Verläufe in dieser Altersgruppe aus (siehe Diagramm 7, Seite 53). Eine Altersabhängigkeit bestand dementsprechend in dieser Kategorie nicht. Auch die Verteilung der anderen beiden Kategorien ist ähnlich zwischen beiden Altersgruppen; in AG 1 scheint mit einem Anteil von 50% der geradlinige Verlauf des *Canalis infraorbitalis* öfter als in AG 2 mit einem Anteil von lediglich 39% vorzukommen (siehe Diagramm 6, Seite 53 und Diagramm 7, Seite 53) - dieser Unterschied ist allerdings nicht statistisch relevant. Insofern widersprechen diese Ergebnisse der Annahme, dass Jungpferde eine höhere Wahrscheinlichkeit für einen nicht-geradlinigen Verlauf des *Canalis infraorbitalis* hätten als erwachsene Pferde. So geben beispielsweise auch Nannarone et al. (2016) in ihrer Studie an, dass ihre Untersuchungsergebnisse in Bezug auf die Position der festgestellten Konkavität im Verlauf des *Canalis infraorbitalis* zwischen jungen und älteren Pferden differieren. Bei jungen Pferden (bis fünf Jahre) lag die Abweichung vom Verlauf 5mm weiter rostral als bei älteren Pferden – eine Erklärung dazu fehlt allerdings. Auch Roberts et al. (2009) berichten in ihrer Studie zur chirurgischen Behandlung des idiopathischen headshakings, dass manche Individuen eine stärkere Krümmung des *Canalis infraorbitalis* aufwiesen als andere. Die Gefahr einer iatrogenen Schädigung des *Nervus infraorbitalis* bei Nichtbeachtung seiner Anatomie ist gegeben. Die Tatsache, dass mehr als jeder zweite *Canalis infraorbitalis* in der vorliegenden Studie nicht geradlinig zwischen dem *Foramen maxillare* und *Foramen infraorbitale* verlief, bestärkt aus Sicht des Autors die Notwendigkeit einer erhöhten Achtsamkeit dieses wichtigen Nervs gegenüber (siehe Diagramm 8, Seite 54).

Pferde reagieren häufig mit sehr heftigen Abwehrreaktionen auf eine Injektion in das *Foramen infraorbitale*, was darauf hindeutet, dass sich ein Kontakt mit dem *Nervus infraorbitalis* bei der Injektion oftmals nicht vermeiden lässt (Fletcher, 2004; Stoll, 2011; Rawlinson, 2012; Nannarone et al., 2016; Tremaine, 2019; Campoy und Sedgwick, 2020). Obwohl das Risiko für ernsthafte Komplikationen bei einem Block des *Nervus infraorbitalis* sowohl von Tanner und Hubbell (2019) als auch von Nannarone et al. (2016) insgesamt eher als niedrig eingeschätzt wird, betont Stoll (2011) jedoch, dass es bei einer Verletzung des *Nervus infraorbitalis* durch die Injektion zu Parästhesien mit Automutilation oder headshaking kommen kann. Roberts et

al. (2009) schlagen deshalb vor, die individuelle Krümmung des *Canalis infraorbitalis* vor einer Behandlung durch laterale Röntgenaufnahmen oder eine Fluoroskopie festzustellen.

Die vorliegende Arbeit zeigt, dass insbesondere die Computertomographie wertvolle Informationen liefern kann, um den individuellen Verlauf des *Canalis infraorbitalis* auch in Hinblick auf eine mögliche Seitenvariabilität, zu bestimmen.

Kaminsky et al. (2014) untersuchten 13 Pferdeschädel in einem MRT. Dabei beschrieben sie den Querschnitt des *Canalis infraorbitalis* als sehr variabel von rostral nach kaudal und interindividuell; die Querschnitte des *Canalis infraorbitalis* wurden als „oval“ und „polygonal“ kategorisiert - eine Kategorisierung und Beschreibung des Querschnitts auf bestimmten Positionen fehlt. Ferner weisen Kaminsky et al. (2014) darauf hin, dass die Morphologie des *Canalis infraorbitalis* bei direktem Kontakt mit der Zahnalveole abgeflacht „irregulär“ erschien.

Die vorliegende Arbeit zeigt auf, dass der morphologische Querschnitt des *Canalis infraorbitalis* nicht nur altersabhängig ist, sondern auch auf verschiedenen Zahnpositionen variiert. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass auf denjenigen Zahnpositionen wo ein direkter Kontakt zwischen *Canalis infraorbitalis* und Zahnalveole besteht – also vornehmlich in Altersgruppe 1 - der *Canalis infraorbitalis* von der Zahnalveole „abgeflacht“ wird und decken sich somit mit den Beobachtungen von Kaminsky et al. (2014). Obwohl bei fast jedem untersuchten Pferd (94%) sich auf Höhe mindestens eines Backenzahns ein im Querschnitt rundlicher, bzw. rundlich-polymorpher *Canalis infraorbitalis* zeigte (die meisten auf Höhe von Triadan 08 und 09), erschien bei keinem Pferd der Querschnitt über die gesamte Länge beidseits rundlich (siehe Diagramm 9, Seite 55 und Diagramm 10, Seite 56). Die mittels CT-Software gemessenen Durchmesser des *Canalis infraorbitalis* lagen im Mittel bei 7,6mm Breite und 8,6mm Höhe.

In der vorliegenden Arbeit erschienen die meisten Querschnitte des *Canalis infraorbitalis* der Kategorie „oval/oval-polymorph“ (61% aller Untersuchungen) und entsprechen somit den Beobachtungen von Kaminsky et al. (2014). Der überwiegende Teil oval/oval-polymorpher Querschnitte des *Canalis infraorbitalis* wurde mit insgesamt 121 Messungen (60%) auf Höhe der 10er und 11er erhoben (siehe Diagramm 11, Seite 57 und Diagramm 12, Seite 57). Bei einem 15-jährigen Pferd erschien der Querschnitt über die gesamte Länge beidseits oval; bei allen anderen Pferden wurde zumindest eine Messung einer der beiden anderen Kategorien

zugeordnet. Die mittels CT-Software gemessenen Durchmesser des *Canalis infraorbitalis* für diese Kategorie lagen im Mittel bei 6,4mm Breite und 9,8mm Höhe.

Die Kategorie „bohnenförmig“ kam fast ausschließlich in AG 1 - auf Positionen, auf welchen der *Canalis infraorbitalis* in direktem Kontakt zur Reservekrone/Zähnen stand - und mit insgesamt 7% aller Messungen insgesamt seltener vor. Lediglich ein Pferd aus AG 2 hatte auf Position der 10er die oben beschriebene Morphologie des *Canalis infraorbitalis*. Die Tatsache, dass das Pferd 24 Jahre alt war, widerlegt die Vermutung, dass nur Jungpferde mit direktem Kontakt zwischen *Canalis infraorbitalis* und den Zähnen, diese „abgeflachte“ Morphologie aufweisen können und diese im Alter verlieren. Generell ist diese Morphologie zumeist bei den beiden kaudalen Molaren, Triadan 10 und 11 (90% in der vorliegenden Arbeit), zu finden (siehe Diagramm 13, Seite 58). Die mittels CT-Software gemessenen Durchmesser des *Canalis infraorbitalis* für diese Kategorie lagen im Mittel bei 5,5mm Breite und 12,5mm Höhe.

In der Literatur konnten zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Arbeit keine Vergleichsdaten für Durchmesser-Angaben des *Canalis infraorbitalis* für jede Zahnposition gefunden werden.

Laut Nannarone et al. (2016), Kaminsky et al. (2014) und Liuti et al. (2017) verläuft der *Canalis infraorbitalis* bei erwachsenen Pferden auf einer knöchernen, sagittal orientierten Knochenplatte durch die Kieferhöhle und liegt den Backenzähnen nicht direkt auf. Dieser Umstand sei altersabhängig und durch die Entwicklung der Zähne und Nasennebenhöhlen bedingt. Auch Schoppe et al. (2017) berichten davon, dass sich der Abstand zwischen den Oberkieferbackenzähnen (auf Höhe von Triadan 08 und 09) und des *Canalis infraorbitalis* mit zunehmendem Alter vergrößert - die Ergebnisse dieser Studie stützen diese Annahme. Diese knöchernerne Lamelle, die den *Canalis infraorbitalis* bei erwachsenen Pferden trägt, wird in der vorliegenden Arbeit „*Ponticulus canalis infraorbitalis*“ (PCI) genannt. Es wurden insgesamt 89 PCI's ausgewertet. Bei den untersuchten Positionen von Pferden aus AG 1 und AG 2, wo bereits kein direkter Kontakt mehr zwischen *Canalis infraorbitalis* und Zahnalveole bestand, war der PCI in jedem Fall durchgehend knöchern ausgebildet und im CT darstellbar. Er trennte die entsprechenden Kompartimente des NNH-Systems (*Sinus conchae ventralis* vom *Sinus maxillaris rostralis*, bzw. Unterteilung des *Sinus maxillaris caudalis* in zwei Abteilungen) somit jederzeit vollständig voneinander (siehe Tabelle 7, Seite 95).

Bei 25% der untersuchten PCI's, welche bereits vollständig ausgebildet waren - diese Pferde (n = 8) gehörten sämtlich AG 2 an - zeigte sich eine starke Seitenvariabilität bezüglich des Verlaufs (siehe z.B. Abbildung 7, Seite 35).

Viele vom *Canalis infraorbitalis* ausgehenden und durch die PCI's ziehenden *Rami alveolares superiores medii et rostrales* (RASMR) konnten in der vorliegenden Arbeit mittels CT identifiziert und zuverlässig dargestellt werden (n = 284) - siehe Abbildung 15, Seite 41. Die Anzahl variierte dabei stark je Kopfhälfte und auch je Individuum. Das Alter der untersuchten Pferde hatte keinen signifikanten Einfluss auf die Darstellbarkeit der RASMR (siehe, Diagramm 16, Seite 61).

8.2.4 Position des *Foramen infraorbitale* in Relation zu den Oberkieferbackenzähnen

In der vorliegenden Studie wurde die Position des *Foramen infraorbitale* in Relation zu den Oberkieferbackenzähnen in Hinblick auf Unterschiede zwischen den Altersgruppen untersucht. Dabei fungierten die Oberkieferbackenzähne als Markerpunkte für die Untersuchung. Laut Nickel et al. (2004c) ist das *Foramen infraorbitale* dorsal des dritten und vierten Oberkieferbackenzahnes (Triadan 08 und 09) gelegen. Nannarone et al. (2016) geben an, dass das *Foramen infraorbitale* dorsal des zweiten Oberkieferbackenzahnes (Triadan 7) gelegen ist. Die Angaben von Nickel et al. (2004c) konnten in dieser Arbeit nicht, diejenigen von Nannarone et al. (2016) nur teilweise bestätigt werden, da in allen der 93 untersuchten Fälle das *Foramen infraorbitale* mit Triadan 07 und/oder 08 des Oberkiefers assoziiert war (siehe Diagramm 14 und 15, Seite 60). Die in diesen Diagrammen dargestellten Unterschiede zwischen den Altersgruppen veranschaulichen zudem, dass bei erwachsenen Pferden (AG 2) generell das *Foramen infraorbitale* weiter kaudal positioniert ist im Vergleich zu juvenilen Pferden (AG 2). Dennoch konnte das *Foramen infraorbitale* in keinem Fall weiter rostral als Triadan 07 oder weiter kaudal als Triadan 08 gefunden werden. Lediglich bei zwei der 47 untersuchten Pferde (4%), beide aus AG 2, konnte eine Asymmetrie im Links-Rechts-Vergleich festgestellt werden.

Neben etlichen RASMR konnte die CT in der vorliegenden Arbeit bei allen untersuchten Pferdeköpfen den Nervenaustritt aus dem *Foramen infraorbitale*, sowie den Verlauf des *Canalis alveolaris* zu den Prämolaren jederzeit darstellen. Die Wichtigkeit der CT als präzise Untersuchungstechnik am Pferdekopf wird durch die Ergebnisse dieser Arbeit unterstrichen. Des Weiteren gibt es in der NAV (2017) keine nomenklatorische Unterscheidung zwischen dem *Canalis alveolaris* des Oberkiefers von demjenigen des Unterkiefers. Zur zukünftigen

besseren Unterscheidung dieser beiden anatomischen Strukturen könnte eventuell die Benennung in *Canalis alveolaris superior* und *Canalis alveolaris inferior* dienlich sein.

8.2.5 Der *Nervus alveolaris inferior* in Relation zu den Unterkieferbackenzähnen

Als Leitungsanästhesie für Eingriffe an den Zähnen des Unterkiefers wird ein Nervenblock des *Nervus alveolaris inferior* über das *Foramen mandibulae* empfohlen. Es wurden unterschiedliche topografische Markerpunkte und Methodiken zur Anästhesie des *Nervus alveolaris inferior* beschrieben (Fletcher, 2004; Dixon und Du Toit, 2011; Stoll, 2011; Harding et al., 2012; Rawlinson, 2012; Berg und Budras, 2014; Salomon, 2015b; Tanner und Hubbell, 2019; Campoy und Sedgwick, 2020). Eine Betäubung des *Nervus alveolaris inferior* über das *Foramen mentale* ist auch möglich (Stoll, 2011; Rawlinson, 2012). Dennoch konnten Harding et al. (2012) feststellen, dass der *Nervus alveolaris inferior* je nach gewählter Betäubungsmethode nur zwischen 59% und 73% der Fälle korrekt betäubt wurde. Des Weiteren können bei der Durchführung der Leitungsanästhesie Komplikationen auftreten - so ist unter Umständen eine unerwünschte Punktion der *Arteria alveolaris inferior* möglich mit z.T. starken Blutungen (Harding et al., 2012; Campoy und Sedgwick, 2020). Auch könnten andere Strukturen betäubt werden – eine betäubte Zunge kann z.B. zu Automutilation führen (Caldwell und Easley, 2012). Stauffer et al. (2017) empfehlen deshalb kleinere Injektionsvolumina, kürzere Injektionszeiten und weniger Nadel-Repositionierung, um die Komplikationsrate zu verringern.

Aber nicht nur die korrekt durchgeführte Anästhesie des *Nervus alveolaris inferior*, sondern auch das anatomische Wissen über seinen Verlauf im Unterkiefer sind von großer Bedeutung für den praktischen Tierarzt, um bei eventuell nötigen chirurgischen Eingriffen, wie beispielsweise Zahnextraktionen, den Nerv nicht unnötig zu verletzen (Wissdorf et al., 2010a; Iacopetti et al., 2015).

In der vorliegenden Arbeit lagen die HU-Wertemessungen für den *Nervus alveolaris inferior* zwischen -50 und +200 HU; in 90% der Fälle im Bereich zwischen +50 und +100 HU. Damit kann der *Nervus alveolaris inferior* bereits in den meisten Fällen von anderen Gewebearten, wie z.B. Flüssigkeit unterschieden werden, die nach Dakin et al. (Dakin et al., 2014) generell eine Röntgenopazität von 0 - +30 HU aufweist. In der Arbeit von Dixon et al. (2017) war eine Unterscheidung zwischen Nerven und Gefäßen ohne Kontrastmittel im CT nicht möglich.

Bei der Identifizierung des *Nervus alveolaris inferior* auf jeder Zahnposition konnte die HU-Messung stets helfen, wo kein eindeutiger knöcherner Kanal im Unterkiefer zu sehen war. Generell war die Darstellbarkeit des *Nervus alveolaris inferior* im CT bei Jungpferden (AG 1) mit 82% deutlich besser als bei erwachsenen Pferden. Aber auch bei erwachsenen Pferden (AG 2) konnte bei der Mehrzahl der untersuchten Positionen der *Nervus alveolaris inferior* gut im CT dargestellt werden (59%) - siehe Tabelle 12, Seite 100 im Anhang. Ursächlich für die bessere Sichtbarkeit bei jüngeren Pferden war die Tatsache, dass die Nerven durch die langen Reservekronen scheinbar zur Seite gedrückt wurden und dadurch in *Sulci* in den kompakten seitlichen Knochenformationen des *Corpus mandibulae* verliefen. Zusätzlich stellten die langen Reservekronen im CT einen guten Kontrast zum *Nervus alveolaris inferior* dar (siehe Abbildung 16, Seite 42).

In der vorliegenden Arbeit konnte außerdem festgestellt werden, dass die Sichtbarkeit des *Nervus alveolaris inferior* auf Höhe der Molaren abnimmt; im kaudalen Verlaufsabschnitt wurden generell seltener knöcherner Lamellen/Sulci im CT identifiziert (siehe Tabelle 2, Seite 63, Tabelle 3, Seite 63, sowie Tabelle 4, Seite 63). Besonders häufig schwerer im CT nachzuvollziehen im Vergleich zu anderen Positionen war der *Nervus alveolaris inferior* auf Höhe der 09er, wenn keine knöcherner Lamelle auf dieser Position darstellbar war (siehe Tabelle 2, Seite 63).

In der Vergangenheit wurden Studien zum Längsverlauf des *Nervus alveolaris inferior* durchgeführt (Iacopetti et al., 2015). Die Ergebnisse der vorliegenden Studie decken sich nur zum Teil mit den dort ermittelten Ergebnissen: Der Längsverlauf des *Nervus alveolaris inferior* ist generell variabler als in der Literatur beschrieben. In der vorliegenden Arbeit konnten insgesamt 10 verschiedene Verlaufsvarianten des *Nervus alveolaris inferior* beschrieben werden. Selbst in der Humanmedizin geht man lediglich von drei verschiedenen Verlaufsformen des *Nervus alveolaris inferior* aus (Kim et al., 2009).

Bei den meisten Pferden verlief der *Nervus alveolaris inferior* vom *Foramen maxillare ventral* unter den Zahnwurzeln bis auf Höhe der 09er (75% aller Pferde). Im Anschluss variierten die Verläufe stärker. In 40% der Fälle erfolgte nach dem 09er ein Umschlag des *Nervus alveolaris inferior* nach medial. Zwischen dem 07er und 06er erfolgte im weiteren Verlauf ein erneuter Umschlag, um anschließend ventral unter der Zahnwurzel des 06ers zum *Foramen mentale* zu ziehen (siehe Abbildung 20, Seite 64). Auch Iacopetti et al. (2015) beschrieben diesen Verlauf des *Nervus alveolaris inferior* als den am häufigsten vorkommenden. Die Häufigkeit dieser

Verlaufsform von 95% bei Iacopetti et al. (2015) wurde in der vorliegenden Studie allerdings weit unterboten.

Die unterschiedlichen Ergebnisse könnten in der von den Kollegen angewandten Methodik begründet sein. Iacopetti et al. (2015) bedienten sich der Präparation der Unterkiefer durch längliches Zersägen des Unterkieferknochens zur makroskopischen Darstellung des *Nervus alveolaris inferior*, was eine künstliche Verlagerung des Nerven aus seiner ursprünglichen anatomischen Lage begünstigen kann. In der vorliegenden Arbeit sind allerdings eventuelle Manipulationen an der Lage des *Nervus alveolaris inferior* ausgeschlossen, da ausschließlich CT-Daten untersucht wurden.

Iacopetti et al. (2015) geben an, dass der *Nervus alveolaris inferior* in beiden Hemimandibeln eines Individuums einen symmetrischen Verlauf habe und dass der Verlauf des *Nervus alveolaris inferior* altersunabhängig sei.

In der vorliegenden Arbeit wurden die Beobachtung gemacht, dass unabhängig vom Gesamtverlauf der *Nervus alveolaris inferior* bei 39 Pferden (85% aller Untersuchungen) im Seitenvergleich identisch verlief; bei sieben Pferden (15% aller Untersuchungen) gab es allerdings Unterschiede im Seitenvergleich. Dies widerspricht somit den Ergebnissen von Iacopetti et al. (2015). Dennoch konnte auch in dieser Arbeit keine statistisch relevante Altersabhängigkeit für einen bestimmten Verlauf des *Nervus alveolaris inferior* festgestellt werden. Dies wiederum bestätigt die Beobachtungen von Iacopetti et al. (2015).

Iacopetti et al. (2015) bekräftigen in Ihrer Studie den allgemeinen Konsens, dass bei einem chirurgischen Eingriff im Bereich der Molaren (Triadan 09-11) im Unterkiefer ein lateraler-, bzw. ventrolateraler Zugang zu diesen Zähnen ein relativ geringes Risiko einer iatrogenen Nervenschädigung habe, da die überwiegende Mehrheit der *Nervi alveolares inferiores* auf diesen Zahnpositionen ventral unterhalb der Zahnwurzeln verlaufe. Diese Einschätzung kann der Autor der vorliegenden Arbeit nur mit Einschränkung unterstützen. Es ist richtig, dass die Mehrheit der *Nervi alveolares inferiores* den beschriebenen Verlauf aufweisen, dieser Anteil aber nicht so hoch ist, wie bisher vermutet (lediglich 75% aller untersuchten Pferde in dieser Studie). Eine CT-Untersuchung des Unterkiefers erscheint nach den Ergebnissen dieser Arbeit vor jedem größeren chirurgischen Eingriff angemessen, um seltener auftretende Verläufe des *Nervus alveolaris inferior* festzustellen und dementsprechend die OP-Planung anzupassen.

9 Zusammenfassung

Die klinische Relevanz des *Canalis infraorbitalis* beim Pferd ist unumstritten. Aus diesem Grunde sind in der Vergangenheit zahlreiche Studien zur Morphologie des *Canalis infraorbitalis*, seine Beziehungen zu benachbarten Strukturen, wie den Nasennebenhöhlen und den Oberkieferbackenzähnen, durchgeführt worden. Für entsprechende Untersuchungen wurden verschiedene bildgebende Verfahren eingesetzt - neben der Sinuskopie und dem Röntgen auch die CT und die MRT. Insbesondere die CT etablierte sich in den letzten zwei Jahrzehnten zu einem wertvollen Diagnostikum. Die Nützlichkeit der CT zur Beschreibung anatomischer Gegebenheiten im Pferdeschädel wurde in der vorliegenden Arbeit einmal mehr bestätigt - selbst kleinere nervale Strukturen konnten, zum Teil nach vorheriger Sichtbarmachung durch spezielle Software-Werkzeuge, sicher identifiziert und beschrieben werden. Der enorme Wissenszuwachs der letzten Jahre hilft, mit dem *Canalis infraorbitalis* assoziierte Pathologien besser verstehen und behandeln zu können. Dennoch sind einige wichtige Detailinformationen zur Morphologie des *Canalis infraorbitalis* offen - beispielsweise über das Vorhandensein verschiedener dorso-ventraler Längsverläufe des Kanals. Die vorliegende Arbeit liefert dazu Ergebnisse und bestätigen eine größere morphologische Variabilität (auch im Vergleich zweier Schädelhälften eines Individuums), als bisher angenommen.

In Bezug auf die Frage, bis zu welchem Alter ein direkter Kontakt zwischen einer Alveole eines Oberkieferbackenzahns und dem *Canalis infraorbitalis* beim Pferd bestehen kann, liefert die vorliegende Arbeit neue Erkenntnisse.

Es konnten Angaben über den Querschnitt des *Canalis infraorbitalis* auf jeder Zahnposition der untersuchten Pferde gemacht werden.

Die knöcherne Lamelle, die den *Canalis infraorbitalis* bei erwachsenen Pferden trägt, ist bislang nicht offiziell in der NAV (2017) benannt worden; daher wird sie in der vorliegenden Arbeit als „*Ponticulus canalis infraorbitalis*“ (PCI) bezeichnet. Der PCI trennte die entsprechenden NNH-Kompartimente jederzeit vollständig voneinander und zeigte dabei eine große Seitenvariabilität bei erwachsenen Pferden (AG 2).

Zusätzliche Vergleichsdaten liefert die vorliegende Arbeit in Bezug auf die Position des *Foramen infraorbitale* in Relation zu den Oberkieferbackenzähnen, die denjenigen anderer Autoren teilweise widersprechen: Das *Foramen infraorbitale* war bei allen Untersuchungen

entweder mit Triadan 07 und/oder 08 assoziiert und bei erwachsenen Pferden (AG 2) generell weiter kaudal gelegen als bei Jungpferden (AG 1).

Zum *Canalis mandibulae* und dem zugehörigen Nerven *Nervus alveolaris inferior*, gibt es in der Literatur weit weniger Studien als zum *Canalis infraorbitalis*. Dabei ist auch dieser Nerv von klinischer Bedeutung. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zeigen eine deutlichere anatomische Variabilität des Längsverlaufs des *Nervus alveolaris inferior* in Relation zu den Unterkieferbackenzahnwurzeln, als bisher in der Literatur beschrieben. Insgesamt 10 verschiedene Verlaufsvarianten des *Nervus alveolaris inferior* konnten beschrieben werden. Auch konnten in 15% der Untersuchungen asymmetrische Längsverläufe des *Nervus alveolaris inferior* im Seitenvergleich eines Individuums festgestellt werden.

Generell war der *Nervus alveolaris inferior* bei Jungpferden (AG 1) mittels CT einfacher zu identifizieren als bei erwachsenen Pferden (AG 2). Zusätzlich nahm die Sichtbarkeit des *Nervus alveolaris inferior* generell im kaudalen Verlaufsabschnitt ab, da in diesem Bereich seltener eine knöchernen Lamelle im Unterkiefer des untersuchten Pferdes im CT darstellbar war. Deshalb wurden in der vorliegenden Arbeit zudem HU-Messwerte für den *Nervus alveolaris inferior* erhoben, die als Vergleichsdaten herangezogen werden können, um den *Nervus alveolaris inferior* in Fällen schwieriger Sichtbarkeit im CT von anderen Gewebearten sicher unterscheiden zu können.

10 Summary

The clinical relevance of the infraorbital canal is undisputed. For this reason, numerous studies have been carried out in the past regarding the distinct morphology of the infraorbital canal and its surrounding structures such as the paranasal sinuses and the maxillary cheek teeth. Various diagnostic imaging techniques were used in these studies including x-ray, sinuscopy, CT and MRI. Especially the CT-technique has become an important diagnostic tool over the last two decades. In the study at hand the usefulness of the CT for the description of anatomical conditions within the equine skull has been confirmed - even small neural structures could be identified and described using special tools of the CT-software. The significant increase in knowledge over the last years helps to understand and to improve the treatment of pathological conditions associated with the infraorbital canal. Yet there is a lack of detail information regarding the longitudinal morphology of the infraorbital canal especially its dorsoventral course. The study at hand produces results to that specific topic and confirms a greater morphological variability (even comparing the two sides of one equine skull) to what has been presumed in literature up to this point.

Relating the question to which age horses show direct contact between the alveoli of the maxillary cheek teeth and the infraorbital canal the study at hand delivers comparison data as well as new findings. This new data includes the documentation of the diameter of cross sections of the infraorbital canal in relation to every single position of the maxillary cheek tooth.

The bony lamella which carries the infraorbital canal in adult horses has not been officially named in the NAV (2017); therefore, in the study at hand the nomenclatory suggestion of "*Ponticulus canalis infraorbitalis*" (PCI) was made. The PCI was described to be physiologically consistent and for this reason the distinct paranasal sinuses were permanently separated from each other. Furthermore, the PCI displayed a great variability especially in adult horses (age group 2) and comparing two sides of the individual equine skull.

The data collected from this study partly contradicts other authors' findings for in all investigations the infraorbital foramen could only be found at the level of Triadan 07 and 08 and was generally located more caudally in adult horses (age group 2) compared to juvenile horses (age group 1).

Compared to the infraorbital canal there are much fewer studies dealing with the description of the *Canalis mandibulae* and the alveolar inferior nerve, respectively. Yet this nerve is not of

little clinical importance. The findings of the study at hand suggest a much greater anatomical variability of the longitudinal course of the nerve in relation to the mandibular cheek teeth roots than anticipated in literature. Collectively 10 different courses of the alveolar inferior nerve could be described. Furthermore 15% of all investigations performed showed asymmetrical longitudinal courses of the nerve comparing two sides of an individual equine skull.

Generally, the alveolar inferior nerve was easier to be identified in juvenile horses (age group 1) compared to adult horses (age group 2). Furthermore, the visibility of the nerve was decreased in the caudal aspect of its course for in this area a distinct bony lamella within the mandible was less frequently detectable using CT. For this reason, HU-values for the alveolar inferior nerve were determined in this study which can be used as comparison data to identify the nerve by discriminating it from other tissues in cases of difficult visibility in the CT.

11 Anhang

Tabelle 5 - 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

Tabelle 6 - Abstandsmessungen CI - Backenzähne

Anzahl	Alter der Pferde	Triadan										*112	
		107	108	109	110	111	207	208	209	210	211		
1	2	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
2	2	X	X	X	X	-	X	X	X	X	X	-	
3	2	-	X	X	X	X	-	X	11	X	X	X	
4	3	-	X	X	X	X	-	X	X	X	X	X	
5	3	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
6	3	-	X	13	X	X	-	X	13	X	X	X	
7	4	-	X	15	X	X	-	X	12	X	X	X	
8	4	-	X	15	X	X	-	X	12	X	X	X	
9	5	-	16	26	X	X	-	20	28	13	X	X	
10	5	-	8	6	X	X	-	9	7	X	X	X	
11	6	-	14	18	X	X	-	13	20	X	X	X	
12	7	-	15	23	14	15	-	13	27	12	12		
13	7	-	18	27	17	14	-	21	26	15	14		
14	7	-	20	37	28	17	-	22	29	26	16		
15	8	-	15	23	X	X	-	13	20	X	X		
16	8	-	21	37	23	21	-	25	42	27	24		
17	8	-	15	19	13	11	-	13	20	14	10		
18	9	-	20	34	25	18	-	18	27	20	19		
19	9	-	-	32	20	10	-	-	36	16	13		
20	9	-	27	22	9	13	-	23	19	6	9		
21	11	-	17	27	X	X	-	20	30	X	X		
22	12	-	18	30	23	12	-	22	30	19	10		X
23	12	-	19	22	14	16	-	19	18	13	15		
24	12	~	~	~	~	~	-	19	26	14	14		
25	12	~	~	~	~	~	-	19	~	X	18		
26	13	44	33	50	30	22	51	37	49	27	27		
27	13	-	42	44	36	35	-	33	42	40	39		
28	13	-	21	-	20	23	-	21	34	23	25		
29	14	-	19	33	20	14	-	17	-	22	18		
30	15	-	24	46	44	47	-	~	~	34	39		
31	15	-	19	32	23	24	-	30	31	17	20		
32	16	-	30	29	19	22	-	34	29	18	24		
33	16	-	28	37	19	22	-	23	25	18	22		
34	17	-	40	49	51	50	-	38	42	45	39		
35	17	-	25	38	24	17	-	22	38	27	21		
36	18	~	~	~	~	~	-	32	43	35	31		
37	18	-	40	52	41	28	-	41	55	42	32		
38	19	-	28	43	32	27	-	32	49	32	27		
39	20	-	-	53	41	41	-	-	50	36	33		
40	20	-	35	47	33	26	-	43	48	33	24		
41	22	-	-	55	43	40	-	-	49	44	39		
42	24	-	46	55	54	53	-	49	60	55	55		
43	24	-	48	50	43	50	-	42	50	43	46		
44	25	-	-	61	57	61	-	-	57	55	59		
45	25	-	-	38	31	32	-	-	34	29	29		
46	26	-	41	52	42	~	-	41	50	43	44		
47	28	-	51	63	56	54	-	55	64	57	50		

Legende: X = Kanal in direktem Kontakt; ~ = keine Messung aufgrund von Pathologien; - = kein Kontakt und keine Messung (Kanal oder Zahn nicht vorhanden); *112 = überzähliger Molar; alle Werte in Millimetern

Tabelle 7 - Morphologische Ausprägung des PCI

Anzahl	Alter der Pferde	PCI durchgängig	PCI ausgebildet		Trennung der Kompartimente durch		
			vollständig	partiell	PCI	PCI + <i>proc.alveolaris</i>	<i>proc.alveolaris</i>
1	2	-	nein				X
2	2	-	nein				X
3	2	-	nein				X
4	3	-	nein				X
5	3	ja		X		X	
6	3	ja		X		X	
7	4	ja		X		X	
8	4	ja		X		X	
9	5	ja		X		X	
10	5	ja		X		X	
11	6	ja		X		X	
12	7	ja	X		X		
13	7	ja	X		X		
14	7	ja	X		X		
15	8	ja		X		X	
16	8	ja	X		X		
17	8	ja		X		X	
18	9	ja	X		X		
19	9	ja	X		X		
20	9	ja	X		X		
21	11	ja	X		X		
22	12	ja	X		X		
23	12	ja	X		X		
24	12	ja	X		X		
25	12	ja		X		X	
26	13	ja	X		X		
27	13	ja	X		X		
28	13	ja	X		X		
29	14	ja	X		X		
30	15	ja	X		X		
31	15	ja	X		X		
32	16	ja	X		X		
33	16	ja		X		X	
34	17	ja	X		X		
35	17	ja	X		X		
36	18	ja	X		X		
37	18	ja	X		X		
38	19	ja	X		X		
39	20	ja	X		X		
40	20	ja	X		X		
41	22	ja	X		X		
42	24	ja	X		X		
43	24	ja	X		X		
44	25	ja	X		X		
45	25	ja	X		X		
46	26	ja	X		X		
47	28	ja	X		X		

Tabelle 8 - Morphologischer Vergleich des Längsverlauf des CI vom FM zum FI

Anzahl	Alter der Pferde	geradliniger Verlauf		zum FI hin nach ventral abknickend		bogenförmig		seitenvariabel
		Links	Rechts	Links	Rechts	Links	Rechts	
1	2					X	X	
2	2					X	X	
3	3	X	X					
4	3	X	X					
5	3	X	X					
6	4	X	X					
7	4			X	X			
8	5			X	X			
9	5			X	X			
10	6	X	X					
11	7	X	X					
12	7	X			X			ja
13	7					X	X	
14	8	X	X					
15	8	X	X					
16	8			X	X			
17	9	X					X	ja
18	9		X	X				ja
19	9					X	X	
20	11			X	X			
21	12	X	X					
22	12	X			X			ja
23	12	X	X					
24	12			X	X			
25	13	X	X					
26	13			X	X			
27	13			X	X			
28	14			X	X			
29	15			X	X			
30	15					*	X	
31	16			X	X			
32	16			X	X			
33	17		X	X				ja
34	17					X	X	
35	18					X	*	
36	18					X	X	
37	19	X	X					
38	20		X	X				ja
39	20					X	X	
40	22			X	X			
41	24	X	X					
42	24		X	X				ja
43	25	X	X					
44	25					X	X	
45	26	X	X					
46	28					X	X	

Legende: * = nicht auswertbar aufgrund von Pathologien

Tabelle 9 - Morphologischer Vergleich des Querschnitts des CI auf Höhe jedes Backenzahns

Anzahl	Alter der Pferde	Triadan							
		108	109	110	111	208	209	210	211
1	2	9,9x6,6	9,6x4,8	12,6x4,3	16x5	9,8x6,9	11,5x4,8	13,3x4,2	13,7x5
2	2	10,8x8,1	9,5x6,7	15,8x3,7	16,2x4,7	9x6	8,2x5,8	14,3x3,3	15,1x5,2
3	2	9,9x6,4	10,7x6,8	12,3x5,1	13,5x5,5	9,2x5,7	9,5x6,2	10,3x6	17,7x4,2
4	3	10x8,1	9,7x8,9	11,8x5,6	13,3x5,9	10x9	9,2x8,8	11,4x6	12,3x5,1
5	3	8x5,1	10,4x8,1	10,7x5,6	13,7x5,2	9,3x7,4	10,6x8,5	10,8x5,9	15,1x5,2
6	3	9,3x6,7	9,3x7,1	12x7,3	12,5x4,6	9,4x7,7	8,1x7,8	9,7x10,2	11,7x5,4
7	4	10,5x6,7	8,8x7,1	10,6x5,6	11,8x4,1	12,2x6,6	8,4x7,5	9x6,9	13,8x4,4
8	4	7,2x6,7	9,7x5,7	9,8x5	11,3x4,6	7,3x7	10,7x6,1	10,8x4,5	9,9x5,8
9	5	7,1x8,8	5,1x9,1	5,1x9,2	12,7x6	8,7x6,7	7,1x7,8	7,7x6,7	12,8x5,9
10	5	9,3x7	12,5x6,1	11,8x5,5	10,5x5,6	9,4x7,9	10,3x6,2	10,4x4,8	11,3x5,7
11	6	7,7x5,8	8,7x6,2	8,2x6,6	8,1x6	9,5x7,3	9,1x6,1	7,5x7	7,6x6,3
12	7	7,9x6,9	7,5x7,4	8,8x6,9	8,9x6,8	8,4x8,2	8x6,8	9,6x6,5	8,9x6,8
13	7	8,5x7,1	8,6x7,4	9x6,7	8,9x7	9,1x6,4	6,1x7,4	7x7,1	9,1x6,1
14	7	8,7x8,3	9,7x6,8	10x6,1	10,3x5,8	9,3x7,6	9,7x4,7	8,5x7	9,8x6
15	8	8,9x8,9	9,9x6	9x6,7	8,7x7	8,8x8,6	8x6,9	8,7x6,8	9,3x6,6
16	8	9,8x7	7,9x7,5	8,5x7,1	10,2x5,2	9,2x7,6	9,1x8,2	9,7x7,2	8,4x7,3
17	8	9,6x8,2	9,5x6,8	10,3x6,6	9x8,3	9,8x8,6	8,7x7,1	9,8x6,9	8,3x8,1
18	9	12,3x6,1	8,6x5,7	10,5x5,8	9,8x5,2	10,2x7,4	7,2x6,4	9x6,2	9,4x4,7
19	9	9,6x8,4	9x6,2	8,3x6,7	10,5x6,5	8,8x8,3	8,7x8,2	10,8x5,7	13x5
20	9	-	9x6,4	7x6,1	7,8x5,8	-	7,9x6,9	6,8x6,3	8,4x6
21	11	10,1x8	8,8x6,3	8x7,3	7,9x6,7	9x8,3	8,5x6,8	8,1x7,8	8,6x8,5
22	12	11x6,6	8,2x7	10,1x6,5	9,7x5,9	9,3x7,7	8,9x6,3	10x5,2	11,4x5,3
23	12	10,7x9	10,9x6,8	9x6,6	5,6x8,5	10,7x9,5	10,9x7,1	8,8x6,5	9,7x6,7
24	12	8,3x5,9	-	-	-	7,2x6,3	8,2x5,6	8,6x5,8	8,2x6
25	12	10,5x9,1	10x5,9	11x7,6	12x7,8	8,4x8,1	9,2x6,4	9,3x7,3	9,6x6
26	13	13x7,5	7,8x7,3	11x5,4	9,2x5,7	12,3x7,9	10,6x6,1	9,4x4,4	8,3x6,5
27	13	-	9,9x7,7	10,8x5,9	10,6x5,9	-	8,7x6,8	9x5,9	9,8x6,6
28	13	8,9x8,8	8,7x7,8	10,6x6,6	9,5x7,7	10x9,2	7,9x7,5	11,1x6,8	11,4x7,3
29	14	6,9x6,9	9,7x6	9,1x5,6	9,5x5,3	7,4x9	8x6,1	7,6x6,2	8,3x6,8
30	15	-	9,5x5,3	8,2x5	9,2x5,8	-	10x7,3	7,7x6,8	8x6,2
31	15	10,2x9,3	9,5x6,7	9,5x5,8	10,2x6	10,3x7,9	9,7x5,4	8x6,3	6,2x9,1
32	16	10x8,5	9,9x7,4	11,1x7,6	12,1x6,9	10,6x9,4	10,9x6,3	10,1x6,3	9,5x8
33	16	10,9x8,4	8,9x6,5	9,7x6,2	9,4x6,3	8,3x8,6	9,7x5,6	7,2x7	8,2x6,5
34	17	8,3x7,9	7,9x6,7	8,6x7,6	9,4x5,9	9x6,8	8,3x7,7	9,4x5,7	9,7x6,6
35	17	8,1x8	7,8x7	8,1x7,8	8,8x6,2	-	-	-	-
36	18	-	-	-	-	9,9x7,7	7x7,2	8,5x5,8	9,1x7
37	18	9,3x8,8	9,5x5,6	10,6x6,2	10,9x6,2	10,3x7	9,4x5,7	10,2x5,8	9,5x5,9
38	19	10,2x7,2	9,5x6,8	7,9x7,1	7,6x5	9,9x6,8	10,1x5,7	7x6	7,4x5,5
39	20	-	10,2x6,7	7,9x7,8	9,3x7,3	-	11x7,9	8,9x8,9	10,4x7,3
40	20	12x7,9	10,2x7,5	10,1x6,5	11,1x5,9	11,5x8,2	10,2x7,4	8,8x6,9	8,9x8,8
41	22	8,9x7,9	9x7,6	10,9x5,3	9,7x6,5	8,4x8,9	9,5x8,3	9,8x6,8	9x6,5
42	24	-	10,3x6,6	8,5x7,3	8,4x6,5	-	11x7,3	9,7x6,3	8,8x6
43	24	-	10,8x9,5	12,6x7,3	9,2x5,7	-	11,3x6,8	11,2x6,1	7,1x6,2
44	25	-	6,5x7,1	8x7	9,1x5,2	-	7x5,8	7,8x6,4	8,5x6

Anhang

45	25	-	8,5x7,7	8,6x7,5	9x6	-	8,6x7,4	8,3x6,2	8,2x5,5
46	26	-	8,6x7,1	8,5x7,7	9,8x6,8	-	10,8x7,3	10,2x6,4	9,3x6,4
47	28	9,8x9,5	9,5x7	8,2x6,8	7,5x7	8,3x10,9	8,5x6,9	8x7,2	8,5x6,1

Legende: rote Zahlen = rundlich/rundlich-polymorph; grüne Zahlen = oval/oval-polymorph; blaue Zahlen = bohnenförmig; „-“ = nicht auswertbar, bzw. nicht mehr als freier Kanal darstellbar; Messungen sind in Millimeter und in Höhe x Breite zu interpretieren

Tabelle 10 - Anatomische Position des FI in Relation zu den Backenzähnen

Anzahl	Alter der Pferde	kaudal 108er	ventral 108er	rostral 108er	IDR 107/108	kaudal 107er	ventral 107er	kaudal 208er	ventral 208er	rostral 208er	IDR 207/208	kaudal 207er	ventral 207er
1	2						X						X
2	2				X						X		
3	2					X						X	
4	3				X						X		
5	3				X						X		
6	3						X						X
7	4				X						X		
8	4						X						X
9	5					X						X	
10	5				X						X		
11	6					X						X	
12	7				X						X		
13	7			X						X			
14	7				X						X		
15	8					X						X	
16	8					X						X	
17	8					X						X	
18	9				X						X		
19	9				X						X		
20	9		X						X				
21	11				X						X		
22	12				X						X		
23	12				X						X		
24	12			X						X			
25	12					X					X		
26	13				X						X		
27	13			X						X			
28	13				X						X		
29	14				X						X		
30	15		X						X				
31	15				X						X		
32	16				X						X		
33	16				X						X		
34	17					X						X	
35	17				X						X		
36	18										X		

Anhang

37	18		X							X				
38	19					X							X	
39	20		X							X				
40	20					X							X	
41	22				X						X			
42	24		X						X					
43	24				X						X			
44	25				X						X			
45	25					X							X	
46	26					X							X	
47	28		X							X				

Legende: IDR = Interdentalraum

Tabelle 11 - Position des Austritts sowie Anzahl der RASMR

Anzahl	Alter der Pferde	211	IDR 211/210	210	IDR 210/209	209	IDR 209/208	208	111	IDR 111/110	110	IDR 110/109	109	IDR 109/108	108
1	2	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
2	2	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
3	2	1		1		1		1	1		1		1		1
4	3	1							1		1		1		1
5	3			1	1				1		1		1		
6	3		1			1		1				1			1
7	4	1				1	1		1	1		1		1	
8	4				1	1				1		1		1	
9	5		1			2		1			1	1	2		1
10	5	1			1	1			1		1		1	1	
11	6	1	1	1		1				1	1		1		
12	7			1	1						1	1	1	1	
13	7	1		1		1			1	1		1	1		
14	7	1		1		1	1		1	1		1			
15	8	1		1			1		1				1	1	
16	8		1	1		1			1		1		1		
17	8	2		1	1	1	1		2		1	1	1	1	
18	9	1		1		1	1		1		1			1	
19	9	1							1		1		1		
20	9	2	1	1		1			1		1	1			
21	11	1	1	1	1				2		1	1			
22	12			1		1		1			2		1		1
23	12	1		1		1	1		1		1		1		1
24	12		1		1		1		2		1		1		
25	12	1		1	1				2		1	1	1		
26	13	1		1					1					1	
27	13	2	1			1	1		2			1			
28	13	1		1		1		1	2		1				1
29	14	2	1		1				1		1				
30	15	X	X	X	X	X	X	X	1		1				

Anhang

31	15	1	1		1			1		1			1	
32	16	1	1	1			1		1		1		1	
33	16	1		1	1	1			1		1		1	1
34	17		1		1	1			1		1		1	
35	17	X	X	X	X	X	X	X	2		1			1
36	18	1	1	1					X	X	X	X	X	X
37	18			1		1		1			1		1	1
38	19	1		1			1		1		1	1		1
39	20	1	1		1				1	1		1		
40	20	X	X	X	X	X	X	X		2			1	
41	22		1	1			1		1	1			1	
42	24		1		1				1			1		
43	24	2				1			1		1		1	1
44	25		1			1	1		1		1		1	
45	25	1	1			1	1			1		1		
46	26	2			1	1					1		1	
47	28	1	1			1			1		1		1	

Legende: IDR = Interdentalraum; X = nicht zu identifizieren

Tabelle 12 - Darstellbarkeit des CAI im CT

Anzahl	Alter der Pferde	Triadan											
		306	307	308	309	310	311	406	407	408	409	410	411
1	2	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
2	2	X	X	~	X	X	X	X	X	~	X	X	X
3	2	X	X	X	~	X	X	X	X	X	~	X	X
4	3	X	X	~	~	~	X	X	X	X	~	X	X
5	3	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
6	3	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
7	4	X	X	X	~	~	~	X	X	X	~	~	~
8	4	X	X	X	~	~	X	X	X	X	~	~	X
9	5	X	X	X	~	~	X	X	X	X	~	~	X
10	6	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
11	7	X	X	X	~	~	~	X	X	X	~	~	~
12	7	X	~	X	X	X	X	X	~	X	X	X	X
13	7	X	X	X	~	X	X	X	X	X	X	X	X
14	8	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
15	8	X	X	X	~	~	X	X	X	X	~	~	X
16	8	X	X	X	~	~	~	X	X	X	~	~	~
17	9	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
18	9	X	X	X	~	X	X	X	X	X	~	X	X
19	9	X	~	~	~	X	X	X	~	~	~	X	X
20	11	X	X	X	~	~	~	X	X	X	~	~	~
21	12	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
22	12	X	X	X	~	~	X	X	X	X	~	~	X

Anhang

23	12	X	~	~	~	X	X	X	X	~	~	~	X
24	12	X	X	X	~	~	~	X	X	X	~	~	~
25	13	X	X	X	~	~	X	X	X	X	~	~	X
26	13	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
27	13	X	X	X	~	~	~	X	X	X	~	~	~
28	14	X	X	X	~	~	~	X	X	X	~	~	~
29	15	X	X	X	~	~	X	X	X	X	~	~	X
30	15	X	X	~	~	X	X	X	X	~	~	X	X
31	16	X	X	~	~	X	X	X	X	~	~	X	X
32	16	X	X	X	X	~	~	X	X	X	X	~	~
33	17	~	X	X	~	X	X	~	X	X	~	X	X
34	17	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
35	18	X	X	~	~	~	X	X	X	~	~	~	X
36	18	X	X	X	~	~	X	X	X	X	~	~	X
37	19	X	X	X	~	~	~	X	X	X	~	~	~
38	20	X	X	X	~	~	X	X	X	X	~	X	X
39	20	X	X	X	~	~	~	X	X	X	~	X	X
40	22	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
41	24	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
42	24	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
43	25	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
44	25	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
45	26	X	X	~	X	X	X	X	X	X	~	X	X
46	28	~	~	~	~	X	X	~	~	~	~	X	X

Legende: X = gute Darstellbarkeit des Nerven/Kanals, ~ = schwierige Darstellbarkeit des Nerven/Kanals, rot = keine sichtbare

Knochenlamelle (Kategorie 1), grün = sichtbar <1mm Durchmesser/knöcherne Lamelle nur partiell darstellbar (Kategorie 2), blau = sichtbar >1mm Durchmesser und durchgängig darstellbar (Kategorie 3)

12 Danksagung

An erster Stelle möchte ich mich bei meinem Doktorvater, Herrn Prof. Dr. Carsten Staszyc für die langjährige Unterstützung bei der Umsetzung dieser Arbeit und die nie endende Geduld mit seinem „Externen“ bedanken.

Danke an Herrn Dr. Klaus Failing sowie seinem Team für die Hilfe und Unterstützung bei statischen Fragestellungen.

Auch Frau PD Dr. habil. Astrid Bienert-Zeit und Dr. Markus Brinkschulte ein herzliches Dankeschön für die Bereitstellung von CT-Datenstapeln.

Allen 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. gebührt mein aufrichtiger Dank für die Anfertigung eigener CT-Daten und die Unterstützung während des Studiums.

Zu guter Letzt möchte ich mich bei meiner Frau Franziska bedanken. Auf deine liebevolle Unterstützung und Geduld, sowie die nötigen „Schubser“ konnte ich immer vertrauen und dieses Projekt realisieren. Danke!

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 2023

Johannes Braune

14 Literaturverzeichnis

- Ahern BJ, Parente EJ (2009):** Surgical complications of the equine upper respiratory tract. *Veterinary Clinics: Equine Practice* 24: 465-484.
- Arencibia A, Vazquez JM, Rivero M, Latorre R, Sandoval JA, Vilar JM, Ramirez JA (2000):** Computed Tomography of Normal Cranioencephalic Structures in Two Horses. *Anatom Histol Embryol* 29: 295–299.
- 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 S (2014):** Radiology of equine cheek teeth and sinus disorders. In *Practice* 36: 466–472.
- Barakzai SZ (2011):** Dental Imaging. In: Easley J, Dixon PM, Schumacher J (Hrsg.), *Equine dentistry // Equine Dentistry*. Saunders; Elsevier 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.
- Barbee DD, Allen JR, Gavin PR (1987):** Computed tomography in horses. *Veterinary Radiology* 28: 144–151.
- 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.
- Berg R, Budras K-D (2014):** N. trigeminus (V3 und V2), Kaumuskeln, Speicheldrüsen und Lymphsystem. 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, 178–179.
- Berning JA, Snyder CJ, Hetzel S, Sarment DP (2020):** Analysis of the Anatomic Relationship Between the Mandibular First Molar Roots and Mandibular Canal Using Cone-Beam Computed-Tomography in 101 Dogs. *Frontiers in veterinary science* 6.
- Blanco D, Rivero MA, Vázquez JM, Arcencibia 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.

- 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.
- Brehm R (2019):** Entwicklung der Atmungsorgane. In: Schnorr B (Hrsg.), *Embryologie der Haustiere*. Georg Thieme Verlag 7., völlig überarbeitete Auflage, Stuttgart, New York, 229–236.
- Brinkschulte M (2014):** Morphologische Untersuchung der Apertura nasomaxillaris des Pferdes sowie deren Verzweigung in die Nasennebenhöhlen unter Anwendung dreidimensionaler Rekonstruktion computertomographischer Schnittbildserien. 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.
- Budras K-D, Mülling C, Pfarrer C, Reese S, Kölle S (Hrsg.) (2014):** Atlas der Anatomie des Pferdes. Schlütersche Verlagsgesellschaft, Hannover.
- 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.
- Caldwell FJ, Easley KJ (2012):** Self-inflicted lingual trauma secondary to inferior alveolar nerve block in 3 horses. *Equine Vet Educ* 24: 119–123.

- Campoy L, Sedgwick SR (2020):** Standing Sedation and Ilocoregional Analgesia in Equine Dental Surgery. *Veterinary Clinics of North America: Equine Practice* 36: 477–499.
- Casey M (2013):** A new understanding of oral and dental pathology of the equine cheek teeth. *Veterinary Clinics of North America: Equine Practice* 29: 301-324.
- 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, Mogenicato G (2012):** Magnetic resonance imaging of normal nasal cavity and paranasal sinuses in cats. *Anatom Histol Embryol* 41: 60–67.
- Dacre IT, Kempson S, Dixon PM (2008):** Pathological studies of cheek teeth apical infections in the horse: 1. Normal endodontic anatomy and dentinal structure of equine cheek teeth. *The Veterinary Journal* 178: 311–320.
- 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.
- Davis LV, Hoyer NK, Boscan P, Rao S, Rawlinson JE (2021):** Computed Tomography Analysis of the Feline Infraorbital Foramen and Canal. *Frontiers in veterinary science* 7: 619248.
- 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, 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 // Equine Dentistry. Saunders; Elsevier 3rd ed., Edinburgh, New York, 51–96.
- Dixon PM, Du Toit N, Dacre I (2011):** Equine Dental Pathology. In: Easley J, Dixon PM, Schumacher J (Hrsg.), Equine dentistry // Equine Dentistry. Saunders; Elsevier 3rd ed., Edinburgh, New York, 129–147.
- Dixon PM, Du Toit N, Staszuk C (2013):** A fresh look at the anatomy and physiology of equine mastication. The Veterinary clinics of North America. Equine practice 29: 257-72, v.
- 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, Hawkes C, Townsend N (2008):** Complications of equine oral surgery. Veterinary Clinics: Equine Practice 24: 499-514, vii.
- 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 WJ (1992):** BMDP statistical software manual. To accompany the 7.0 software release. University of California Press, Berkeley.
- Doherty T, Schumacher J (2011):** Dental restraint and anesthesia. In: Easley J, Dixon PM, Schumacher J (Hrsg.), Equine dentistry // Equine Dentistry. Saunders; Elsevier 3rd ed., Edinburgh, New York, 241–244.
- 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 (2002a):** 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.
- Dyce KM, Sack WO, Wensing CJG, Molenaar GJ (2002b):** The Nervous System. In: Dyce KM, Sack WO, Wensing CJG (Hrsg.), Textbook of veterinary anatomy. Saunders 3rd ed., Philadelphia,Pa., 259–322.
- Earley ET, Galloway SS (2020):** Equine Standing Surgical Extraction Techniques. Veterinary Clinics of North America: Equine Practice 36: 575–612.
- 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: 467-85, vii.
- Epperly E, Whitty JA (2020):** Equine Imaging: Computed Tomography Interpretation. Veterinary Clinics: Equine Practice 36: 527–543.
- 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.
- 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.
- Fletcher BW (2004):** How to Perform Effective Equine Dental Nerve Blocks. <https://www.ivis.org/library/aaep/aaep-annual-convention-denver-2004/how-to-perform-effective-equine-dental-nerve-blocks> (29.06.2021).
- 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.
- Galloway SS, Earley ET (2020):** Minimizing Equine Tooth Extraction Complications. Veterinary Clinics of North America: Equine Practice 36: 641–658.
- Gilsenan WF, Getman LM, Parente EJ, Johnson AL (2014):** Headshaking in 5 horses after paranasal sinus surgery. Veterinary surgery 43: 678–684.

- 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.
- Hagag U, Tawfik MG (2018):** Ultrasonography, computed tomography and magnetic resonance imaging of the bovine metacarpo/metatarsophalangeal joint. *Veterinary journal* (London, England : 1997) 233: 66–75.
- Harding PG, Smith RL, Barakzai SZ (2012):** Comparison of two approaches to performing an inferior alveolar nerve block in the horse. *Australian veterinary journal* 90: 146–150.
- 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.
- Hebel M, Panek WK, Ruskowski JJ, Nabzdyk M, Niedzielski D, Pituch KC, Jackson AM, Kiełbowicz M, Pomorska-Mól M (2021):** Computed tomography findings in a cohort of 169 dogs with elbow dysplasia - a retrospective study. *BMC Vet Res* 17: 296.
- 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.
- Iacopetti I, Faughnan M, Bono S, Cozzi B, Facchini C (2015):** The Inferior Alveolar Nerve of the Horse: Course and Anatomical Relationship with Mandibular Cheek Teeth. *Anatomia, histologia, embryologia* 44: 333–337.
- 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.
- Khorshidi H, Raofi S, Ghapanchi J, Shahidi S, Paknahad M (2017):** Cone Beam Computed Tomographic Analysis of the Course and Position of Mandibular Canal. *Journal of maxillofacial and oral surgery* 16: 306–311.
- Kim ST, Hu K-S, Song W-C, Kang M-K, Park H-D, Kim H-J (2009):** Location of the mandibular canal and the topography of its neurovascular structures. *The Journal of craniofacial surgery* 20: 936–939.
- 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 (2014a):** 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, 168–171.
- Kölle S, Staszyc C (2014b):** 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.
- König HE, Mülling C, Seeger J, Liebich H-G (2019):** Nervensystem (Systema nervosum). Zentralnervensystem, ZNS (Systema nervosum centrale). In: König HE, Liebich H-G (Hrsg.), *Anatomie der Haustiere*. Georg Thieme Verlag 7. Auflage, Stuttgart, 513-545.

- 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.
- Kressin M (2019a):** Entwicklung der Verdauungsorgane. In: Schnorr B (Hrsg.), *Embryologie der Haustiere*. Georg Thieme Verlag 7., völlig überarbeitete Auflage, Stuttgart, New York, 206–228.
- Kressin M (2019b):** Entwicklung des Nervensystems. In: Schnorr B (Hrsg.), *Embryologie der Haustiere*. Georg Thieme Verlag 7., völlig überarbeitete Auflage, Stuttgart, New York, 181–192.
- 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.
- Liuti T, Smith S, Dixon PM (2018):** Radiographic, computed tomographic, gross pathological and histological findings with suspected apical infection in 32 equine maxillary cheek teeth (2012-2015). *Equine veterinary journal* 50: 41–47.
- Manso-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.
- 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.
- Nannarone S, Bini G, Vuerich M, Menchetti L, Arcelli R, Angeli G (2016):** Retrograde maxillary nerve perineural injection: A tomographic and anatomical evaluation of the infraorbital canal and evaluation of needle type and size in equine cadavers. *The Veterinary Journal* 217: 33–39.
- NAV (2017):** *Nomina Anatomica Veterinaria*. 6th Edition.

- Nickel R, Schummer A, Seiferle E (Hrsg.) (2004a):** Lehrbuch der Anatomie der Haustiere. Eingeweide. Parey, Berlin.
- Nickel R, Schummer A, Seiferle E (2004b):** 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 (2004c):** Knochenlehre, Osteologia. In: Nickel R, Schummer A, Seiferle E, Frewein J, Augsburg H, Wille K-H, Wilkens H (Hrsg.), Lehrbuch der Anatomie der Haustiere - Bewegungsapparat. Parey Verlag 8., unveränd. Aufl., Stuttgart, 15–214.
- Nickels FA, Williams J (2012):** Nasal Passages and Paranasal Sinuses. In: Auer JA, Stick JA (Hrsg.), Equine Surgery. Elsevier/Saunders; Elsevier 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; Elsevier 4th ed., St. Louis, Mo, 536–556.
- Perkins JD, Bennett C, Windley Z, Schumacher J (2009):** Comparison of sinoscopic techniques for examining the rostral maxillary and ventral conchal sinuses of horses. Veterinary surgery 38: 607–612.

- Philipp MJ (2007):** Computed Tomography of the Equine Upper Respiratory Tract. In: McGorum BC (Hrsg.), Equine respiratory medicine and surgery. Saunders Elsevier; 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.
- Puchalski SM (2012):** Advances in equine computed tomography and use of contrast media. The Veterinary clinics of North America. Equine practice 28: 563–581.
- Rawlinson JE (2012):** Addressing Pain: Regional Nerve Blocks.
- Roberts VLH, McKane SA, Williams A, Knottenbelt DC (2009):** Caudal compression of the infraorbital nerve: a novel surgical technique for treatment of idiopathic headshaking and assessment of its efficacy in 24 horses. Equine veterinary journal 41: 165–170.
- Robinson NE, Furlow PW (2007):** Anatomy of the Respiratory System. In: McGorum BC (Hrsg.), Equine respiratory medicine and surgery. Saunders Elsevier; Elsevier, Edinburgh, New York, 3–17.
- 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):** Nervensystem, Systema nervosum. In: Salomon F-V, Geyer H, Gille U (Hrsg.), Anatomie für die Tiermedizin. Enke Verlag 3. Aufl., Stuttgart, 487–599.
- Salomon F-V (2015c):** Verdauungsapparat, Apparatus digestorius. In: Salomon F-V, Geyer H, Gille U (Hrsg.), Anatomie für die Tiermedizin. Enke Verlag 3. Aufl., Stuttgart, 248–340.
- Salomon F-V (2015d):** Verdauungsapparat, Apparatus digestorius. In: Salomon F-V, Geyer H, Gille U (Hrsg.), Anatomie für die Tiermedizin. Enke Verlag 3. Aufl., Stuttgart, 248–340.
- 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.
- Selberg K, Easley JT (2013):** Advanced imaging in equine dental disease. *The Veterinary clinics of North America. Equine practice* 29: 397-409, vi.
- Simon T, Herold I, Schlemper H (2009a):** Backenzähne. In: Simon T, Herold I (Hrsg.), *Praxisleitfaden Zahn- und Kiefererkrankungen des Pferdes*. Thieme Verlag 1. Aufl., 74–107.
- Simon T, Herold I, Schlemper H (2009b):** Erkrankungen der Nasennebenhöhlen. In: Simon T, Herold I (Hrsg.), *Praxisleitfaden Zahn- und Kiefererkrankungen des Pferdes*. Thieme Verlag 1. Aufl., 129–137.
- Simon T, Herold I, Schlemper H (2009c):** Sedation und Analgesie. In: Simon T, Herold I (Hrsg.), *Praxisleitfaden Zahn- und Kiefererkrankungen des Pferdes*. Thieme Verlag 1. Aufl., 16–21.
- 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.
- Staszuk C (2011a):** Anatomie. In: Vogt C (Hrsg.), *Lehrbuch der Zahnheilkunde beim Pferd*. Schattauer 1. Auflage, Stuttgart, 1–29.
- Staszuk C (2011b):** Anatomie. In: Vogt C (Hrsg.), *Lehrbuch der Zahnheilkunde beim Pferd*. Schattauer 1. Auflage, Stuttgart, 1–29.
- Staszuk 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.
- Staszuk C, Bienert A, Bäumer W, Feige K, Gasse H (2008):** Simulation of local anaesthetic nerve block of the infraorbital nerve within the pterygopalatine fossa: anatomical landmarks defined by computed tomography. *Research in veterinary science* 85: 399–406.

- Stauffer S, Cordner B, Dixon J, Witte T (2017):** Maxillary nerve blocks in horses: an experimental comparison of surface landmark and ultrasound-guided techniques. *Veterinary anaesthesia and analgesia* 44: 951–958.
- Stewart HL, Siewerdsen JH, Nelson BB, Kawcak CE (2021):** Use of cone-beam computed tomography for advanced imaging of the equine patient. *Equine Vet J* 53: 872–885.
- Stieger-Vanegas SM, Hanna AL (2022):** The Role of Computed Tomography in Imaging Non-neurologic Disorders of the Head in Equine Patients. *Frontiers in veterinary science* 9: 798216.
- Stoll M (2011):** Sedierung und Anästhesie im Rahmen der Zahnbehandlung. Leitungsanästhesien. In: Vogt C (Hrsg.), *Lehrbuch der Zahnheilkunde beim Pferd*. Schattauer 1. Auflage, Stuttgart, 118–124.
- Strohmayr C, Klang A, Kneissl S (2020):** Computed Tomographic and Histopathological Characteristics of 13 Equine and 10 Feline Oral and Sinonasal Squamous Cell Carcinomas. *Frontiers in veterinary science* 7: 591437.
- Tanner RB, Hubbell JAE (2019):** A Retrospective Study of the Incidence and Management of Complications Associated With Regional Nerve Blocks in Equine Dental Patients. *Journal of Veterinary Dentistry* 36: 40–45.
- 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 9., unveränd. Aufl., Berlin, 19–102.
- Tremaine H (2007a):** Sinoscopy of the Paranasal Sinuses. In: McGorum BC (Hrsg.), *Equine respiratory medicine and surgery*. Saunders Elsevier; Elsevier, Edinburgh, New York, 255–261.
- Tremaine H (2019):** Local analgesia techniques for dental and head procedures in horses. In *Practice* 41: 165–176.
- Tremaine WH (2007b):** Local analgesic techniques for the equine head. *Equine Vet Educ* 19: 495–503.

- Tremaine WH, Dixon PM (2001):** A long-term study of 277 cases of equine sinonasal disease. Part 2: treatments and results of treatments. *Equine veterinary journal* 33: 283–289.
- 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.
- van Zadelhoff C, Liuti T, Dixon PM, Reardon RJM (2021):** Multidetector CT and cone-beam CT have substantial agreement in detecting dental and sinus abnormalities in equine cadaver heads. *Veterinary radiology & ultrasound : the official journal of the American College of Veterinary Radiology and the International Veterinary Radiology Association* 62: 413–420.
- 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 9., unveränd. Aufl., Berlin, 223–307.
- Waibl H, Wilkens H, Münster W (2005):** Arterien, Arteriae, Venen, Venae. In: Nickel R, Schummer A, Seiferle E, Habermehl K-H, Münster W (Hrsg.), *Lehrbuch der Anatomie der Haustiere - Kreislaufsystem, Haut und Hautorgane*. Parey 4., unveränd. Aufl., Stuttgart, 74–276.
- Weber S, Ohlerth S, Mosing M, Torgerson PR, Fürst A, Bischofberger AS (2020):** Ex vivo evaluation of the distribution of a mixture of mepivacaine 2% and iopromide following

local infiltration of the infraorbital nerve via the infraorbital foramen. *Equine Veterinary Education* 32: 65–70.

Wissdorf H, Bartmann CP, Staszyc C, Otto B, Gerhards H (2010a): Zähne und ihre 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.



edition scientifique
VVB LAUFERSWEILER VERLAG

VVB LAUFERSWEILER VERLAG
STAUFENBERGRING 15
D-35396 GIESSEN

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

ISBN: 978 3 8359 7162 2



Photo cover: © PIC by Femke @ stock.adobe.com