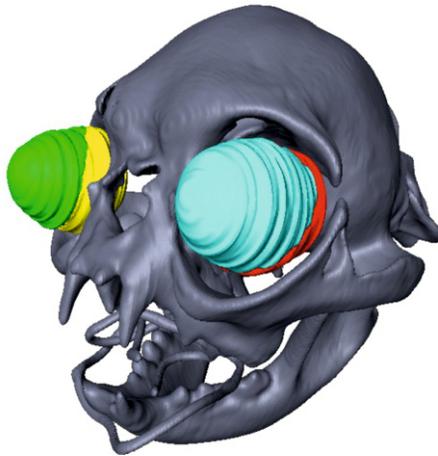


JANA SIESLACK

Untersuchung über die Auswirkungen des zunehmenden Grads der Brachyzephalie auf den Gesichtsschädel bei Perserkatzen



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 2019

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 2019

© 2019 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 Klinikum Veterinärmedizin
Klinik für Kleintiere – Neurochirurgie, Neuroradiologie
und klinische Neurologie
der Justus-Liebig-Universität Gießen

Betreuer: Prof. Dr. med. vet. Martin J. Schmidt

Untersuchung über die Auswirkungen des zunehmenden Grads der Brachyzephalie auf den Gesichtsschädel bei Perserkatzen

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung des Grades eines

Dr. med. vet.

beim Fachbereich Veterinärmedizin

der Justus-Liebig-Universität Gießen

ingereicht von

Jana Sieslack

Tierärztin aus Göttingen

Gießen 2019

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

Dekan:

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

Gutachter:

Prof. Dr. med. vet. Martin J. Schmidt

Prof. Dr. med. vet. Christiane Herden

Prof. Dr. med. vet. Monika Kressin

Tag der Disputation:

03.07.2019

Meiner Familie

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis	IV
Tabellenverzeichnis	VI
Abkürzungsverzeichnis	VII
1 Einleitung	1
2 Literaturübersicht	3
2.1 Anatomische Grundlagen	3
2.1.1 Der Katzenschädel.....	3
2.1.2 Das Neurokranium	4
2.1.3 Das Viszerokranium	4
2.1.4 Die Orbita	6
2.1.5 Tränenapparat.....	8
2.1.6 Zahnschema bei der Katze.....	9
2.1.7 Obere Atemwege.....	12
2.1.7.1 Äußere Nase (Nasus externus).....	12
2.1.7.2 Naseneingang (Apertura nasi).....	13
2.1.7.3 Nasenhöhle (Cavum nasi) und knöcherne Nasenkapsel.....	14
2.1.7.4 Nasengänge (Meatus nasales).....	17
2.1.7.5 Nasennebenhöhlen (Sinus paranasales)	17
2.1.7.6 Funktionen des Atmungsapparates.....	19
2.1.7.7 Mikroanatomie der oberen Atemwege.....	20
2.2 Erkrankungen des Auges im Rahmen des Brachycephalensyndroms	22
2.3 Fehlstellungen der Zähne bei brachycephaler Kopfform.....	25
2.4 Erkrankungen der Atemwege im Zusammenhang mit dem Brachycephalensyndrom.....	26
2.5 Die Perserkatze - Herkunft und Züchtung	29
2.6 Schädelformen und Kraniometrie.....	31

2.6.1	Schädelformen bei Katzen.....	31
2.6.2	Brachycephalie.....	32
2.6.3	Kraniometrie.....	33
2.7	Aktualität der Qualzuchtungen und Tierschutzrelevanz.....	38
2.8	Ziel der Studie.....	39
3	Material und Methoden	41
3.1	Studien- und Referenzgruppe.....	41
3.2	Methodik.....	41
3.2.1	Computertomographische Untersuchung.....	41
3.2.2	3D-Rekonstruktionen.....	42
3.2.3	Messung der Parameter.....	45
3.2.3.1	Kraniometrische Messungen	45
3.2.3.2	Extraorbital liegender Anteil des Auges.....	48
3.2.3.3	Winkel zwischen den Canini des Oberkiefers und dem Palatum durum	50
3.2.3.4	Zahnfehlstellungen Oberkiefer und Unterkiefer.....	51
3.2.3.5	Relative Höhe der Apertura nasi ossea	53
3.2.3.6	Relativer luftführender Weg an definierten Querschnitten der oberen Atemwege	54
3.2.4	Statistische Auswertung.....	60
4	Ergebnisse.....	61
4.1	Patientenkollektiv	61
4.1.1	Körpermasse	61
4.1.2	Alter.....	61
4.1.3	Geschlecht.....	61
4.2	Phänotyp der Katzen im Rassenvergleich	61
4.3	Kraniometrische Indizes nach Stockard et al. (1941) und Evans und De Lahunta (2013)	64
4.3.1	Fazialer Index.....	64
4.3.2	Kranialer Index.....	64
4.3.3	Schädelindex.....	64

4.4	Kraniofazialer Winkel nach Regodon et al. (1993) und Montavon (2000)	65
4.5	Extraorbitaler Anteil der Bulbi oculi	66
4.6	Winkel zwischen den Canini des Oberkiefers und dem harten Gaumen.....	70
4.7	Zahnfehlstellungen im Ober- und Unterkiefer.....	71
4.8	Biegung des Palatum durum	74
4.9	Relative Höhe der Apertura nasi ossea	74
4.10	Relativer luftführender Weg an definierten Querschnitten der oberen Atemwege.....	75
4.11	Statistische Zusammenhänge der Messparameter.....	78
4.11.1	Fazialer Index.....	78
4.11.2	Kranialer Index.....	80
4.11.3	Schädelindex.....	83
4.11.4	Kraniofazialer Winkel.....	85
4.11.5	Zusammenhänge der kranioметриischen Parameter untereinander	88
4.12	Einflüsse auf die gemessenen Parameter.....	90
4.12.1	Einflüsse auf den extraorbital liegenden Anteil des Bulbus oculi	91
4.12.2	Einflüsse auf die Stellungsanomalien der Dentis	92
4.12.3	Einflüsse auf die Biegung des Palatum durum	94
4.12.4	Einflüsse auf die relativen luftführenden Wege	95
5	Diskussion.....	98
5.1	Schädelmorphologie.....	99
5.2	Extraorbitaler Anteil der Augen.....	101
5.3	Zahnfehlstellungen.....	104
5.4	Relativer luftführender Weg.....	106
5.5	Diskussion der Methoden	111
5.6	Fazit und Ausblick.....	112
6	Zusammenfassung.....	115
7	Summary	117
8	Anhang	119
9	Literaturverzeichnis	121

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Fotografie des Schädels einer „Doll-Face“ Perserkatze.....	5
Abbildung 2: Fotografie des Schädels einer „Doll-Face“ Perserkatze in frontaler Ansicht.....	7
Abbildung 3: Skizze des Ober- und Unterkiefers einer Katze	12
Abbildung 4: Fotografie von rostral in die Apertura nasi ossea einer „Doll-Face“ Perserkatze	16
Abbildung 5: Fotografie eines Perserkatzenkopfes von frontal mit Darstellung von Tränenstraßen infolge von Epiphora.....	24
Abbildung 6: Fotografie eines Perserkatzenschädels mit Prognathia inferior einer „Doll-Face“ Perserkatze in rechtslateraler Ansicht	26
Abbildung 7: Fotografien von Perserkatzenköpfen in lateraler und frontaler Ansicht von „Doll- Face“ und „Peke-Face“ Phänotypen.....	30
Abbildung 8: Skizze eines Hundeschädels in linkslateraler Ansicht mit Benennung der kranio-metrischen Knochenpunkte	35
Abbildung 9: Skizze eines Hundeschädels in dorsaler Ansicht mit Benennung der kranio-metrischen Knochenpunkte	35
Abbildung 10: Dreidimensionale Rekonstruktion eines geringgradig brachyzephalen Perserkatzenschädels mit Darstellung der kranio-metrischen Messpunkte	37
Abbildung 11: Skizze eines brachyzephalen Hundeschädels in linkslateraler Ansicht zur schematischen Darstellung des kraniofazialen Winkels	38
Abbildung 12: Darstellung der Benutzeroberfläche während der Segmentierung mit Amira 6.2.....	43
Abbildung 13: Darstellung der Benutzeroberfläche von Amira 6.2 mit rekonstruiertem 3D-Modell eines Perserkatzenschädels.....	44
Abbildung 14: Oberflächenrekonstruktion eines Perserkatzenkopfes mithilfe der Funktion „Volren“ durch Amira 6.2	44
Abbildung 15: Dreidimensionale Rekonstruktion eines Perserkatzenschädels von geringgradiger Brachyzephalie mit Darstellung der kranio-metrischen Streckenmessungen	46
Abbildung 16: Zweidimensionaler Sagittalschnitt durch den Schädel einer Perserkatze mit geringgradig ausgeprägter Brachyzephalie zur Bestimmung des kraniofazialen Winkels.....	47
Abbildung 17: Zweidimensionaler Sagittalschnitt durch den Schädel einer Perserkatze mit hochgradig reduzierter Fazialregion zur Bestimmung des kraniofazialen Winkels ..	47
Abbildung 18: Zweidimensionaler Transversalschnitt durch den Schädel einer EKH mit segmentierten intra- und extraorbitalen Anteilen der Bulbi oculi	48
Abbildung 19: Dreidimensionale Rekonstruktion eines Perserkatzenschädels von stark ausgeprägter Brachyzephalie mit rekonstruiertem intraorbitalen Anteil des rechten Bulbus oculi	49

Abbildung 20: Dreidimensionale Rekonstruktion des Schädels einer Perserkatze mit Darstellung der intra- und extraorbital gelegenen Anteile der Bulbi oculi	49
Abbildung 21: Zweidimensionaler Sagittalschnitt durch den Schädel einer extrem brachycephalen Perserkatze zur Bestimmung des Caninuswinkels	50
Abbildung 22: Zweidimensionaler Sagittalschnitt durch den Schädel einer geringgradig brachycephalen Perserkatze zur Bestimmung des Caninuswinkels.....	51
Abbildung 23: Dreidimensionale Rekonstruktion eines isolierten Oberkiefers einer Perserkatze und einer EKH	52
Abbildung 24: Dreidimensionale Rekonstruktion eines isolierten Unterkiefers von Perserkatzen ...	53
Abbildung 25: Dreidimensionale Rekonstruktion eines Perserkatzenschädels von schwach ausgeprägter Brachycephalie mit Bestimmung der relativen Höhe der Apertura nasi ossea	54
Abbildung 26: Zweidimensionale Transversalschnitte der Nasenhöhle einer Perserkatze nach Segmentieren der luftführenden Wege und dem umgebenden Weichteilgewebe	56
Abbildung 27: Zweidimensionale Transversalschnitte der Nasenhöhle einer EKH nach Segmentieren der luftführenden Wege und dem umgebenden Weichteilgewebe	57
Abbildung 28: Zweidimensionaler Sagittalschnitt des Schädels einer Perserkatze von moderater Brachycephalieausprägung mit segmentierten luftführenden Wegen und dem umgebenden Weichteilgewebe	58
Abbildung 29: Zweidimensionaler Sagittalschnitt des Schädels einer EKH mit segmentierten luftführenden Wegen und dem umgebenden Weichteilgewebe	58
Abbildung 30: Dreidimensionale Rekonstruktion eines Perserkatzenschädels mit segmentierten luftführenden Wegen und umgebendem Weichteilgewebe in medialer Ansicht.....	59
Abbildung 31: Dreidimensionale Rekonstruktion des Schädels einer EKH mit segmentierten luftführenden Wegen und umgebendem Weichteilgewebe in medialer Ansicht.....	59
Abbildung 32: Fotografien von Perserkatzenköpfen eines hohen Brachycephaliegrades zur Demonstration des Phänotyps in schräger Ansicht von rechts.....	62
Abbildung 33: Oberflächenrekonstruktionen von Perserkatzen und EKH im Vergleich bezüglich des Phänotyps	63
Abbildung 34: Graphische Darstellung der kranio-metrischen Parameter im Vergleich zwischen der Perserkatzenpopulation und den EKH	66
Abbildung 35: Graphische Darstellung des extraorbitalen Anteils der Bulbi oculi im Vergleich zwischen der Perserkatzenpopulation und den EKH.....	67
Abbildung 36: Dreidimensionale Rekonstruktion von Schädeln und Bulbusanteilen der EKH und Perserkatzen im Vergleich.....	68

Abbildung 37: Dreidimensionale Rekonstruktion von Schädeln und Bulbusanteilen wie auch separater Darstellung von Bulbi oculi der EKH und Perserkatzen im Vergleich	69
Abbildung 38: Vergleichende graphische Darstellung des Zusammenhangs der Winkel zwischen den Canini und dem harten Gaumen bei Persern und EKH.....	71
Abbildung 39: Graphische Darstellung der prozentualen Verteilung von Zahnfehlstellungen im Oberkiefer bei Perserkatzen	73
Abbildung 40: Graphische Darstellung der prozentualen Verteilung von Zahnfehlstellungen im Unterkiefer bei Perserkatzen	73
Abbildung 41: Graphische Darstellung der prozentualen Verteilung der Zahnfehlstellungen des P3, P4 und M1 im Ober- und Unterkiefer der Perserkatzen	74
Abbildung 42: Graphische Darstellung der relativen Höhe der Apertura nasi ossea im Vergleich zwischen der Perserkatzenpopulation und den EKH	75
Abbildung 43: Vergleichende graphische Darstellung des relativen luftführenden Weges bei Perserkatzen und EKH	77
Abbildung 44: Graphische Darstellung der linearen Regressionsanalyse des fazialen Index.....	80
Abbildung 45: Graphische Darstellung der linearen Regressionsanalyse des kranialen Index	83
Abbildung 46: Graphische Darstellung der linearen Regressionsanalyse des Schädelindex	85
Abbildung 47: Graphische Darstellung der linearen Regressionsanalyse des kraniofazialen Winkels	88
Abbildung 48: Graphische Darstellung der linearen Regressionsanalyse des fazialen Index, des kranialen Index, des Schädelindex und des kraniofazialen Winkels untereinander...90	

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Patientendaten der Perserkatzen und EKH.....	119
---	-----

Abkürzungsverzeichnis

2D	zweidimensional
3D	dreidimensional
Abb.	Nummerierung der Abbildungen im Bildband
bzw.	beziehungsweise
CT	Computertomographie/Computertomograph
EKH	Europäisch Kurzhaarkatze
et. al.	et alii (und andere)
For.	Foramen
ggr.	geringgradig
hgr.	hochgradig
JLU	Justus-Liebig-Universität
KFW	kraniofazialer Winkel
kg	Kilogramm
li.	links/ linker
m	Regressionskoeffizient
M	Männlich
Max.	Maximum
Min.	Minimum
MRT	Magnetresonanztomographie
N.	Nervus
Nr.	Nummer
n.s.	nicht signifikant
OR	Odds Ratio
Perser	Perserkatze
r	Korrelationskoeffizient
re.	rechts/ rechter
SD	Standardabweichung
T-Test	Student's T-Test
U-Test	Mann-Whitney-U-Test
W	Weiblich
z.B.	zum Beispiel

1 Einleitung

Perserkatzen erfreuen sich aufgrund ihrer besonderen Erscheinung und ihres ausgeglichenen Charakters seit langer Zeit großer Beliebtheit (Case 2003). Der charakteristische Phänotyp der Perserkatze hatte sich über Jahrhunderte kaum verändert (Morris 1999). Erst in den letzten Jahrzehnten hat sich die Züchtung der Perserkatzen insofern modifiziert, dass die Nase immer weniger prominent ausgeprägt ist und das Gesicht damit noch flacher erscheint (Morris 1999). Obwohl brachyzepale Tiere schon seit Tausenden von Jahren vorkommen, wurde seit einigen Jahrzehnten durch extreme Selektion der Zucht die Kurzköpfigkeit bis in ein Extrem hinein gefördert (Oechtering et al. 2010). Somit entstand aus der ursprünglichen „Doll-Face“ die sogenannte „Peke-Face“ Züchtung, deren morphologisches Erscheinungsbild den Rassestandard der Perserkatzen bestimmt (Case 2003). Der heute erwünschte Typ Perserkatze hat einen großen runden Kopf mit einem flachen Gesicht und einer kurzen breiten Nase, die zwischen den Augen einen ausgeprägten „Stop“ aufweisen soll. Ebenso gehören zum Standard große runde Augen, die weit auseinanderliegen sollen (The Cat Fanciers' Association 2015). Durch diese morphologischen Veränderungen wird automatisch ein niedlicher, kindlicher Eindruck erweckt, der beim Betrachter schnell eine emotionale Bindung zu dem Tier aufbaut (Fournier 2002).

Mit dem im Rassestandard vorgeschriebenen verkürzten Gesichtsschädel geht aber der Krankheitskomplex des Brachyzephalensyndroms einher (Herzog 2001). Als Folge des verkürzten Viszerokraniums finden die Weichteilgewebe vor allem im ventralen Nasengang deutlich weniger Platz als dies bei dolichocephalen Rassen der Fall ist, da sie sich nicht proportional verkleinern (Harvey 1989). Zusätzlich verlegen die im Verhältnis vergrößerten Nasenmuscheln, wie aber auch aberrante Conchen, die ohnehin eingeeengten luftführenden Wege (Oechtering et al. 2007b). Weiterhin wird der Lufteinstrom durch zu enge Nares erschwert (Lippert et al. 2010). Symptomatisch zeigen die Tiere Atemnot und Stridor wie auch verminderte Leistungs- und Stresstoleranz (Koch et al. 2003). Die damit einhergehende Sauerstoffarmut kann bis zur Zyanose und sogar zur Synkope führen (Aron und Crowe 1985; Dupré und Heidenreich 2016). Das Brachyzephalensyndrom ist bisher hauptsächlich bei Hunden untersucht, während die Datenlage bei brachyzephalen Katzen zurzeit noch deutlich geringer ist. Ziel dieser Studie ist es daher, die Auswirkungen des verformten Gesichtsschädels hinsichtlich des Brachyzephalensyndroms auch bei Perserkatzen zu beschreiben. Dazu

werden computertomographische Bilder von Perserkatzen verschiedenen Alters und Geschlechts als Ausgangsmaterial verwendet.

Die aufgestellte Hypothese, dass das Ausmaß der Brachycephalie mit der Lage des Bulbus oculi innerhalb der Orbita korreliert, soll evaluiert werden. Diese besagt, dass das Auge bei extrem kurzköpfigen Katzen deutlich mehr hervorsteht, wodurch Prädispositionen für Erkrankungen des Auges, wie dem Korneasequester entstehen (Kindler 1997).

Weiterhin soll die Studie sich mit den Zahnfehlstellungen bei Perserkatzen eingehender beschäftigen wie auch mit den luftführenden oberen Atemwegen. Es soll untersucht werden, ob an festgelegten Querschnittsflächen der luftführende Weg im Verhältnis zum umgebenden Weichteilgewebe tatsächlich reduziert ist im Gegensatz zu dem der Referenzgruppe. In der gesamten Studie dienen Europäisch Kurzhaarkatzen als Vergleichspopulation und werden als Vertreter der mesozephalen Katzenrassen gleichgesetzt.

2 Literaturübersicht

2.1 Anatomische Grundlagen

2.1.1 Der Katzenschädel

Das Skelett des Schädels wird in den Gesichts- und den Hirnschädel unterteilt (Evans und De Lahunta 2013). Es beinhaltet das Gehirn, die oberen Anteile des Verdauungs- und Atmungsapparates und die höheren Sinnesorgane. So ist in den Kopfhöhlen das Hör- und Gleichgewichtsorgan, das Sehorgan, das Riechorgan wie auch das Geschmacksorgan zu finden (Nickel et al. 2004). Der Großteil der Schädelknochen ist paarig angelegt, andere in der Medianen liegende Schädelknochen sind dagegen unpaarig (Dyce et al. 2010). Kaudal bilden die Knochen des Schädels die Hirnkapsel mit dem innenliegenden Gehirn, rostral entsteht durch die Schädelknochen die Nasenhöhle, die von der Nasenkapsel umgeben wird (Dyce et al. 2010; Nickel et al. 2004). Deren Boden fungiert als knöchernes Dach der Mundhöhle (Nickel et al. 2004). Der die Hirnkapsel bildende Bereich des Schädels wird als Neurokranium oder auch Hirnschädel bezeichnet. Die Nasenkapsel im Zusammenspiel mit dem Unterkiefer und dem Zungenbein stellt das Viszerokranium, also den Gesichtsschädel dar (Nickel et al. 2004). Bei der Schädelgestalt der verschiedenen Haussäugetiere sind deutliche Artunterschiede zu verzeichnen. Im Gegensatz zum Menschen ist der Gesichtsschädel bei den Haussäugetieren prominenter ausgeprägt als der Hirnschädel. Eine Ausnahme bilden jedoch die Katze und der kurzgesichtige Hund, da bei diesen der Hirnschädel relativ gesehen größer ist (Nickel et al. 2004). Während bei Katzen mit ihrem stark gerundeten Hirnschädel und dem kurzen Gesichtsschädel kaum merklich Unterschiede zwischen den Rassen erkennbar sind, sind beim Hund deutliche Unterschiede der Schädelform bis hin zu Extremen wie den dolichocephalen und brachycephalen Schädeln zu beobachten (Vollmerhaus et al. 1994). Aufgrund der Länge des Gesichtsschädels bei den Haussäugetieren finden die Kaumuskeln genügend Ansatzflächen und es bietet sich ausreichend Platz für das Gebiss (Nickel et al. 2004).

Bei den Schädelknochen handelt es sich um platte Knochen, die aus je einer Lamina externa und interna bestehen. Zwischen diesen befindet sich die spongiose Mittelschicht, die Diploë. Indem Nasenschleimhautbuchten zwischen die Platten bestimmter Kopfknochen einwachsen, wird die Diploë verdrängt; daraufhin entstehen die pneumatisierten Nasennebenhöhlen, die Sinus paranasales (König 1992; Nickel et al. 2004).

Lediglich der Felsenteil des Schläfenbeins ist in der Anlage bereits diploëfrei (König 1992). Die im Normalfall vorhandene Symmetrie der Katzenschädel ist laut Schmidt et al. (2017) bei der „Peke-Face“ Perserkatze nicht zu bestätigen. Diese weist im Gegensatz zur „Doll-Face“ Perserkatze in frontaler Ansicht eine Asymmetrie mit Deformationen im Bereich der Maxilla, des Os nasale und des Os frontale auf (Schmidt et al. 2017).

2.1.2 Das Neurokranium

Das Neurokranium, auch Hirnschädel genannt, wird von den Ossa cranii gebildet und stellt die Wand der Schädelhöhle dar. Somit wird das Gehirn mit seinen Hüllen und die zur Versorgung notwendigen Gefäße eingeschlossen (Evans und De Lahunta 2013; Liebich und König 2009b; Nickel et al. 2004).

Die Bodenwand besteht aus der unpaarigen Pars basilaris des Os occipitale (Hinterhauptsbein) und dem unpaarigen Os sphenoidale (Keilbein). Die Genickwand setzt sich aus dem unpaarigen Os occipitale (Hinterhauptsbein) mit der Squama occipitalis und dessen Partes laterales zusammen (Liebich und König 2009b; Nickel et al. 2004). Das Os occipitale bildet ebenso die Crista nuchae, wie auch die Crista sagittalis externa (König 1992). Die Seitenwände werden beiderseits aus dem paarigen Os temporale (Schläfenbein) gebildet. Bei der Dachwand handelt es sich um einen Zusammenschluss aus dem paarigen Os frontale (Stirnbein), dem paarigen Os parietale (Scheitelbein) und dem unpaarigen Os interparietale (Zwischenscheitelbein). Lediglich das unpaarige Os ethmoidale (Siebbein) bildet die Nasenwand (Liebich und König 2009b; Nickel et al. 2004).

2.1.3 Das Viszerokranium

Das Viszerokranium wird auch als Gesichtsschädel oder Splanchnokranium bezeichnet und setzt sich aus den Ossa faciei zusammen (Budras et al. 2007; Nickel et al. 2004). Diese Knochen bilden gemeinsam eine Kapsel und umschließen die Nasenhöhle. Ventral fungieren sie als Dach der Mundhöhle und werden von der Mandibula unterlagert. Zwischen den Unterkieferästen ist das Os hyoideum (Zungenbein) gelegen, das beweglich mit dem Schädel verbunden ist (Liebich und König 2009b; Nickel et al. 2004). Die Knochen des Neurokraniums sind teilweise auch an der Bildung des Gesichtsschädels beteiligt (Os frontale, Os ethmoidale, Os sphenoidale). So setzt sich das Dorsum nasi (Nasendach) beispielsweise aus dem paarigen Os frontale (Stirnbein) und dem paarigen Os nasale (Nasenbein) zusammen (Nickel et al.

2004). Das Os nasale liegt als platter Knochen rostral des Os frontale und bedeckt die Nasenhöhle (Loeffler 2002). Nach rostral überragt es die ventral gelegenen Knochen und bildet den Processus rostralis mit einer lateralen Spitze (Liebich und König 2009b; Nickel et al. 2004). Bei den „Peke-Face“ Perserkatzen ist das Os nasale ausgesprochen kurz bis hin zur völligen Abwesenheit (Schmidt et al. 2017). In Abbildung 1 ist das bereits bei der „Doll-Face“ Perserkatze verkürzte Os nasale zu erkennen. Zwischen dem Os nasale und dem Os incisivum ist die Incisura nasoincisiva gelegen (Liebich und König 2009b).

Die Seitenwände des Gesichtsschädels bestehen aus dem paarigen Os lacrimale (Tränenbein), dem paarigen Os zygomaticum (Jochbein), der paarigen Maxilla (Oberkieferbein) und dem paarigen Os incisivum (Zwischenkieferbein). Die Bodenwand der Nasenhöhle stellt gleichzeitig auch die Dachwand der Mundhöhle dar und wird aus dem paarigen Os palatinum (Gaumenbein), der paarigen Maxilla (Oberkieferbein), dem paarigen Os incisivum (Zwischenkieferbein) und dem unpaarigen Vomer (Pflugscharbein) gebildet (Liebich und König 2009b; Nickel et al. 2004). Das Palatum osseum (Gaumendach) der Katze wird hauptsächlich von den Gaumenbeinen gebildet, während lediglich kleine Anteile des Os Incisivum beteiligt sind. Paramedian des Processus palatinus des Os incisivum ist die Fissura palatina (Gaumenspalte) beidseitig gelegen (Nickel et al. 2004). Lateral der Fissura palatina schließt sich der Corpus des Os incisivum und der Processus palatinus der Maxilla an. Der durch die Fissura palatina führende Ductus incisivus stellt die Kommunikation zwischen Mund- und Nasenhöhle her (Salomon et al. 2008).

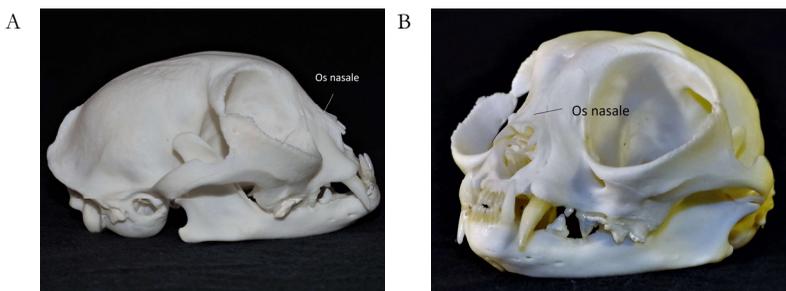


Abbildung 1: Fotografie des Schädels einer „Doll-Face“ Perserkatze in lateraler Ansicht (A) und in schräg frontaler Ansicht von links (B). Erkennbar ist die abgerundete Form des Schädels mit gleichzeitig verkürztem Os nasale.

Das Os lacrimale ist im nasalen Augenwinkel gelegen. Dessen Außenfläche wird unterteilt in die Facies orbitalis (Augenhöhlenfläche) und die Facies facialis (Angesichtsfläche), die allerdings bei der Katze fehlt (Nickel et al. 2004). Unmittelbar am Orbitalrand der Augenhöhlenfläche befindet sich der Eingang des knöchernen Tränenkanals (Loeffler 2002). Die Maxilla ist maßgeblich an der Bildung des Gesichts beteiligt und begrenzt knöchern die Mund- und Nasenhöhle (Loeffler 2002). Das Os incisivum stellt die rostrale Spitze des Gesichtsschädels dar und ist gleichzeitig an der Form des Naseneingangs und des knöchernen Gaumendachs beteiligt (Liebich und König 2009b; Nickel et al. 2004).

Das Dach bzw. die Seitenwand der Schlundkopfhöhle wird gebildet vom paarigen Os pterygoideum (Flügelbein), dem paarigen Os palatinum (Gaumenbein), dem paarigen Os sphenoidale (Keilbein) und von Teilen des Vomers (Pflugscharbein).

Die Nasenhöhle wird in der Tiefe von der Schädelhöhle durch das quergestellte Os ethmoidale (Siebbein) separiert (Liebich und König 2009b; Nickel et al. 2004; Salomon et al. 2008). Ausgehend vom Os ethmoidale ragen die Ossa conchae (Muschelbeine) als Endoturbinalia I und II zusammen mit dem Os conchae nasalis ventralis (Maxilloturbinale) unterschiedlich weit rostral in die Muschelhöhle vor (Liebich und König 2009b; Nickel et al. 2004). Eine Unterteilung der Nasenhöhle in eine rechte und linke Höhle wird durch das median liegende Septum nasi vorgenommen (Liebich und König 2009b; Nickel et al. 2004; Salomon et al. 2008).

2.1.4 Die Orbita

Die Orbita, knöcherner Augenhöhle, dient dem Schutz des Augapfels (Salomon et al. 2008). Sie beherbergt sowohl den Augapfel als auch dessen Nebenorgane (Nickel et al. 2004; Salomon et al. 2008; Walde et al. 2008). Die Augenhöhle ist bei der Katze frontal zur Medianebene gerichtet (Abbildung 2). Sie wird zum einen von den Knochen des Gesichtsschädels und zum anderen von den Knochen des Hirnschädels gebildet. Da die Augen und Augenhöhlen bei der Katze relativ groß und weiter nach vorne gerichtet sind als die des Hundes, weisen sie ein breiteres binokuläres Gesichtsfeld auf (Dyce et al. 1991; Liebich und König 2009b). Bei der Perserkatze kommt eine flachere Orbita und eine größere interorbitale Distanz hinzu (Abbildung 2), wobei dies bei der „Peke-Face“ Perserkatze stärker in Erscheinung tritt als bei der „Doll-Face“ Perserkatze (Schmidt et al. 2017).



Abbildung 2: Fotografie des Schädels einer „Doll-Face“ Perserkatze in frontaler Ansicht. Auffallend sind die großen nach frontal gerichteten Orbitae wie auch die große interorbitale Distanz.

Der Aditus orbitae oder auch der Augenhöhlenzugang, wird vom Os lacrimale, Os zygomaticum und vom Os frontale gebildet. Die Begrenzung des Aditus orbitae findet durch den Margo orbitalis statt, der sich in den Margo supraorbitalis und den Margo infraorbitalis unterteilt. Die mediale Wand der Orbita wird durch die nach innen gewölbte Pars orbitalis des Os frontale beschrieben (Koch und Berg 1992; König 1992; Nickel et al. 2004). Beim Fleischfresser ist die Orbita nicht durchgehend knöchern begrenzt. Stattdessen weist sie dorsolateral eine Lücke auf, die durch das Ligamentum orbitale verschlossen wird. Dieses verbindet den Processus zygomaticus des Os frontale mit dem Processus frontalis des Os zygomaticum (Dyce et al. 2010; König 1992). Das Ligamentum orbitale verknöchert oft bei der Katze (König 1992). Medial wird die Orbita durch das Os frontale, das Os lacrimale, den Flügel des Os praesphenoidale und die Lamina perpendicularis des Os palatinum begrenzt (Nickel et al. 2004; Salomon et al. 2008). Kaudal ist die Orbita nicht knöchern, sondern bindegewebig abgeschlossen und grenzt an die Fossa temporalis wie auch die Fossa pterygopalatina. Nahe des Orbitalrandes befindet sich an der Augenhöhlenfläche der in den Tränennasengang führende Tränentrichter (Fossa sacci lacrimalis) (Walde et al. 2008).

Die knöcherne Orbita wird durch die derbe bindegewebige Periorbita ausgekleidet. Diese geht aus dem Periost des Orbitalringes hervor (Liebich und König 2009a; Walde et al. 2008). Ebenso sind innerhalb der Periorbita Fettpolster eingelagert (Corpus adiposum intraorbitale), die die Faszien, Muskeln, Gefäße, Nerven des Auges und den N. opticus aufnehmen. Intraorbitale Fettpolster (Corpus adiposum extraorbitale), die außerhalb der Periorbita eingelagert werden, kleiden die Fossa temporalis aus (Liebich und König 2009a). Diese Fettpolster können bei starker Abmagerung hungernder, schwerkranker oder alter Tiere abge-

baut werden, woraufhin der Augapfel einsinkt (Loeffler 2002). Die Lidspalte, Rima palpebrarum, wird durch die Palpebrae (Augenlider) umschlossen. Diese sind während der Fetalzeit geschlossen und öffnen sich erst 9 bis 14 Tage post partum (Loeffler 2002).

Die beiden Orbitae weisen eine divergierende Stellung auf; dadurch entsteht ein Winkel von 49° zwischen beiden Orbitaachsen bei der Katze. Die Orbitaachse ergibt sich durch die Verbindungslinie vom Zentrum der Orbitaöffnung durch den Canalis opticus. Der Orbitaachsenwinkel stimmt allerdings nicht mit dem Winkel der geometrischen Augenachsen überein (Böhme 2004; Liebich und König 2009b; Walde et al. 2008). Die geometrische Augenachse beschreibt wiederum den größten sagittalen Durchmesser des Augapfels (Schieck und Brückner 1932). Bei der Katze beträgt die Divergenz der Augenachsen 20° aufgrund der nahezu frontal ausgerichteten Bulbi oculi (Böhme 2004).

2.1.5 Tränenapparat

Der Tränenapparat besteht aus der Tränendrüse (Glandula lacrimalis), ihren Ausführungsgängen, der Nickhautdrüse (Glandula palpebrae tertiae) und den ableitenden Tränenwegen. Zwischen den äußeren Augenmuskeln und dem Ligamentum orbitale liegt die Glandula lacrimalis dorsolateral des Augapfels (Loeffler 2002; Wild 1994). Bei der Katze weist sie die Form einer abgeflachten Linse mit einem Durchmesser von 15-20 mm und einer Dicke von 1 mm auf (Wild 1994). Das Sekret gelangt über 3-5 Ausführungsgänge in den Fornix conjunctivae superior, benetzt die Cornea, fließt in die Vertiefung neben der Karunkel im Lidbindehautsack und füllt letztendlich den Tränensee. Eine Entleerung des Tränensees in den Tränenweg findet über die beiden Tränenpunkte, die Puncta lacrimalia statt (Loeffler 2002; Wild 1994), die sich am Ober- und Unterlid direkt an der Innenkante des Lidrandes unmittelbar am medialen Augenlid befinden (Wild 1994). Ihnen angeschlossen sind zwei kurze, dünne Tränenröhrchen, die Canaliculi lacrimales, die in den Tränensack (Saccus lacrimalis) münden, von wo aus die Tränenflüssigkeit durch den häutigen Ductus nasolacrimalis in die Nasenhöhle weitergeleitet wird (Wild 1994). Der Ductus nasolacrimalis gliedert sich in zwei Anteile, die rechtwinklig zueinander stehen (Walde et al. 2008). Zu Beginn wird er knöchern von dem senkrecht verlaufenden Canalis lacrimalis des Os lacrimale umfasst (Böhme 2004). Auf Höhe des P2 (Walde et al. 2008) tritt er durch das Foramen lacrimale in die Nasenhöhle ein. Von hier zieht er in dem waagrecht verlaufenden Sulcus lacrimalis der Maxilla nach rostral und findet seine Austrittsöffnung im Ostium nasolacrimalis des Nasenvorhofs (Nickel et al. 2004). Dadurch, dass der horizontale, parallel zum harten Gaumen verlaufende Abschnitt des Ductus nasolacrimalis bei mesozephalen Katzen tiefer als das Foramen lacrimale gelegen ist (Breit

et al. 2003), ist ein ungehinderter Abfluss der Tränenflüssigkeit der Schwerkraft folgend gewährleistet (Barnett und Crispin 1998). Weiterhin wird der Tränenfluss durch kapilläre Kräfte und die Muskelkontraktionen beim Blinzeln unterstützt (Barnett und Crispin 1998). Bei der brachycephalen Katze ergeben sich durch die Dorsalrotation der Fazialknochen andere Lageverhältnisse des Ductus nasolacrimalis, der bei höhergradiger Brachycephalie sogar einen spitzwinkligen Verlauf einnehmen kann. Dabei befindet sich das Ostium nasolacrimalis auf einem höheren Niveau als die übrigen Abschnitte des tränenableitenden Systems, sodass eine Tränenabflussstörung entsteht (Schlueter et al. 2009).

2.1.6 Zahnschema bei der Katze

Funktionell dienen die Zähne im Zusammenspiel mit den Lippen, der Zunge, dem Ober- und Unterkiefer und der Kaumuskulatur der Futteraufnahme mit anschließender Zerkleinerung (Liebich 2004a). In manchen Fällen sind die Zähne in ihrer Funktion zusätzlich als Waffe anzusehen (Thomé 2004).

Der sichtbare distale Teil des Zahns steht als Corona dentis (Zahnkrone) aus der Gingiva (Zahnfleisch) hervor. Die Gingiva umschließt wiederum ringförmig die Cervix dentis (Zahnhals). Der proximale Teil des Zahns, die Radix dentis (Zahnwurzel) ist in der Alveole des Ober- bzw. Unterkiefers verankert. Das Cavum dentis (Zahnhöhle) umgibt die Pulpa dentis (Zahnpulpa) und wird von mineralisierten Wandanteilen umgeben. In Richtung der proximalen Zahnspitze verjüngt sich die Zahnpulpa zu einem Canalis radialis dentis (Wurzelkanal), bis dieser schließlich im Foramen apicale dentis (Wurzelöffnung) endet. Über dieses Foramen kommunizieren Nerven und Blutgefäße. Die Pulpahöhle wird von Dentin umsäumt, das härter als der Knochen und weicher als der Zahnschmelz ist. Der Schmelz überzieht die Zahnkrone und ist das härteste Gewebe im Organismus (Habermehl 1994; Liebich 2004a). Das Periodontium (Wurzelhaut) stellt die feste Verankerung zwischen Wurzelzement und Alveolarwand des Zahnfaches her (Habermehl 1994). Je nach Lage des Zahns in der Maulhöhle werden verschiedene Zahnflächen benannt. Die Reibe- oder Kaufläche des Zahns wird als Facies oclusalis und die Kontaktfläche zu benachbarten Zähnen als Facies contactus bezeichnet. Mit Ausnahme des letzten Backenzahns weist jeder Zahn zwei Kontaktflächen zu Nachbarzähnen desselben Zahnbogens auf. Die Fläche zur Medianebene hin, die nach rostral zeigt, wird Facies mesialis genannt und die entgegengesetzte Kontaktfläche, die nach kaudal weist, wird als Facies distalis bezeichnet. Die zur Lippen- und Backenschleimhaut gewandte Fläche ist die Facies vestibularis und die zur Zunge weisende Fläche ist die Facies lingualis (Habermehl 1994; Thomé 2004). Aufgrund der unterschiedlichen Ausformung der

Zähne der Säugetiere handelt es sich um ein heterodontes Gebiss, das den speziellen Anforderungen gerecht werden kann (Salomon et al. 2008).

Als erste Zähne treten die Milchzähne (Dentes decidui) in Erscheinung. Das Milchgebiss einer Katze umfasst 26 Zähne (König et al. 2009; Salomon et al. 2008; Thomé 2004). Die Milchschnidezähne und Eckzähne sind bereits im Alter von drei bis vier Wochen durchgebrochen, die Prämolaren zwischen fünf und sechs Wochen und die Molaren erst mit fünf bis sechs Monaten (Thomé 2004). Beim heranwachsenden Tier werden die Dentes decidui durch die bleibenden Zähne (Dentes permanentes) ersetzt, indem die Milchzahnwurzel langsam resorbiert wird, während der bleibende Zahn heranwächst und schlussendlich nur noch die kappenartige Krone des Milchzahns übrig bleibt und sich vom Zahnfleisch ablöst (Loeffler 2002). Diesem Wechsel unterliegen die Schneidezähne (Incisivi), die Eckzähne (Canini) und die vorderen Backenzähne (Prämolare); wohingegen die hinteren Backenzähne (Molare) keine Vorläufer haben (Salomon et al. 2008). Der Wechsel der Incisivi findet zwischen 3 ½ Monaten und 5 ½ Monaten statt. Der Wechsel der Canini wird zwischen 5 ½ und 6 Monaten vollzogen und die Prämolaren werden zwischen dem vierten und fünften Monat ersetzt (Thomé 2004). Daher kann der Zahnwechsel zur Altersschätzung herangezogen werden (Loeffler 2002). Die Platzhalterfunktion der Milchzähne spielt eine große Rolle für die richtige Stellung der Ersatzzähne im späteren Dauergebiss. Somit führt ein vorzeitiger Verlust der Milchzähne durch einwachsendes Knochengewebe in die Alveolen zu Stellungsanomalien der bleibenden Zähne (Salomon et al. 2008). Das Dauergebiss der Katze umfasst 30 Zähne (Habermehl 1994; König et al. 2009; Salomon et al. 2008; Thomé 2004).

$$\begin{array}{l} \text{Milchgebiss:} \\ \hline 3 \text{ Id} \quad - \quad 1 \text{ Cd} \quad - \quad 3 \text{ Pd} \\ \hline 3 \text{ Id} \quad - \quad 1 \text{ Cd} \quad - \quad 2 \text{ Pd} \end{array} = 26 \text{ Zähne}$$

$$\begin{array}{l} \text{Dauergebiss:} \\ \hline 3 \text{ I} \quad - \quad 1 \text{ C} \quad - \quad 3 \text{ P} \quad - \quad 1 \text{ M} \\ \hline 3 \text{ I} \quad - \quad 1 \text{ C} \quad - \quad 2 \text{ P} \quad - \quad 1 \text{ M} \end{array} = 30 \text{ Zähne}$$

Die Zähne der Katze sind weniger zum Kauen geeignet als die der Hunde (Wegner 1995). Durch die Reduktion der Backenzähne im Zuge der Evolution hat das Katzengebiss nur noch eine schneidende Funktion (Dyce et al. 1991; König et al. 2009). Es fehlen der P1, M2 und M3 im Oberkiefer, sowie der P1, P2, M2 und M3 im Unterkiefer. Die beiden Reißzähne,

der letzte Prämolare im Oberkiefer und der erste Molare im Unterkiefer, gleiten beim Kie-ferschluss scherenartig aneinander vorbei. Daher handelt es sich um ein extrem sekodontes Gebiss (Habermehl 1994; König et al. 2009; Salomon et al. 2008).

Die Incisivi befinden sich in den Alveolen des Os incisivum bzw. der Pars incisiva des Cor-pus mandibulae. Hierbei handelt es sich um einfach gebaute, haplodonte Zähne. Beidseits der Medianen gibt es drei obere und drei untere Schneidezähne (Salomon et al. 2008). Sie sind sehr klein und dünn und sind an ihrer Krone fein gezähnt (Habermehl 1994).

Die Canini oder auch Hakenzähne sind ebenso haplodonte Zähne. Von diesen ist in jedem Quadranten einer vorhanden. Diese sind bei Fleischfressern besonders groß und kräftig und werden deshalb auch Fangzähne genannt (Salomon et al. 2008). Die Krone dieser Zähne ist spitz-kegelförmig und in leichtem Bogen nach hinten gekrümmt (Thomé 2004). Die Spitze der Canini ist im Unterkiefer leicht nach außen gerichtet (Habermehl 1994). Zwischen dem Eckzahn und dem ersten Backenzahn befindet sich ein größerer Zahnabstand, das Diastema (Habermehl 1994).

Bei den Prämolaren handelt es sich um schmelzhöckrige Zähne mit kurzer Krone und gut ausgebildeten Wurzeln, daher gehören sie zum brachydonten Zahntyp. Im Oberkiefer sind bei der Katze drei Prämolare und im Unterkiefer zwei Prämolare ausgebildet (Salomon et al. 2008). Der P2 im Oberkiefer ist klein, spitzhöckrig und weist eine Wurzel auf. Dagegen ist der P3 relativ groß, er besitzt zwei Wurzeln und ist an der Krone in einen rostralen Haupt- und einen kaudalen Nebenhöcker aufgeteilt. Der P4 ist der kräftigste Zahn des Oberkiefers und stellt den Reißzahn dar. Dieser ist dreiwurzelig und ist backenseitig zu zwei Haupt- und zungenseitig im rostralen Teil zu einem Nebenhöcker ausgezogen. Ebenso trägt er einen Basalwulst, der rostral zu finden ist, sodass sich die Kaufläche des P4 vierhöckrig zeigt (Habermehl 1994). Der zweiwurzelige P3 des Unterkiefers hat einen kaudalen Haupt- und einen rostralen Nebenhöcker. Rostral und kaudal ist der Basalwulst der Krone ausgebildet. Der P4 weist zwei Wurzeln auf und hat den gleichen Kronenaufbau wie der P3 (Habermehl 1994). Die Molaren sind nur im bleibenden Gebiss zu finden. Bei der Katze ist sowohl im Oberkiefer als auch im Unterkiefer lediglich beidseits nur ein Molar zu finden. Ebenso wie bei den Prämolaren handelt es sich bei den Molaren um schmelzhöckrige Zähne vom brachy-donten Zahntyp (Salomon et al. 2008). Der M1 des Oberkiefers ist klein mit zwei Wurzeln und ist quer zur Längsachse des Kiefers gelegen. Er ist durch einen bukkalen und einen lingualen Höcker von nahezu gleicher Höhe gekennzeichnet. Auch der M1 des Unterkiefers ist zweiwurzelig und ist in seiner Funktion als Reißzahn der größte Zahn des Unterkiefers.

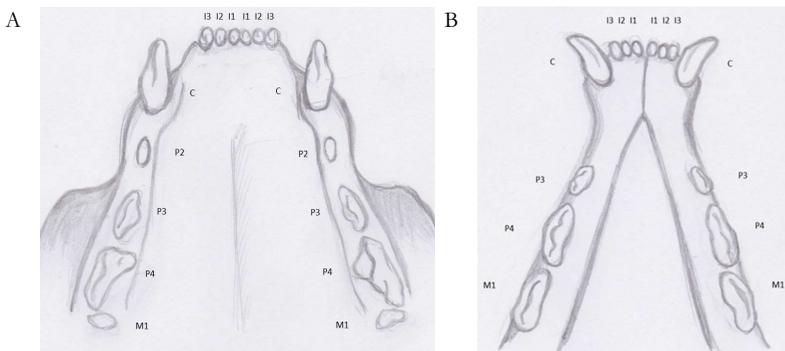


Abbildung 3: Skizze des Ober- und Unterkiefers einer Katze. Abbildung A zeigt den Oberkiefer einer Katze mit physiologisch gelegenen Incisivi (I 1-3), Canini (C), Prämolaren (P 2-4) und Molaren (M1) beiderseitig der Medianen. Abbildung (B) stellt den Unterkiefer einer Katze mit physiologisch gelegenen Incisivi (I 1-3), Canini (C), Prämolaren (P 3-4) und Molaren (M1) beiderseitig der Medianen dar.

Bei diesem sind zwei gleichgroße Haupthöcker und hinten eine undeutliche Cingulumspitze zu erkennen (Habermehl 1994). In Abbildung 3 ist eine Skizze des Ober- und Unterkiefers bei der Katze mit Bezeichnung der einzelnen Zähne im jeweiligen Quadranten dargestellt.

2.1.7 Obere Atemwege

2.1.7.1 Äußere Nase (Nasus externus)

Eine wie beim Menschen vorkommende hervorstechende äußere Nase ist bei den Haussäugetieren in dieser Form nicht ausgeprägt, vielmehr ist die Nase in die Kontur des Mauls integriert (Dyce et al. 1991). Die äußere Nase verläuft von der Nasenspitze (Apex nasi) über den Nasenrücken (Dorsum nasi) bis zur Nasenwurzel (Radix nasi) (König 1992; Waibl 2004). Die Spitze der äußeren Nase überragt nur geringgradig den Gesichtsschädel. Bei der Katze ist die Nasenspitze relativ klein und sitzt der Oberlippe auf. Das Philtrum (Lippenrinne) sorgt für eine mediane Unterteilung, die von der Lippe bis zur Nase führt. Im Bereich des Naseneingangs bildet sich der unbehaarte Nasenspiegel (Planum nasale), der sich bei der Katze rau darstellt (Waibl 2004). Ebenso ist er bei der Katze höckerig und ist bei weißem Fell des Kopfes unpigmentiert, wodurch die blässrötliche Färbung entsteht (Wilkins und Neurand 1994). Bei brachycephalen Perserkatzen stellt Ballauf (1996) Verengungen der Nasenöffnungen fest. Die Befeuchtung des Nasenspiegels findet über das Sekret der Drüsen in der Septumschleim-

haut, der lateralen Nasendrüsen und den Tränendrüsen über die Mündung des Tränen-Nasengangs im ventralen Winkel des Nasenlochs statt (Waibl 2004). Über die Verdunstung der Drüsensekrete wird eine Abkühlung der Nasenspitze ermöglicht (Wilkens und Neurand 1994). Die Nares (Nasenlöcher) der Katze sind eng, weisen eine schräge Stellung auf und werden durch einen Schlitz in laterodorsaler Richtung verlängert. Die laterale Begrenzung findet durch die Nasenflügel (*Ala nasi lateralis* bzw. *medialis*) statt, die im dorsalen beziehungsweise ventralen Nasenwinkel aufeinandertreffen. Die Abgrenzung des Nasenflügels zur Gesichtshaut findet durch die Flügelrinne, den *Sulcus alaris*, statt, der gleichzeitig eine seitliche Erweiterung bewirkt. Eine Erweiterung der Nasenlöcher bei forcierter Atmung ist beim Fleischfresser nur bedingt möglich durch ein Zusammenspiel von den Nasenmuskeln und den Lippenmuskeln (Waibl 2004).

2.1.7.2 Naseneingang (*Apertura nasi*)

Die Nasenlöcher und der rostrale Abschnitt der Nase werden durch die Nasenknorpel, die *Cartilagine nasales externi* gestützt (Dyce et al. 2010; König und Liebich 2009; Salomon et al. 2008; Waibl 2004). Die Befestigung der Knorpel erfolgt über kurze Bänder an den umgebenden Knochenrändern. Die Nasenscheidewand, das *Septum nasi*, sorgt für die mediane Unterteilung der Nasenhöhlen, die auf Höhe der Nasenlöcher als *Pars mobilis septi nasi* bezeichnet wird und somit als Stütze der Nasenlöcher dient (Waibl 2004). Der Nasenspitzenrücken wird von dem dorsalen Seitenwandknorpel (*Cartilago nasi lateralis dorsalis*) untermauert (Wilkens und Neurand 1994). Am dorsalen Ende ist er mit dem Nasenseptum verbunden, wodurch eine palpierbare Rinne auf dem Nasenrücken entsteht. Rostral verbindet sich der *Cartilago nasi lateralis dorsalis* mit dem ventralen Seitenwandknorpel (*Cartilago nasi lateralis ventralis*) (Wilkens und Neurand 1994). Diese stützen rostral die laterale Nasenwand, während sie sich gegenseitig berühren. Im ventralen Bereich der Nasenlöcher steht zusätzlich der ankerförmige laterale Ansatzknorpel (*Cartilago nasalis accessoria lateralis*) mit dem ventralen Seitenwandknorpel in Verbindung (Waibl 2004; Wilkens und Neurand 1994). Zwischen dem lateralen Ansatzknorpel und dem ventralen Rand des dorsalen Seitenwandknorpels ist der seitliche Schlitz der Nasenlöcher zu sehen (Wilkens und Neurand 1994). Darüber hinaus tritt noch der mediale Ansatzknorpel, der *Cartilago nasalis accessoria medialis*, auf. Dieser verläuft von der medialen Seite des ventralen Seitenwandknorpels bis zur Flügel falte (*Plica alaris*), die aus der ventralen Nasenmuschel (*Concha nasalis ventralis*) entsteht (Waibl 2004). Der dorsale Seitenwandknorpel formt gemeinsam mit dem lateralen Ansatzknorpel den lateralen Nasenflügel.

In den ventralen Winkel des Nasenlochs münden die lateralen Nasendrüsen (Glandulae nasales laterales), die für die Befeuchtung des Nasenspiegels sorgen (Wilkins und Neurand 1994). Ebenso ist im ventralen Winkel der Ausgang des Tränen-Nasenganges (Ductus nasolacrimalis) zu finden (König 1992).

2.1.7.3 Nasenhöhle (Cavum nasi) und knöcherne Nasenkapsel

Das Cavum nasi wird von den Knochen des Gesichtsschädels gebildet (Nickel et al. 2004). Sie beginnt hinter den Nasenlöchern mit dem Nasenvorhof (Vestibulum nasi) (Wilkins und Neurand 1994). Die Nasenhöhle erstreckt sich rostral von der knöchernen Apertura nasi ossea (Abbildung 4) und wird knöchern abgegrenzt von dem Os nasale und dem Os incisivum (Nickel et al. 2004). Das Dach der knöchernen Nasenhöhle wird vom Os nasale und von der Pars nasalis des Os frontale gebildet. Die Seitenwände entstehen aus der Maxilla, dem Os lacrimale, dem Os incisivum und dem Os zygomaticum. Der Nasenhöhlenboden stellt gleichfalls das Dach der Mundhöhle dar und setzt sich zusammen aus dem Os incisivum, der Maxilla und dem Os palatinum. Kaudal wird die Nasenhöhle gegen die Schädelhöhle durch die Lamina cribrosa des Siebbeins und die Lamina interna des Os frontale begrenzt. (Nickel et al. 2004; Salomon et al. 2008). In der Medianen findet durch das Septum nasi eine Unterteilung der Nasenhöhle in zwei symmetrische Räume, die rechte und linke Nasenhöhle statt. Das Septum nasi besteht aus einem knorpeligen und einem knöchernen Anteil, wobei die knorpelige Pars mobilis septi nasi sich dorsal mit dem Processus septalis des Os nasale und der knöchernen Anteil sich mit der Lamina perpendicularis des Ethmoids verbindet (Evans und De Lahunta 2013; Nickel et al. 2004). Ventral ist das Septum im Sulcus vomeris des Vomers verankert (Nickel et al. 2004; Salomon et al. 2008). Im Nasenvorhof befinden sich drei Schleimhautfalten; an der Außenwand befindet sich dorsal die gerade Falte (Plica recta), die wiederum die dorsale Nasenmuschel nach rostral entlässt, darunter die Flügel falte (Plica alaris), die vom medialen Ansatzknorpel gestützt wird und mit der ventralen Nasenmuschel verbunden ist. Die Bodenfalte (Plica basalis) ist wiederum beim Fleischfresser ventral der Concha nasalis ventralis gelegen und verbindet sich nur rostral mit der Flügel falte (Waibl 2004; Wilkins und Neurand 1994). Weiterhin befinden sich in den Nasenhöhlen die Nasenmuscheln, deren knöcherne Grundlage (Abbildung 4) die Muschelbeine (Ossa conchae) bilden (Liebich und König 2009b; Nickel et al. 2004). Die mit Schleimhaut überzogenen Muschelbeine weisen eine Lamellenbildung auf, die einer Vergrößerung der vaskularisierten Nasenschleimhautoberfläche dient (Dyce et al. 1991). Die Nasenhöhle geht kaudal und ventral in den Meatus nasopharyngeus (Nasengang) über, der zur Pars nasalis pharyngis

(Nasentrache) führt, während der dorsale Abschnitt der Nasenhöhle kaudal blind endet und den Fundus nasi (Nasengrund) darstellt. Dieser Bereich ist ausgefüllt von den Siebbeinmuskeln, den Ethmoturbinalia (König und Liebich 2009; Nickel et al. 2004). Bei den Ethmoturbinalia wird zwischen den größeren, weit nach innen reichenden Endoturbinalia und den kleineren sich außen befindenden Ektoturbinalia unterschieden (Liebich und König 2009b). Die Ektoturbinalia werden erst nach Entfernung der inneren Siebbeinmuskeln sichtbar (Nickel et al. 2004).

Das Endoturbinale I des Siebbeins reicht weit nach rostral in die Nasenhöhle und bildet die knöcherne Grundlage für die dorsale Nasenmuschel (*Concha nasalis dorsalis*) (Liebich und König 2009b; Nickel et al. 2004). Sie entspringt mit ihrer Basallamelle bei der Katze sowohl an der Lamina perpendicularis des Siebbeins als auch an dem plattenförmigen Processus septalis des Stirnbeins. Aus der Basallamelle dieser Muschel geht lediglich kaudal eine über lateral nach dorsal aufgewundene Spirallamelle hervor, die unvollständiger wird und in der rostralen Hälfte der plattenförmigen Muschel nicht mehr ausgebildet ist. In Höhe des lateralen Augenwinkels wird eine dünne Knochenlamelle nach lateral abgespalten, die sich medial an der Maxilla anheftet, wodurch sie einen Processus uncinatus ausbildet, der wiederum den flachen Recessus maxillaris bedeckt (Wilkens und Neurand 1994).

Die knöcherne Grundlage der mittleren Nasenmuschel (*Concha nasalis media*) ist das Endoturbinale II. (Nickel et al. 2004). Sie ist verhältnismäßig groß und schiebt sich von kaudal zwischen die dorsale und ventrale Nasenmuschel in den mittleren Nasengang. Dadurch entsteht die Teilung des mittleren Nasenganges im kaudalen Bereich in zwei Schenkel (Wilkens und Neurand 1994). Ebenso ragt das Endoturbinale II mit seiner beträchtlichen Länge genauso weit wie das Endoturbinale I in den rostralen Bereich und überlagert kaudodorsale Abschnitte der ventralen Nasenmuschel, wodurch sie von medial den Zugang zum Recessus maxillaris abdeckt. Sie weist eine stärkere Faltenbildung auf als die dorsale Nasenmuschel, wodurch eine vermehrte Gliederung beobachtet werden kann (Wilkens und Neurand 1994). Die Endoturbinale II verläuft bei der Katze von der Lamina cribrosa bis zur Höhe des Dens caninus. Ihre Basallamelle entspringt von der Siebplatte aus an der medialen Seite der Lamina orbitalis. Diese teilt sich in zwei Lamellen, an die sich gegenläufig eingerollte Spirallamellen anschließen. Die Medialfläche des ventralen Teils der mittleren Nasenmuschel weist eine starke Fältelung auf. Dieser Teil unterlagert die untere Nasenmuschel von medialer Seite her und begrenzt ebenso den ventralen Nasengang von dorsal (Wilkens und Neurand 1994). Die mittlere Nasenmuschel wird medial von dem Endoturbinale III berührt, diese schiebt sich

mit einem schmalen rostralen Ende noch weit in die Nasenhöhle vor (Wilkens und Neurand 1994) und ist nicht gegliedert (König 1992).

Die ventrale Nasenmuschel (Concha nasalis ventralis oder Maxilloturbinale) geht knöchern mit ihrem Os conchae nasalis ventralis an der Crista conchalis aus der Maxilla hervor. (Koch und Berg 1992; Nickel et al. 2004; Salomon et al. 2008). Sie steht in keiner Verbindung zum Siebbein und wird infolgedessen auch nicht zu den Siebbeinmuscheln gezählt (Salomon et al. 2008). Die ventrale Nasenmuschel ist kleiner und weniger vielfältig als die mittlere Nasenmuschel (Wilkens und Neurand 1994). Ihre Basallamelle ist im Ansatzbereich zu einer Platte verbreitert und liegt der Maxilla sagittal an. Ihre Spirallamelle ist nach ventral eingerollt und ist mit weniger Sekundärlamellen und nur vereinzelt mit kleineren Lamellen höherer Ordnung besetzt (Dyce et al. 2010; Wilkens und Neurand 1994). Die Spirallamelle umschließt den Recessus conchae nasalis, der wiederum stark gegliedert erscheint durch die vielen Seitenlamellen (König 1992). Nach rostral setzt sich die ventrale Nasenmuschel in die kurze, plumpe Plica alaris fort (Dyce et al. 2010; Wilkens und Neurand 1994) und wird dabei von der wulstigen Bodenfalte unterlagert (Wilkens und Neurand 1994). Bei der Perserkatze ist sie steiler ausgerichtet als bei den meso- und dolichocephalen Katzenrassen (Künzel et al. 2003). Darüber hinaus existieren noch weitere mit Riechschleimhaut ausgestattete Ethmoturbinalia (Liebich und König 2009b). Diese sind meist nur auf dem Nasengrund zu finden. Hierbei handelt es sich um die Endoturbinalia III und IV und die fünf Ektoturbinalia. (Nickel et al. 2004). Ooppel (2002) fand heraus, dass aufgrund der Reduzierung des Gesichtsschädels brachycephaler Katzen die Siebbeinmuscheln in ihrer Gesamtheit nur schräg in der Nasenhöhle liegen können. Bei der „Peke-Face“ Perserkatze kann sogar eine Verlagerung der Nasenmuscheln in Richtung oder in die Schädelhöhle stattfinden und dadurch für eine Kompression des Gehirns sorgen (Schmidt et al. 2017).



Abbildung 4: Fotografie von rostral in die Apertura nasi ossea einer „Doll-Face“ Perserkatze. Zu sehen ist die Lamellenbildung der knöchernen Grundlage (Ossa conchae) der Nasenmuscheln. Dazwischen gelegen sind die Nasengänge (Meatus nasales).

2.1.7.4 Nasengänge (Meatus nasales)

Die in die Nasenhöhle hervorragenden Nasenmuscheln grenzen drei Nasengänge ab. Der obere Nasengang (Meatus nasi dorsalis) ist zwischen dem Os nasale und der Concha nasalis dorsalis zu finden. Dieser ist eng begrenzt und endet im Nasengrund in Höhe der Riechschleimhaut, daher wird er auch als Riechgang bezeichnet (Koch und Berg 1992; König und Liebich 2009; Liebich und König 2009b; Waibl 2004). Zwischen der dorsalen und der ventralen Nasenmuschel befindet sich der mittlere Nasengang (Meatus nasi medius), der sich anschließend an der weit vorstehenden mittleren Nasenmuschel dorsoventral aufspaltet (Waihl 2004; Wilkens und Neurand 1994). Der dorsal verlaufende Schenkel führt zum Siebbeinlabyrinth und der ventrale Schenkel in den ventralen Nasengang (Wilkens und Neurand 1994). Dieser Nasengang kommuniziert mit den Sinus paranasales, deshalb auch die Bezeichnung als Sinusgang (Koch und Berg 1992; Waibl 2004). Ebenso steht er in Verbindung zur Kieferbucht (Recessus maxillaris). Der ventrale Nasengang (Meatus nasi ventralis) verläuft zwischen der ventralen Nasenmuschel und dem harten Gaumen (Budras et al. 2007; Liebich und König 2009b; Nickel et al. 2004). Da der Großteil der Luft den ventralen Nasengang durchströmt, wird er als Atmungsgang bezeichnet (Waihl 2004). In diesem Fall kann es bei den „Peke-Face“ Perserkatzen durch retrogrades Conchenwachstum zu einer Obstruktion und damit zu einer Einschränkung des Luftstroms kommen (Schmidt et al. 2017). Insgesamt ist der Verlauf der Nasengänge bei brachycephalen Katzen aufgrund der schräg gelegenen Ethmoturbinalia in der Nasenhöhle stark gewunden und kann dadurch in Beeinträchtigungen der Funktion der verschiedenen Gänge resultieren (Oppel 2002). Die dorsalen, mittleren und ventralen Nasengänge gehen medial in den gemeinsamen Nasengang (Meatus nasi communis) über, der zwischen dem Septum nasi und den Nasenmuscheln von dorsal nach ventral durchgehend verläuft (Budras et al. 2007; Nickel et al. 2004). Ausgehend vom kaudalen Ende des Meatus nasi ventralis sowie dem Meatus nasi communis erstreckt sich der beidseitig ausgebildete Meatus nasopharyngeus von der Nasenhöhle bis in die Choanen und setzt sich als Nasopharynx fort (Budras et al. 2007; Evans und De Lahunta 2013).

2.1.7.5 Nasennebenhöhlen (Sinus paranasales)

Die Sinus paranasales stellen pneumatisierte Hohlräume zwischen der Lamina externa und interna der Schädelknochen dar (Nickel et al. 2004). Diese entstehen bereits beim Fetus durch Ausstülpungen der Nasenschleimhaut in die betreffenden Knochen (König und Liebich 2009; Nickel et al. 2004; Salomon et al. 2008). Die Bildung beginnt in der späten Fetalperiode und ist erst beim adulten Tier abgeschlossen (König und Liebich 2009; Salomon

et al. 2008). Die luftführenden Sinus paranasales stehen mit der Nasenhöhle in Verbindung und sind von respiratorischer Schleimhaut ausgekleidet, allerdings beinhalten sie nur wenige Drüsen. Venenplexus sind nahezu nicht existent in den Nasennebenhöhlen (Wilkins und Neurand 1994). Die Pneumatisierung der Schädelknochen sorgt für eine Reduktion des Schädelgewichts (König und Liebich 2009; Loeffler 2002; Negus 1958; Nickel et al. 2004). Dadurch kann eine größere Schädeloberfläche bereitgestellt werden, sodass genügend große Ansatzflächen für Muskeln und ausreichend Raum für die Unterbringung der Zähne entsteht (König und Liebich 2009; Nickel et al. 2004). Bei der Katze gibt es lediglich drei Nasennebenhöhlen; den Recessus maxillaris, den Sinus frontalis und den Sinus sphenoidalis. Bei anderen Haussäugetieren ist die Kieferhöhle, Sinus maxillaris, zwischen der Außen- und Innenplatte der Maxilla und seinen benachbarten Knochen ausgebildet. Eine solche Kieferhöhle existiert bei der Katze und dem Hund nicht, sondern lediglich eine Kieferbucht (Recessus maxillaris). Außen wird sie begrenzt von der Maxilla und dem Os palatinum sowie innen von der Lamina orbitalis des Os ethmoidale (Evans und De Lahunta 2013; König und Liebich 2009; Nickel et al. 2004; Salomon et al. 2008). Die Kieferbucht ist flach ausgebildet und steht in weit offener Verbindung mit der Nasenhöhle. Ebenso befindet sich hier die Glandula nasalis lateralis, die mit ihrem serösen Sekret die Befeuchtung der Nasenspitze bewirkt (König 1992; König und Liebich 2009; Liebich 2004b; Michel 1992). Der Zugang (Apertura nasomaxillaris) zum Recessus maxillaris findet über den mittleren Nasengang statt (Waibl 2004) und wird rostral vom Processus uncinatus der dorsalen Nasenmuschel wie auch von der mittleren Nasenmuschel verdeckt (Wilkins und Neurand 1994).

Die Stirnhöhle, Sinus frontalis, ist bei der Katze paarig angelegt und pneumatisiert bei der ausgewachsenen Katze die Squama frontalis nahezu vollständig (Wilkins und Neurand 1994). Sie erstreckt sich vom Os nasale über den dorsomedialen Bereich der Orbita, den rostromedialen Teil der Fossa temporalis, den Processus zygomaticus des Os frontale bis zum Os parietale (Wilkins und Neurand 1994). Unterteilt werden die beiden Höhlen in der Medianen durch das knöcherne Septum sinuum frontalem (Evans und De Lahunta 2013). Die Stirnhöhle steht nach rostral über die Apertura sinus frontalis mit der Nasenhöhle in Verbindung. Diese Öffnung wird von der Basallamelle und der lateralen Spirallamelle des Ektoturbinale 2 begrenzt (Wilkins und Neurand 1994), während bei brachycephalen Katzen das Ektoturbinale 2 weit in den Sinus frontalis reicht (Opperl 2002). Die Stirnhöhle variiert von der Größe her mehr als die anderen Höhlen des Schädels (Evans und De Lahunta 2013). Bei der „Peke-Face“ Perserkatze ist der Sinus frontalis im Gegensatz zu dem der „Doll-Face“ Perserkatze klein bis gar nicht ausgebildet (Schmidt et al. 2017). Eine weitere bei der Katze vorkommende Nasennebenhöhle ist die paarige Keilbeinhöhle (Sinus sphenoidalis), die

durch ein Septum sinuum sphenoidalium unsymmetrisch in eine rechte und linke Höhle unterteilt wird (Nickel et al. 2004). Sie entsteht durch die Pneumatisierung des Praesphenoids und bei älteren Tieren ebenso des Basisphenoids des Os sphenoidale (Nickel et al. 2004). Ebenso wird das Basisphenoid auch bei brachycephalen Katzen häufig pneumatisiert (Oppel 2002). Der Eingang zum Sinus sphenoidalis (Apertura sinus sphenoidalis) liegt im ventralen Siebbeingang (Wilkens und Neurand 1994). Durch diesen sehr weiten Eingang ragt das Endoturbinale IV in die Keilbeinhöhle hinein (König 1992; Waibl 2004; Wilkens und Neurand 1994). Unmittelbar über der Keilbeinhöhle liegt nur durch eine feine Knochenlamelle getrennt der Sulcus chiasmatis und der Canalis opticus, wodurch bei Sinuserkrankungen unter Umständen auch Sehstörungen entstehen können (König 1992; Wilkens und Neurand 1994).

2.1.7.6 Funktionen des Atmungsapparates

In erster Linie dient der Atmungsapparat dem Gasaustausch von Sauerstoff und Kohlendioxid, der durch die Wand der Alveoli pulmonis (Blut-Luft-Schranke) stattfindet. Weitere Aufgaben der luftleitenden Wege sind die Reinigung, die Erwärmung sowie die Volumenregulation der Luft (Graumann und Sasse 2004; König und Liebich 2009; Waibl 2004). Das Atemvolumen wird bestimmt durch die Aktivität der Atmungsmuskeln in Ruhe oder bei forcierter Atmung. Die Regulierung der Luftzufuhr wird über die Nasenlöcher, den Kehlkopf und den Wechsel zwischen Nasen- und Mundatmung vorgenommen, wobei die Mundatmung nur bei forcierter Atmung verwendet wird (Waihl 2004). Die Reinigung der Atemluft erfolgt durch Flimmerepithel, das die Atemwege auskleidet. Die rhythmische Bewegung der Zilien sorgt dafür, dass die Partikel wieder mundwärts befördert werden, um letztlich entweder durch die Nasenlöcher direkt nach außen zu gelangen oder abgeschluckt werden zu können (Loeffler und Gäbel 2015; Waibl 2004).

Die Befeuchtung der Atemluft erfolgt durch seromuköse Drüsen. Ein stark verzweigtes Blutgefäßnetz in der Nasenschleimhaut, das sowohl in der Lage ist, erweitert wie auch gedrosselt werden zu können, sorgt für die nötige Erwärmung der Atemluft. Durch die vermehrte Wärme entsteht eine erhöhte Luftfeuchte in der Nasenhöhle, die für den Riechakt notwendig ist (Waihl 2004). Zudem ist auf dem Nasenhöhlengrund das Geruchsorgan vorhanden (König und Liebich 2009; Waibl 2004). Der Larynx bewirkt im Zusammenspiel mit anderen Kopforgangen wie der Zunge die Stimmgebung (König und Liebich 2009). Über die Trachea gelangt die Atemluft für den Gasaustausch in die Lungen (Waihl 2004).

2.1.7.7 Mikroanatomie der oberen Atemwege

Die luftleitenden Wege des Atmungstraktes werden größtenteils von einem Respirationsepithel ausgekleidet, das aus einem einschichtigen mehrreihigen hochprismatischen Flimmerepithel besteht (Hewicker-Trautwein 2007; Liebich 2004b). In dem Epithel inbegriffen sind Epithelzellen, von denen der Großteil Kinozilien an seiner Oberfläche trägt (Graumann und Sasse 2004; Liebich 2004b), die durch ihren synchronen Wimpernschlag mit der Luft eingedrungene Fremdstoffe oder auch körpereigene Partikel in Richtung Pharynx retrograd abtransportieren können. Zusätzlich sorgt Schleim an der Oberfläche der Zilien für die Haftung der Partikel an den Zilien. Der Schleim wird von den vielzähligen intraepithelial gelegenen Becherzellen in den oberen Luftwegen produziert (Liebich 2004b). Gemeinsam sorgen sie mit subepithelialen gemischten Drüsen für die Befeuchtung der Atemluft. Weiterhin kommen Epithelzellen mit Mikrovilli (Bürstenzellen) vor, die als Ersatzzellen für kinozilientragende Zellen und Becherzellen fungieren (Liebich 2004b). Basal im Epithel gelegen kommen zusätzlich Reservezellen (Basalzellen) vor, die sich durch Teilung auch in andere Zellen transformieren können (Liebich 2004b).

Im Bereich des Nasenvorhofs, dem Vestibulum nasi, geht die äußere Haut des Nasenspiegels zur haarlosen Schleimhaut über (Michel 1992). Hierbei handelt es sich um ein größtenteils pigmentiertes mehrschichtiges Plattenepithel (Liebich 2004b; Michel 1992). Diese drüsenlose Schleimhaut des Vestibulums liegt einem stark differenzierten Papillarkörper auf, verliert kurz vor dem Übergang zur Nasenhöhle an Höhe und geht langsam in das respiratorische Epithel über. Darunter gelegen ist die derb-elastische Lamina propria mucosae, die mit den Faszen der Muskulatur bzw. der Knorpelhaut in enger Verbindung steht. In dieser sind vermehrt Blutgefäße, Nervenstränge und vereinzelt seröse Drüsen enthalten (Liebich 2004b).

Die Nasenhöhle wird anhand der Schleimhautauskleidung unterteilt in eine Regio respiratoria und eine Regio olfactoria, wobei die Regio respiratoria den größten Raum einnimmt (Liebich 2004b). Die Nasenmuscheln, die Nasengänge und die Nasenscheidewand werden von einem respiratorischen Epithel mit Becherzellen bedeckt und von subepithelial gelegenen Bindegewebe, der Lamina propria mucosae, unterlagert. Hierbei handelt es sich um lockeres Bindegewebe, das in den unteren Lagen elastische Fasern enthält und in der Tiefe fest mit dem Perichondrium bzw. mit dem Stratum fibrosum des Knochens verbunden ist (Liebich 2004b; Michel 1992). Darin eingebettet sind entweder vereinzelt oder auch in größerer Zahl tubuloalveoläre muköse wie auch gemischte Drüsen, die Glandulae nasales (Liebich 2004b). Diese sind beim Fleischfresser aber nur in geringer Zahl vorhanden (Michel 1992).

Für lokale immunzelluläre Abwehrvorgänge ist zwischen den Drüsen lymphoretikuläres Gewebe eingelagert (Liebich 2004b; Michel 1992).

Das Gefäßsystem der respiratorischen Schleimhaut im Bereich der Nasenhöhle hat sowohl für die Erwärmung als auch für die Anfeuchtung der Atemluft eine große Bedeutung. Insbesondere sorgt es bei der Katze auch für die Thermoregulation des Gehirns (Bamford und Eccles 1983). Das lockere Bindegewebe der Schleimhaut wird von kleinen Arterien durchzogen und bildet subepithelial ein Kapillargeflecht mit gefensterten Endothelien. Ein sinusartig erweiterter Venenplexus ist daran angeschlossen. In seine Wände sind Längsmuskelpolster eingelagert, die durch Kontraktion den abfließenden Blutstrom im submukösen Venengeflecht drosseln können (Sperrvenen) und somit zum Anschwellen der Schleimhaut führen (Schwellkörper der Nasenschleimhaut). Zusammen mit dem Schleimfilm auf der Epitheloberfläche wird somit die Erwärmung und auch die Befeuchtung der Atemluft gewährleistet. Unterstützt wird dieser Mechanismus durch arteriovenöse Anastomosen mit epitheloiden Zellen (Liebich 2004b).

Die Schleimhaut der Regio respiratoria setzt sich in den Nasennebenhöhlen fort. Allerdings handelt es sich hierbei um ein niedriges respiratorisches Epithel, in dem nur wenige Drüsen enthalten sind (Liebich 2004b; Michel 1992; Schumacher 1934). In der dem Periost anliegenden Lamina propria mucosae kommen im Recessus maxillaris tubuloazinöse seröse Drüsen vor, die bis in den Sinusgang der Nasenhöhle hineinreichen (Liebich 2004b).

Geruchsreize werden über die Regio olfactoria wahrgenommen, die die Oberfläche der Ethmoturbinalia, der dorsalen Endoturbinalie und Teile des hinteren Nasenseptums bedecken (Liebich 2004b). Die Rietschleimhaut besteht aus Riechepithel, in dessen Lamina propria mucosae sich tubuloazinöse seröse verzweigte Drüsen, die Glandulae olfactoriae oder Bowman-Drüsen befinden (Liebich 2004b). Im Gegensatz zum respiratorischen Epithel sind im Riechepithel keine Becherzellen vorhanden, sondern vielmehr Basal- oder Ersatzzellen und Stützzellen (Michel 1992). Die Proteasen aus dem Drüsensekret sorgen für die Wahrnehmung der Riechstoffe und die Anheftung auf der Oberfläche der Sinneszellen (Liebich 2004b). Ebenso sorgen die Sekrete für den Abtransport, um neue Sinneswahrnehmungen zu ermöglichen (Liebich 2004b; Michel 1992).

Ein weiteres Geruchsorgan ist das paarig ausgebildete Organum vomeronasale (Jakobson-Organ), das nahe der Basis der Nasenscheidewand kaudal der Incisivi als Schleimhautrohr verläuft (Michel 1992; Thomé 2004) bis es auf Höhe der Molaren blind endet (Nickel et al. 2004). Das Organum vomeronasale kommuniziert über den Ductus incisivus mit der Nasen- bzw. Mundhöhle. Lateral ist die Innenwand von respiratorischem Epithel und medial von

olfaktorischem Epithel überzogen. Wie auch in der Regio olfactoria werden auch hier die Duftstoffe mithilfe des serösen Drüsensekrets gelöst. Daraufhin wird diese Wahrnehmung über efferente Bahnen des N. terminalis zur Area cribrosa und letztendlich zum Bulbus olfactorius transportiert (Liebich 2004b). Funktionell stellt das Organum vomeronasale ein Witterungs- und Mundgeruchsorgan dar (Michel 1992), das bei den Haussäugetieren eher rudimentär ausgebildet ist (Liebich 2004b). Bei der Katze werden Pheromone über das Flehmen von der Nasenhöhle zum Vomeronasalorgan transportiert. Durch das Hochschieben der Oberlippe wird die Nasenhöhle verschlossen, die Maulspalte währenddessen etwas geöffnet. Dadurch wird die Wahrnehmung durch das Organ gesteigert. Insbesondere bei männlichen Katzen ist das Flehmen weit verbreitet für die Aufnahme von Sexualduftstoffen (Hart und Leedy 1987).

Der Nasen- oder Atmungsrachen (Pars nasalis pharyngis) ist von respiratorischer Schleimhaut überzogen. In diesem Bereich befinden sich sowohl in der Lamina propria mucosae als auch in der Tela submucosa Ansammlungen von Lymphknötchen und tubuloazinösen gemischten Drüsen (Liebich 2004b). Die Pars nasalis pharyngis geht ab dem weichen Gaumen in die Pars oralis über. Dieser Abschnitt ist mit einer drüsenlosen Schleimhaut ausgekleidet, die lediglich in der Tiefe gemischte Drüsen und lymphoretikuläres Gewebe aufweist (Liebich 2004b).

2.2 Erkrankungen des Auges im Rahmen des Brachyzehalensyndroms

Bei dem brachyzehalen Hund beschrieb schon Dyce et al. (1991), dass das Hervorstehen der Augen im Vergleich zum normozehalen Hund zu einer wesentlich höheren Anfälligkeit für Verletzungen führt. Aufgrund der Kopfform sind brachyzephale Katzen im Vergleich zu anderen Katzenrassen für zahlreiche Augenerkrankungen prädisponiert (Maggs 2008a, 2008b). So weisen Blocker und Van Der Woerd (2001) auf eine verminderte zentrale korneale Sensitivität von brachyzehalen Katzen im Vergleich zu normozehalen Katzen hin. Die niedrige korneale Sensibilität bei der Perserkatze weist ebenso Gralla (2014) nach. Sie stellt bei steigendem Brachyzehaliegrad eine signifikante Abnahme der kornealen Empfindlichkeit fest (Gralla 2014). Die verminderte Sensitivität in Verbindung mit den prominenten Bulbi oculi bei brachyzehalen Katzen kann möglicherweise im Zusammenhang mit einer erhöhten Anfälligkeit für eine chronische Keratitis, Korneaulzerationen und Sequesterbildung stehen (Blocker und Van Der Woerd 2001).

Eine bekannte Erkrankung bei brachycephalen Katzen ist die Epiphora, wobei es sich um eine Abflussstörung der Tränenflüssigkeit handelt (Linek et al. 2008), die sich äußerlich durch Verfärbungen und Verschmutzung im Bereich der Augen (Abbildung 5), wie auch sekundäre Dermatitiden zeigt (Malik et al. 2009). Die am häufigsten betroffene Katze ist die Perserkatze (Barnett und Crispin 1998), ursächlich hierfür ist die runde Schädelkonformation mit ihren wenig ausgeprägten, flachen Orbitae (Künzel et al. 2003) und prominenten Bulbi oculi mit ihren eng anliegenden Augenlidern (Barnett und Crispin 1998). Breit et al. (2003) beschreiben, dass bei meso- und dolichocephalen Katzen ausgehend vom höher gelegenen Foramen lacrimale der Hauptteil des Tränennasengangs einen beinahe horizontalen Verlauf in der Nasenhöhle parallel zum harten Gaumen nimmt und somit ein freier Tränenfluss gewährleistet ist. Bei Katzen mit verkürztem Gesichtsschädel ergibt sich bei zunehmendem Brachycephaliegrad durch eine stärkere Dorsalrotation der Fazialknochen und Canini (Schlueter et al. 2009) ein recht- bis spitzwinkliger Anstieg des Tränennasengangs nach rostradorsal (Breit et al. 2003). Damit erfolgt eine Positionierung der unteren Puncta lacrimalia unterhalb des Niveaus des Ostium nasolacrimale, wodurch die Drainage des Tränennasenkanales eingeschränkt wird (Schlueter et al. 2009).

Weitere Ursachen für eine Epiphora sind die Atresie, Hypoplasie oder fehlerhafte Lage der abführenden Tränennasengänge sowie der Puncta lacrimalia, wie auch die Ausbildung eines nur flachen Tränensees. Bei Katzen sind am häufigsten die oberen Tränenpunkte und die zugehörigen Canaliculi lacrimalis betroffen (Barnett und Crispin 1998). Vielfach entwickeln sich chronische Fälle von Epiphora mit mukösem oder sogar mukopurulentem Augenausfluss, der das nasolacrimale Drainagesystem sekundär blockiert (Barnett und Crispin 1998). Bei einer weiteren Erkrankung, die am häufigsten bei Perserkatzen zu finden ist und durch die eng anliegenden Augenlider begünstigt wird, handelt es sich um das anatomische Entropium. Dieses bewirkt infolge der Einrollung des Lids und des Dochteffekts der Haare am medialen Kanthus zusätzlich eine verminderte Verteilung und Drainage des Tränenfilms. Es tritt bereits in frühem Alter auf und betrifft für gewöhnlich das untere, insbesondere das mediale Augenlid (Barnett und Crispin 1998). Die Inversion des Augenlids hängt mit den spezifischen fazialen anatomischen Merkmalen der Perserkatze zusammen. Bei jungen Katzen resultiert das Entropium aus einem andauernden Blepharospasmus, der durch irritative Faktoren des Auges wie Konjunktivitis oder Korneaulzerationen hervorgerufen wird. Bei älteren Katzen wiederum entsteht das Entropium durch Liderschlaffung oder durch einen Enophthalmus (Williams und Kim 2009). Unabhängig von der Rasse kann ebenso ein Mikrophthalmus mit dem anatomischen Entropium im Zusammenhang stehen (Barnett und Crispin 1998).



Abbildung 5: Fotografie eines Perserkatzenkopfes von frontal mit Darstellung von Tränenstraßen infolge von Epiphora. Auf der linken Seite ist eine „Doll-Face“ Perserkatze mit moderater Epiphora abgebildet, während auf der rechten Seite eine „Peke-Face“ Perserkatze mit hochgradiger Epiphora dargestellt ist. Die Verfärbungen und Verschmutzungen sind nicht nur im Bereich des medialen Kanthus, sondern auch über das gesamte untere Augenlid zu sehen.

Des Weiteren treten Hornhauterkrankungen bei der Katze auf, wie beispielsweise der Korneasequester. Er wird auch als Cornea nigra oder als Hornhautnekrose bezeichnet. Katzen weisen eine ohnehin verringerte Lidschlagfrequenz und verminderte Tränenproduktion als der Hund auf, wodurch schon eine gewisse Neigung zum Korneasequester erkennbar ist (Stades 2006). Die Entstehung des Korneasequesters steht mit einer verminderten kornealen Sensibilität im Zusammenhang, allerdings unabhängig davon, ob es sich um Perserkatzen oder Europäisch Kurzhaarkatzen handelt (Wagner 2002). Es ist generell für den Korneasequester eine Prädisposition für brachycephale Rassekatzen erkennbar (Stades 2006), die einen „physiologischen“ Exophthalmus aufweisen und dadurch als besonders anfällig gelten (Kindler 1997; Linek 2002). Es sind insbesondere Perserkatzen betroffen (Barnett und Crispin 1998; Featherstone und Sansom 2004; Gelatt et al. 1973; Kindler 1997; Stades 2006). Die Heritabilität dieser Erkrankung ist zwar nicht bewiesen, aber eine rezessive Vererbung ist sehr wahrscheinlich (Kindler 1997). Laut Barnett und Crispin (1998) kommt der Korneasequester bei Katzen für gewöhnlich unilateral vor, es sei denn es besteht eine Rasseprädisposition. Charakteristisch hierfür sind braun-schwarz pigmentierte Läsionen, die eine runde bis ovale Form aufweisen und zentral oder parazentral liegen (Heider 1993). Initial bildet sich eine diffuse Pigmentation im Zentrum des Hornhautepithels, woraus diese sich dann unter Dickenzunahme zu einer schwarz glänzenden Plaque entwickelt. Weiterhin bilden sich unter der Plaque und im umliegenden Epithel wie auch im Stroma der Kornea Ödeme und Nekrosen aus. Eine spontane Abstoßungsreaktion Monate bis Jahre später ist möglich (Stades 2006). Begleitend treten Epiphora, Blepharospasmus, Nickhautprotrusion

und Chemosis auf (Heider 1993). Die Ätiologie dieser Erkrankung ist bisher ungeklärt, allerdings wird ein Zusammenhang mit ulzerativer Keratitis, Herpeskeratitis und Keratokonjunktivitis sicca festgestellt (Barnett und Crispin 1998). Weitere Faktoren wie Anomalien der Augenlider, die Aplasie des dritten Augenlids, Trichiasis des medialen Kanthus und ein Entropium (Barnett und Crispin 1998) oder eine schnellere Tränenauflöszeit durch eine herabgesetzte Lidschlagfrequenz oder Lagophthalmus, spielen eine Rolle bei der Entstehung eines Hornhautsequesters (Stades 2006).

Eine weitere bei Perserkatzen auftretende Augenerkrankung ist das kongenitale Ankyloblepharon, bei dem das obere und untere Augenlid durch eine Membran miteinander verbunden sind. Gelegentlich ist der Auslöser eine vorangegangene Infektion mit dem feline Herpesvirus-1, das hinter geschlossenen Augenlidern aus einer Ophthalmia neonatorum resultiert. Meist ist ein Anschwellen hinter geschlossenen Augenlidern und klarer Augenausfluss ausgehend vom medialen Kanthus zu beobachten, der im unbehandelten Fall mukopurulent wird. Die Komplikationen von Ophthalmia neonatorum schließen Korneaulzerationen, Endophthalmitis und inadäquate Tränenproduktion und Drainage ein. Bei älteren Katzen, die in jungen Jahren an Ophthalmia neonatorum erkrankten, vor allem bei unbehandelten Katzen, sind Augenliddefekte zu erwarten (Barnett und Crispin 1998).

2.3 Fehlstellungen der Zähne bei brachycephaler Kopfform

Der bei brachycephalen Katzen verkürzte Kiefer resultiert in einer Verdichtung der Zähne (Case 2003), während bei kurzköpfigen Hunderassen der fehlende Patz im Oberkiefer meist durch Querstellung der P3 und P4 ausgeglichen wird, selten aber durch den Verlust eines Prämolaren (Habermehl 1994). Da bei der Prognathia inferior (Abbildung 6) das Wachstum des Unterkiefers die Gesichtsschädelentwicklung übertrifft, entwickeln sich oft Probleme der Zahnokklusion (Dyce et al. 1991). Die Prognathie tritt insbesondere bei „Peke-Face“ Perserkatzen mit der Folge von Abweichungen im Kaumuster von Canini und Incisivi auf (Schmidt et al. 2017). Durch die Behinderung der physiologischen Kautätigkeit verweilen Futterreste in der Mundhöhle, wodurch eine vermehrte Plaquebildung und Parodontose begünstigt wird (Malik et al. 2009). Besonders bei der in den Vereinigten Staaten entstandenen „Peke-Face“ Perserkatze ist die abnorme Ausrichtung der Zähne auffällig (Case 2003). Aufgrund der bereits erwähnten Dorsalrotation der Schädelknochen beginnen die Canini im Oberkiefer zu rotieren von beinahe vertikaler Position bei leichten Fällen bis hin zu einer nahezu horizontalen Position bei besonders schweren Fällen (Schlueter et al. 2009).



Abbildung 6: Fotografie eines Perserkatzenschädels mit Prognathia inferior einer „Doll-Face“ Perserkatze in rechtslateraler Ansicht. Die Mandibula überragt deutlich sichtbar die Maxilla.

Schmidt et al. (2017) stellten fest, dass die Verkippung nicht nur bei den Canini im Oberkiefer, sondern auch bei den oberen Incisivi der „Peke-Face“ Perserkatzen stattfindet; bei „Doll-Face“ Perserkatzen traten die Anomalien hingegen nicht auf. Das Ausmaß der Verlagerung der Canini, das heißt ihre Position im Kiefer, kann als Grundlage für die Klassifikation der Brachyzephalie bei der Katze herangezogen werden (Schlueter et al. 2009). Zusätzlich kann bei hohen Brachyzephaliegraden eine Abnahme des Abstandes zwischen den Wurzeln der beinahe horizontal stehenden Canini und den benachbarten Sacculi lacrimalis gesehen werden, wodurch eine direkte Passage des Ductus nasolacimalis erschwert bzw. verhindert wird (Schlueter et al. 2009). Weiterhin besteht aufgrund der örtlichen Nähe bei inkorrektem Extrahieren der Canini die Gefahr einer Beschädigung des Ductus nasolacimalis (Malik et al. 2009).

2.4 Erkrankungen der Atemwege im Zusammenhang mit dem Brachyzephalensyndrom

Aufgrund der Anomalie der brachyzephalen Schädelform entsteht ein Komplex aus vorwiegend inspiratorisch auftretenden Atemstörungen, die sowohl in Ruhe als auch nach Bewegung auftreten können (Herzog 2001). Dieser Komplex wird unter dem Begriff brachyzephalales Atemnotsyndrom zusammengefasst (Oechtering et al. 2007b). Typische anatomische

Anomalien der von Brachycephalie betroffenen Tiere sind stenotische Nares, ein verlängertes Gaumensegel, eine verengte Rima glottidis sowie vorgefallene Stimmtaschen und Tonsillen (Aron und Crowe 1985; Wykes 1991). Diese Anomalien können sowohl einzeln als auch in Kombination auftreten (Koch et al. 2003). Das Gaumensegel brachycephaler Hunde ist zudem mehr als doppelt so dick wie bei normozephalen Hunden (Köhler et al. 2016). Während beim Hund häufig vollständige Stenosen der Nasengänge vorkommen, sind bei der kurzköpfigen Katze eher Verengungen der Nasengänge zu finden. Dabei sorgt bei den brachycephalen Katzen mit ihren runden Schädeln die zweimalige Richtungsänderung des Meatus nasi ventralis wie auch die ungünstige Konformation der knöchernen Nasenhöhlenöffnung für die Behinderung des Luftstroms innerhalb der Nasenhöhle (Künzel et al. 2003). Die Richtungsänderung des Meatus nasi ventralis resultiert aus den schräg in der Nasenhöhle gelegenen Ethmoturbinalia (Oppel 2002).

Bei brachycephalen Hunden und Katzen beschreiben Oechtering et al. (2010) die Nasenmuscheln im Verhältnis zur knöchernen Umgebung als deutlich zu groß. Daher handelt es sich hierbei um eine relative Conchenhypertrophie. So wachsen die Lamellen der Nasenmuscheln bis zum gegenseitigen Kontakt aufeinander zu, wodurch der Bereich für die zirkulierende Luft stark eingeengt wird (Oechtering et al. 2010). Bei Hunden konnten Oechtering et al. (2007b) belegen, dass bei extremer Verkürzung des Gesichtsschädels und der Nasenhöhle zusätzliche Muschelanteile als aberrante Conchen in die Atemwege hineinwachsen und so für eine Obstruktion sorgen. Während die rostralen aberranten Conchen (RAC) aus der mittleren Nasenmuschel entspringen und nach rostral ziehen, stammen die kaudalen aberranten Conchen (CAC) aus der ventralen oder mittleren Nasenmuschel und verlegen nach kaudal hin die Choanen. Die Muscheln sind durch einen geringen Verzweigungsgrad und durch plumpe Lamellenbildung charakterisiert (Oechtering et al. 2007b). Weiterhin fanden Schmidt et al. (2017) ebenso bei der „Peke-Face“ Perserkatze Verschiebungen der Nasenmuscheln in Richtung Nasenhöhle oder Schädelhöhle. Als weitere Veränderung fiel beim Hund die Septumdeviation bei 52 % der Tiere auf, die aufgrund der abnorm weit nach rostral ragenden mittleren Nasenmuschel auftrat (Oechtering et al. 2007b). Schon Harvey (1989) beschreibt, dass der Schädel brachycephaler Hunderassen überproportional überschüssiges Weichteilgewebe beinhaltet, das sich nicht proportional der Schädelverkürzung anpasst. Der intranasale Strömungswiderstand brachycephaler Hunde liegt deutlich über dem normozephaler Hunde (Lippert et al. 2010). Insgesamt lässt sich feststellen, dass die anatomischen Veränderungen bei Hund und Katze ähnlich sind. So führen bei der Katze die Auswirkungen der stenotischen Nares (Ballauf 1996; Oechtering et al. 2010), die zusammengestauchten Nasenmuscheln (Ginn et al. 2008) und der verlängerte weiche Gaumen (Corgozinho et al. 2012) zu

laryngealen Traumata, Entzündungen und Schwellungen der Schleimhäute der oberen Atemwege und zu nasopharyngealen Stenosen (Corgozinho et al. 2012).

Als hilfreich für die Beurteilung der Schwere des brachyzephalen Atemnotsyndroms bei der Katze gilt das Verhältnis zwischen Maullänge, die von der Nasenspitze bis zum „Stop“ gemessen wird und der kranialen Länge, die den Abstand von der Nasenspitze bis zur Protuberantia occipitalis darstellt. So steigt das Risiko für eine erschwerte Atmung stark an, wenn das Maul kleiner ist als die Hälfte der kranialen Länge (Farnworth et al. 2016).

Das Risiko obstruierender Atemwege nimmt bei wachsendem Halsumfang und bei Adipositas ebenfalls deutlich zu wie eine Studie von Packer et al. (2015b) beim Hund zeigt. Zusätzlich sind die stenotischen Nares und der Body Condition Score (BCS) wichtige Einflussgrößen bei dem Mops, der Französischen Bulldogge und der Bulldogge (Liu et al. 2017). Infolge des aus der Obstruktion des Atemwegtraktes resultierenden erhöhten negativen Drucks, kann der Cartilago arytenoideus des Larynx kollabieren (Wykes 1991).

Die klinische Symptomatik der Brachyzephalie stellt sich weiterhin sehr vielschichtig dar. So treten Stridores pharyngeales, Atemnot, verminderte Stresstoleranz (Wykes 1991), verlängerte Erholungszeit nach Anstrengung, Schlafapnoe und Hitzeintoleranz auf (Emmerson 2014). Die Hitzeintoleranz erklärt sich daraus, dass die Nase einer ihrer Hauptaufgaben, der Thermoregulation, nicht mehr ungehindert nachgehen kann (Oechtering et al. 2010). Insbesondere äußert sich eine durch die Obstruktion bedingte Dyspnoe bei der Katze schon bei geringer Anstrengung in der für sie untypischen Maulatmung (Herzog 2001).

Weiterhin besteht ein Zusammenhang zwischen der respiratorischen Symptomatik brachyzephaler Hunde und der Prävalenz gastrointestinaler Störungen wie Regurgitieren und Erbrechen, die durch veränderte Druckverhältnisse im Atemtrakt bedingt sind (Poncet et al. 2005). In schweren Fällen von Brachyzephalie ist unter Umständen durch die eingeschränkte Atmung sogar mit Zyanose und Kollaps zu rechnen (Koch et al. 2003; Wykes 1991). Emmerson (2014) schlussfolgert aufgrund der Symptomatik, dass das sogenannte „Brachycephalic obstructive airway syndrome (BOAS)“ einen starken Einfluss auf die Lebensqualität der betroffenen Tiere hat und letztlich auch zum Tod führen könnte. Über einen sogenannten „Respiratory Score“ ließ Farnworth et al. (2016) die Besitzer der brachyzephalen Katzen die Atmung ihrer Tiere eigenständig beurteilen, um so eine Skalierung der Atemgeräusche festlegen zu können und diese mit gemessenen Schädelparametern in Relation zu setzen. Starke Atemgeräusche bedeuteten einen hohen „Respiratory Score“, der auf stärkere respiratorische Obstruktionen hinwies. Die betroffenen Tiere zeigten eine Einschränkung der

Bewegungsaktivität, wodurch wiederum eine scheinbare Verbesserung der Atemsituation bedingt wurde. Dies führte somit zu einer Unterbewertung des „Respiratory Scores“. Dadurch ließe sich der illusorische Eindruck der Mehrheit der Katzenbesitzer erklären, dass ihre Tiere wenig Atemanomalien aufwiesen (Farnworth et al. 2016).

2.5 Die Perserkatze - Herkunft und Züchtung

Die Perserkatze gehört zu einer der ältesten domestizierten Katzenrassen (Morris 1999). Sie ist die beliebteste Langhaarrasse in den Vereinigten Staaten (Case 2003). Die ersten Perserkatzen, die Ende des 19. Jahrhunderts nach Großbritannien kamen, wiesen alle eine weiße Fellfarbe auf (Case 2003). Heutzutage sind viele verschiedene Farbvarianten wie auch Muster bei den Perserkatzen etabliert (Case 2003; The Cat Fanciers' Association 2015). Eine der beliebtesten Formen der Perserkatze ist die Colourpoint, die auch unter Himalayan bekannt ist und in einigen Registrierungen sogar als eigene Rasse angesehen wird (Case 2003).

Die Erscheinung der Perserkatze wird in der Literatur als charakteristisch dargestellt. Gemäß des Rassestandards der Cat Fanciers' Association sollte sie einen gedrungenen Körper mit kurzen starken Beinen haben. Der Kopf sollte groß und rund sein mit kleinen Ohren. Ebenso zeichnet sich die Perserkatze durch dickes langes abstehendes Fell mit dichtem Unterfell aus (The Cat Fanciers' Association 2015). Das lange Fell bedarf mehr Pflege als die meisten Besitzer aufbringen können, wodurch es verknotet und verfilzt (Malik et al. 2009). Ebenso betreiben die Perserkatzen weniger effiziente Fellpflege als domestizierte Hauskatzen, dadurch sind diese häufiger von Flohbefall betroffen (Malik et al. 2009). Die Nase sollte kurz und breit sein und einen „Stop“ zwischen den Augen aufweisen. Der sanftmütige, liebenswürdige, anhängliche und freundliche Charakter der Perserkatze macht diese zu einem beliebten Haustier. Diese Charakterzüge sind durch Zuchtselektion in den letzten hundert Jahren vermehrt gefördert worden (Morris 1999).

Das Gesicht der Perserkatze ist im Verlauf der Zucht noch flacher geworden als im vorherigen Jahrhundert (Morris 1999). Die Besessenheit einiger Züchter eine immer extremere Reduktion des Gesichtsprofils der Katzen zu erreichen (Abbildung 7), führte zu einer Aufspaltung innerhalb der Rasse, wodurch die Zuchtrichtung „Peke-Face“ Perser in den Vereinigten Staaten entstand (Case 2003). Die „Peke-Face“ Perserkatze ist gekennzeichnet durch ein abgeflachtes Gesicht, abnormale Stellung der Zähne, beeinträchtigte Atmung und einen verschlossenen Tränennasengang (Case 2003). Zudem treten bei der Perserkatze verschiedene genetische Anomalien wie das Chediak-Higashi-Syndrom auf.

Dies ist ein autosomal rezessiver Erbgang, bei dem eine Aufhellung des Fells und der Iris stattfindet. Darüber hinaus leiden die Tiere an Lichtempfindlichkeit und an einer verlängerten Blutungszeit. Eine weitere Erkrankung ist die Mannosidose, die ebenso autosomal rezessiv vererbt wird und bei der ein Mangel des Enzyms Alpha-Mannosidase vorliegt und letztlich schon bei der Geburt oder in jungen Jahren zum Tod führt (Case 2003). Der brachycephale Kopftyp, der oft an eher junge Tiere erinnert (Abbildung 7 B, D), sorgt für große Beliebtheit. Nach der Lorenz-Theorie werden kindchenähnliche Charakteristika im Auge des Betrachters als „schön“ angesehen, da der angeborene Beschützerinstinkt geweckt wird.

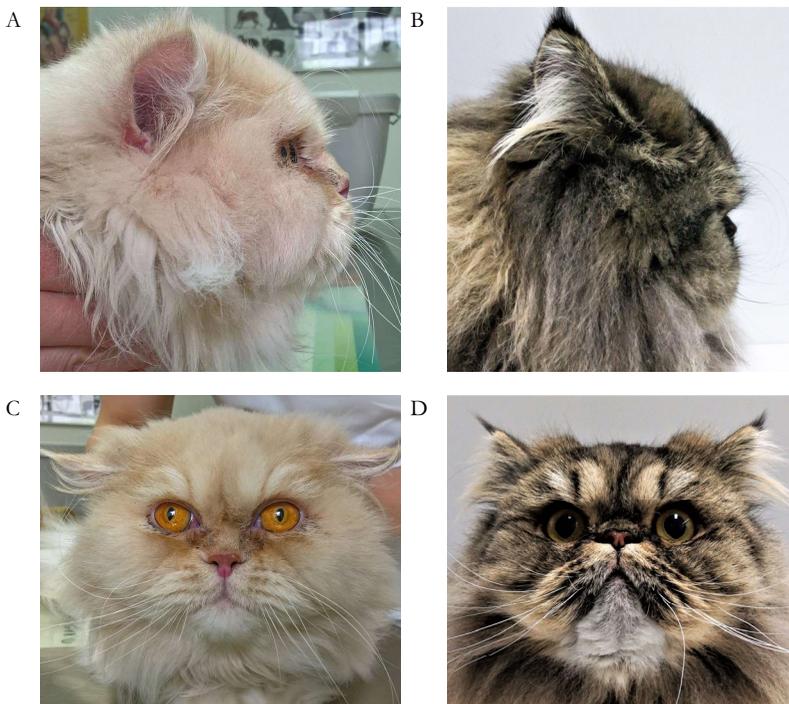


Abbildung 7: Fotografien von Perserkatzenköpfen in lateraler und frontaler Ansicht von „Doll-Face“ und „Peke-Face“ Phänotypen. Die Abbildungen auf der linken Seite zeigen eine „Doll-Face“ Perserkatze in lateraler (A) und frontaler (C) Ansicht mit reduzierter, aber noch vorhandener Fazialregion. Die Abbildungen auf der rechten Seite zeigen eine „Peke-Face“ Perserkatze in lateraler (B) und frontaler (D) Ansicht mit stark reduzierter Fazialregion. In lateraler Ansicht ist eine Abflachung des Gesichtspröfils bereits bei der „Doll-Face“ Perserkatze (A) zu sehen, bei der „Peke-Face“ Perserkatze (B) allerdings in extremer Ausprägung.

Ein großer Kopf, große Augen und kleine starke Gliedmaßen wie sie bei der Perserkatze als ideal angesehen werden, gelten als hübsch und niedlich. Ein kindliches Gesicht vermittelt ein Gefühl von Reinheit, Aufrichtigkeit und Ehrlichkeit, wodurch das Verlangen zu beschützen verstärkt wird (Fournier 2002).

2.6 Schädelformen und Kranimetrie

2.6.1 Schädelformen bei Katzen

Schlueter et al. (2009) untersuchten verschiedene Charakteristika an Schädeln brachyzephaler Katzen im Vergleich zu Schädeln mesozephaler Katzen. Für die Untersuchung wurden mazerierte Schädel euthanasierter Katzen und 3D-Rekonstruktionen auf Grundlage computer-tomographischer Aufnahmen beurteilt. Mithilfe der 3D-Rekonstruktionen war eine Kategorisierung der Katzen auch zu Lebzeiten möglich (Schlueter et al. 2009). Die Beurteilung von frontal und lateral wurde nach den folgenden Kriterien durchgeführt, woraus eine Einteilung in Brachyzephaliegrade resultierte.

Bei einer geringgradig ausgeprägten Brachyzephalie (Brachyzephaliegrad 1) handelt es sich um eine milde Form der Brachyzephalie. Dabei stehen die oberen Canini nahezu vertikal und es ist keine Dorsalrotation des Oberkiefers vorhanden. Der Übergang vom Os nasale zum Os frontale („Stop“) ist kaum sichtbar, wobei die fazialen und die neurokranialen Knochen eindeutig ausgeprägt sind.

Die mittelgradige Brachyzephalie (Brachyzephaliegrad 2) ist eine moderate Form der Brachyzephalie. Es ist eine beginnende Dorsalrotation der oberen Canini wie auch des Oberkiefers erkennbar. Der „Stop“ ist bei diesem Brachyzephaliegrad ersichtlich, gleichzeitig ist das Os nasale in seiner Länge reduziert. Das Neurokranium weist eine runde bis apfelförmige Form auf.

Die hochgradige Form der Brachyzephalie (Brachyzephaliegrad 3) bringt eine markante Dorsalrotation der oberen Canini und des Oberkiefers mit sich. Hierbei hat die Nasenspitze ein höheres Niveau als das untere Augenlid. Der charakteristische „Stop“ beim Übergang vom Os nasale zum Os frontale ist bei diesem Grad deutlich ausgeprägt. Das Os nasale und die neurokranialen Knochen sind verkürzt.

Die höchstgradige Brachyzephalie (Brachyzephaliegrad 4) ist gekennzeichnet durch eine extremere Ausprägung der Merkmale als beim Brachyzephaliegrad 3. Dazu zählen beinahe horizontal ausgerichtete obere Canini und ein hoher Grad an Dorsalrotation des Oberkiefers.

Die Nasenspitze hat ebenso wie bei Grad 3 ein höheres Niveau als das untere Augenlid. Ebenso ist der „Stop“ noch ausgeprägter und die fazialen Knochen sind noch unterentwickelter ausgebildet. Das Neurokranium weist eine runde Form auf.

Bei dieser Studie wurden zusätzlich zu den Perserkatzen auch Exotic Shorthair als Vertreter der Brachyzephalen untersucht (Schlueter et al. 2009).

Eine bisher nur unklar definierte Phänotypisierung in „Doll-Face“ und „Peke-Face“ Perserkatzen konkretisieren Schmidt et al. (2017) in Anlehnung an die Rassestandards der The Cat Fanciers' Association (2015) mithilfe von CT Datensätzen und dreidimensionalen Rekonstruktionen. Somit werden in lateraler Ansicht die Nase und die Augen in Relation gesetzt. Eine Vertikalebene auf Höhe des distalen Augenpols dient als Orientierung; befindet sich die Nasenspitze kaudal dieser Ebene, handelt es sich um eine „Peke-Face“ Perserkatze. Wenn die Nasenspitze rostral der Ebene zu finden ist, handelt es sich um eine „Doll-Face“ Perserkatze (Schmidt et al. 2017).

2.6.2 Brachyzephalie

Brachyzephalie bedeutet eine Verkürzung der Kiefer- und Nasenknochen bei breiter runder Ausformung des Schädels bis hin zum primatenähnlichen Rundkopf. Charakteristisch für die brachyzephalen Schädelform sind ebenso ausgeprägte Jochbögen, eine Wölbung des Schädeldachs, eine kräftige Backenregion, eine kurze breite Nase und ein hoher „Stop“. Im Extremfall ist eine ausgeprägte Stupsnase ausgebildet, bei der die Nasenspitze deutlich höher liegt als das Niveau der unteren Augenlider (Herzog 2001).

Eine erste Unterteilung in dolichocephale, mesozephal und brachyzephalen Rassen nahmen Ellenberger und Baum (1891) vor. Erstmalige Untersuchungen hinsichtlich eines Zusammenhangs zwischen anatomischen Abweichungen und brachyzephaler Gestalt bei Hunden wurde von Leonard (1957) durchgeführt. Auf Brachyzephalie wird insbesondere bei Perserkatzen und Exotic Shorthair gezüchtet. Dyce et al. (1991) beschreiben, dass bei brachyzephalen Hunden die Crista sagittalis externa im Gegensatz zu dolichocephalen Schädeln stark reduziert ist. Bei „Peke-Face“ Perserkatzen fehlt diese sogar vollständig (Schmidt et al. 2017).

Künzel et al. (2003) untersuchten 69 reinrassige Katzen verschiedener Rassen und bildeten drei Kategorien phänotypischer Schädelkonformationen: die rundliche, die dreieckige und die keilförmige Kopfform. Der runde Schädel brachyzephaler Tiere entsteht durch die Reduktion der Länge des Gesichts- und Gehirnschädels. In vielen Fällen ist damit assoziiert, dass ein disproportionaler Wachstum in Höhe und Breite des Gehirnschädels wie auch eine

Konvexität der Karlotte auftritt. Von der Reduktion des Gesichtsschädels ist hauptsächlich die Oberfläche der Nase betroffen, weniger der Gaumen. Die knöcherne Nasenöffnung ist flacher geneigt und die Maxilloturbinalia ist steiler angelegt (Künzel et al. 2003). Zudem sind die Ethmoturbinalia ebenso schräg in der Nasenhöhle brachycephaler Katzen gelegen (Oppel 2002). Bei der rundlichen Schädelform ist das Os nasale beinahe rechtwinklig geneigt und das Foramen magnum zwischen den okzipitalen Kondylen vergrößert (Künzel et al. 2003). Sowohl bei brachycephalen als auch bei dolichocephalen Katzenrassen ist eine signifikant höhere Dystokierate im Gegensatz zu mesozephalen Katzenrassen zu beobachten (Gunn-Moore und Thrusfield 1995), wobei insbesondere bei der Perserkatze eine hohe Inzidenz für eine Dystokie besteht (Ekstrand und Linde-Forsberg 1994; Gunn-Moore und Thrusfield 1995). Die Perserkatzen weisen im Vergleich zu den Siamkatzen eine höhere Totgeburtensrate auf. Ursächlich dafür ist das breite platte Gesicht bei Perserwelpen, das zu Schweregeburten und Geburtsverzögerungen führt (Prescott 1973). Povey (1978) bestätigte die höhere Mortalität bei Perserkatzen, Himalajakatzen und Manxkatzen im Vergleich mit Kurzhaarkatzen. Auch hier werden Totgeburten als hauptsächlicher Grund angeführt.

Die brachycephale Schädelform ist das Ergebnis eines Erbdefektes der Schädelbasis (Stockard et al. 1941). Aufgrund von prämaternen Fusionen der Synchronosis sphenoccipitalis wie auch der Synchronosis intersphenoidalis wird das Wachstum der basicranialen Achse frühzeitig begrenzt und führt somit zu einer Verkürzung in diesem Bereich, während der Unterkiefer ungehindert weiterwächst (Evans und De Lahunta 2013). Bereits beim Neugeborenen ist das Viszerokranium im Verhältnis zum Neurokranium zu klein. Ebenso bleiben die vollen Rundungen, die Merkmale der Neonaten und jungen Tiere darstellen, bei den adulten Phänotypen erhalten (Lauruschkus 1942). Das dadurch entstandene Kindchenschema zieht viele Menschen instinktiv an und erklärt die große Beliebtheit brachycephaler Tiere (Fournier 2002).

2.6.3 Kranioimetrie

Um eine Einteilung der Schädelformen vornehmen zu können, werden vergleichbare Parameter benötigt. Erste kranioimetrische Messungen an Hundeschädeln und Röntgenbildern fanden durch Stockard et al. (1941) und Regodon et al. (1993) statt. Hierfür wurden lineare Messungen mithilfe von Landmarken vorgenommen, die bei weiteren Schädelmessungen auch in späteren Studien bezüglich brachycephaler Hunde Anwendung fanden (Evans und De Lahunta 2013). Die von Stockard et al. (1941) definierten Messpunkte bildeten die Grundlage für die hier angewandten Messungen, die allerdings von Evans und De Lahunta

(2013) modifiziert wurden. Weiterhin wurde die Kranimetrie ebenso bei Hunden in späteren Studien an 3D-Modellen auf Grundlage von CT-Datensätzen vorgenommen (Schmidt et al. 2011). Erstmals nahmen Schmidt et al. (2017) kranimetrische Messungen an Katzenschädeln vor, um den Zusammenhang zwischen der Schädelkonformation der Perserkatzen als Vertreter der brachyzephalen Katzen und einem internen Hydrocephalus zu ermitteln. Das Inion ist der zentralste Punkt auf der Protuberantia occipitalis externa. An der medianen Verbindung der rechten und linken Sutura nasofrontalis befindet sich das Nasion. In der gleichen Ebene am rostralsten Punkt des Os nasale befindet sich das Akronasion. Am Kreuzungspunkt der koronalen und sagittalen Schädelnaht ist das Bregma gelegen. Am rostralen Ende der Sutura interincisiva, lokalisiert zwischen den Wurzeln der Canini, ist das Prosthion zu finden. Das Basion ist in der Mitte des ventralen Randes des Foramen magnum gelegen. Am lateralsten Punkt des Arcus zygomaticus befindet sich das Zygion. Der am meisten lateral gelegene Punkt der Schädelkapsel ist das Euryon (Stockard et al. 1941).

Mithilfe dieser Punkte können verschiedene Längen- und Breitenmessungen des Schädels vorgenommen werden (Abbildung 8, Abbildung 9).

- Faziale Länge:** Messung von Nasion zu Prosthion
- Faziale Breite:** Messung von Zygion zu Zygion
- Kraniale Länge:** Messung von Inion zu Nasion
- Kraniale Breite:** Messung von Euryon zu Euryon
- Schädellänge:** Messung von Inion zu Prosthion
- Schädelbreite:** Messung von Zygion zu Zygion

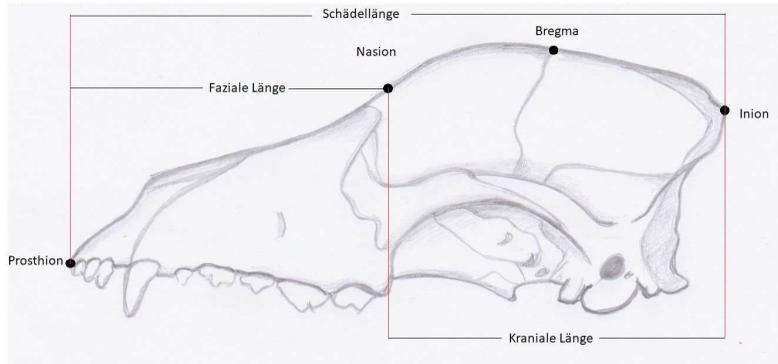


Abbildung 8: Skizze eines Hundeschädels in linkslateraler Ansicht mit Benennung der kranio-metrischen Knochenpunkte. Dargestellt ist das Prosthion (rostralster Punkt der Ossa incisiva), das Nasion (Verbindung der rechten und linken Sutura nasofrontalis), das Bregma (Kreuzungspunkt der koronalen und sagittalen Schädelnaht) und das Inion (zentralster Punkt der Protuberantia occipitalis externa). Mithilfe dieser Knochenpunkte wird die *Schädellänge* (Messung zwischen Prosthion und Nasion) und die *kraniale Länge* (Messung zwischen Nasion und Inion) bestimmt. Die kranio-metrischen Knochenpunkte und Streckenmessungen sind in Anlehnung an die Definitionen von Evans und De Lahunta (2013) bezeichnet.

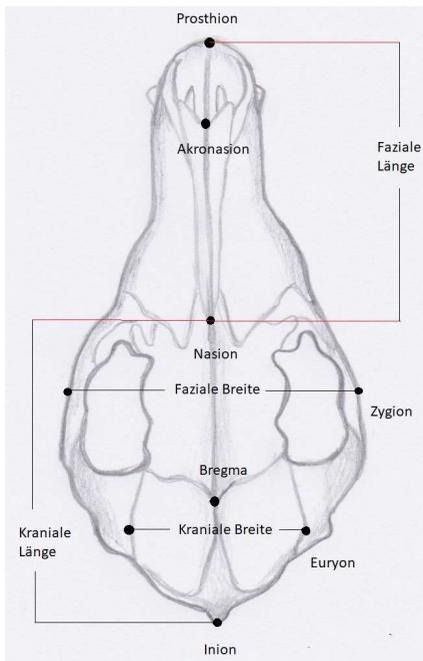


Abbildung 9: Skizze eines Hundeschädels in dorsaler Ansicht mit Benennung der kranio-metrischen Knochenpunkte. Dargestellt ist das Prosthion (rostralster Punkt der Ossa incisiva), das Nasion (Verbindung der rechten und linken Sutura nasofrontalis), das Bregma (Kreuzungspunkt der koronalen und sagittalen Schädelnaht), das Inion (zentralster Punkt der Protuberantia occipitalis externa), das Akronasion (rostralster Punkt des Os nasale), das Zygion (lateralster Punkt des Arcus zygomaticus) und das Euryon (lateralster Punkt der Schädelkapsel). Mithilfe dieser Knochenpunkte ist die Messung der *fazialen Länge* zwischen Prosthion und Nasion, die Messung der *kranialen Länge* zwischen Nasion und Inion, die Messung der *kranialen Breite* zwischen dem rechten und linken Euryon und die Messung der *fazialen Breite* zwischen dem rechten und linken Zygion dargestellt. Die kranio-metrischen Knochenpunkte und Streckenmessungen lehnen sich an die Definitionen von Evans und De Lahunta (2013) an.

Mithilfe dieser Längen- und Breitenmessungen ist die Berechnung folgender Indizes möglich (Evans und De Lahunta 2013):

Fazialer Index = Faziale Breite x 100 / Faziale Länge

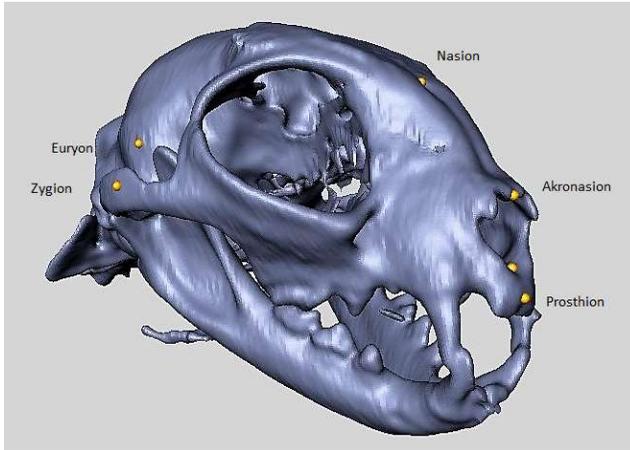
Kranialer Index = Kraniale Breite x 100 / Kraniale Länge

Schädelindex = Schädelbreite x 100 / Schädellänge

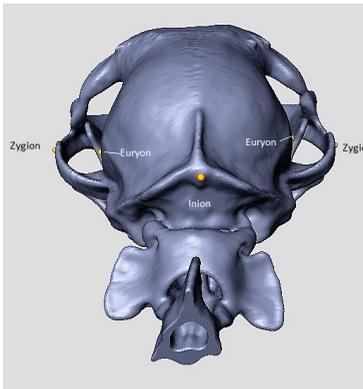
Aufgrund der Mittelwerte der berechneten Indizes kann eine Einteilung in brachycephale, mesozephal und dolichocephale Schädelformen bei Hunden vorgenommen werden (Evans und De Lahunta 2013). Hohe Werte der Indizes bedeuten auch einen höheren Brachycephaliegrad (Evans und De Lahunta 2013). Die kranio-metrischen Messungen an 3D-Modellen der Perserkatzen aus der Studie von Schmidt et al. (2017) sind vergleichbar mit Messungen an Hundeschädelpräparaten. Die kranio-metrischen Parameter wie auch die Streckenmessungen am Perserkatzenschädel sind in den Abbildung 10 und Abbildung 15 dargestellt. Zusätzlich berechneten Brehm et al. (1985) Längen-Längen- und Längen-Breitenindizes. Die Berechnung der Indizes ermöglicht einen Vergleich zwischen den Schädelkonformationen, bei dem der Einfluss der Körpergröße ausgeschlossen wird, da starke Abweichungen bezüglich der Größe zwischen brachycephalen und dolichocephalen Rassen bestehen. Normalerweise sind dolichocephale Rassen größer als brachycephale Rassen, wobei die mesozephalen Rassen eine Mittelstellung einnehmen (Evans und De Lahunta 2013).

Eine weitere Bestimmung des Brachycephaliegrades erfolgt über die Bestimmung des kraniofazialen Winkels (KFW) nach Regodon et al. (1993) und (Montavon 2000). Der kraniofaziale Winkel wird gebildet aus der basilarer Achse und der fazialer Achse (Abbildung 11). Die faziale Achse stellt eine kaudale Verlängerung des harten Gaumens dar. Die basilarer Achse verläuft von dem kaudalen Rand des Sulcus chiasmatis bis zum Basiokziput. Bei brachycephalen Hunderassen ist ein Winkel von 9-14 °, bei mesozephalen Rassen von 19-21° und bei dolichocephalen Rassen von 25-26 ° zu verzeichnen (Regodon et al. 1993).

A



B



C

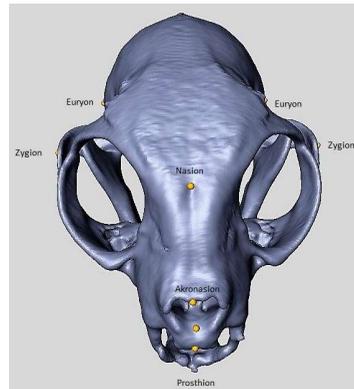


Abbildung 10: Dreidimensionale Rekonstruktion eines geringgradig brachycephalen Perserkatzenschädels mit Darstellung der kranio-metrischen Messpunkte mithilfe von Landmarken. Die Landmarken sind in gelber Farbe markiert. In der Abbildung A ist das Nasion (Verbindung der rechten und linken Sutura nasofrontalis), das Akronasion (rostralster Punkt des Os nasale), das Prosthion (rostralster Punkt der Ossa incisiva), das Euryon (lateralster Punkt der Schädelkapsel) und das Zyglion (lateralster Punkt des Arcus zygomaticus) in frontolateraler Ansicht zu sehen. Die Abbildung B zeigt die Darstellung des Euryon, des Zyglion und des Inion (zentralster Punkt der Protuberantia occipitalis externa) in kaudaler Ansicht, während die Abbildung C das Euryon, das Zyglion, das Nasion, das Akronasion und das Prosthion in frontodorsaler Ansicht des Schädels abbildet. Die Landmarken und Streckenmessungen sind in Anlehnung an die kranio-metrischen Messungen von Evans und De Lahunta (2013) erstellt.

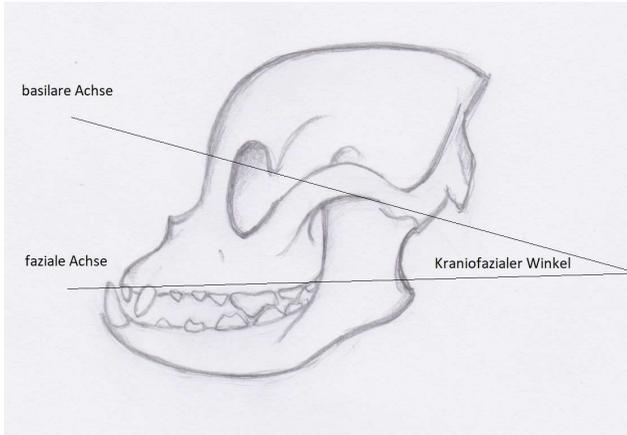


Abbildung 11: Skizze eines brachycephalen Hundeschädels in linkslateraler Ansicht zur schematischen Darstellung des kraniofazialen Winkels nach Regodon et al. (1993) und Montavon (2000). Die basilare Achse erstreckt sich vom kaudalen Rand des Sulcus chiasmatis bis zum Basiokziput. Die faziale Achse stellt die kaudale Verlängerung des harten Gaumens dar. Zwischen beiden Achsen wird der kraniofaziale Winkel nach Regodon et al. (1993) und Montavon (2000) bestimmt.

2.7 Aktualität der Qualzuchtungen und Tierschutzrelevanz

Bereits seit einigen Jahren wird von Tierärzten zunehmend auf die Problematik der Zucht auf hohe Grade der Brachycephalie aufmerksam gemacht und dazu geraten, dass die Zucht mit stark von Brachycephalie betroffenen Tieren vermieden werden sollte. Stattdessen sollten Tiere mit stärker ausgeprägter Fazialregion bevorzugt in der Zucht verwendet werden (Schlueter et al. 2009). Im Gegensatz dazu ist in den Rassestandards von Perserkatzen sogar als Zuchtziel eine kurze Nase, ein ausgeprägter „Stop“ und ein breiter runder Kopf festgelegt (The Cat Fanciers' Association 2015). Diese Merkmale sind wiederum als typische Ausprägung der Brachycephalie anzusehen. Die dadurch entstehenden gesundheitlichen Leiden und Einschränkungen finden bei Züchtern oft keine Beachtung. Nach § 11b des Tierschutzgesetzes (BMJV 2017) ist es verboten Wirbeltiere zu züchten, bei denen erblich bedingt Körperteile oder Organe für den artgemäßen Gebrauch fehlen oder untauglich umgestaltet sind, sodass hierdurch Schmerzen, Leiden oder Schäden auftreten. Die zuständige Behörde kann das Unfruchtbarmachen von Wirbeltieren anordnen, soweit züchterische Erkenntnisse erwarten lassen, dass deren Nachkommen oben genannte Störungen zeigen werden (BMJV 2017). Das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft hat bereits am 02.06.1999 ein Gutachten zur Auslegung von §11b des TierSchG veröffentlicht, das den Begriff der Qualzucht bezüglich der Brachycephalie genauer definiert. Demnach tragen die Züchter als

natürliche Personen Verantwortung für das Zuchtergebnis; aber ebenso sind die Verbände und Vereine mitverantwortlich, sofern sie Zuchtziele festlegen und Zuchttiere bewerten (BMEL 2005). Die Brachycephalie wird in dem Gutachten als problematisch angesehen, da die Disproportionen zwischen Hirnschädel und Gesichtsschädel zu einem extremen Schädeltyp führen, der die bekannten Folgeschäden wie Atemnot, Augenerkrankungen, gestörte Thermoregulation und Hautfaltendermatitis mit sich bringt (Mackensen et al. 2017). Ebenso neigen die Brachycephalen häufig auch zu Dystokien, da der Kopf der Feten sehr groß und rund ist (BMEL 2005). Somit ist der Tatbestand der Qualzucht nach §11b laut des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft erfüllt und es müssen aufgrund der sich zuspitzenden Situation Maßnahmen ergriffen werden, um über die Problematik besser aufzuklären und die Qualzucht zurückzudrängen. Diese Forderungen und Empfehlungen wurden auf dem 27. Deutschen Tierärztetag zum Arbeitskreis „Zucht und Qualzucht von Klein- und Heimtieren“ im Oktober 2015 beschlossen und sind an die Bundestierärztekammer, die Landestierärztekammern sowie die tierärztlichen Verbände gerichtet (Pfister 2016). Maßnahmen sollen unter anderem die Erstellung von Leitlinien für die Zucht wie auch die Veröffentlichung vollständiger Listen von bekannten Qualzuchten sein (Pfister 2016). Bei Hunden sind bereits Entscheidungshilfen für Amtstierärzte bezüglich der Beurteilung von Qualzuchtausprägungen bei Brachycephalen entwickelt worden (Bundestierärztekammer 2018). Ebenso sollte mehr Öffentlichkeitsarbeit und damit verbunden eine bessere Aufklärung von Züchtern, potenziellen Käufern und Tierhaltern durch den fachkundigen Tierarzt erfolgen (Pfister 2016). Von Seiten der Tierärztlichen Vereinigung für Tierschutz e.V. wird eine konsequente Veränderung der Zuchtmethoden und Zuchtziele der Rassen und eine vermehrte Berücksichtigung der Tiergesundheit, wie auch die Bildung einer interdisziplinären Kommission zur Kontrolle des Standards und Zuchtauglichkeitsprüfungen mit einem Schwerpunkt „Brachycephale Rassen“ gefordert (Blaha 2013). Die planmäßige Kreuzungszucht und die internationale Abstimmung der Standards ist ebenfalls dringlich (Busch 2013).

2.8 Ziel der Studie

Ziel dieser Studie ist es über die kranio-metrischen Messungen Abstufungen der brachycephalen Schädelkonformationen vorzunehmen, die als Maß für die Schwere der Brachycephalie gelten. Untersucht werden zum einen der extraorbitale Anteil beider Augen, die Anzahl der Zähne mit Fehlstellungen in dorsaler bzw. ventraler Ansicht der beiden Kiefer, die Win-

kel der Canini und zum anderen festgelegte Flächenanteile der luftführenden Wege in Relation zum umliegenden Weichteilgewebe. Anschließend wird untersucht, ob ein Zusammenhang zwischen den kranio-metrischen Dimensionen und den bereits erwähnten Parametern besteht. Die Auswertung erfolgt größtenteils an dreidimensionalen Rekonstruktionen auf der Grundlage von CT-Datensätzen. Diese Parameter sollen die Abnormalitäten der brachycephalen Schädel quantitativ und qualitativ darstellen, um Grenzwerte ermitteln und festsetzen zu können. Letztlich soll die Studie dazu dienen der unverantwortlichen Zucht von Extremen in der Brachycephalenzucht entgegenzuwirken.

3 Material und Methoden

3.1 Studien- und Referenzgruppe

In die prospektive Studie wurden insgesamt 69 Perserkatzen (Perser) einbezogen. Davon stammten 57 Perserkatzen aus dem Patientengut der Klinik für Kleintiere, Chirurgie, der Justus-Liebig-Universität Gießen. Die Scans weiterer zwölf Perser wurden von der Klinik für Kleintiere der Universität Leipzig bereitgestellt. Der für die Studie notwendige Tierversuchsantrag wurde vom Regierungspräsidium Hessen bewilligt (Gi 18/17- Nr. A20/2013, JLU Nr.: 560-AZ, Projekt ID: 998). Die Katzen wurden im Zeitraum von 2007 bis 2017 aufgrund unterschiedlicher Fragestellungen computertomographisch untersucht. Beispielsweise wurden sie aufgrund von Nasenausfluss, Epistaxis oder Atemnot vorgestellt. Der Großteil der untersuchten Katzen wurde allerdings zu Zwecken der computertomographischen Studie zur Untersuchung der Brachycephalie bei Perserkatzen einbestellt. In diesem Fall wurde die Allgemeinanästhesie weitergehend genutzt, um weitere Maßnahmen wie Zahnbehandlungen, Kastrationen oder andere Eingriffe durchzuführen. Als Referenzpopulation wurden zehn Europäisch Kurzhaarkatzen (EKH) aus dem Patientengut der Klinik für Kleintiere, Chirurgie, der Justus-Liebig-Universität Gießen untersucht. Der Untersuchungszeitraum dieser Katzen belief sich von 2014 bis 2017. Die EKH wurden computertomographisch beispielsweise aufgrund bilateraler Epistaxis, häufigem Niesen und einer Gaumenspalte untersucht. Die Voraussetzung für die Einbeziehung in die Studie war die Vollständigkeit der Schädel im CT und ein freier Zugang aller zu vermessenden Strukturen. Die Patientendaten aller Katzen sind in Tabelle 1 im Anhang zusammengefasst.

3.2 Methodik

3.2.1 Computertomographische Untersuchung

Die computertomographische Untersuchung erfolgte in Allgemeinanästhesie; somit konnten Bewegungsartefakte ausgeschlossen werden. Mithilfe des intratrachealen Tubus wurde die Aufrechterhaltung durch die Inhalationsnarkose gewährleistet. Die Patienten wurden standardisiert in Brustbauchlage verbracht, wobei der Kopf erhöht gelagert wurde. Dies ließ einen nahezu senkrechten Strahlengang auf das Os palatinum zu. Die Daten wurden mithilfe

eines 16-Zeilen Spiral-CTs (Brilliance TM CT 16, Philips Medical Systems, Philips Medical Systems DMC GmbH, Röntgenstraße 24, 22335 Hamburg) in der Justus-Liebig-Universität erstellt. Mit einer Röhrenspannung von 120 kV, einer Ladungsmenge von 321 mA, einem Pitch von 1 und einer Matrix von 512 x 512 wurde eine Schichtdicke von 0,8 mm bei den CT-Aufnahmen der JLU erreicht. Die CT-Aufnahmen der Universität Leipzig wiesen eine Röhrenspannung von 120 kV mit 120 mA und eine Schichtdicke von 1mm auf.

3.2.2 3D-Rekonstruktionen

Für die Rekonstruktion der Katzenschädel wurde das Visualisierungsprogramm Amira 6.2 (Graphical Software; Mercury Computer Systems, Berlin, Germany) verwendet. Die Volumendatensätze aus den in Kapitel 3.2.1 bereits beschriebenen zweidimensionalen CT-Untersuchungen dienten als Grundlage für die Berechnung der dreidimensionalen Rekonstruktionen. Zuerst erfolgte die Segmentierung des Schädels semiautomatisch mithilfe des Keimzellenwachstumsverfahrens. Beim Keimzellenwachstumsverfahren wurde innerhalb der zu untersuchenden Struktur ein Voxel, die Keimzelle, gewählt. Von dieser Keimzelle ausgehend wurden die benachbarten Voxel mithilfe ihres Grauwertes auf Objektzugehörigkeit untersucht (Jendrysiak 1997). So wurde unter der Funktion „Magic Wand“ eine Struktur, in diesem Fall der Knochen ausgewählt, wodurch in allen Schnitten gleichzeitig ähnliche Gewebe markiert und der Struktur zugeordnet werden konnten. Anschließend konnten zusätzlich weitere Gewebe segmentiert werden. Das Programm ermöglichte eine Bearbeitung in transversaler, sagittaler und dorsaler Schnittebene (Abbildung 12).

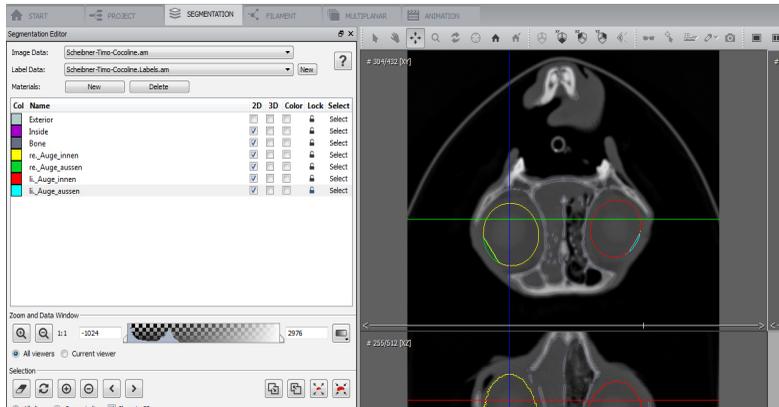


Abbildung 12: Darstellung der Benutzeroberfläche während der Segmentierung mit Amira 6.2. Im linken Bildbereich sind die segmentierten Gewebsteile („Materialien“) sowie die verschiedenen Einstellungsmöglichkeiten zur Segmentierung abgebildet. Im rechten Bildbereich ist die transversale, sagittale, dorsale Bildebene und eine Kombination aller Ebenen miteinander dargestellt. Farblich markiert ist der segmentierte Knochen wie auch die nach intra- und extraorbitaler Lage unterteilten segmentierten Teile der Bulbi oculi.

Nach der Segmentierung der Daten konnte über die Funktion „Surface Gen“ die Oberfläche der Modelle generiert werden und schließlich über die Funktion „Surface view“ dargestellt werden (Abbildung 13).

Durch die Funktion „Volume Rendering“ ist es möglich die Schädelkonturen sichtbar zu machen. Eine Oberflächenrekonstruktion des ursprünglichen mit Haut überzogenen Katzenschädels erfolgte über die Funktion „Volren“ (Abbildung 14).

Das rekonstruierte 3D-Modell ließ sich frei bewegen und drehen, wodurch eine uneingeschränkte Sicht auf die für die Untersuchung relevanten Strukturen des Schädels möglich war. Die unterschiedlich segmentierten Gewebe konnten getrennt voneinander aus- und eingeblendet werden. Zudem konnten Längen- und Breitenmessungen wie auch Winkelmessungen mithilfe der Funktion „Measurements“ durchgeführt werden (Abbildung 13). Für die volumetrischen Messungen wurde die Funktion „Material Statistics“ verwendet.

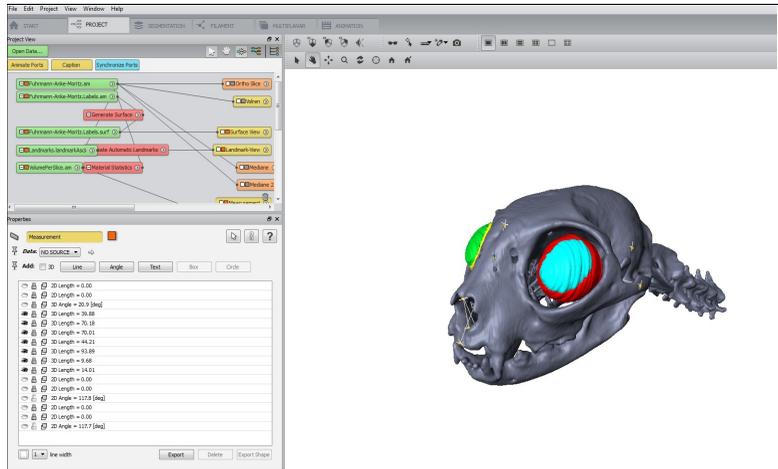


Abbildung 13: Darstellung der Benutzeroberfläche von Amira 6.2 mit rekonstruiertem 3D-Modell eines Perserkatzenschädels. Im linken oberen Bildbereich ist die Auflistung der Befehle an Amira abgebildet, während im linken unteren Bereich Längen- und Breitenmessungen über die Funktion „Measurements“ am 3D-Modell gezeigt sind. Im rechten Bildbereich ist das dreidimensionale Schädelmodell mit rekonstruierten Augen und kranio-metrischen Messungen in frontolateraler Ansicht von links zu sehen.



Abbildung 14: Oberflächenrekonstruktion eines Perserkatzenkopfes mithilfe der Funktion „Volren“ durch Amira 6.2. Dargestellt ist der ursprünglich mit Haut überzogene Katzenschädel von moderater Brachycephalie in frontolateraler Ansicht von rechts. Diese Funktion ermöglicht eine relativ realistische Visualisierung des Perserkatzenkopfes.

3.2.3 Messung der Parameter

3.2.3.1 Kranio-metrische Messungen

Die Schädelvermessungen wurden auf der Grundlage der beim Hund definierten Knochenpunkte nach Stockard et al. (1941) und Evans und De Lahunta (2013) am dreidimensionalen Modell vorgenommen.

Für eine exakte Lagebeziehung wurde immer zuerst die Mediane am 3D-Modell bestimmt. Anschließend wurden die Landmarken an den definierten Knochenpunkten gesetzt (Abbildung 10), um mithilfe dieser die Längen- und Breitenmessungen vornehmen zu können (Abbildung 15). So wurde zuerst der faziale Index bestimmt, indem das Verhältnis der fazialen Breite zur fazialen Länge multipliziert mit 100 berechnet wurde. Die faziale Länge belief sich vom Nasion zum Prosthion (Abbildung 15). Um die genaue Position von Nasion (Verbindung zwischen rechter und linker nasofrontalen Sutura) und Prosthion (rostralster Punkt der Ossa incisiva) im 3D-Modell zu überprüfen bzw. zu bestätigen, wurde die zweidimensionale sagittale Ansicht der Schädel entlang der Medianen genutzt. Die faziale Breite wurde zwischen den beiderseits am weitesten lateral gelegenen Punkten des Arcus zygomaticus (Zygion) gemessen. Dieser wurde bestimmt, indem die Mediane dupliziert und bis zum lateralen Punkt verschoben wurde (Abbildung 15).

Der Schädelindex gab das Verhältnis von Schädelbreite zu Schädelhöhe multipliziert mit 100 wieder. Die Schädelbreite entsprach der fazialen Breite, während die Schädelhöhe sich von Prosthion zu Inion erstreckte. Das Inion war als zentraler Punkt auf der Protuberantia occipitalis externa zu finden.

Zudem wurde der kraniale Index der Schädel bestimmt, indem die kraniale Breite ins Verhältnis zur kranialen Länge multipliziert mit 100 gesetzt wurde. Die kraniale Breite ist der Abstand zwischen dem rechten und dem linken Euryon, der sich am weitesten lateral gelegenen Punkt des Hirnschädels befand (Abbildung 15). Dieser wurde ebenso wie das Zygion über eine duplizierte Mediane, die nach lateral bis zum Euryon verschoben wurde, bestimmt.

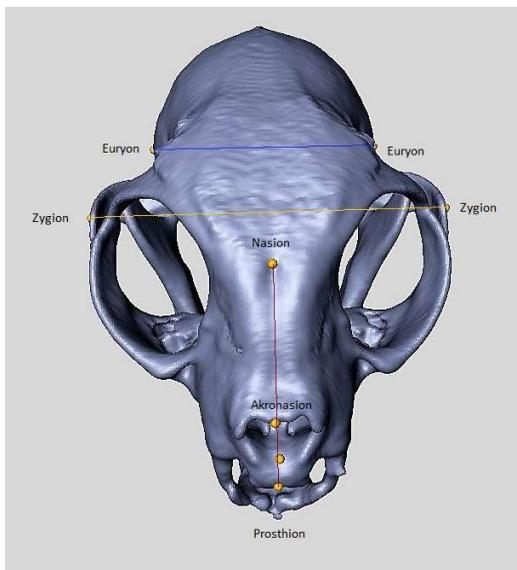


Abbildung 15: Dreidimensionale Rekonstruktion eines Perserkatzenschädels von geringgradiger Brachyzehalie mit Darstellung der kranio-metrischen Streckenmessungen. Die *faziale Länge* (Messung von Nasion zu Prosthion) ist gekennzeichnet durch die rote Linie, die *faziale Breite* (Messung von Zygion zu Zygion) durch die gelbe Linie und die *kraniale Breite* (Messung von Euryon zu Euryon) durch die blaue Linie. Die Messpunkte wie auch die Streckenmessungen wurden in Anlehnung an die kranio-metrischen Messungen von Evans und De Lahunta (2013) vorgenommen.

Der kraniofaziale Winkel wurde nach Regodon et al. (1993) und Montavon (2000) anhand sagittaler zweidimensionaler Bilder in dem Programm Amira 6.2 (Graphical Software; Mercury Computer Systems, Berlin, Germany) bestimmt. Dieser bildet sich zwischen der fazialen Achse, die eine kaudale Verlängerung des harten Gaumens darstellte und der basilarischen Achse, die vom kaudalen Rand des Sulcus chiasmatis bis zum Basiokzipital verlief (Abbildung 16). In Anlehnung an die Messung des kraniofazialen Winkels bei Hunden in der Dissertation von Grübmeyer (2014) wurde die faziale Achse bei Abweichungen der Form des Palatum durum durch dessen rostralsten und kaudalsten Punkt geführt und nach kaudal verlängert. Bei extremer Ausprägung der Brachyzehalie war der kraniofaziale Winkel so klein, dass er in der Ebene nicht bestimmt werden konnte. So waren einige Perserkatzen nicht zu beurteilen, da der Schnittpunkt zu weit in der Peripherie gelegen war (Abbildung 17).

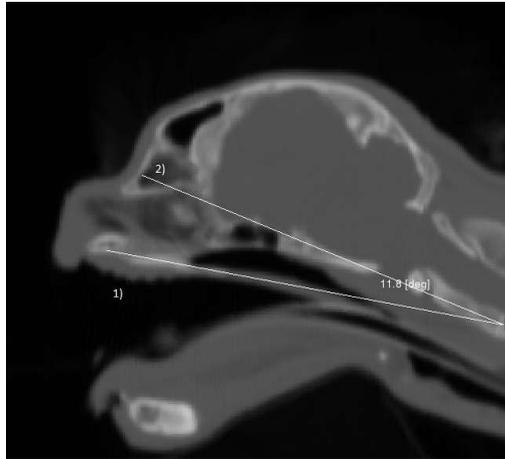


Abbildung 16: Zweidimensionaler Sagittalschnitt durch den Schädel einer Perserkatze mit geringgradig ausgeprägter Brachyzephalie zur Bestimmung des kraniofazialen Winkels nach Regodon et al. (1993) und Montavon (2000) mithilfe 1) der *facialen Achse* als Verlängerung des harten Gaumens und 2) der *basilaren Achse* durch den Sulcus chiasmatis und das Basiokziput. Zwischen beiden Achsen wird der kraniofaziale Winkel in Grad (degree) bestimmt.

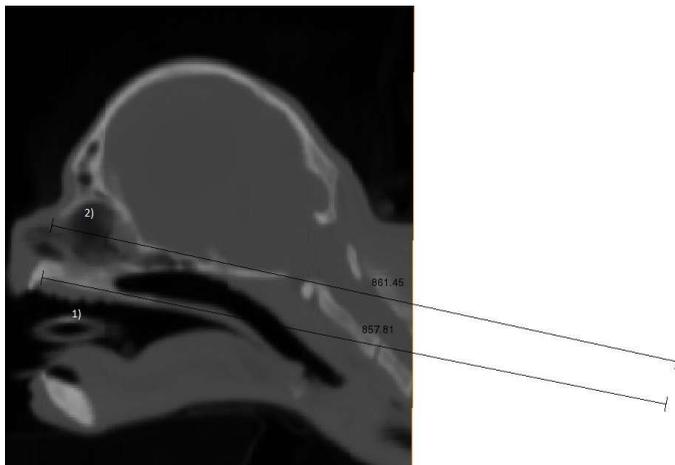


Abbildung 17: Zweidimensionaler Sagittalschnitt durch den Schädel einer Perserkatze mit hochgradig reduzierter Fazialregion zur Bestimmung des kraniofazialen Winkels nach Regodon et al. (1993) und Montavon (2000) mithilfe 1) der *facialen Achse* als Verlängerung des harten Gaumens und 2) der *basilaren Achse* durch den Sulcus chiasmatis und das Basiokziput. Der Schnittpunkt befindet sich zu weit in der Peripherie, daher ist der KFW nicht zu bestimmen.

3.2.3.2 Extraorbital liegender Anteil des Auges

In transversaler Ebene wurde in jedem einzelnen Schnitt der vollständige Bulbus oculi manuell markiert, woraufhin eine Verbindungslinie vom Margo supraorbitalis zum Margo infraorbitalis gezogen wurde. Daraufhin wurde der extraorbitale Anteil des Auges andersfarbig gekennzeichnet als der intraorbital gelegene Anteil und anschließend segmentiert (Abbildung 18). Weiterhin erfolgte eine Kontrolle auf Genauigkeit sowohl in sagittaler Ansicht wie auch anhand der 3D-Rekonstruktion des Schädels mithilfe der verschiedenfarbig generierten Bulbusanteile (Abbildung 19, Abbildung 20). Anhand Abbildung 19 ist zu erkennen, dass der intraorbital liegende Anteil des Bulbus oculi klar durch die knöchernen Strukturen begrenzt ist. Im 3D-Modell konnten die Volumina der extraorbital und intraorbital gelegenen Anteile der Augen mithilfe der Funktion „Material Statistics“ berechnet werden. Auf dieser Grundlage konnte mit Excel 2016 (Microsoft) weiterhin berechnet werden, wie groß der prozentuale extraorbital gelegene Anteil des Augapfels im Verhältnis zum Gesamtvolumen des Augapfels war.

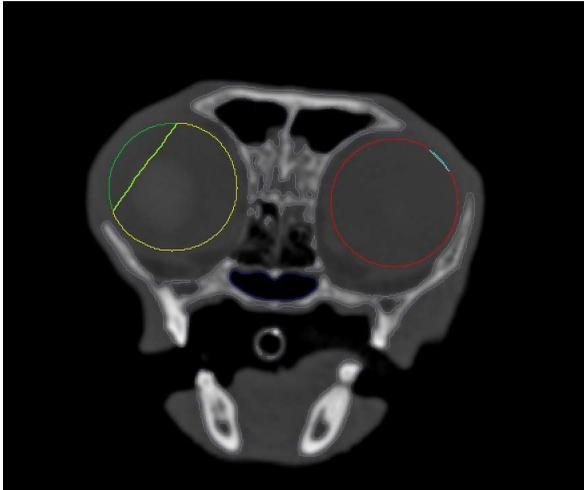


Abbildung 18: Zweidimensionaler Transversalschnitt durch den Schädel einer EKH mit segmentierten intra- und extraorbitalen Anteilen der Bulbi oculi. In gelber Farbe ist der intraorbitale Anteil und in grüner Farbe der extraorbitale Anteil des rechten Auges markiert, während beim linken Auge der intraorbitale Anteil in roter Farbe und der extraorbitale Anteil in hellblauer Farbe gekennzeichnet ist.

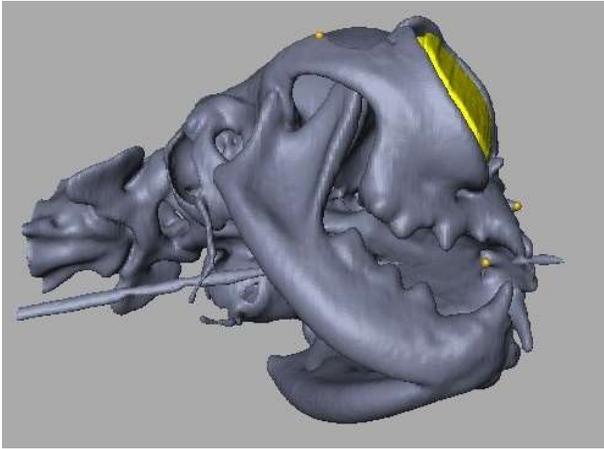


Abbildung 19: Dreidimensionale Rekonstruktion eines Perserkatzenschädels von stark ausgeprägter Brachycephalie mit rekonstruiertem intraorbitalen Anteil des rechten Bulbus oculi in ventrolateraler Ansicht. Der intraorbital liegende Anteil des rechten Auges ist innerhalb der knöchernen Grenzen der Orbita in gelber Farbe markiert. Die exakte Begrenzung des intraorbitalen Anteils durch den Margo supraorbitalis und Margo infraorbitalis wird mithilfe dieser Darstellung deutlich.

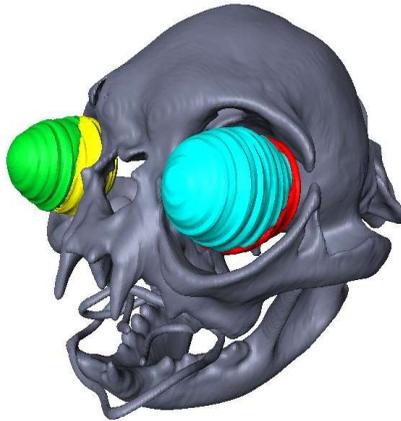


Abbildung 20: Dreidimensionale Rekonstruktion des Schädels einer Perserkatze mit Darstellung der intra- und extraorbital gelegenen Anteile der Bulbi oculi in frontolateraler Ansicht von links. In roter und gelber Farbe sind die intraorbital liegenden Anteile der Bulbi oculi farblich separiert vom extraorbital liegenden Anteil der Augen, die in grüner Farbe und hellblauer Farbe gekennzeichnet sind.

3.2.3.3 Winkel zwischen den Canini des Oberkiefers und dem Palatum durum

Am 3D-Modell wurde die Mediane dupliziert und jeweils soweit nach lateral verschoben, bis die Zahnpulpa des rechten und linken Caninus jeweils von lateral nahezu vollständig zu sehen war. Somit wurde gewährleistet, dass die Canini der Perserkatzen und Europäisch Kurzhaar in derselben Ebene beurteilt werden konnten. In zweidimensionaler sagittaler Ebene wurden zwei Achsen gebildet. Die erste Achse, die den Caninusverlauf beschrieb, wurde von der Radix dentis bis zur Corona dentis gezogen und in beide Richtungen verlängert, während die zweite Achse entlang des Palatum durum verlief. Bei Deformationen des Palatum durum wurde der rostralste Punkt des Os incisivum und der kaudalste Punkt des Os palatinum verbunden und verlängert. Der Winkel des Caninus wurde ventral zwischen beiden Achsen gebildet und über die Funktion „Measurements“ bestimmt (Abbildung 21, Abbildung 22). Um den Extremfall der brachycephalen Schädel hervorzuheben, wurde im Vergleich zwischen rechtem und linkem Caninus der maximale Winkel für die statistische Auswertung ausgewählt. Bei dieser Messung konnte zeitgleich ermittelt werden, ob eine Dorsalrotation der Maxilla und des Palatum durum stattgefunden hatte. Ebenso konnte dieses Kriterium der Form des Palatum durum auch bei der Bestimmung des kraniofazialen Winkels in zweidimensionaler sagittaler Ansicht überprüft werden.

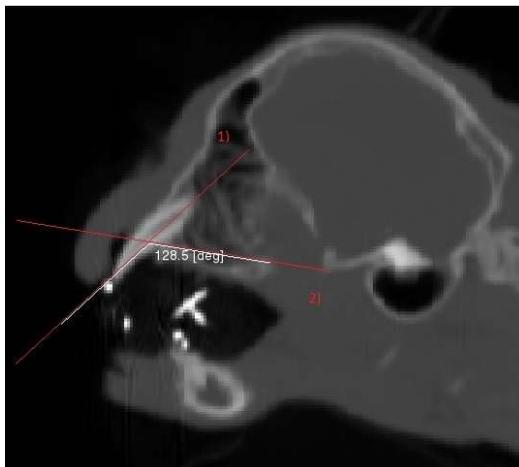


Abbildung 21: Zweidimensionaler Sagittalschnitt durch den Schädel einer extrem brachycephalen Perserkatze zur Bestimmung des Caninuswinkels. Die Achse 1) führt durch die Radix dentis und die Corona dentis, während die Achse 2) entlang des rostralsten und kaudalsten Punkt des harten Gaumens verläuft. Beide Achsen sind in roter Farbe markiert. Ventral zwischen beiden Achsen wird der Caninuswinkel in Grad gemessen (deg=degree).

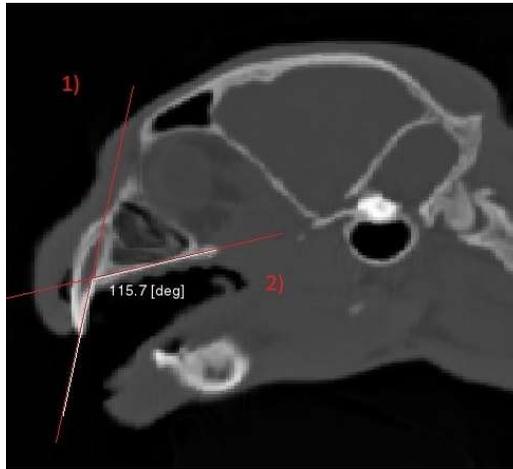


Abbildung 22: Zweidimensionaler Sagittalschnitt durch den Schädel einer geringgradig brachycephalen Perserkatze zur Bestimmung des Caninuswinkels. Die Achse 1) führt durch die Radix dentis und die Corona dentis. Die Achse 2) verläuft entlang des rostralsten und kaudalsten Punkts des harten Gaumens. Beide Achsen sind in roter Farbe markiert. Ventral zwischen beiden Achsen wird der Caninuswinkel in Grad gemessen (deg=degree).

3.2.3.4 Zahnfehlstellungen Oberkiefer und Unterkiefer

Die Beurteilung der Zahnfehlstellungen der Katzen erfolgte anhand des 3D-Modells der Katzenschädel. Die Beurteilung des Ober- und Unterkiefers erfolgte separat voneinander. So wurde der Oberkiefer von ventral beurteilt, indem der Unterkiefer ausgeblendet wurde. Als Orientierung, ob es sich um physiologische Zahnstellungen handelte oder pathologische Zahnfehlstellungen vorlagen, wurden Hilfslinien entlang der Oberkieferäste angelegt. Diese Linien verliefen auf dem Schmelzhöcker des P2, dem rostralen Haupthöcker des P3 und zwischen dem rostralen bukkalen Haupthöcker und dem lingual gelegenen Nebenhöcker des P4 oder alternativ auf dem bukkalen Haupthöcker des P4. Weiterhin zog die Linie durch den distalen Haupthöcker des P4. Ergänzend zu der Lage der einzelnen Höcker wurde zusätzlich die Silhouette der Zähne als Beurteilungskriterium herangezogen. Dies war insbesondere bei Katzen mit Verkippung des P3 nach palatinal notwendig, da die Orientierung einzig an den Schmelzhöckern in diesem Fall zu Verfälschungen führen würde. Der M1 des Oberkiefers wurde in Relation zu der Hilfslinie beurteilt, nicht in Relation zum P4. So wurde die Lage des M1 als fehlerhaft bezeichnet, wenn der überwiegende Anteil des Zahns lateral der Hilfslinie zu finden war (Abbildung 23).

Der Unterkiefer wurde in dorsaler Ansicht mit ausgeblendetem Oberkiefer bewertet. Die Hilfslinie des Unterkiefers wurde über den Haupthöcker des P3 und des P4 geführt sowie

zwischen den beiden Haupthöckern des M1. Dabei war die Voraussetzung, dass beide Höcker die Hilfslinie berühren mussten (Abbildung 24).

Vorerst wurde der einzelne Zahn auf Fehlstellung untersucht; dies war als qualitatives Kriterium zu werten. Somit gab es nur die Unterscheidung zwischen physiologischer oder pathologischer Zahnstellung. Anschließend wurde jeweils die Anzahl der schiefstehenden Zähne im Ober- und Unterkiefer zusammengerechnet und erst die Summe der Zähne je Ober- und Unterkiefer in die Auswertung einbezogen.

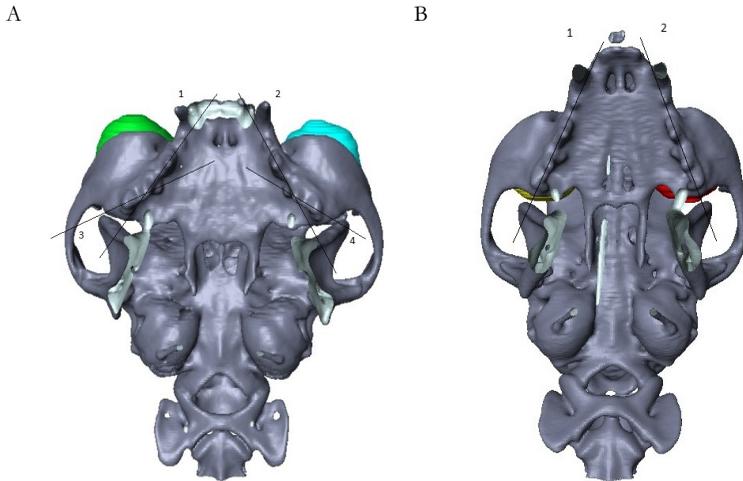


Abbildung 23: Dreidimensionale Rekonstruktion eines isolierten Oberkiefers einer Perserkatze und einer EKH. Der Unterkiefer wurde zur Beurteilung des Oberkiefers ausgeblendet. Die Abbildung (A) zeigt den Oberkiefer einer Perserkatze: 1) Hilfslinie des rechten Oberkieferquadranten 2) Hilfslinie des linken Oberkieferquadranten 3) Lage des quergestellten P4 im re. Oberkieferquadranten 4) Lage des quergestellten P4 im li. Oberkieferquadranten. Der überwiegende Anteil des M1 liegt in beiden Quadranten lateral der Hilfslinien. In Abbildung (B) ist der Oberkiefer einer EKH dargestellt: 1) Hilfslinie des rechten Oberkieferquadranten 2) Hilfslinie des linken Oberkieferquadranten. In der Abbildung ist die physiologische Stellung der Zähne zu erkennen. Ebenso ist die gedrungene Form des Oberkiefers der Perserkatze im Vergleich zu der länglichen Form des Oberkiefers der EKH zu erkennen.

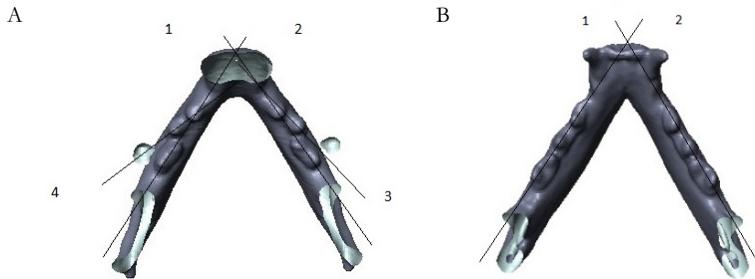


Abbildung 24: Dreidimensionale Rekonstruktion eines isolierten Unterkiefers von Perserkatzen. In Abbildung (A) ist der Unterkiefer einer hochgradig brachyzephalen Perserkatze zu sehen: 1) Hilfslinie des rechten Unterkieferquadranten 2) Hilfslinie des linken Unterkieferquadranten 3) P4 des rechten Unterkieferquadranten steht nicht in physiologischer Stellung 4) P4 des linken Unterkieferquadranten steht ebenso außer der Reihe. Die abweichende Stellung der Zähne ist anhand der Hilfslinien dargestellt. Die Abbildung (B) zeigt den Unterkiefer einer geringgradig brachyzephalen Perserkatze: 1) Hilfslinie des rechten Unterkieferquadranten 2) Hilfslinie des linken Unterkieferquadranten. Gezeigt ist die physiologische Stellung der Zähne im Unterkiefer. Ebenso ist die gerade Form des Unterkiefers der wenig von Brachyzephalie betroffenen Perserkatze in Abbildung B zu erkennen im Vergleich zu der abgerundeten Form der stärker von Brachyzephalie betroffenen Perserkatze in Abbildung A.

3.2.3.5 Relative Höhe der Apertura nasi ossea

Die relative Höhe der Apertura nasi ossea wurde im 3D-Modell bestimmt. Um eine Vergleichbarkeit zwischen den verschiedenen großen Katzen unterschiedlichen Körpergewichts zu schaffen, wurde eine Referenzgröße ermittelt. Diese Messung belief sich vom Akronasion, das am rostralsten Punkt des Os nasale gelegen war, bis zu dem Punkt des Processus palatinus des Os incisivum, der exakt zwischen den beiderseits gelegenen Fissurae palatinae (knöchernen Gaumenspalte) zu finden war (Abbildung 25A). In derselben Flucht wurde in einer zweiten Messung vom Akronasion bis zum knöchernen Nasenhöhlenboden gemessen (Abbildung 25B). Das Verhältnis der Messung von Akronasion zum Nasenhöhlenboden und der Messung vom Akronasion bis zur Fissura palatina wurde anschließend bestimmt und gab die relative Höhe der knöchernen Nasenhöhlenöffnung an. Jede dieser Messungen wurde in Amira 6.2 (Graphical Software; Mercury Computer Systems, Berlin, Germany) über die Funktion „Measurements“ vorgenommen.

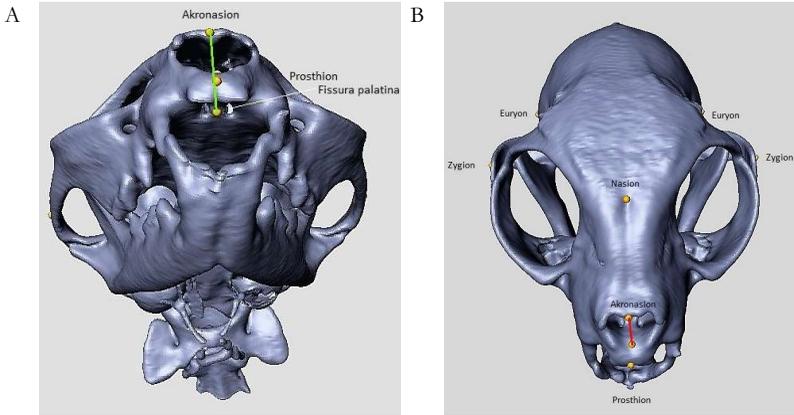


Abbildung 25: Dreidimensionale Rekonstruktion eines Perserkatzenschädels von schwach ausgeprägter Brachycephalie mit Bestimmung der relativen Höhe der Apertura nasi ossea. Gezeigt sind die beiden Messstrecken, die zur Berechnung der relativen Höhe der Apertura nasi ossea notwendig sind. Die Abbildung (A) zeigt den Perserkatzenschädel in frontaler Ansicht. In grüner Farbe ist die Messstrecke markiert, die von Akronasion bis zu dem Punkt des Processus palatinus des Os incisivum verläuft, der exakt zwischen den Fissurae palatinae zu finden ist. Die Abbildung (B) stellt den Perserkatzenschädel in dorsofrontaler Ansicht dar. In roter Farbe ist die Messstrecke markiert, die von Akronasion bis zum Nasenhöhlenboden in derselben Flucht wie die grüne Messstrecke verläuft.

3.2.3.6 Relativer luftführender Weg an definierten Querschnitten der oberen Atemwege

In transversaler Ebene wurde anhand der zweidimensionalen CT- Aufnahmen im Programm Amira 6.2 der Anteil des luftführenden Weges am Gesamtquerschnitt bei Perserkatzen und EKH an definierten Lokalisationen bestimmt. Dazu wurden luftgefüllte Bereiche manuell segmentiert und anschließend die Knochen- bzw. Knorpelgrenzen des Cavum nasi markiert. Somit wurde jenes Gewebe, das sich zwischen dem luftgefüllten Bereich und der äußeren Knochen- bzw. Knorpelgrenze befand, als Weichteilgewebe zusammengefasst. Das Weichteilgewebe beinhaltet die Schleimhaut, wie auch die Nasenmuscheln, die streng genommen auf einer knöchernen Grundlage basieren. Da der Sinus frontalis ebenfalls mit respiratorischem Epithel ausgekleidet ist, wurde er im Zuge dieser Studie im weiteren Sinne zu den luftführenden Wegen gezählt und somit auch als luftgefüllter Bereich markiert. Eine Trennung der luftgefüllten Nasengänge von der Stirnhöhle war insbesondere bei den brachycephalen Katzen mit stark verkürzter fazialer Region nahezu unmöglich, da die Unterteilung zwischen den Bereichen oft unzureichend sichtbar war. Weiterhin wurde keine Unterteilung zwischen der rechten und linken Nasenhöhle vorgenommen. Eine Abgrenzung der einzelnen Nasengänge gestaltete sich bevorzugt bei den Perserkatzen als sehr schwierig aufgrund

der im Allgemeinen feinen Struktur der Nasengänge bei den Katzen. Deshalb wurde darauf verzichtet und stattdessen die Nasengänge als Gesamtheit luftgefüllten Bereichs segmentiert (Abbildung 26, Abbildung 27).

Der erste Querschnitt war auf Höhe der Nares zu finden; dieser Punkt wurde bei allen Tieren an der Stelle gewählt, an der zum ersten Mal ein abgeschlossener Gang erkennbar war (Abbildung 26A, Abbildung 27A). Die Messung des luftgefüllten Bereichs auf Höhe des Caninus wurde in transversaler Ebene an dem Punkt durchgeführt, an dem die Zahnpulpa des Caninus gut abgrenzbar war (Abbildung 26B, Abbildung 27D). Eine weitere Position der Messung im CT wurde auf Höhe des P2 vorgenommen (Abbildung 26C, Abbildung 27E). Sobald die Nasenhöhle erstmals vollständig knöchern umgeben war, fand die Messung der Apertura nasi ossea statt (Abbildung 26E, Abbildung 27B). Zusätzlich wurde eine Messung auf Höhe der Fissura palatina vorgenommen. Allerdings wurde die Lokalisation unmittelbar vor dem Durchbruch der Fissura palatina durch das Os incisivum gewählt, um den transversalen Schnitt möglichst präzise bei allen Katzen durchführen zu können (Abbildung 26D, Abbildung 27C). Der Haupthöcker des P3 diente als weiterer Messpunkt (Abbildung 26F, Abbildung 27F). Zuletzt wurde die Fläche des Meatus nasopharyngeus an jenem Punkt bestimmt, an dem dieser erstmals vollständig von Knochen umgeben war. In diesem Fall wurde nur der Meatus nasopharyngeus unter Ausschluss der Nasennebenhöhlen markiert (Abbildung 26G, Abbildung 27G). Die gerade aufgeführte Reihenfolge variierte sowohl zwischen der Gruppe der Perserkatzen und der EKH als auch innerhalb der Perserkatzenpopulation aufgrund der unterschiedlichen Lokalisation der Apertura nasi ossea wie auch der Fissura palatina. Dies wurde bedingt durch die unterschiedliche Schädelmorphologie der Brachycephalen. Die in transversaler Ebene vorgenommene Segmentierung wurde in sagittaler Ansicht auf Genauigkeit geprüft (Abbildung 28, Abbildung 29). Auf Grundlage der zuvor segmentierten zweidimensionalen Datensätze wurden anschließend dreidimensionale Rekonstruktionen erstellt (Abbildung 30, Abbildung 31). Mithilfe der Funktion „Material Statistics“ wurden die Flächen der luftführenden Wege und die des Weichteilgewebes bestimmt. Die Berechnung des luftführenden Weges auf Höhe des Caninus, des P2, des P3, der Apertura nasi ossea und der Fissura palatina erfolgte, indem die luftführende Fläche durch die Gesamtquerschnittsfläche aus Weichteilgewebe und luftführender Fläche innerhalb der Knochen- bzw. Knorpelgrenze dividiert wurde. Im Folgenden wird diese Größe als relativer luftführender Weg bzw. relative luftführende Fläche bezeichnet. Eine Ausnahme bildete die Berechnung des Verhältnisses von Nares zum Meatus nasopharyngeus. In diesem Fall wurde die luftführende Fläche der Nares zur luftführenden Fläche des Meatus nasopharyngeus ins Verhältnis gesetzt.

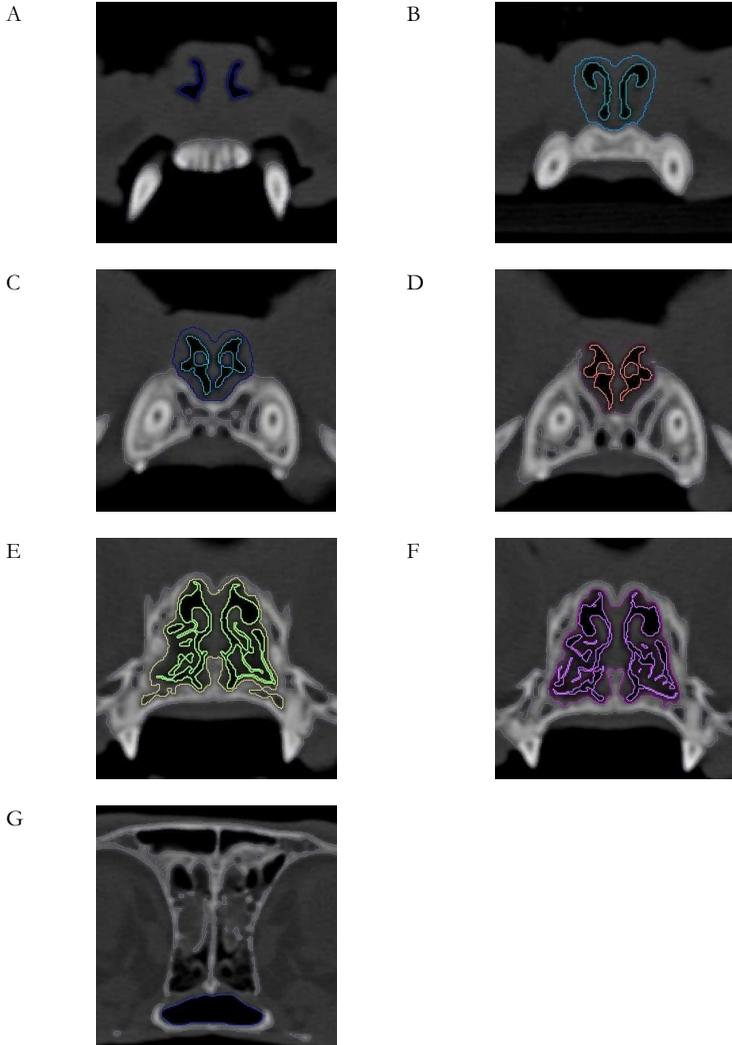


Abbildung 26: Zweidimensionale Transversalschnitte der Nasenhöhle einer Perserkatze nach Segmentieren der luftführenden Wege und dem umgebenden Weichteilgewebe. Abbildung (A) blau umrandeter Bereich = luftführender Weg auf Höhe der *Nares*. Abbildung (B) dunkelgrün umrandeter Bereich = luftführender Weg auf Höhe der *Canini*, hellblau umrandeter Bereich = Weichteilgewebe auf Höhe der *Canini*. Abbildung (C) hellgrün umrandeter Bereich = luftführender Weg auf Höhe des *P2*, dunkelblau umrandeter Bereich = Weichteilgewebe auf Höhe des *P2*. Abbildung (D) orange umrandeter Bereich = luftführender Weg auf Höhe der *Fissura palatina*, dunkelrot umrandeter Bereich = Weichteilgewebe auf Höhe der *Fissura palatina*. Abbildung (E) hellgrün umrandeter Bereich = luftführender Weg auf Höhe der *Apertura nasi ossea*, gelb umrandeter Bereich = Weichteilgewebe auf Höhe der *Apertura nasi ossea*. Abbildung (F) helllila umrandeter Bereich = luftführender Weg auf Höhe des *P3*, dunkellila umrandeter Bereich = Weichteilgewebe auf Höhe des *P3*. Abbildung (G) dunkelblau umrandeter Bereich = luftführender Weg auf Höhe des *Meatus nasopharyngeus*.

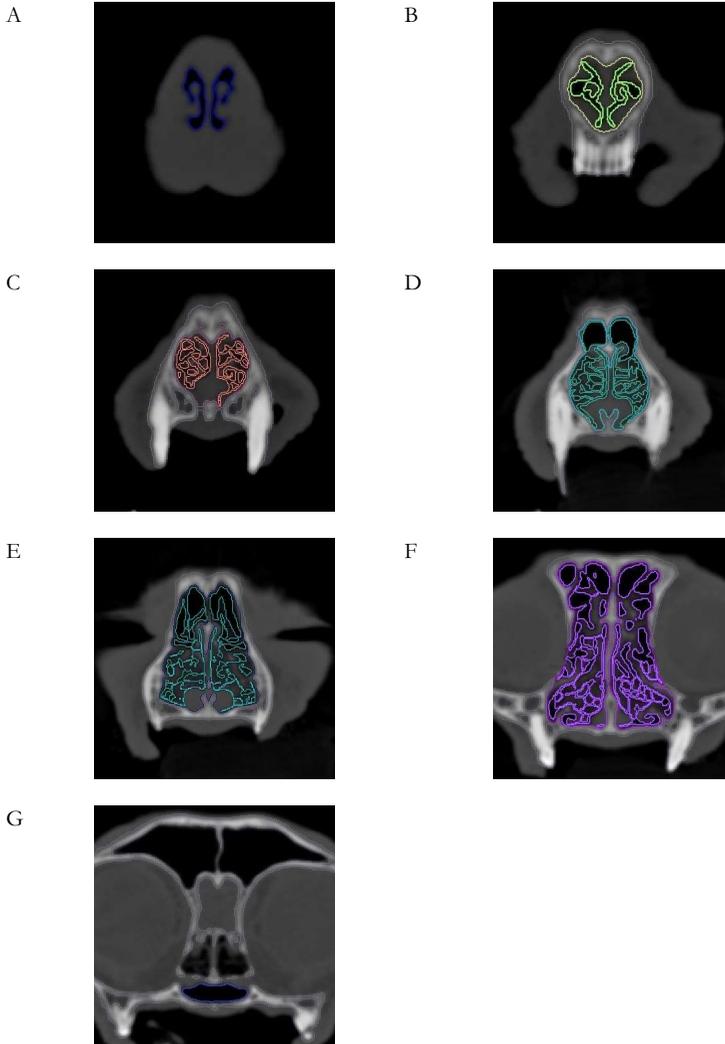


Abbildung 27: Zweidimensionale Transversalschnitte der Nasenhöhle einer EKH nach Segmentieren der luftführenden Wege und dem umgebenden Weichteilgewebe. Abbildung (A) blau umrandeter Bereich = luftführender Weg auf Höhe der *Nares*. Abbildung (B) hellgrün umrandeter Bereich = luftführender Weg auf Höhe der *Apertura nasi ossea*, gelb umrandeter Bereich = Weichteilgewebe auf Höhe der *Apertura nasi ossea*. Abbildung (C) orange umrandeter Bereich = luftführender Weg auf Höhe der *Fissura palatina*, dunkelrot umrandeter Bereich = Weichteilgewebe auf Höhe der *Fissura palatina*. Abbildung (D) dunkelgrün umrandeter Bereich = luftführender Weg auf Höhe der *Canini*, hellblau umrandeter Bereich = Weichteilgewebe auf Höhe der *Canini*. Abbildung (E) hellgrün umrandeter Bereich = luftführender Weg auf Höhe des *P2*, dunkelblau umrandeter Bereich = Weichteilgewebe auf Höhe des *P2*. Abbildung (F) helllila umrandeter Bereich = luftführender Weg auf Höhe des *P3*, dunkellila umrandeter Bereich = Weichteilgewebe auf Höhe des *P3*. Abbildung (G) dunkelblau umrandeter Bereich = luftführender Weg auf Höhe des *Meatus nasopharyngeus*.

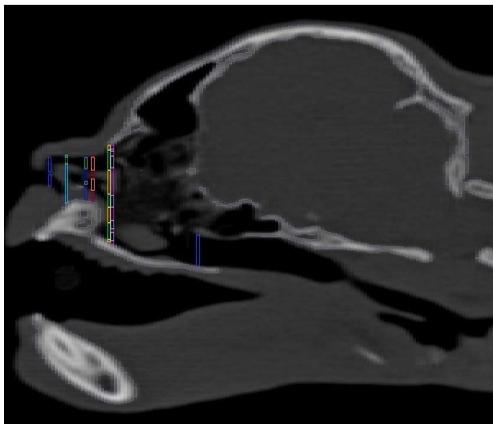


Abbildung 28: Zweidimensionaler Sagittalschnitt des Schädels einer Perserkatze von moderater Brachycephalieausprägung mit segmentierten luftführenden Wegen und dem umgebenden Weichteilgewebe. Der luftführende Bereich auf Höhe der *Nares* ist der rostralste blau gekennzeichnete Bereich. Auf Höhe des *Caninus* ist der luftführende Bereich dunkelgrün, während das Weichteilgewebe hellblau markiert ist. Auf Höhe des *P2* ist der luftführende Bereich von hellgrüner und das Weichteilgewebe von dunkelblauer Farbe. Auf Höhe der *Fissura palatina* ist der luftführende Bereich orange und das Weichteilgewebe dunkelrot gekennzeichnet. Der luftführende Bereich auf Höhe der *Apertura nasi ossea* ist hellgrün, während das Weichteilgewebe gelb gefärbt ist. Auf Höhe des *P3* ist der luftführende Bereich helllila und das Weichteilgewebe dunkellila markiert. Der luftführende Bereich auf Höhe des *Meatus nasopharyngeus* ist von dunkelblauer Farbe.

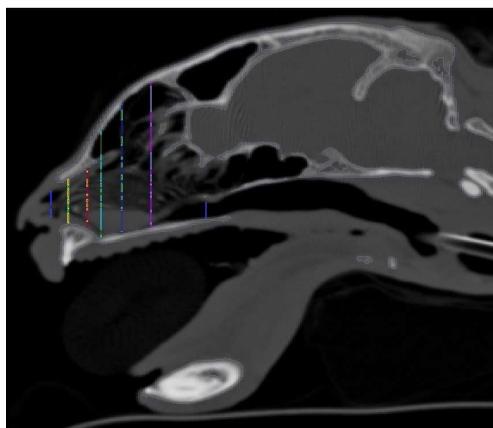


Abbildung 29: Zweidimensionaler Sagittalschnitt des Schädels einer EKH mit segmentierten luftführenden Wegen und dem umgebenden Weichteilgewebe. Der luftführende Bereich auf Höhe der *Nares* ist der rostralste blau gekennzeichnete Bereich. Auf Höhe der *Apertura nasi ossea* ist der luftführende Bereich hellgrün, während das Weichteilgewebe gelb markiert ist. Auf Höhe der *Fissura palatina* ist der luftführende Bereich orangefarben und das Weichteilgewebe von dunkelroter Farbe. Auf Höhe des *Caninus* ist der luftführende Bereich dunkelgrün und das Weichteilgewebe hellblau gekennzeichnet. Der luftführende Bereich auf Höhe des *P2* ist hellgrün, während das Weichteilgewebe dunkelblau gefärbt ist. Auf Höhe des *P3* ist der luftführende Bereich helllila gekennzeichnet und das Weichteilgewebe dunkellila dargestellt. Der luftführende Bereich auf Höhe des *Meatus nasopharyngeus* ist von dunkelblauer Farbe.

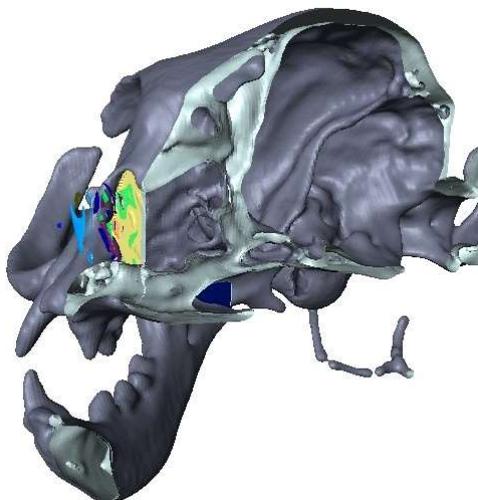


Abbildung 30: Dreidimensionale Rekonstruktion eines Perserkatzenschädels mit segmentierten luftführenden Wegen und umgebendem Weichteilgewebe in medialer Ansicht. Der luftführende Bereich auf Höhe der *Nares* ist der rostralste blau gekennzeichnete Bereich. Auf Höhe des *Caninus* ist der luftführende Bereich dunkelgrün, während das Weichteilgewebe hellblau dargestellt ist. Auf Höhe des *P2* ist der luftführende Bereich von hellgrüner und das Weichteilgewebe von dunkelblauer Farbe. Auf Höhe der *Fissura palatina* ist der luftführende Bereich orange und das Weichteilgewebe dunkelrot gekennzeichnet. Der luftführende Bereich auf Höhe der *Apertura nasi ossea* ist hellgrün, während das Weichteilgewebe gelb gefärbt ist. Der luftführende Bereich auf Höhe des *Meatus nasopharyngeus* ist dunkelblau markiert. Eine Differenzierung zwischen den luftführenden Wegen und dem Weichteilgewebe ist kaum möglich, aufgrund der dichten Abfolge der Messlokalisationen. Der luftführende Weg auf Höhe des *P3* ist nicht zu erkennen, da der segmentierte Bereich unmittelbar auf den der *Apertura nasi ossea* folgt.

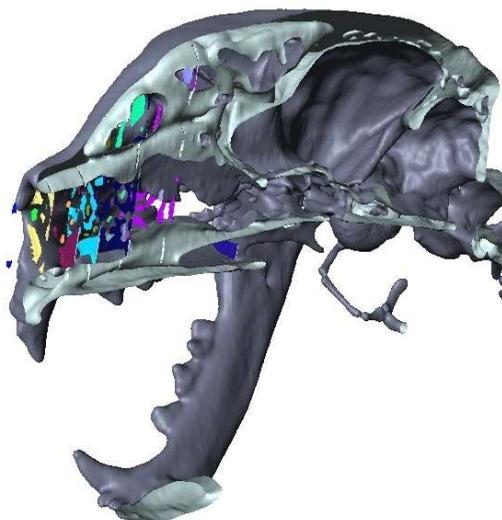


Abbildung 31: Dreidimensionale Rekonstruktion des Schädels einer EKH mit segmentierten luftführenden Wegen und umgebendem Weichteilgewebe in medialer Ansicht. Der luftführende Bereich auf Höhe der *Nares* ist der rostralste blau markierte Bereich. Auf Höhe der *Apertura nasi ossea* ist der luftführende Bereich hellgrün, während das Weichteilgewebe gelb gekennzeichnet ist. Auf Höhe der *Fissura palatina* ist der luftführende Bereich orangefarben und das Weichteilgewebe von dunkelroter Farbe. Auf Höhe des *Caninus* ist der luftführende Bereich dunkelgrün und das Weichteilgewebe hellblau gekennzeichnet. Der luftführende Bereich auf Höhe des *P2* ist hellgrün, während das Weichteilgewebe dunkelblau gefärbt ist. Auf Höhe des *P3* ist der luftführende Bereich hellblau gekennzeichnet und das Weichteilgewebe dunkelblau dargestellt.

3.2.4 Statistische Auswertung

Die statistische Analyse der erhobenen Daten erfolgte durch die Arbeitsgruppe Biomathematik und Datenverarbeitung des Fachbereichs Veterinärmedizin der Justus-Liebig-Universität Gießen. Die Auswertungen wurden mithilfe des Statistikprogramm Pakets BMDP/Dynamic, Release 8.1, (Dixon 1993) durchgeführt. Bei den Zielvariablen wurden die Mittelwerte, die Standardabweichungen, das Maximum sowie das Minimum der Perserkatzenpopulation und der Population der EKH in einem ersten Schritt mithilfe des Programms BMDP1D ermittelt. Anschließend wurden die Daten beider Populationen mithilfe des Programms SPSS von der Softwarefirma IBM auf Normalverteilung überprüft. Dafür wurden der Kolmogorov-Smirnov-Test und Shapiro-Wilk-Test verwendet. Waren die Ergebnisse normalverteilt, wurde der T-Test genutzt. Beim T-Test wurde auf Gleichheit der Varianzen mithilfe des Levene-Tests geachtet und der entsprechende p-Wert berücksichtigt. Bestand keine Normalverteilung, so wurde der Mann-Whitney-U-Test angewendet. Bei beiden Tests wurden p-Werte $<0,05$ als statistisch signifikant beurteilt.

Mithilfe von Korrelations- bzw. Regressionsanalysen wurden anhand des Programms BMDP6D die rohen Zusammenhänge zwischen den Einflussgrößen und den Zielvariablen unter Angabe des Korrelationskoeffizienten nach Pearson (r) und der Regressionsgeraden untersucht. Bei der Untersuchung des Palatum durum wurde eine einfaktorielles logistische Regression mit dem Programm BMDPLR durchgeführt. Als Signifikanzniveau wurde $p < 0,05$ festgelegt; somit wurden Ergebnisse mit $p < 0,05$ und $F > 4,00$ als statistisch signifikant angesehen. Zusätzlich wurde bei dem Programm BMDPLR die Odds Ratio bestimmt, die das Chancenverhältnis angibt, ob das Palatum durum im Zusammenhang mit den unabhängigen Variablen gebogen oder gerade vorkommt.

Mittels einer multiplen linearen Regressionsanalyse mit dem Programm BMDP1R konnte festgestellt werden, welche potenziellen Einflussfaktoren die statistisch signifikantesten Zusammenhänge aufwiesen. Somit konnten die Einflussvariablen Geschlecht, Alter und Körpermasse als feststehendes Modell jeweils in alternativen Modellen mit dem fazialen Index, dem kranialen Index, dem Schädelindex, wie auch dem kraniofazialen Winkel auf Zusammenhänge mit den Zielvariablen untersucht werden. Die Untersuchungen des Palatum durum erfolgten durch multiple logistische Regressionsanalysen mit dem Programm BMDPLR. Auch die logistische Regression ermöglichte die Berechnung statistischer Zusammenhänge alternativer Modelle mit dem fazialen Index, dem kranialen Index, dem Schädelindex und dem kraniofazialen Winkel jeweils in einem feststehenden Modell mit den Einflussvariablen Geschlecht, Alter und Körpermasse.

4 Ergebnisse

4.1 Patientenkollektiv

4.1.1 Körpermasse

Die EKH waren im Mittel mit 4,7 kg (\pm 0,85 kg) schwerer als die Perserkatzen mit einem Mittel von 3,05 kg (\pm 0,85 kg). Das Gewicht beider Gruppen unterschied sich hoch signifikant (T-Test: $p < 0,001$). Die höhere Körpermasse könnte an einem Größenunterschied beider Rassen liegen. Allerdings spielt die Körpergröße in dieser Studie aufgrund des proportionalen Schädelwachstums keine Rolle. Zudem wurden keine realen Längen verglichen, bei der die Körpergröße eine relevante Rolle spielen würde. Stattdessen wurden mithilfe von Indizes Verhältnisse der Schädelproportionen bestimmt. Die Körpermasse der Perserkatzen variierte zwischen 1,4 kg und 5,6 kg, wohingegen die EKH lediglich zwischen 3,5 kg und 6,0 kg schwankten.

4.1.2 Alter

In die Untersuchung wurden Perserkatzen zwischen vier Monaten und 16 Jahren und EKH zwischen acht Monaten und 15 Jahren einbezogen. Die Perserkatzen waren mit einem Mittel von 4,52 Jahren (\pm 4,69 Jahre) schwach signifikant jünger (U-Test: $p = 0,022$) als die EKH mit einem Mittel von 7,77 Jahren (\pm 4,57 Jahre). Die Tiere wurden nicht anhand des Alters selektiert, stattdessen ergab sich die Altersverteilung zufällig.

4.1.3 Geschlecht

Unter den 69 Perserkatzen befanden sich 38 männliche und 31 weibliche Tiere, während bei den EKH drei männliche Tiere und sieben weibliche Tiere vertreten waren.

4.2 Phänotyp der Katzen im Rassenvergleich

Der Schädel der EKH und der Perserkatzen wies große Unterschiede bezüglich der Morphologie auf. In Abbildung 33A ist der Kopf einer EKH abgebildet. Charakteristisch war der

längliche Kopf, dessen Nasen-Stirnlinie keinen „Stop“ aufwies und in eine prägnante Nase überging. Die Augen waren in die Orbita eingebettet und lateral im Kopf gelegen. Die Stirnlinie überragte von lateral gesehen deutlich den distalsten Pol der Bulbi oculi. Der Ober- und Unterkiefer beschrieb eine längliche Form. Abbildung 33B bis E zeigt die zunehmende Verkürzung der Nasen-Stirnlinie korrespondierend zum steigenden Brachycephaliegrad bis die Nasenspitze nicht einmal mehr sichtbar war (Abbildung 33E). Der Schädel hatte bei geringgradiger Brachycephalie noch eine deutlich erkennbar längliche Form (Abbildung 33B) und nahm bei zunehmender Brachycephalie eine rundere Form ein (Abbildung 33E, Abbildung 32). Darüber hinaus war ein immer stärker werdender „Stop“ an der Nasenwurzel erkennbar (Abbildung 32). Das Auge stand bei stärker werdender Brachycephalie zunehmend aus der Orbita heraus und war deutlich frontaler gelegen als bei der EKH bis schließlich das Auge die Stirnlinie überragte. Die geringere Einbettung in die Orbita trat allerdings in Abbildung 33B-E nicht so gravierend in Erscheinung, sondern war deutlicher am 3D-Modell in Abbildung 36 mit rekonstruiertem Knochen und rekonstruierten Augäpfeln zu erkennen. Ebenso war bei den Perserkatzen in dieser Darstellung überschüssige Haut am Kopf zu finden, wodurch die sowieso schon prominente und wenig ausgeformte Wangenpartie der stärker brachycephalen Katze zusätzlich betont wird. Bei der EKH war die Wangenpartie wiederum unauffällig in den Schädel der Katze integriert. Die Abbildung 33D und E und die Abbildung 32 zeigen zudem, dass die überschüssige Haut nicht nur an der Wangenpartie in Erscheinung trat, sondern sich ebenso von dorsal auf das obere Augenlid schob.

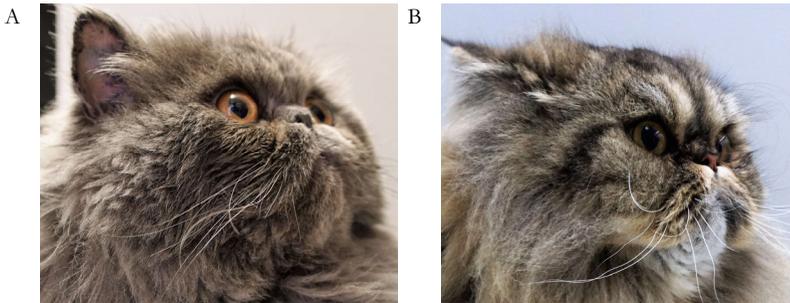


Abbildung 32: Fotografien von Perserkatzenköpfen eines hohen Brachycephaliegrades zur Demonstration des Phänotyps in schräger Ansicht von rechts. Die Abbildungen A und B zeigen die überschüssige Haut an der Wangenpartie und dorsal des oberen Augenlids. Ebenso ist die stark verkürzte Nasen-Stirnlinie mit prominentem „Stop“ bei runder Ausformung des Schädels zu erkennen.

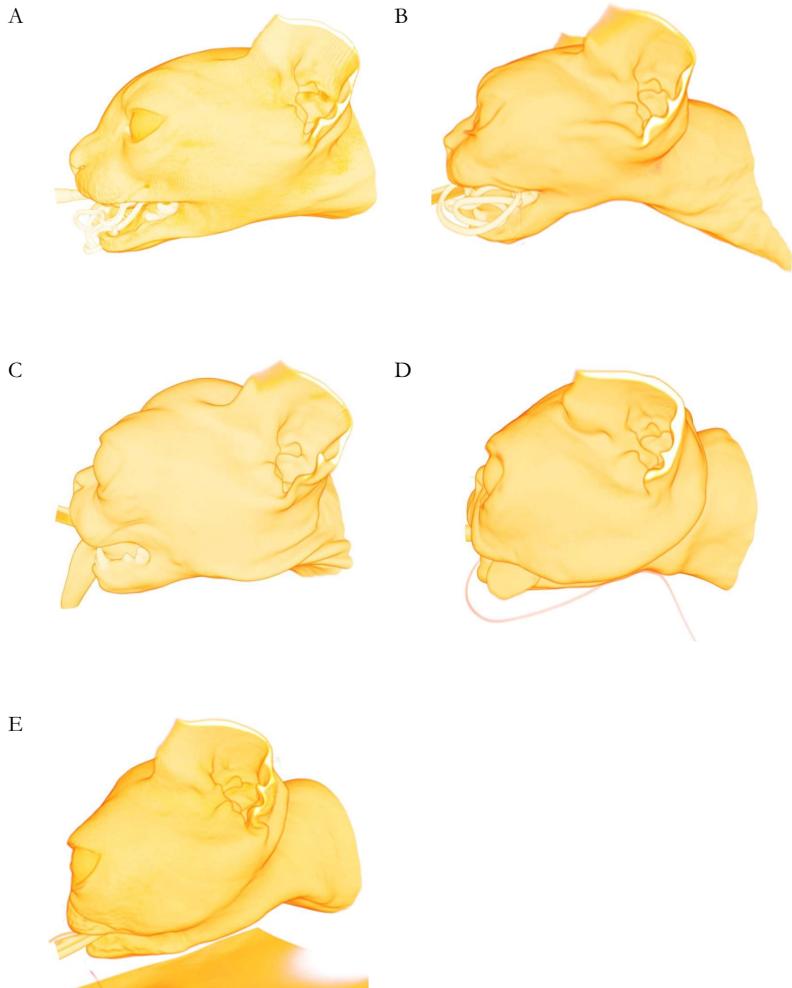


Abbildung 33: Oberflächenrekonstruktionen von Perserkatzen und EKH im Vergleich bezüglich des Phänotyps. Darstellung mithilfe der Funktion „Volren“ durch Amira in linkslateraler Ansicht. In Abbildung A ist der Schädel einer EKH dargestellt. Die Abbildungen B-E zeigen Perserkatzenschädel mit zunehmender Brachyzehalie. Die Verkürzung der Nasen-Stirnlinie wie auch ein immer ausgeprägter „Stop“ und eine zunehmend rundere Schädelform sind zu erkennen. Ebenso nimmt die exponierte Lage der Bulbi oculi zu. Im Verlauf ist die zunehmend überschüssige Haut an der Wangenpartie und im Bereich dorsal des oberen Augenlids zu sehen.

4.3 Kranio-metrische Indizes nach Stockard et al. (1941) und Evans und De Lahunta (2013)

4.3.1 Fazialer Index

Der faziale Index war bei den Perserkatzen im Mittel mit 256,03 (\pm 35,40) hoch signifikant größer (T-Test: $p < 0,001$) als bei den EKH mit einem Mittelwert von 186,64 (\pm 11,69). Bei den Perserkatzen erstreckten sich die Werte von 180,76 bis 317,74 und bei der EKH von 165,58 bis 200,27. Daraus ergaben sich Überschneidungen des fazialen Index der Perserkatzen und der EKH im unteren Wertebereich des fazialen Index. Dagegen waren allerdings die Perserkatzen in ihrer Gesamtheit größtenteils bei einem höheren fazialen Index anzutreffen (Abbildung 34A).

Ein hoher fazialer Index ging mit einem im Verhältnis kurzen Gesichtsschädel bei gleichzeitig breitem Schädel einher, wohingegen ein kleiner fazialer Index mit einem im Verhältnis langen Gesichtsschädel bei geringer Schädelbreite zu finden war.

4.3.2 Kranialer Index

Der kraniale Index der Perserkatzen war im Mittel mit 85,20 (\pm 13,93) größer als der kraniale Index der EKH mit einem arithmetischen Mittelwert von 61,48 (\pm 2,73). Der Unterschied war in diesem Fall ebenso hoch signifikant wie bereits beim fazialen Index (U-Test: $p < 0,001$). Bei den Perserkatzen wurden Werte zwischen 59,23 und 121,75 gemessen, während die Werte der EKH zwischen 57,64 und 66,05 lagen. Somit gab es auch bezüglich des kranialen Index Überschneidungen zwischen den Perserkatzen und den EKH (Abbildung 34B).

Der kraniale Index galt als Maß für den Hirnschädel. Nahm der kraniale Index hohe Werte an, so war mit einem kurzen und gleichzeitig breiten Hirnschädel zu rechnen. Ein niedriger kranialer Index resultierte aus einem längeren Hirnschädel mit geringer Hirnschädelbreite.

4.3.3 Schädelindex

Der Schädelindex betrug bei den Perserkatzen im Mittel 94,55 (\pm 9,65) und bei den EKH im Mittel 72,26 (\pm 2,27). So war der Schädelindex bei den Perserkatzen hoch signifikant größer als bei den EKH (U-Test: $p < 0,001$). Die Werte der Perserkatzen erstreckten sich von 73,00 bis 110,29 und die der EKH von 67,51 bis 74,75 (Abbildung 34C). Ebenso wie bei dem

fazialen Index und dem kranialen Index war beim Schädelindex eine gemeinsame Schnittmenge der Ergebnisse von den Perserkatzen und den EKH zu beobachten. Im Gegensatz zum fazialen und kranialen Index waren allerdings beim Schädelindex die Werte nicht diffus verteilt. Stattdessen waren zwei Ballungsräume in einem Wertebereich um 90 und 100 bei den Perserkatzen erkennbar (Abbildung 34C).

Der Schädelindex war als Maßeinheit für den gesamten Schädel zu sehen. Ein hoher Schädelindex ging mit einer kurzen Schädellänge bei einem gleichzeitig breiten Schädel einher. Dagegen bedeutete ein niedriger Schädelindex einen längeren Gesamtschädel bei geringer Schädelbreite.

4.4 Kraniofazialer Winkel nach Regodon et al. (1993) und Montavon (2000)

Der kraniofaziale Winkel (KFW) betrug bei den Perserkatzen im Mittel $14,41^\circ (\pm 7,65^\circ)$ und bei den EKH $20,27^\circ (\pm 2,28^\circ)$. Die kraniofazialen Winkel der EKH befanden sich zwischen 17° und $24,9^\circ$, wohingegen die Perserkatzen breit gestreute Winkel zwischen $3,9^\circ$ und $28,5^\circ$ aufwiesen. Aufgrund der großen Streuung der Perserkatzen bestand knapp kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Populationen (U-Test: $p=0,066$). Anhand der Abbildung 34D konnte gezeigt werden, dass die kraniofazialen Winkel in drei Bereichen gehäuft vorkamen. Der Ballungsraum mit den niedrigsten Werten lag etwa bei 7° , der des mittleren Wertebereichs bei etwa 12° , während der Bereich, der den EKH am nahe gelegenen war, bei etwa 22° zu finden war.

Schlussendlich resultierten aus der verkürzten brachyzephalen Schädelkonformation der Perserkatzen tendenziell kleinere kraniofaziale Winkel als bei Katzen mesozephaler Schädelkonformation.

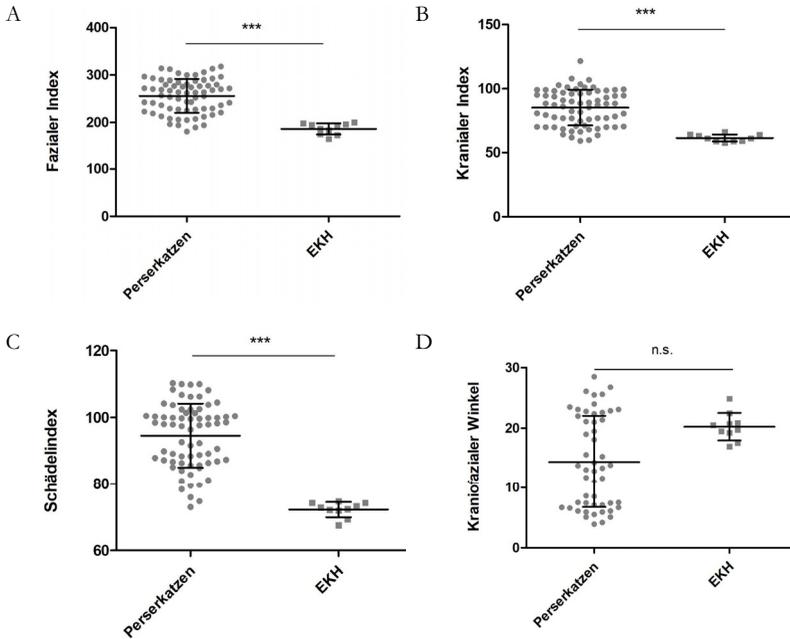


Abbildung 34: Graphische Darstellung der kraniometrischen Parameter im Vergleich zwischen der Persekatzenpopulation und den EKH. Die Abbildung A zeigt den Vergleich zwischen den Populationen bezüglich des fazialen Index, die Abbildung B bezüglich des kranialen Index, die Abbildung C bezüglich des Schädelindex und die Abbildung D bezüglich des kraniofazialen Winkels. Gezeigt sind die Werte der Einzeltiere, die Mittelwerte, die Standardabweichungen und das Signifikanzniveau bei (A) und (B) gemäß des T-Tests und bei (C) und (D) gemäß des U-Tests (** $p < 0,001$). n.s.=nicht signifikant.

4.5 Extraorbitaler Anteil der Bulbi oculi

Der extraorbitale Anteil des rechten Auges war bei den Persekatzen mit einem Mittelwert von 39,90 % ($\pm 14,32$ %) hoch signifikant größer (T-Test: $p < 0,001$) als bei den EKH, die durchschnittlich 9,90 % ($\pm 3,56$ %) extraorbitalen Anteil des Augapfels aufwiesen. Bei den Persekatzen differierten die extraorbitalen Anteile der Bulbi oculi extrem stark (4,06 % - 65,72 %), wohingegen der Augapfel der EKH in einem engen Wertebereich zwischen 3,93 % und 15,33 % außerhalb der Orbita anzutreffen war (Abbildung 35A).

Beim extraorbitalen Anteil des linken Auges wurde ebenso ein statistisch hoch signifikanter Unterschied zwischen den beiden Populationen ermittelt (T-Test: $p < 0,001$). So stand auch das linke Auge bei den Persekatzen mit einem Mittel von 40,22 % ($\pm 14,05$ %) extraorbitalen Anteils weiter aus der Orbita heraus als bei den EKH, die einen Mittelwert von 8,81 % ($\pm 4,51$ %)

%) aufwiesen. Auch beim linken Bulbus variierten die extraorbitalen Anteile der Perserkatzen stark (7,16 % - 64,87 %), während bei den EKH lediglich extraorbitale Anteile zwischen 0,54 % bis zu 17 % ermittelt werden konnten. Anhand der Mittelwerte, der Maxima und Minima konnte gezeigt werden, dass keine wesentlichen Unterschiede zwischen dem rechten und linken Auge bezüglich der Lage der Bulbi oculi innerhalb der Orbita bestanden, da eine relativ gleichmäßige Verteilung der Messwerte vorlag. In Abbildung 35A und B ist zu erkennen, dass es Überschneidungen der extraorbitalen Bulbusanteile der Perserkatzen und EKH in den niedrigen Wertebereichen bei unter 20 % gab. Die Mehrheit der Perserkatzen wies unabhängig davon, ob es sich um den linken oder rechten Bulbus handelte, extraorbitale Anteile der Bulbi oculi zwischen 30 % und 50 % auf (Abbildung 35A und B). Im Durchschnitt stand der extraorbitale Anteil des Bulbus der Perserkatze um das 4-fache (rechtes Auge) bzw. das 4,5-fache (linkes Auge) weiter aus der Orbita heraus als bei den EKH. Wurde dagegen der minimalste extraorbitale Anteil des linken Auges von 0,54 % der EKH mit dem maximalsten Anteil des linken Auges von 64,87 % bei der Perserkatze in Relation gesetzt, so stand das Auge der Perserkatze mit der maximalsten Ausprägung des extraorbitalen Anteils etwa um das 120-fache weiter aus der Orbita heraus. In der Abbildung 36 und Abbildung 37 ist die Rekonstruktion des Schädels und der Bulbi oculi im Vergleich zwischen einer EKH und einer Perserkatze dargestellt. In der Abbildung sind die Unterschiede bezüglich der Lage der Augäpfel im Vergleich zwischen den beiden Rassen mithilfe der verschiedenen Farben deutlich zu erkennen. Insgesamt sind innerhalb der Perserkatzenpopulation eindeutig größere extraorbitale Anteile beider Bulbi oculi im Vergleich zu den EKH festgestellt worden.

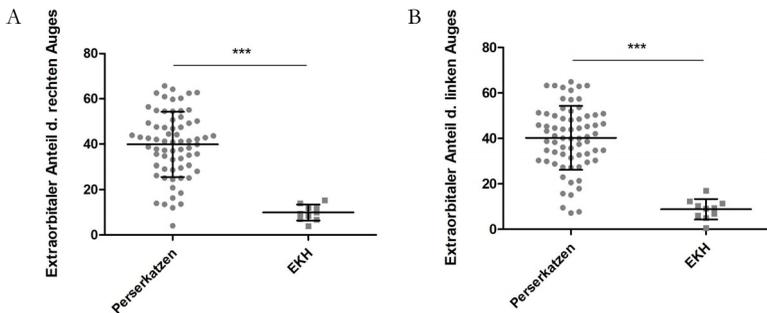


Abbildung 35: Graphische Darstellung des extraorbitalen Anteils der Bulbi oculi im Vergleich zwischen der Perserkatzenpopulation und den EKH. Die Abbildung A zeigt die extraorbitalen Anteile des rechten Auges und die Abbildung B stellt die extraorbitalen Anteile des linken Auges dar. Gezeigt sind die Werte der Einzeltiere in Prozent, die Mittelwerte und die Standardabweichungen unter Angabe des Signifikanzniveaus anhand des T-Tests (*** $p < 0,001$).

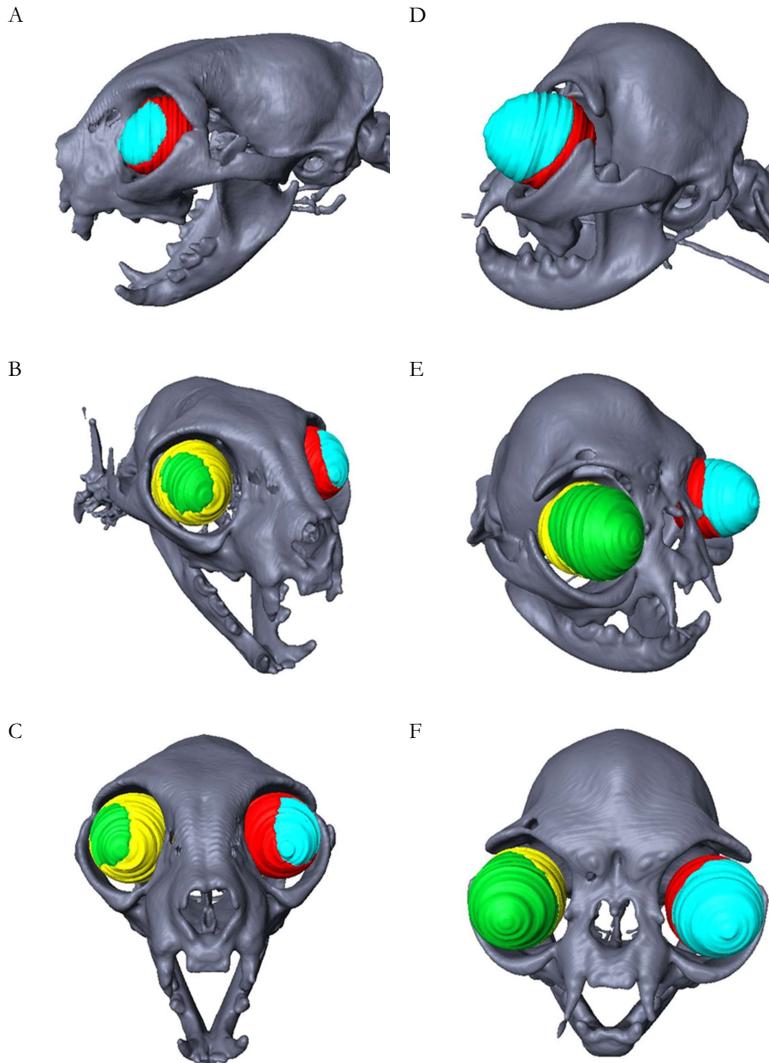


Abbildung 36: Dreidimensionale Rekonstruktion von Schädeln und Bulbusanteilen der EKH und Perserkatzen im Vergleich. Die linke Spalte A-C zeigt den Schädel einer EKH mit rekonstruierten Anteilen der Augen, die rechte Spalte D-F zeigt den Schädel einer Perserkatze mit ebenfalls rekonstruierten Augen. Der intraorbitale liegende Anteil der Augen ist links in roter und rechts in gelber Farbe markiert. Separat in grüner Farbe ist der extraorbitale Anteil des rechten Auges und in hellblauer Farbe der extraorbitale Anteil des linken Auges dargestellt. Die Ansicht der Katzenschädel ist von linkslateral (A+D), von frontolateral rechts (B+E) und von frontal (C+F).

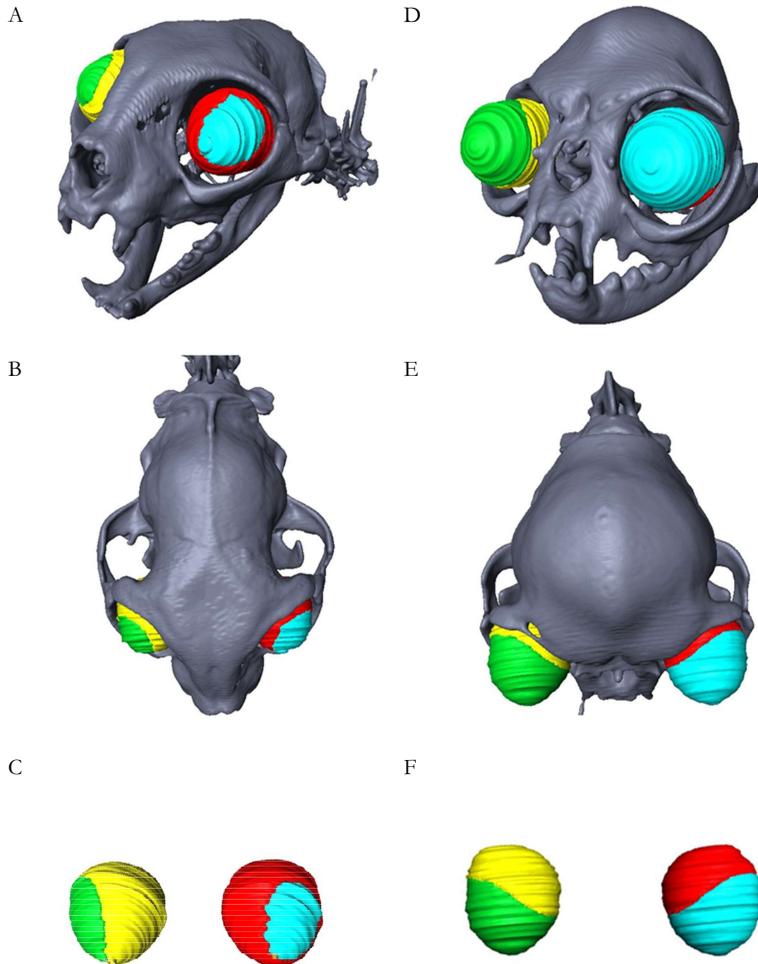


Abbildung 37: Dreidimensionale Rekonstruktion von Schädeln und Bulbusanteilen wie auch separater Darstellung von Bulbi oculi der EKH und Perserkatzen im Vergleich. Die linke Spalte A-C zeigt den Schädel einer EKH mit rekonstruierten Anteilen der Augen, die rechte Spalte D-F zeigt den Schädel einer Perserkatze mit ebenfalls rekonstruierten Augen. Der intraorbital liegende Anteil der Augen ist links in roter und rechts in gelber Farbe dargestellt. Separat in grüner Farbe ist der extraorbitale Anteil des rechten Auges und in hellblauer Farbe der extraorbitale Anteil des linken Auges markiert. Darstellung der Schädel von frontolateral links (A+D) und von dorsal (B+E). Die Abbildung C zeigt die Einzelansicht der Bulbi oculi einer EKH von dorsal, während die Abbildung F die Einzelansicht der Bulbi oculi einer Perserkatze von dorsofrontal zeigt.

4.6 Winkel zwischen den Canini des Oberkiefers und dem harten Gaumen

Zuerst wurde der Winkel des rechten und linken Caninus getrennt voneinander ausgewertet. Hierbei ergab sich, dass der Winkel vom rechten Caninus zum harten Gaumen bei den Perserkatzen mit einem Mittelwert von $123,92^\circ (\pm 8,35^\circ)$ hoch signifikant größer war (T-Test: $p < 0,001$) als der Winkel der EKH mit einem Mittel von $118,12^\circ (\pm 3,63^\circ)$ (Abbildung 38A). Beim linken Caninus war ebenso ein signifikanter Unterschied zwischen den Perserkatzen mit einem Mittelwert von $125,91^\circ (\pm 8,07^\circ)$ und den EKH mit einem arithmetischen Mittel von $119,40^\circ (\pm 3,47^\circ)$ festzustellen. Auch in diesem Fall wiesen die Perserkatzen wie in Abbildung 38B dargestellt einen signifikant größeren Winkel des Caninus zum harten Gaumen auf (U-Test: $p = 0,004$).

Um die Extreme der brachyzephalen Schädelform hervorzuheben, wurde der maximale Winkel individuell bei jeder Katze ausgewählt. Hieraus ergab sich, dass die Perserkatzen mit einem Mittel von $127,73^\circ (\pm 7,97^\circ)$ hoch signifikant größere Winkel (U-Test: $p < 0,001$) zeigten als die EKH mit einem Mittel von $120,46^\circ (\pm 2,76^\circ)$. Die kleinsten Winkel zwischen dem Caninus und dem harten Gaumen wiesen allerdings die Perserkatzen mit einem Winkel von 110° auf, wobei das Minimum der EKH bei $116,7^\circ$ lag. Allerdings war das Maximum der Winkel bei der Perserkatze mit $148,30^\circ$ weitaus höher angesiedelt als bei den EKH mit 125° . Extrem hohe Winkel wie auch extrem kleine Winkel traten bei den Perserkatzen nur vereinzelt auf wie in Abbildung 38C zu erkennen ist. Der hauptsächliche Ballungsraum, in dem sich die Mehrheit der Perserkatzen befand, lag bei einem Winkel von etwa 130° . Im direkten Vergleich der Rassen konnten Überschneidungen bezüglich der Größe der Winkel festgestellt werden, wie Abbildung 38C belegt.

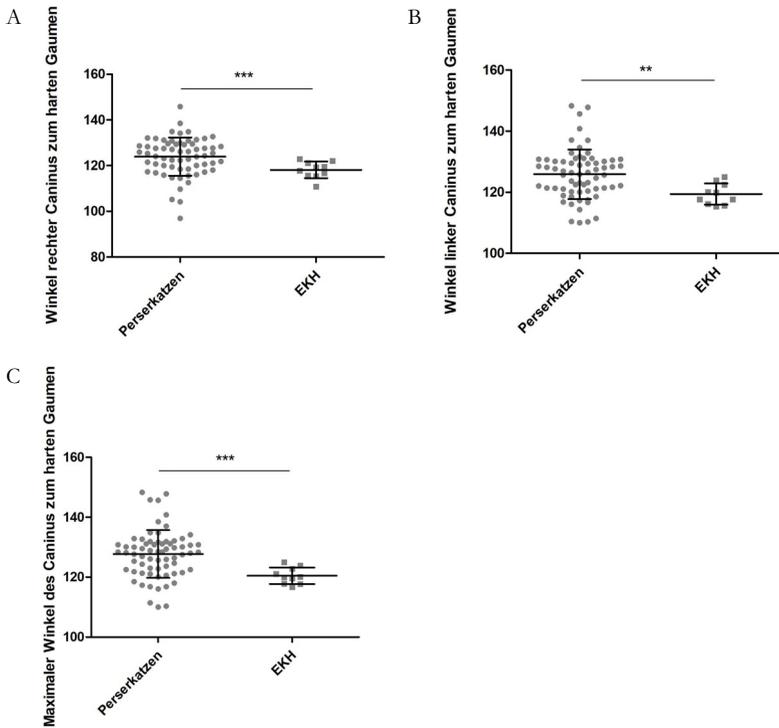


Abbildung 38: Vergleichende graphische Darstellung des Zusammenhangs der Winkel zwischen den Canini und dem harten Gaumen bei Persern und EKH. Die Abbildung A bezieht sich auf den Winkel zwischen dem rechten Caninus und dem harten Gaumen. Die Abbildung B stellt den Winkel zwischen dem linken Caninus und dem harten Gaumen dar, während die Abbildung C den maximalen Winkel des Caninus zum harten Gaumen wiedergibt. Gezeigt sind die Werte der Einzeltiere in Grad ($^{\circ}$), die Mittelwerte und die Standardabweichungen unter Angabe des Signifikanzniveaus (** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$) anhand des T-Tests (A) und des U-Tests (B, C).

4.7 Zahnfehlstellungen im Ober- und Unterkiefer

Bei der Analyse der Zahnstellungen im Oberkiefer stellte sich heraus, dass bei den Perserkatzen mit einem Mittelwert von 2,03 Zähnen ($\pm 1,58$ Zähne) eine größere Anzahl von Zähnen eine unphysiologische Stellung aufwies als bei den EKH mit einem arithmetischen Mittel von 0,11 Zähnen ($\pm 0,33$ Zähne). Der Unterschied zwischen beiden Populationen war hoch signifikant (U-Test: $p < 0,001$). Bei den Perserkatzen variierte die Anzahl unphysiologisch gestellter Zähne zwischen null und sechs Zähnen, wohingegen bei den EKH entweder kein Zahn oder nur ein einzelner Zahn eine abnorme Stellung aufwies. Lediglich 25 % der

Perserkatzen wiesen keine Zahnfehlstellungen auf, wobei der überwiegende Anteil der Perserkatzen Abweichungen aufwies. Es waren meist zwei bis vier Zähne betroffen (Abbildung 39). Größtenteils war von dieser Fehlstellung der P4 betroffen, der sich dabei mit verschiedener starker Intensität um die eigene Längsachse gedreht hat. Oft war mit der abweichenden Lage des P4 ein gleichzeitiger Positionsverlust des M1 zu beobachten. Der P3 hingegen war nur vereinzelt inkorrekt gelegen (Abbildung 41).

Im Unterkiefer konnte ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen beiden Populationen festgestellt werden (U-Test: $p=0,002$). So waren bei den Perserkatzen mit einem Mittel von 1,30 Zähnen ($\pm 0,99$ Zähne) signifikant mehr Zähne als bei den EKH, die ein Mittel von 0,22 Zähne aufwiesen ($\pm 0,67$ Zähne), von Fehlstellungen betroffen. Bei den Perserkatzen waren 49 Katzen von Zahnfehlstellungen betroffen, bei denen zwischen einem und fünf Zähnen unphysiologisch gelegen waren. Lediglich knapp ein Viertel der Perserkatzen zeigte gleichermaßen wie im Oberkiefer keine abweichenden Zahnstellungen (Abbildung 40). In diesem Fall war der M1 größtenteils von der abweichenden Lage betroffen, gelegentlich ebenso der P4 und nur vereinzelt der P3. Die genaue Verteilung der betroffenen Zähne kann der Abbildung 41 entnommen werden. Dagegen konnten lediglich bei einer EKH zwei fehlgestellte M1 ermittelt werden, während die übrigen EKH mit einem physiologischen Unterkiefergebiss ausgestattet waren.

Zahnfehlstellungen im Oberkiefer bei Perserkatzen

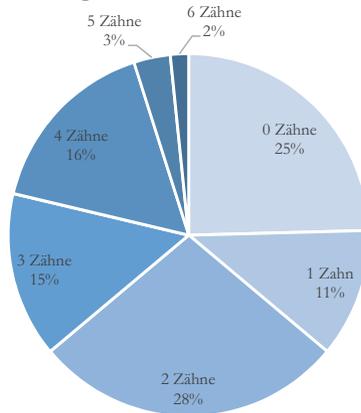


Abbildung 39: Graphische Darstellung der prozentualen Verteilung von Zahnfehlstellungen im Oberkiefer bei Perserkatzen. Bei 75 % der Perser sind Fehlstellungen an bis zu sechs Zähnen vorhanden. Meist sind zwei bis vier Zähne betroffen.

Zahnfehlstellungen im Unterkiefer bei Perserkatzen

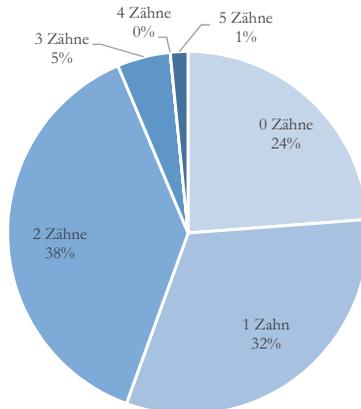


Abbildung 40: Graphische Darstellung der prozentualen Verteilung von Zahnfehlstellungen im Unterkiefer bei Perserkatzen. Vorwiegend sind ein oder zwei Zähne betroffen, eine Fehlstellung an vier Zähnen gleichzeitig wird nicht festgestellt (0%). Bei 24 % der Perser tritt keine Abweichung der Zahnstellung auf.

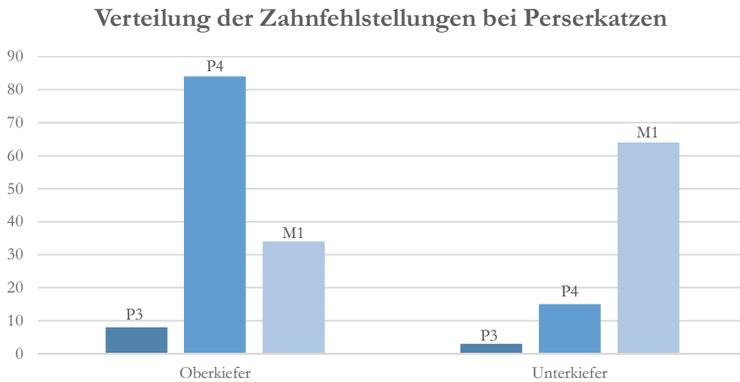


Abbildung 41: Graphische Darstellung der prozentualen Verteilung der Zahnfehlstellungen des P3, P4 und M1 im Ober- und Unterkiefer der Perserkatzen. Gezeigt ist die Verteilung der Häufigkeit (in Prozent) von Zahnfehlstellungen des P3, P4 und des M1 in Bezug auf die Gesamtheit der Zahnfehlstellungen. Im Oberkiefer ist häufiger der P4 betroffen, während im Unterkiefer häufiger der M1 nicht in der physiologischen Position liegt.

4.8 Biegung des Palatum durum

Bei der Analyse des Palatum durum wurde bei 54 von 68 Perserkatzen eine Biegung des harten Gaumens nach ventral festgestellt. Bei den EKH ließ sich dieses Merkmal bei keinem von zehn Tieren nachweisen. Damit trat dieses Merkmal bei den Perserkatzen hoch signifikant häufiger auf als bei den EKH (Chi-Quadrat-Test: $p < 0,001$).

4.9 Relative Höhe der Apertura nasi ossea

Die relative Höhe der Apertura nasi ossea kann als Maß für die Höhe des knöchernen Naseneingangs gesehen werden. Sie gibt das Verhältnis der Messung von Akronasion zum Nasenhöhlenboden und der Messung von Akronasion bis zu dem Punkt des Processus palatinus des Os incisivum an, der exakt zwischen den Fissurac palatinae gelegen ist. Mit einem Mittelwert von 66,28 % ($\pm 4,26$ %) war die relative Höhe der Apertura nasi ossea der Perserkatzen hoch signifikant kleiner (T-Test: $p < 0,001$) als die der EKH, die ein Mittel von 69,47 % ($\pm 1,91$ %) aufwiesen. Auch in diesem Fall konnten Überschneidungen zwischen den Populationen beobachtet werden (Abbildung 42).

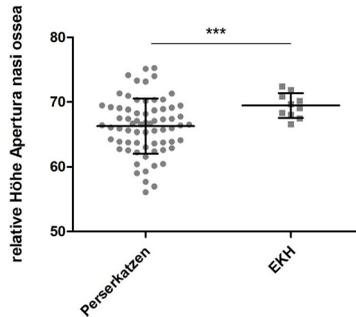


Abbildung 42: Graphische Darstellung der relativen Höhe der Apertura nasi ossea im Vergleich zwischen der Perserkatzenpopulation und den EKH. Gezeigt sind die Werte der Einzeltiere in Prozent (%), die Mittelwerte und die Standardabweichungen unter Angabe des Signifikanzniveaus anhand des T-Tests (** $p < 0,001$).

4.10 Relativer luftführender Weg an definierten Querschnitten der oberen Atemwege

Bei der Berechnung des Verhältnisses zwischen Nares und dem Meatus nasopharyngeus bezüglich der luftführenden Fläche wurde herausgefunden, dass die Perserkatzen mit einem Mittelwert von 40,58 % ($\pm 15,16$) einen statistisch schwach signifikant (U-Test: $p=0,015$) kleineren Anteil der Nares am Meatus nasopharyngeus hatten als die EKH mit einem Mittelwert von 59,95 % ($\pm 25,38$ %) (Abbildung 43A).

Bei der Untersuchung des relativen luftführenden Weges auf Höhe des Caninus konnte festgestellt werden, dass die Perserkatzen mit einem Mittelwert von 23,32 % ($\pm 6,82$ %) einen hoch signifikant kleineren relativen luftführenden Weg (T-Test: $p < 0,001$) aufwiesen als die EKH mit einem arithmetischen Mittel von 31,17 % ($\pm 5,61$ %). Innerhalb der Perserkatzenpopulation variierten die luftführenden Anteile stark (4,77 %-38,01 %), während bei den EKH keine Werte unter 20 % zu finden waren (Abbildung 43B).

Zudem stand der Perserkatze signifikant weniger relativer luftführender Weg auf Höhe des P2 (T-Test: $p=0,003$) mit einem Mittelwert von 24,40 % ($\pm 5,76$ %) zur Verfügung als der EKH mit einem Mittelwert von 30,66 % ($\pm 6,38$ %). In der Abbildung 43C ist dargestellt, dass bei den Perserkatzen nur vereinzelt Tiere mit großer relativer luftführender Fläche, hingegen bei den EKH nur wenige Tiere mit geringer relativer luftführender Fläche zu finden waren. Somit bildeten ungewöhnlich große Werte bei den Perserkatzen wie auch sehr niedrige Werte bei den EKH eine Ausnahme.

Auf Höhe des P3 im Oberkiefer konnte ebenso ein statistisch schwach signifikanter Unterschied zwischen den beiden Populationen bezüglich des relativen luftführenden Weges ermittelt werden (U-Test: $p=0,021$). Den Perserkatzen stand folglich mit einem Mittel von 25,76 % ($\pm 8,58$ %) signifikant weniger relativer luftführender Weg zur Verfügung als den EKH mit einem Mittelwert von 31,70 % ($\pm 6,31$ %). Die Werte der Perserkatzen erstreckten sich von 12,69 % bis 50,32 %, wobei aber die hohen Werte des relativen luftführenden Weges durch die Einbeziehung des Sinus frontalis zu erklären waren und weniger durch die Nasengänge an sich (Abbildung 43D).

Auch auf Höhe der Apertura nasi ossea war ein schwach signifikanter Unterschied zwischen dem relativen luftführenden Weg beider Populationen festzustellen (U-Test: $p=0,014$). So war dieser bei den Perserkatzen signifikant kleiner bemessen mit einem Mittel von 22,94 % ($\pm 7,53$ %) als bei den EKH, die einen arithmetischen Mittelwert von 26,17 % ($\pm 6,36$ %) aufwiesen. Die vereinzelt ungewöhnlich großen relativen luftführenden Flächen waren auch im Bereich der Apertura nasi ossea auf den Sinus frontalis zurückzuführen, der bei den EKH an dieser anatomischen Lokalisation größtenteils noch nicht anzutreffen war (Abbildung 43E).

Im Bereich der Fissura palatina zeigte sich die relative luftführende Fläche bei den Perserkatzen schwach signifikant kleiner (T-Test: $p=0,046$) mit einem Mittelwert von 23,88 % ($\pm 6,45$ %) als bei den EKH mit einem Mittel von 28,20 % ($\pm 6,25$ %) (Abbildung 43F).

Insgesamt waren im Vergleich zwischen den Populationen die relativen luftführenden Wege der Perserkatze an allen definierten Lokalisationen signifikant kleiner als bei den EKH. Zudem sind die Nasengänge plumper und grobstrukturierter angelegt als die der EKH. In der Abbildung 30 sind im 3D-Modell die verschiedenen Querschnitte der Messungen des luftführenden Weges dargestellt. Anhand dessen ist zu erkennen, dass die verschiedenen Messlokalisationen bei der EKH gut voneinander abzugrenzen waren (Abbildung 30B), während sie bei der Perserkatze teilweise unmittelbar aufeinander folgten und kaum noch voneinander zu differenzieren waren (Abbildung 30A).

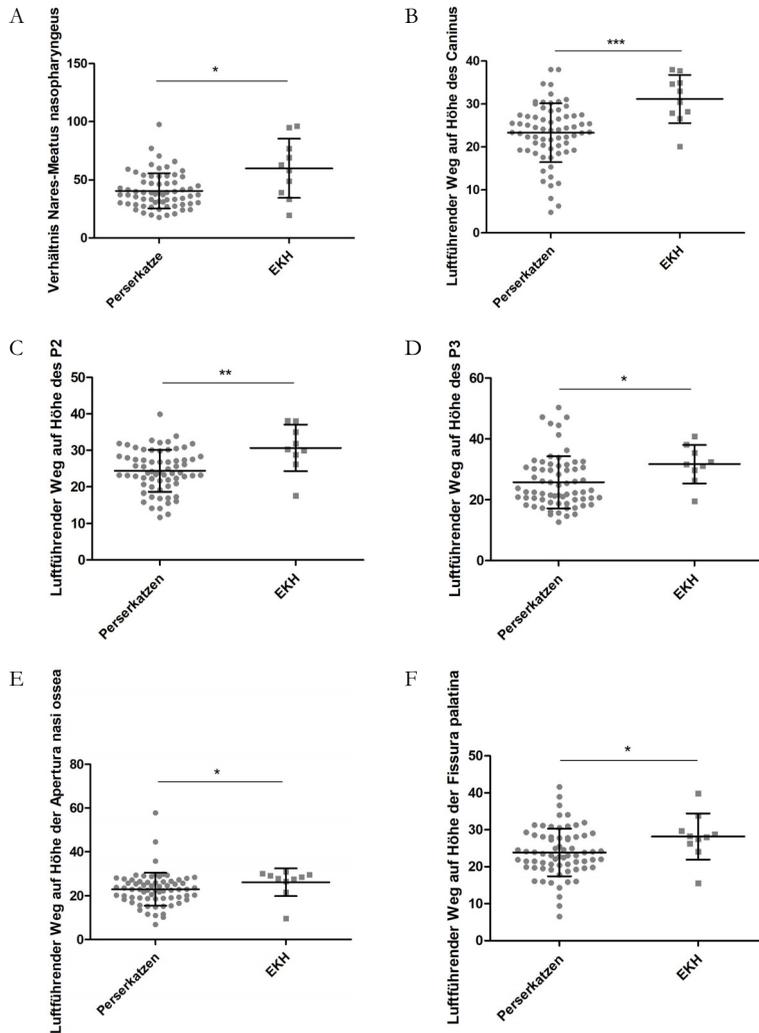


Abbildung 43: Vergleichende graphische Darstellung des relativen luftführenden Weges bei Perserkatzen und EKH. Die Abbildung A gibt das Verhältnis des luftführenden Weges auf Höhe der Nares zum Meatus nasopharyngeus an. Die Abbildung B zeigt den relativen luftführenden Weg auf Höhe des Caninus, die Abbildung C stellt den relativen luftführenden Weg auf Höhe des P2 dar, die Abbildung D gibt den relativen luftführenden Weg auf Höhe des P3 wieder, die Abbildung E gibt den relativen luftführenden Weg auf Höhe der Apertura nasi ossea an, die Abbildung F zeigt den relativen luftführenden Weg auf Höhe der Fissura palatina jeweils im Verhältnis zum Gesamtquerschnitt bestehend aus dem umgebenden Weichteilgewebe und dem luftführenden Weg innerhalb der Knochen- bzw. Knorpelgrenzen. Gezeigt sind die Werte der Einzeltiere in Prozent, die Mittelwerte und die Standardabweichungen unter Angabe des Signifikanzniveaus (* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$) anhand des U-Tests (A), (D), (E), (F) und des T-Tests (B) und (C).

4.11 Statistische Zusammenhänge der Messparameter

Die Auswertung der rohen Zusammenhänge wurde größtenteils anhand von Korrelations- bzw. Regressionsanalysen durchgeführt. Einzig bei der Analyse des Palatum durum wurde eine logistische Regressionsanalyse durchgeführt, da es sich in diesem Fall nur um zwei mögliche Ausprägungsformen des Merkmals handelte. Bei der Untersuchung der Zusammenhänge fanden Störgrößen wie Körpermasse, Alter und Geschlecht keine Beachtung. Aufgrund der bereits vorgenommenen Berechnung der statistischen Unterschiede zwischen den Populationen der Perserkatzen und EKH wurde in diesem Schritt lediglich die Perserkatzenpopulation auf statistische Zusammenhänge analysiert, um mögliche Korrelationen innerhalb dieser Rasse anhand festgelegter Merkmale ermitteln zu können.

4.11.1 Fazialer Index

Um feststellen zu können, ob statistische Zusammenhänge zwischen den Dimensionen des Gesichtsschädels zu den untersuchten Merkmalen des Schädels bestanden, wurde zuerst der faziale Index untersucht. Die Untersuchung der extraorbitalen Anteile der Bulbi oculi ergab einen hoch signifikanten Zusammenhang zwischen dem fazialen Index und den extraorbital gelegenen Anteilen des Bulbus. Das linke Auge wies einen geringgradig stärkeren Zusammenhang ($p < 0,001$; $r = 0,508$) auf als das rechte Auge ($p < 0,001$; $r = 0,536$). Anhand der Abbildung 44A und B war ein positiv linearer Zusammenhang zwischen den beiden Größen erkennbar. Bei einem Anstieg des fazialen Index, der eine Verkürzung der Gesichtsschädelänge bei größerer oder gleichbleibender fazialer Breite impliziert, waren bei beiden Bulbi oculi zunehmend größere extraorbitale Anteile zu finden.

Bei der Untersuchung möglicher Zusammenhänge des fazialen Index zu der Anzahl unphysiologisch gestellter Dentales konnte ermittelt werden, dass ein hoch signifikanter Zusammenhang von moderater Stärke bestand ($p < 0,001$; $r = 0,460$). Folglich war bei steigendem fazialen Index eine steigende Anzahl fehlgestellter Zähne zu finden. Dieser statistische Zusammenhang konnte allerdings lediglich bei den Zähnen im Oberkiefer festgestellt werden. Die Auswertung bezüglich des fazialen Index und den Dentales des Unterkiefers ergab keine statistisch signifikanten Zusammenhänge.

Die Untersuchung des maximalen Winkels vom Caninus zum Palatum durum zeigte einen statistisch hoch signifikanten Zusammenhang zwischen dem fazialen Index und dem maxi-

malen Caninuswinkel ($p=0,042$). Anhand der Abbildung 44C ist zu erkennen, dass bei steigendem fazialen Index der maximale Winkel der Canini zum harten Gaumen abnimmt. Allerdings handelte es sich lediglich um einen schwach negativen Zusammenhang ($r = -0,247$).

Bei der Analyse des maximalen Caninuswinkels wurde gleichzeitig die Beurteilung des Vorhandenseins einer Biegung des Palatum durum vorgenommen. So wurde festgestellt, dass der faziale Index einen hoch signifikanten Zusammenhang zu der Biegung des harten Gaumens aufwies ($p<0,001$; $F=15,22$). Anhand der Odds-Ratio konnte das Chancenverhältnis, mit dem das Palatum durum in gebogener Form bei einem bestimmten fazialen Index vorlag, wiedergegeben werden. Bei Anstieg des fazialen Index um eine Einheit stieg die Chance auf Biegung des Palatum durum um den Faktor 1,04 ($m=0,0407$; $OR=1,04$). Je höher somit der faziale Index war, desto eher lag das Palatum durum in gebogener Form vor.

Die Analyse der relativen Höhe der Apertura nasi ossea zeigte innerhalb der Perserkatzenpopulation keinen statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen dem fazialen Index und der relativen Höhe des knöchernen Naseneingangs ($p>0,05$).

Die Untersuchung der luftführenden Wege ergab lediglich einen statistisch schwach signifikanten Zusammenhang vom fazialen Index zum Verhältnis zwischen Nares und Meatus nasopharyngeus ($p=0,037$). Anhand der Abbildung 44D ist der schwach negative Zusammenhang ($r=-0,257$) zu erkennen. Je höher der faziale Index war, desto kleiner wurde somit das Verhältnis zwischen Nares und Meatus nasopharyngeus.

An den übrigen Lokalisationen der Messung des luftführenden Weges (Caninus, P2, P3, Apertura nasi ossea, Fissura palatina) wurden keine weiteren statistisch signifikanten Zusammenhänge zwischen dem fazialen Index und den relativen luftführenden Wegen ermittelt ($p>0,05$).

Zusammenfassend resultierten somit aus dem steigenden fazialen Index, der einen kürzeren Gesichtsschädel bei gleichbleibender oder größerer Schädelbreite mit sich zog, zunehmend größere extraorbitale Anteile beider Bulbi oculi wie auch eine größere Anzahl unphysiologisch gestellter Dentis im Oberkiefer. Ebenso stieg die Wahrscheinlichkeit, dass das Palatum durum in gebogener Form vorlag.

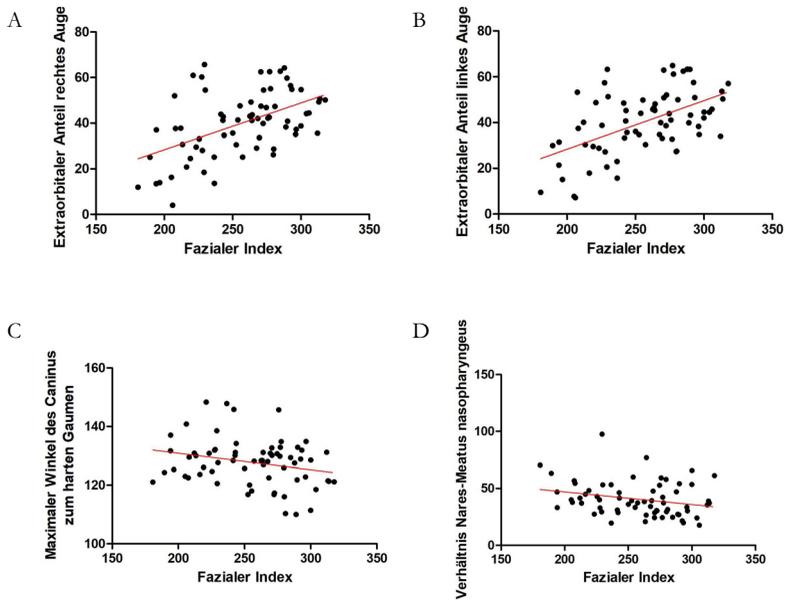


Abbildung 44: Graphische Darstellung der linearen Regressionsanalyse des fazialen Index und (A) dem extraorbitalen Anteil des rechten Auges (in %), (B) dem extraorbitalen Anteil des linken Auges (in %), (C) dem maximalen Caninuswinkel (in %), (D) dem Verhältnis des luftführenden Weges der Nares zum Meatus nasopharyngeus (in %) unter Einbeziehung der gesamten Perserkatzenpopulation ($n=69$). Die rote Linie stellt die Regressionsgerade dar.

Allerdings wurden tendenziell eher kleinere Winkel der Canini bei steigendem fazialen Index gefunden. Zudem ging mit einem höheren fazialen Index ein kleineres Verhältnis der luftführenden Fläche zwischen Nares und Meatus nasopharyngeus einher. Dagegen konnten keine statistischen Zusammenhänge vom fazialen Index zu der Anzahl fehlgestellter Zähne im Unterkiefer wie auch der relativen Höhe der Apertura nasi ossea und den übrigen Messlokalisationen der relativen luftführenden Fläche festgestellt werden.

4.1.1.2 Kranialer Index

Der kraniale Index konnte aufgrund seiner mathematischen Berechnung als Maß für den Hirnschädel gesehen werden. Daher konnte auf mögliche Zusammenhänge zwischen den Dimensionen des Hirnschädels zu den untersuchten Merkmalen getestet werden.

Die Untersuchung der extraorbitalen Anteile der Augäpfel zeigte ebenso wie beim fazialen Index einen hoch signifikanten Zusammenhang zwischen dem kranialen Index und den extraorbital gelegenen Anteilen der Bulbi oculi. Auch in diesem Fall wies das linke Auge einen geringgradig stärkeren Zusammenhang ($p < 0,001$; $r = 0,608$) auf als das rechte Auge ($p < 0,01$; $r = 0,557$). Abbildung 45A und B zeigt den positiv linearen Zusammenhang zwischen dem kranialen Index und dem extraorbitalen Anteil der Bulbi oculi. Aus einem Anstieg des kranialen Index, bei dem eine Verkürzung der Hirnschädellänge mit einer vermehrten Hirnschädelbreite einherging, resultierte somit gleichzeitig eine Vergrößerung des extraorbitalen Anteils beider Augäpfel.

In Anlehnung an die Zusammenhänge des fazialen Index war ebenso vom kranialen Index ein hoch signifikanter Zusammenhang zu der Anzahl fehlgestellter Dentales im Oberkiefer festzustellen ($p < 0,001$). In diesem Fall handelte es sich ebenfalls um einen positiven linearen Zusammenhang von moderater Stärke ($r = 0,446$). Daraus resultierte bei steigendem kranialen Index eine wachsende Anzahl nicht physiologisch angeordneter Zähne. Im Gegensatz dazu konnten innerhalb der Perserkatzenpopulation keine statistischen Zusammenhänge zwischen dem kranialen Index und der Anzahl der Dentales im Unterkiefer gefunden werden ($p > 0,05$). Stattdessen bestand lediglich ein Unterschied zwischen den Rassen bezüglich der Anzahl der Zahnfehlstellungen der Mandibula wie in Kapitel 4.7 bereits beschrieben.

Bei der Untersuchung des maximalen Winkels des Caninus zum Palatum durum wurde herausgefunden, dass ein schwach signifikanter Zusammenhang zwischen dem kranialen Index und dem maximalen Caninuswinkel bestand ($p = 0,022$). In Kapitel 4.6 wurde bereits der hoch signifikant größere maximale Caninuswinkel bei den Perserkatzen im Vergleich zu den EKH beschrieben. Wurde allerdings die Perserkatzenpopulation allein auf signifikante Zusammenhänge zwischen dem kranialen Index und dem Caninuswinkel untersucht, so zeigte sich in Abbildung 45C lediglich ein negativer Zusammenhang schwacher Stärke zwischen den Parametern ($r = -0,278$). Daraus folgte bei steigendem kranialen Index ein kleiner werdender maximaler Caninuswinkel zum Palatum durum.

Ebenso wies der kraniale Index einen signifikanten Zusammenhang zu der Biegung des Palatum durum auf ($p = 0,017$; $F = 6,02$). Aus einem Anstieg des kranialen Index um eine Einheit resultierte ein Chancenanstieg auf Biegung des Palatum durum um den Faktor 1,07 ($m = 0,0693$; $OR = 1,07$).

Die Untersuchung der relativen Höhe der Apertura nasi ossea zeigte innerhalb der Perserkatzenpopulation keine statistisch signifikanten Zusammenhänge zwischen dem kranialen Index und der relativen Höhe des knöchernen Naseneingangs ($p > 0,05$).

Bei der Beurteilung des relativen luftführenden Weges konnte auf Höhe des Caninus ein schwach signifikanter Zusammenhang gezeigt werden ($p=0,02$). Dieser positive Zusammenhang war allerdings nur von schwacher Stärke ($r=0,283$). Daraus ließ sich schlussfolgern, dass ein Anstieg des kranialen Index größere relative luftführende Wege zur Folge hatte (Abbildung 45D). Dies stand im Gegensatz zu der in Kapitel 4.10 ermittelten hoch signifikant kleineren relativen luftführenden Fläche auf Höhe des Caninus bei den Perserkatzen im Vergleich mit den EKH.

Ein ähnliches Verhalten zeigte sich bei der relativen luftführenden Fläche auf Höhe der Fissura palatina. In diesem Fall wurde in Kapitel 4.10 bereits ein schwach signifikant kleinerer relativer luftführender Weg bei den Perserkatzen im Vergleich zu den EKH festgestellt. Allerdings war bei der Beurteilung des Zusammenhangs zwischen dem kranialen Index und der relativen luftführenden Fläche ein schwach positiv signifikanter Zusammenhang von schwacher Stärke aufgetreten ($p = 0,036$; $r=0,253$). Abbildung 45E zeigt, dass mit einem Anstieg des kranialen Index ebenso ein Anstieg der relativen luftführenden Fläche auf Höhe der Fissura palatina einhergeht.

Zu den übrigen Abschnitten des luftführenden Weges (Nares/Meatus nasopharyngeus, P2, P3, Apertura nasi ossea) konnten keine statistischen Zusammenhänge vom kranialen Index ausgehend ermittelt werden ($p>0,05$).

Abschließend stimmten die Ergebnisse des kranialen Index mit denen des fazialen Index weitgehend überein. So bedeutete ein steigender kranialer Index, also die Verkürzung des Hirnschädels bei gleichzeitig größerer Hirnschädelbreite, ansteigend extraorbitale Anteile der Bulbi oculi wie auch eine größere Anzahl fehlgestellter Denten im Oberkiefer. Ebenso korrelierte der verkürzte Hirnschädel mit tendenziell kleiner werdenden Winkeln der Canini zum harten Gaumen, allerdings auch mit dem häufigeren Auftreten des Palatum durum in gebogener Form. Der relative luftführende Weg wurde hingegen auf Höhe des Caninus und der Fissura palatina bei steigendem kranialen Index größer. Allerdings konnten keine statistischen Zusammenhänge des kranialen Index zu der Anzahl fehlgestellter Denten des Unterkiefers, der relativen Höhe der Apertura nasi ossea und dem luftführenden Weg an seinen übrigen Messlokalisationen (Nares/Meatus nasopharyngeus, P2, P3, Apertura nasi ossea) ermittelt werden.

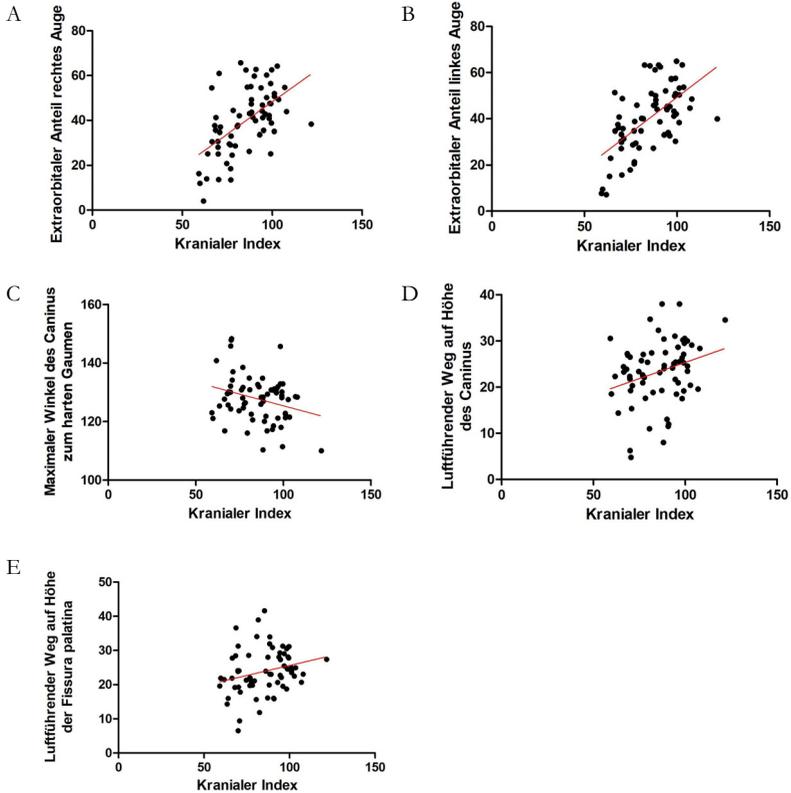


Abbildung 45: Graphische Darstellung der linearen Regressionsanalyse des kranialen Index und (A) dem extraorbitalen Anteil des rechten Auges (in %), (B) dem extraorbitalen Anteil des linken Auges (in %), (C) dem maximalen Caninuswinkel (in °), (D) dem relativen luftführenden Weg auf Höhe des Caninus (in %) und (E) dem relativen luftführenden Weg auf Höhe der Fissura palatina (in %) unter Einbeziehung der gesamten Perserkatzenpopulation ($n=69$). Die rote Linie stellt die Regressionsgerade dar.

4.1.1.3 Schädelindex

Ebenso wurde der Schädelindex auf statistische Zusammenhänge mit den Schädelparametern überprüft, um mögliche Einflüsse der Dimensionen des Gesamtschädels ermitteln zu können. Bei der Untersuchung der extraorbitalen Anteile der Bulbi oculi konnten ebenso wie beim fazialen und kranialen Index hoch signifikante Zusammenhänge zwischen dem Schädelindex und den extraorbital gelegenen Anteilen festgestellt werden. Beiderseits handelte es sich um stark positive Zusammenhänge, allerdings wies das linke Auge wie bereits bei den zuvor untersuchten Indizes einen geringgradig stärkeren Zusammenhang ($p<0,001$; $r=0,626$)

auf als das rechte Auge ($p < 0,001$; $r = 0,584$). Abbildung 46A und B stellt den statistisch positiven Zusammenhang dar. Ein Anstieg des Schädelindex, der mit einer Verkürzung des Schädels als Ganzes bei entweder gleichbleibender oder zunehmender Schädelbreite einherging, hatte zunehmende extraorbitale Bulbusanteile zur Folge.

Zudem konnte bei der Untersuchung der Dentis im Oberkiefer ein hoch signifikanter Zusammenhang von moderater Stärke vom Schädelindex zu der Anzahl unphysiologisch gelegener Zähne im Oberkiefer festgestellt werden ($p < 0,001$; $r = 0,495$). Aus einem steigenden Schädelindex resultierte somit eine steigende Anzahl von Zähnen mit abnormer Stellung. Im Unterkiefer waren dagegen keine statistischen Assoziationen innerhalb der Perserkatzenpopulation in Verbindung mit dem Schädelindex zu finden ($p > 0,05$).

Gegensätzlich zum fazialen und kranialen Index wies der Schädelindex keinen statistisch signifikanten Zusammenhang zum maximalen Winkel vom Caninus zum Palatum durum auf ($p > 0,05$).

Bei der Analyse der Form des Palatum durum wurde beim Schädelindex ein statistisch hoch signifikanter Zusammenhang zum Vorhandensein einer Biegung des harten Gaumens festgestellt ($p < 0,001$; $F = 13,81$). Bei einem Anstieg des Schädelindex um eine Einheit stieg die Chance auf die Biegung des Palatum durum um den Faktor 1,16 ($m = 0,146$; $OR = 1,16$) an.

Die Untersuchung der relativen Höhe der Apertura nasi ossea ergab keinen statistisch signifikanten Zusammenhang vom Schädelindex zur relativen Höhe des knöchernen Naseneingangs ($p > 0,05$).

Bei der Analyse des luftführenden Weges trat lediglich ein statistisch schwach signifikanter Zusammenhang zwischen dem Schädelindex und dem relativen luftführenden Weg auf Höhe der Fissura palatina auf ($p = 0,033$). Anhand der Abbildung 46C ist der schwach positive Zusammenhang ($r = 0,257$) zu erkennen. Folglich nahm bei steigendem Schädelindex die relative luftführende Fläche geringgradig zu. Je höher der Schädelindex war, desto größer war dementsprechend auch die relative luftführende Fläche. Die weiteren Lokalisationen (Nares/Meatus nasopharyngeus, P2, P3, Apertura nasi ossea) zeigten keine weiteren statistischen Zusammenhänge bezüglich des Schädelindex ($p > 0,05$).

Zusammenfassend ließ sich feststellen, dass eine Verkürzung des Gesamtschädels bei gleichbleibender oder vermehrter Schädelbreite, ausgedrückt durch einen steigenden Schädelindex, stärker exponierte Augäpfel beiderseits zur Folge hatte.

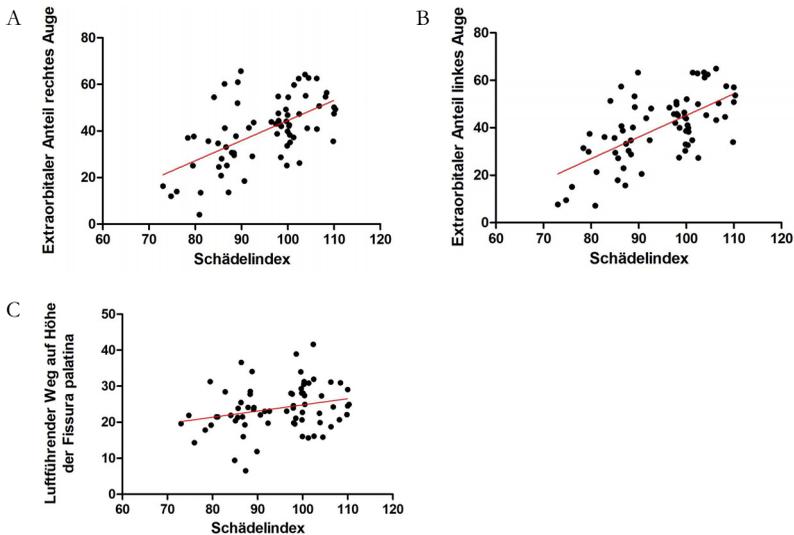


Abbildung 46: Graphische Darstellung der linearen Regressionsanalyse des Schädelindex und (A) dem extraorbitalen Anteil des rechten Auges (in %), (B) dem extraorbitalen Anteil des linken Auges (in %), (C) dem relativen luftführenden Weg auf Höhe der Fissura palatina (in %) unter Einbeziehung der gesamten Perserkatzenpopulation (n=69). Die rote Linie stellt die Regressionsgerade dar.

Ebenso führte diese zu einer wachsenden Anzahl fehlgestellter Denten im Oberkiefer wie auch zu einem verstärkten Vorkommen einer gebogenen Form des Palatum durum. Zudem resultierte aus dem steigenden Schädelindex eine größer werdende relative luftführende Fläche auf Höhe der Fissura palatina. Im Gegensatz zum fazialen und kranialen Index wurde beim Schädelindex kein Zusammenhang zum maximalen Caninuswinkel festgestellt. Bei der Analyse der Anzahl fehlgestellter Denten im Unterkiefer, der relativen Höhe der Apertura nasi ossea wie auch der übrigen Lokalisationen der luftführenden Wege (Nares/Meatus nasopharyngeus, P2, P3, Apertura nasi ossea) konnten keine weiteren Zusammenhänge ausgehend von den Dimensionen des Gesamtschädels gefunden werden.

4.11.4 Kraniofazialer Winkel

Die Veränderungen der Schädeldimensionen im Zuge der Brachyzephalie hatten tendenziell kleinere kraniofaziale Winkel zur Folge. Bei dieser Analyse konnten ähnliche Resultate wie beim fazialen Index, dem kranialen Index und dem Schädelindex im Zusammenhang mit den extraorbitalen Anteilen der Bulbi oculi ermittelt werden. So zeigten sich bei der Untersu-

chung der Augäpfel statistisch hoch signifikante Zusammenhänge zwischen dem kraniofazialen Winkel und den extraorbitalen Anteilen. Beim linken Auge konnte ein geringgradig stärkerer Zusammenhang ($p < 0,001$; $r = -0,602$) festgestellt werden als beim rechten Auge ($p < 0,001$;

$r = -0,532$). Im Gegensatz zu den bisher genannten kranio-metrischen Parametern (fazialer Index, kranialer Index, Schädelindex) handelte es sich in diesem Fall um einen negativ linearen Zusammenhang wie in Abbildung 47A und B zu sehen ist. Beim fazialen Index, dem kranialen Index und dem Schädelindex konnte ein Anstieg der Indizes aufgrund der zunehmenden Längenreduktion und gleichbleibenden oder größeren Schädelbreite im Zusammenhang mit ebenso steigenden extraorbitalen Anteilen der Bulbi oculi beobachtet werden. Beim kraniofazialen Winkel hingegen nahmen die Winkel bei diesen Schädeldimensionen zunehmend kleinere Werte an bis hin zu verschwindend geringen Winkeln, die letztlich nicht mehr messbar waren. Korrespondierend dazu ging ein kleinerer kraniofazialer Winkel mit größeren extraorbitalen Anteilen der Bulbi oculi einher (Abbildung 47A und B).

Gegensätzlich zu den vorherig analysierten kranio-metrischen Indizes konnten im Rahmen der Untersuchung des kraniofazialen Winkels schwach signifikante Zusammenhänge mit der Anzahl unphysiologisch gelagerter Dentis im Oberkiefer gefunden werden ($p = 0,029$). Aus dem schwach negativen Zusammenhang ($r = -0,321$) ließ sich schlussfolgern, dass aus einer Abnahme des KFW ein Anstieg der Anzahl abnorm stehender Zähne resultierte. In Übereinstimmung mit dem fazialen Index, dem kranialen Index und dem Schädelindex wurden ebenso beim kraniofazialen Winkel keine statistischen Zusammenhänge zu der Anzahl der Fehlstellungen der Dentis im Unterkiefer festgestellt ($p > 0,05$).

Die Untersuchung des maximalen Winkels vom Caninus zum Palatum durum zeigte keine statistischen Zusammenhänge zwischen dem kraniofazialen Winkel und dem maximalen Caninuswinkel ($p > 0,05$).

Wiederum konnte bei der Beurteilung der Form des Palatum durum ein schwach signifikanter Zusammenhang des kraniofazialen Winkels mit der Biegung des harten Gaumens herausgefunden werden ($p = 0,018$; $F = 6,01$). Somit resultierte aus einem Anstieg des kraniofazialen Winkels um 1° die Chancenabnahme auf Biegung des Palatum durum um den Faktor 0,89 ($m = -0,122$; $OR = 0,89$).

Die Analyse der relativen Höhe der Apertura nasi ossea zeigte innerhalb der Perserkatzenpopulation keinen statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen dem kraniofazialen Winkel und der relativen Höhe des knöchernen Naseneingangs ($p > 0,05$).

Bei der Untersuchung der luftführenden Flächen konnte ein statistisch schwach signifikanter Zusammenhang von schwacher Stärke ausgehend vom KFW zum relativen luftführenden Weg auf Höhe der Apertura nasi ossea ermittelt werden ($p=0,037$; $r = -0,293$). Anhand der Abbildung 47C ist der negative Zusammenhang zu erkennen. Eine Abnahme des kraniofazialen Winkels resultierte folglich in einer geringgradig größeren relativen luftführenden Fläche auf Höhe der Apertura nasi ossea.

Ein ähnliches Verhalten zeigte sich bei der Beurteilung der luftführenden Fläche auf Höhe der Fissura palatina. An dieser Lokalisation zeigte sich ebenso ein schwach signifikanter negativer Zusammenhang von schwacher Stärke zwischen dem KFW und dem relativen luftführenden Weg ($p=0,047$; $r = -0,279$). Abbildung 47D zeigt, dass eine Abnahme des kraniofazialen Winkels eine geringgradig größere relative luftführende Fläche auf Höhe der Fissura palatina zur Folge hatte.

An den übrigen Querschnitten (Nares/Meatus nasopharyngeus, Caninus, P2, P3) konnten keine statistisch signifikanten Zusammenhänge zwischen dem kraniofazialen Winkel und der luftführenden Fläche festgestellt werden ($p>0,05$).

Insgesamt wurden bei abnehmenden kraniofazialen Winkeln infolge zunehmend brachycephaler Schädelkonformation größere extraorbitale Anteile beider Bulbi oculi wie auch eine steigende Anzahl abnorm stehender Dentes im Oberkiefer ermittelt. Zudem trat das Palatum durum bei kleineren kraniofazialen Winkeln häufiger in gebogener Form auf. Weiterhin resultierte aus der Abnahme des kraniofazialen Winkels auf Höhe der Apertura nasi ossea und der Fissura palatina tendenziell mehr relative luftführende Fläche. Allerdings konnten keine Zusammenhänge zwischen der Größe des kraniofazialen Winkels und der Anzahl fehlgestellter Dentes im Unterkiefer, dem maximalen Caninuswinkel, der relativen Höhe der Apertura nasi ossea wie auch dem luftführenden Weg auf Höhe der übrigen Lokalisationen (Nares/Meatus nasopharyngeus, Caninus, P2, P3) erfasst werden.

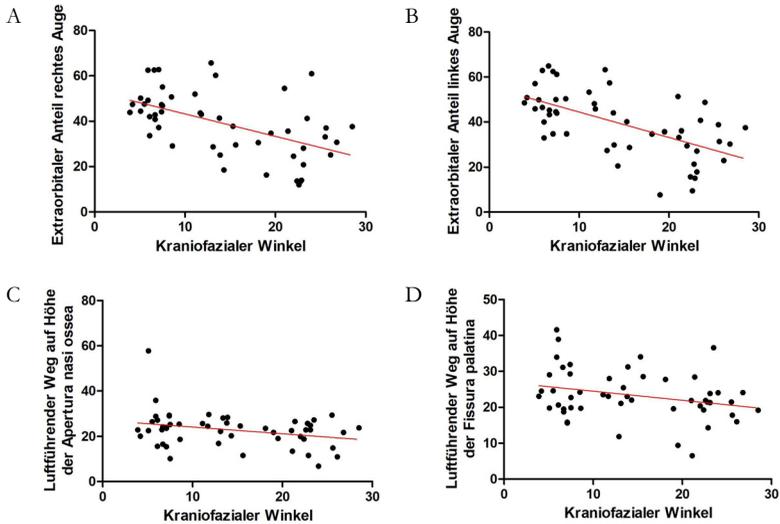


Abbildung 47: Graphische Darstellung der linearen Regressionsanalyse des kraniofazialen Winkels und (A) dem extraorbitalen Anteil des rechten Auges (in %), (B) dem extraorbitalen Anteil des linken Auges (in %), (C) dem relativen luftführenden Weg auf Höhe der Apertura nasi ossea (in %), (D) dem relativen luftführenden Weg auf Höhe der Fissura palatina (in %) unter Einbeziehung der gesamten Perserkatzenpopulation ($n=69$). Die rote Linie stellt die Regressionsgerade dar.

4.11.5 Zusammenhänge der kranio-metrischen Parameter untereinander

In einem weiteren Schritt wurden zusätzlich die Indizes und der kraniofaziale Winkel untereinander auf statistische Zusammenhänge untersucht, um festzustellen zu können, ob die Schäeldimensionen untereinander Abhängigkeiten aufwiesen.

Bei der Gegenüberstellung von fazialem Index und dem kranialen Index konnte ein statistisch hoch signifikanter Zusammenhang ermittelt werden ($p<0,001$). Dabei handelte es sich um einen stark positiven linearen Zusammenhang, der in Abbildung 48A dargestellt wurde ($r=0,675$). Es zeigte sich, dass ein ansteigender fazialer Index mit einem steigenden kranialen Index einherging. Daraus resultierte, dass die Dimensionen des Gesichtsschädels mit denen des Hirnschädels im Zusammenhang standen.

Bei der Analyse der Zusammenhänge zwischen dem fazialen Index und dem Schädelindex wurde ein hoch signifikanter und zudem stärkerer Zusammenhang als in Verbindung mit dem kranialen Index gefunden ($p<0,001$; $r=0,895$). In Abbildung 48B war der positiv lineare Zusammenhang zu sehen. So war bei steigendem fazialem Index ebenso ein ansteigender Schädelindex zu verzeichnen.

Folglich konnten statistische Zusammenhänge zwischen den Maßen des Gesichtsschädels und des Gesamtschädels festgestellt werden.

Darüber hinaus bestand ein statistisch hoch signifikanter starker Zusammenhang zwischen dem fazialen Index und dem kraniofazialen Winkel ($p < 0,001$; $r = -0,729$). Wie in Abbildung 48C zu sehen ist, handelte es sich in diesem Fall allerdings um einen stark negativen Zusammenhang zwischen dem fazialen Index und dem kraniofazialen Winkel. Eine Zunahme des fazialen Index ging gleichzeitig mit einem kleineren kraniofazialen Winkel einher.

Korrespondierend zu den vorherigen Untersuchungen konnte ebenso ein statistisch hoch signifikanter Zusammenhang vom kranialen Index zum Schädelindex nachgewiesen werden ($p < 0,001$). In der Abbildung 48D wurde der stark positive Zusammenhang ($r = 0,806$) zwischen beiden Parametern dargestellt. Je größer der kraniale Index war, desto größere Werte nahm auch der Schädelindex an. Folglich konnten auch Zusammenhänge der Dimensionen des Hirnschädels zum Gesamtschädel geschlussfolgert werden.

Des Weiteren wurde bei der Untersuchung des kranialen Index ein hoch signifikant starker Zusammenhang mit dem kraniofazialen Winkel erfasst ($p < 0,001$; $r = -0,805$). Es handelte sich um einen negativ linearen Zusammenhang (Abbildung 48E). Daraus resultierte bei Anstieg des kranialen Index eine Abnahme des kraniofazialen Winkels.

Auch der Schädelindex wies einen statistisch hoch signifikanten Zusammenhang zum kraniofazialen Winkel auf ($p < 0,001$). Darüber hinaus war ein starker negativ linearer Zusammenhang in Abbildung 48F erkennbar ($r = -0,831$). So ließ sich auch hier wie beim fazialen Index und beim kranialen Index feststellen, dass ein Anstieg des kranialen Index eine Abnahme des kraniofazialen Winkels zur Folge hatte.

Zusammenfassend konnte eine hochgradige Korrelation aller kranioметриschen Parameter (fazialer Index, kranialer Index, Schädelindex, kraniofazialer Winkel) untereinander nachgewiesen werden. Somit konnte eine starke gegenseitige Beeinflussung bei gleichzeitig potenzieller Abhängigkeit der kranioметриschen Parameter untereinander vorausgesetzt werden. Daher war eine Verkürzung des Gesamtschädels gleichzeitig mit einer Verkürzung des Gesichts- und Hirnschädels verbunden. Ebenso war proportional von einer Verbreiterung des Hirnschädels und schlussendlich auch des Gesamtschädels auszugehen.

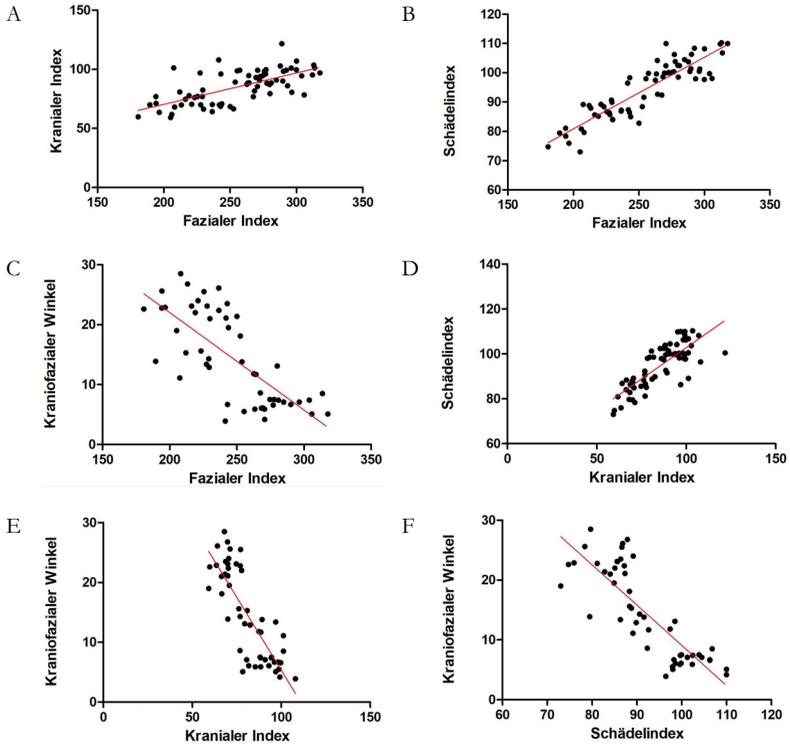


Abbildung 48: Graphische Darstellung der linearen Regressionsanalyse des fazialen Index, des kranialen Index, des Schädelindex und des kraniofazialen Winkels untereinander. Graphisch dargestellt ist die lineare Regressionsanalyse zwischen (A) dem fazialen Index und dem kranialen Index, (B) dem fazialen Index und dem Schädelindex, (C) dem fazialen Index und dem kraniofazialen Winkel, (D) dem kranialen Index und dem Schädelindex, (E) dem kranialen Index und dem kraniofazialen Winkel, (F) dem Schädelindex und dem kraniofazialen Winkel. Die gesamte Perserkatzenpopulation wurde einbezogen ($n=69$). Die rote Linie stellt die Regressionsgerade dar.

4.12 Einflüsse auf die gemessenen Parameter

Für die Auswertung des Einflusses der Schädelkonformation, des Geschlechts, des Alters und der Körpermasse auf die gemessenen Parameter am Perserkatzenkopf wurden multiple lineare Regressionsanalysen durchgeführt. Lediglich bei der Untersuchung der Form des Palatum durum wurde eine multiple logistische Regressionsanalyse vorgenommen, da es sich hier lediglich um zwei Ausprägungsformen des Merkmals handelte. Aufgrund starker Kollinearität zwischen den Indizes und dem kraniofazialen Winkel war von hochgradiger Abhängigkeit untereinander auszugehen.

Daher wurden diese nicht in ein gemeinsames Modell integriert, sondern in alternativen Modellen getrennt voneinander untersucht. Gleichzeitig wurden sie jeweils in Verbindung mit den Einflussvariablen Geschlecht, Alter und Körpermasse auf statistische Zusammenhänge untersucht, um weitere potenzielle Einflussfaktoren mit einbeziehen zu können. Zudem konnte über diese Analyse ermittelt werden, welche der unabhängigen Variablen den größten statistischen Zusammenhang mit den abhängigen Variablen aufwiesen.

4.12.1 Einflüsse auf den extraorbital liegenden Anteil des Bulbus oculi

Zu Beginn wurden die extraorbitalen Anteile des rechten Auges auf statistische Zusammenhänge zwischen den kraniometrischen Parametern und den Störgrößen analysiert. Dabei stellte sich heraus, dass aufgrund fehlender statistischer Zusammenhänge ($p > 0,05$) weder das Geschlecht noch das Alter oder die Körpermasse in einem der vier Modelle einen Einfluss auf die Position des Auges hatten. Allerdings wiesen die Indizes und der kraniofaziale Winkel statistische Zusammenhänge zu den extraorbital gelegenen Anteilen der Bulbi oculi auf. Der statistisch stärkste signifikante Zusammenhang wurde beim Schädelindex gefunden ($p < 0,001$; $F = 21,62$). Beim Anstieg des Schädelindex um eine Einheit konnte eine Zunahme des extraorbitalen Anteils des rechten Auges um 0,779 % beobachtet werden. Dicht gefolgt war der Schädelindex von dem kranialen Index, bei dem ebenfalls ein statistisch hoch signifikanter Zusammenhang zum extraorbitalen Anteil des Auges festzustellen war ($p < 0,001$; $F = 20,16$). Bei ansteigendem kranialen Index um eine Einheit war ein gleichzeitiger Anstieg des extraorbitalen Bulbusanteils um 0,593 % zu verzeichnen. Weiterhin wies der faziale Index ebenso einen statistisch hoch signifikanten, aber etwas geringeren Zusammenhang mit dem extraorbitalen Anteil des rechten Auges auf ($p < 0,001$; $F = 14,36$). Pro Einheit fazialen Index, stieg der extraorbitale Anteil des Auges um 0,177 %. Zudem war ebenso ein hoch signifikanter Zusammenhang vom kraniofazialen Winkel zum extraorbitalen Anteil des rechten Auges zu erkennen ($p < 0,001$; $F = 11,49$). In diesem Fall handelte es sich allerdings um einen negativen Zusammenhang, da der kraniofaziale Winkel bei zunehmender Brachycephalie kleinere Werte annahm. Bei einem Anstieg des kraniofazialen Winkels um ein Grad, verkleinerte sich dementsprechend der extraorbitale Anteil des rechten Auges um 0,903 %.

Beim linken Auge war ebenso der höchste signifikante Zusammenhang vom Schädelindex zum extraorbitalen Anteil des Auges festzustellen ($p < 0,001$; $F = 26,42$). Stieg der Schädelindex um eine Einheit, so war der extraorbitale Anteil des linken Auges um 0,804 % größer. Korrespondierend zum rechten Auge war beim linken Auge der statistische Zusammenhang

des Schädelindex dicht gefolgt von dem des kranialen Index. Es handelte sich um einen statistisch hoch signifikanten Zusammenhang ($p < 0,001$; $F = 24,8$). Bei Anstieg des kranialen Index um eine Einheit konnte eine Vergrößerung des extraorbitalen Anteils von 0,613% beobachtet werden. Zudem war ein hoch signifikanter Zusammenhang vom fazialen Index zum extraorbitalen Anteil des linken Auges zu sehen ($p < 0,001$; $F = 16,48$), bei dem pro Einheit fazialen Index das Auge um 0,18 % weiter extraorbital gelegen war. Der kraniofaziale Winkel zeigte eine ähnlich hoch signifikante Assoziation zum extraorbitalen Anteil des Auges auf ($p < 0,001$; $F = 16,08$). Ebenso wie beim rechten Auge war auch in diesem Fall ein negativer Zusammenhang erkennbar. Ein Anstieg des kraniofazialen Winkels um ein Grad hatte eine Abnahme des extraorbitalen Bulbusanteils um 0,993 % zur Folge. Korrespondierend zum rechten Auge konnten auch beim linken Auge keine statistischen Zusammenhänge ausgehend von dem Geschlecht, dem Alter und der Körpermasse festgestellt werden ($p > 0,05$).

Zusammenfassend konnte gezeigt werden, dass die Lage der Bulbi oculi am stärksten mit dem Schädelindex und dem kranialen Index zusammenhing. So spielte die Ausprägung des Gesamtschädels und die des Hirnschädels die größte Rolle. Der faziale Index und der kraniofaziale Winkel waren allerdings nicht weniger relevant. Daher war die Länge des Gesamtschädels, des Hirnschädels wie auch die Länge des Gesichtsschädels und proportional dazu die Breite des Gesamtschädels und Hirnschädels von entscheidender Bedeutung für die Lage der Bulbi oculi. Das Geschlecht, das Alter und die Körpermasse waren für die Lage des Augapfels irrelevant.

4.12.2 Einflüsse auf die Stellungsanomalien der Dentis

Bei der Untersuchung des maximalen zwischen Caninus und Palatum durum gemessenen Winkels stellte sich innerhalb der Perserkatzenpopulation heraus, dass kein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen den kranio-metrischen Indizes wie auch dem kraniofazialen Winkel in Verbindung mit den Einflussvariablen Geschlecht, Alter und Körpermasse zum Caninuswinkel bestand ($p > 0,05$).

Bei der Beurteilung der Zahnstellung im Oberkiefer war bei den Perserkatzen der statistisch am stärksten ins Gewicht fallende signifikante Zusammenhang zwischen dem kranialen Index und der Anzahl fehlgestellter Dentis zu erkennen ($p < 0,01$; $F = 14,90$). Somit ging die größte Beeinflussung von den Dimensionen des Hirnschädels aus. Stieg der kraniale Index um eine Einheit, wiesen zusätzlich 0,062 Zähne eine anomale Stellung auf. Gleichzeitig im

Modell mit dem kranialen Index konnte ein statistisch schwach signifikanter Zusammenhang zwischen dem Geschlecht und den fehlgestellten Zähnen ermittelt werden ($p=0,03$; $F=5,02$). Die weiblichen Tiere wiesen um 0,953 Zähne weniger abweichende Zahnstellungen auf. Der statistische Zusammenhang des kranialen Index war dicht gefolgt vom Schädelindex, der ebenso einen hoch signifikanten Zusammenhang mit den unphysiologisch gelegenen Zähnen des Oberkiefers zeigte und statistisch gesehen kaum einen Unterschied ausmachte ($p<0,01$; $F=13,62$). Bei steigendem Schädelindex um eine Einheit waren 0,078 Zähne zusätzlich inkorrekt gelegen. Währenddessen bestand gleichzeitig im Modell mit dem Schädelindex ein statistisch schwach signifikanter Zusammenhang von dem Geschlecht zu der Anzahl unphysiologisch gelegener Zähne ($p=0,05$; $F=4,04$). So wurde festgestellt, dass weibliche Tiere 0,865 weniger schiefstehende Zähne aufwiesen. Die Einflussvariablen Alter und Körpermasse übten keinen relevanten Einfluss aus ($p>0,05$). Einen etwas geringeren, aber immer noch hoch signifikanten Zusammenhang zeigte der faziale Index zur abweichenden Stellung der Zähne im Oberkiefer auf ($p<0,01$; $F=9,30$), wobei das Alter, das Geschlecht und die Körpermasse keinen Einfluss zeigten ($p>0,05$). Stieg der faziale Index um eine Einheit, so standen lediglich 0,018 Zähne zusätzlich in unphysiologischer Position. Bei der Untersuchung des kraniofazialen Winkels im Modell mit dem Geschlecht, dem Alter und der Körpermasse konnte kein statistischer Zusammenhang zu der Anzahl fehlgestellter Zähne nachgewiesen werden ($p>0,05$). Die Analyse der Dentes im Unterkiefer konnte keine statistischen Assoziationen zwischen dem fazialen Index, dem kranialen Index, dem Schädelindex wie auch dem kraniofazialen Winkel jeweils im Modell mit Geschlecht, Alter und Körpermasse erbringen ($p>0,05$).

Zusammenfassend bestand der stärkste Zusammenhang zwischen dem kranialen Index und der Anzahl abnorm stehender Dentes im Oberkiefer. Somit spielten die Dimensionen des Hirnschädels die größte Rolle bezüglich der Zahnstellung. Je größer der kraniale Index war, desto mehr Zähne wiesen eine unphysiologische Stellung auf. Die weiblichen Tiere waren in diesem Zusammenhang weniger von abnorm stehenden Zähne betroffen. Allerdings zeigte der Schädelindex nahezu denselben Zusammenhang auf. Auch in diesem Modell waren bei weiblichen Individuen weniger fehlgestellte Dentes anzutreffen. Weiterhin ergab sich ein etwas geringerer Zusammenhang ausgehend vom fazialen Index. Dadurch konnte geschlossen werden, dass die Verkürzung des gesamten Schädels, die des Hirnschädels allerdings am stärksten, bei gleichzeitiger Verbreiterung des Schädels mit der Stellung der Dentes im Zusammenhang stand. Dagegen konnten keine statistischen Assoziationen ausgehend vom

kraniofazialen Winkel im Zusammenhang mit dem Alter, dem Geschlecht und dem Gewicht festgestellt werden. Ebenso zeigte die Analyse der Fehlstellungen im Unterkiefer keine relevanten Zusammenhänge bezüglich der kranio-metrischen Indizes, des kraniofazialen Winkels, des Geschlechts, des Alters und des Gewichts.

4.12.3 Einflüsse auf die Biegung des Palatum durum

Mithilfe der multiplen logistischen Regression wurde untersucht, ob innerhalb der Populationen die Einflussgrößen im Zusammenhang mit der Form des Palatum durum standen. So stellte sich heraus, dass der Schädelindex in der Perserkatzenpopulation eine statistisch hoch signifikante Assoziation zu der Form des harten Gaumens aufwies ($p < 0,001$; $F = 13,02$). Bei Anstieg des Schädelindex um eine Einheit stieg die Chance auf eine gebogene Form des Palatum durum um den Faktor 1,18 ($m = 0,164$; Odds-Ratio = 1,18). Das Geschlecht, das Alter und die Körpermasse zeigten in diesem Modell keinen statistisch signifikanten Zusammenhang zu der gebogenen Form ($p > 0,05$). Ebenso konnte ein hoch signifikanter Zusammenhang zwischen dem fazialen Index und der Biegung des harten Gaumens nachgewiesen werden ($p < 0,001$; $F = 12,42$), der sich unwesentlich von dem des Schädelindex unterschied. Ein Anstieg des fazialen Index um eine Einheit bedeutete einen Chancenanstieg auf die Biegung des Palatum durum um den Faktor 1,04 ($m = 0,041$; OR = 1,04). Auch in diesem Modell waren keine statistischen Zusammenhänge zwischen dem Geschlecht, dem Alter und der Körpermasse zu der abweichenden Form des Palatum durum zu sehen ($p > 0,05$). Darüber hinaus war ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem kranialen Index und der Biegung des harten Gaumens zu beobachten ($p = 0,008$; $F = 7,44$), während das Geschlecht, das Alter und die Körpermasse keinen relevanten Einfluss ausübten ($p > 0,05$). Daraus resultierte bei Anstieg des kranialen Index um eine Einheit ein Chancenanstieg auf das Vorliegen in gebogener Form des Palatum durum um den Faktor 1,10 ($m = 0,099$; OR = 1,10). Des Weiteren war ein statistisch schwach signifikanter Zusammenhang vom kraniofazialen Winkel zu der Biegung des Palatum durum erkennbar ($p = 0,041$; $F = 4,44$). In diesem Fall handelte es sich allerdings um einen negativen Zusammenhang, bedingt durch die Abnahme des kraniofazialen Winkels bei zunehmender Brachycephalie. Stieg der kraniofaziale Winkel somit um 1° an, sank die Chance auf die gebogene Form des Palatum durum um den Faktor 0,894 ($m = -0,112$; OR = 0,894).

Zusammenfassend war der größte Einfluss auf die Form des Palatum durum den Dimensionen des Gesamtschädels bzw. dem Gesichtsschädel beizumessen. Je kürzer also der Gesamtschädel oder auch der Gesichtsschädel bei gleichbleibender oder vermehrter Schädelbreite war, desto höher war die Chance auf das Vorliegen des Palatum durum in gebogener Form. Allerdings konnte ebenso bei Verkürzung und Verbreiterung des Hirnschädels wie auch bei kleineren kraniofazialen Winkeln häufiger eine Biegung des Palatum durum festgestellt werden. Weder das Alter noch das Geschlecht oder die Körpermasse übten in diesem Fall einen Einfluss aus.

4.12.4 Einflüsse auf die relativen luftführenden Wege

Bei der Untersuchung der relativen Höhe der Apertura nasi ossea war innerhalb der Perserkatzenpopulation im Modell mit dem fazialen Index kein statistischer Zusammenhang zwischen diesem und der relativen Höhe der Apertura nasi ossea zu erkennen ($p > 0,05$). Allerdings existierte stattdessen ein statistisch schwach signifikanter Zusammenhang zwischen der Körpermasse und der relativen Höhe der Apertura nasi ossea ($p = 0,03$; $F = 5,06$). Mit jedem Kilogramm zusätzlicher Körpermasse gewann diese um 1,688 % relativ an Höhe. Im Modell mit dem kraniofazialen Winkel war ebenso lediglich ein statistisch schwach signifikanter Zusammenhang mit der Körpermasse zu erkennen ($p = 0,03$; $F = 4,8$). So nahm die relative Höhe der Apertura nasi ossea je Kilogramm ansteigenden Körpergewichts um 1,974 % zu. Wurde der Schädelindex auf statistische Zusammenhänge mit der relativen Höhe der Apertura nasi ossea untersucht, zeigte sich auch in diesem Fall einzig ein statistisch schwach signifikanter Zusammenhang mit der Körpermasse ($p = 0,03$; $F = 4,75$). Je Kilogramm zusätzlichen Körpergewichts stieg die relative Höhe der Apertura nasi ossea um 1,646 % an. Bei der Untersuchung des statistischen Zusammenhangs zwischen dem kranialen Index und der relativen Höhe der Apertura nasi ossea, stellte sich auch in diesem Modell heraus, dass kein Zusammenhang zwischen dem Index und der relativen Höhe bestand. Allerdings war auch hier ein schwach signifikanter Zusammenhang der Körpermasse zu beobachten ($p = 0,04$; $F = 4,58$). Stieg die Körpermasse der Katzen um ein Kilogramm, so nahm die relative Höhe der Apertura nasi ossea um 1,591 % zu.

Bei der Beurteilung des Verhältnisses der Nares zum Meatus nasopharyngeus konnte beobachtet werden, dass lediglich der faziale Index einen statistisch schwach signifikanten Zusammenhang zu dem relativen luftführenden Weg aufwies ($p = 0,03$; $F = 4,71$). Stieg der faziale Index um eine Einheit an, nahm das Verhältnis Nares/Meatus nasopharyngeus um 0,129 % ab. Die Einflussgrößen Geschlecht, Alter und Körpermasse wiesen in diesem Fall keinen

statistischen Zusammenhang auf ($p > 0,05$). Zudem wurden keine statistischen Zusammenhänge ausgehend vom kranialen Index, dem Schädelindex und dem kraniofazialen Winkel gefunden. Aufgrund der fehlenden statistischen Zusammenhänge wurde auch in diesen Modellen kein Einfluss von Geschlecht, Alter und Körpermasse vermutet ($p > 0,05$).

Bei der Betrachtung der relativen luftführenden Fläche auf Höhe des Caninus bestanden ebenso keine statistischen Zusammenhänge zwischen den potenziellen Einflussgrößen und dem luftführenden Weg ($p > 0,05$).

Darüber hinaus ergab die Untersuchung der relativen luftführenden Fläche auf Höhe des P2 und P3 keine statistisch signifikanten Zusammenhänge zwischen den kraniometrischen Parametern, den Einflussvariablen und der relativen luftführenden Fläche ($p > 0,05$). Daher ist davon auszugehen, dass weder die kraniometrischen Parameter noch die Körpergröße, das Alter oder das Geschlecht einen Einfluss auf die luftführenden Wege ausübten.

Bei der Untersuchung der relativen luftführenden Fläche waren auf Höhe der Apertura nasi ossea keine statistisch signifikanten Assoziationen vom fazialen Index, dem kranialen Index, dem Schädelindex und dem kraniofazialen Winkel zur relativen luftführenden Fläche zu erkennen ($p > 0,05$). Ebenso waren in den Modellen keine statistischen Zusammenhänge ausgehend vom Geschlecht, dem Alter und der Körpermasse festzustellen ($p > 0,05$).

Hingegen waren auf Höhe der Fissura palatina einzig im Modell mit dem fazialen Index statistisch schwach signifikante Zusammenhänge zwischen dem Alter und der relativen luftführenden Fläche im Verhältnis zum Weichteilgewebe zu finden ($p = 0,04$; $F = 4,37$). Stieg das Alter der Katzen um ein Jahr, so war die relative luftführende Fläche um 0,395 % geringer bemessen. Ansonsten waren keine statistischen Assoziationen zwischen dem kranialen Index, dem Schädelindex und dem kraniofazialen Winkel wie auch dem Geschlecht, dem Alter und der Körpermasse zur relativen luftführenden Fläche zu erschließen ($p > 0,05$).

Zusammenfassend konnten bei der Untersuchung der relativen Höhe der Apertura nasi ossea keine Zusammenhänge ausgehend vom fazialen Index, kranialen Index, Schädelindex und kraniofazialen Winkel im Modell mit den Einflussvariablen Geschlecht, Alter und Körpermasse ermittelt werden. Somit wiesen die Schädeldimensionen keinen Einfluss auf die Höhe der relativen Apertura nasi ossea auf. Stattdessen wurde lediglich bei zunehmender Körpermasse ein Anstieg der relativen Höhe der Apertura nasi ossea festgestellt. Bei der Beurteilung des Verhältnisses der luftführenden Fläche von Nares zum Meatus nasopha-

ryngeus zeigte lediglich der Gesichtsschädel statistische Zusammenhänge auf. Die Verkürzung des Gesichtsschädels bei gleicher oder zunehmender Schädelbreite, wodurch die Erhöhung des fazialen Index impliziert wurde, resultierte in einer Verkleinerung der Nares im Verhältnis zum Meatus nasopharyngeus. Das Alter, das Geschlecht und die Körpermasse zeigten keine Relevanz. Zudem war eine Reduktion der relativen luftführenden Fläche lediglich auf Höhe der Fissura palatina im Modell mit dem fazialen Index bei zunehmendem Alter festzustellen. Auf Höhe des Caninus, des P2, des P3 und der Apertura nasi ossea konnten keine statistischen Zusammenhänge bezüglich der relativen luftführenden Fläche ermittelt werden.

5 Diskussion

In der modernen Perserkatzenzucht ist eine extreme Tendenz im Hinblick auf die Verkürzung des Gesichtsschädels erkennbar (Morris 1999), die sich zum wichtigsten Rassemerkmal der Perserkatze entwickelt hat (Wastlhuber 1991). Die enorme Reduktion des Gesichtsprofils führte zu einer Aufspaltung der Rasse entsprechend der Phänotypen. Der traditionelle Typ mit noch vorhandener Fazialregion wird als „Doll-Face“ Perserkatze und der extrem kurzgesichtige Typ als „Peke-Face“ Perserkatze bezeichnet (Case 2003). Insbesondere die „Peke-Face“ Perserkatze erfreut sich einer großen Beliebtheit, obwohl es sich bei den Folgen der Brachycephalie nicht nur um ein kosmetisches Problem handelt, sondern eine Vielzahl an schweren gesundheitlichen Auswirkungen im Zusammenhang mit der veränderten Schädelkonformation zu finden sind (Case 2003; Farnworth et al. 2016; Schlueter et al. 2009; Schmidt et al. 2017). Diese werden weitgehend unterschätzt und verharmlost, was im Sinne des Tierschutzes nicht zu vertreten ist.

Ziel dieser Studie war es, den Zusammenhang des Brachycephaliegrades, ausgedrückt durch kranio-metrische Schädelindizes mit dem extraorbitalen Anteil der Bulbi oculi, der Anzahl fehlgestellter Zähne, dem Winkel der Canini zum harten Gaumen und dem relativen luftführenden Weg feststellen zu können. Ebenfalls wurde auf mögliche Einflüsse durch Geschlecht, Alter und Körpermasse untersucht, da keine Selektion der Studienteilnehmer anhand dieser Größen vorgenommen wurde. Die Messungen wurden bei brachycephalen Perserkatzen mit verschieden starker Ausprägung der Brachycephalie vorgenommen. Als Referenzpopulation wurden Europäisch Kurzhaarkatzen gewählt, die als Vertreter der mesocephalen Schädelkonformation gesehen werden konnten. Dazu wurden computertomographische Aufnahmen verwendet, die als Grundlage für dreidimensionale Rekonstruktionen dienen.

Mithilfe der CT-Aufnahmen und der 3D-Rekonstruktionen wurden die verschiedenen Messungen am Schädel der Katzen durchgeführt. Anschließend konnte statistisch ermittelt werden, ob die Ausprägung der brachycephalen Merkmale der unterschiedlichen Stärke der Brachycephalie geschuldet waren oder lediglich eine Rasseprädisposition vorlag. Von den Messergebnissen können Rückschlüsse auf die klinische Symptomatik brachycephaler Tiere gezogen werden. Wird die Zucht in diesem Maße weitergehend fortgeführt und sogar noch forciert, muss überprüft werden, ob dem § 11b des Tierschutzgesetzes bezüglich der Brachycephalie geschuldeten gesundheitlichen Problematik hier noch Folge geleistet werden kann. Das Tierschutzgesetz besagt, dass die Folgen einer Zucht den Tieren keine Schmerzen, Leiden oder Schäden zufügen darf (BMJV 2017). Eine Missachtung dieser Grundsätze gilt es zu

verhindern. Die hier durchgeführten Messungen sollen in Zukunft als Entscheidungshilfe bezüglich der Einschätzung des Brachycephaliegrades der Katzen zu Rate gezogen werden können.

5.1 Schädelmorphologie

Erwartungsgemäß ließen sich bei den Perserkatzen im Vergleich zu den EKH höhere kraniometrische Indizes wie auch ein geringerer kraniofazialer Winkel feststellen. Diese Ergebnisse stimmten mit den Erkenntnissen aus vorangegangenen kraniometrischen Studien bei Hunden (Evans und De Lahunta 2013) überein.

Der faziale Index gilt als Maß für den Gesichtsschädel und gibt Auskunft über die Ausprägung der Fazialregion. Dieser berechnet sich als Quotient aus der fazialen Breite und der fazialen Länge, der mit 100 multipliziert wird (Evans und De Lahunta 2013). Bei einem niedrigen fazialen Index ist mathematisch gesehen mit einem im Verhältnis zur Breite des Schädels relativ längeren Gesichtsschädel zu rechnen. Evans und De Lahunta (2013) konnten feststellen, dass die faziale Länge bei brachycephalen Hunden deutlich geringer war bei gleichzeitig größerer fazialer Breite, woraus ein hoher fazialer Index resultierte. Während die faziale Länge bei der hier durchgeführten Studie an Perserkatzen stark variierte, konnte festgestellt werden, dass die faziale Breite sich nicht zwangsläufig proportional dazu veränderte. Dies stand im Gegensatz zu den Beobachtungen von Künzel et al. (2003), bei deren Untersuchungen eine Längenreduktion des Gesichtsschädels eine gleichzeitige Breitenzunahme bedingte. Die EKH wiesen kleine faziale Indizes in einem engen Wertebereich auf. Allerdings waren in diesem Wertebereich nicht nur die fazialen Indizes der Schädel von EKH angesiedelt, sondern ebenso der faziale Index vereinzelter Perserkatzenschädel. So ist davon auszugehen, dass es Übergangsformen bezüglich des fazialen Index innerhalb der Perserkatzenpopulation gibt. Eine sehr große Spannweite der fazialen Indizes innerhalb der Perserkatzenpopulation ließ sich anhand der großen Variationen der Gesichtsschädellänge erklären. Im extrem hohen Wertebereich waren ausschließlich Perserkatzenschädel mit einer überaus stark reduzierten Fazialregion zu finden.

Ein ähnliches Verhalten zeigte der kraniale Index, der als Maß für den Hirnschädel diente. Berechnet wird er aus dem Quotienten, der sich aus der kranialen Breite und der kranialen Länge multipliziert mit 100 ergibt (Evans und De Lahunta 2013). Beim brachycephalen Hund ging die verringerte kraniale Länge nicht proportional mit einer größeren kranialen Breite einher. Allerdings wurde ein größerer kranialer Index ermittelt (Evans und De Lahunta

2013). Ebenso wie der faziale Index war der kraniale Index bei der Perserkatzenpopulation statistisch signifikant größer als bei den EKH. Bei verminderter kranialer Länge war proportional dazu eine Erhöhung der kranialen Breite festgestellt worden. Die vorangegangene Studie von Schmidt et al. (2017) beschrieb bereits, dass der kraniale Index der von extremer Brachycephalie betroffenen „Peke-Face“ Perserkatzen signifikant höher war als der Index der „Doll-Face“ Perserkatzen und der EKH. Anhand der eigens vorgenommenen Messungen konnte ebenso ein geringer kranialer Index bei den EKH und vereinzelt Perserkatzen mit einem relativ langen Hirnschädel bei geringer kranialer Breite festgestellt werden. In dem engen Wertebereich der EKH konnte also von einem nahezu physiologischen Maß des Neurokraniums ausgegangen werden. Folglich konnten auch beim kranialen Index Übergangsformen innerhalb der Perserkatzenpopulation erwartet werden. Bis hin zu extrem hohen Werten ergab sich eine relativ fließende Verteilung des kranialen Index. Daher ist eine Einteilung in Gruppen anhand des kranialen Index nicht möglich. Sehr hohe kraniale Indizes sind auf extrem verkürzte Hirnschädel bei ausgeprägter Breite zurückzuführen.

Korrespondierend zu den Beobachtungen beim fazialen und kranialen Index war auch beim Schädelindex in der hier durchgeführten Studie eine ähnliche Verteilung zu beobachten. Der Schädelindex wird laut Evans und De Lahunta (2013) durch den Quotienten aus der Schädelbreite und der Gesamtschädellänge multipliziert mit 100 ermittelt. Bei brachycephalen Hunden war korrespondierend zum fazialen Index die Gesamtschädellänge bei gleichzeitig erhöhter Gesamtschädelbreite kleiner, woraus sich ein erhöhter Schädelindex ergab (Evans und De Lahunta 2013). Der Schädelindex der Perserkatzen war im Mittel signifikant größer als der Index der EKH. Allerdings wurden auch hier in dem unteren eng begrenzten Wertebereich nicht nur die EKH mit ihrem langen und schmalen Gesamtschädel gefunden, sondern auch einzelne Perserkatzen mit einer den Schädelindex betreffenden nahezu identischen Schädelmorphologie. Somit waren auch in diesem Fall Übergangsformen der Perserkatzen-schädel zu beobachten. Bei der Überschneidung der Schädelindizes der Perserkatzen und EKH handelte es sich lediglich um 1,75 Einheiten, wodurch geschlussfolgert werden kann, dass der Gesamtschädel in seiner Morphologie wiederum mehr Differenzen zwischen den Populationen aufwies, als dies bei der getrennten Bewertung von Gesichts- und Gehirnschädel der Fall ist. Die Werte der Perserkatzen variierten auch in diesem Fall bis hin zu extrem hohen Schädelindizes, die einen sehr kurzen Schädel im Verhältnis zur Schädelbreite beschrieben. Im Gegensatz zu dem fazialen Index und dem kranialen Index war beim Schädelindex ein nicht vollständig fließender Übergang von sehr niedrigen bis hin zu extrem hohen Werten festzustellen. Stattdessen gab es Ballungsräume in zwei Bereichen; allerdings waren

beide höher angesiedelt als der Wertebereich der EKH. In dem mittleren Bereich kamen nur vereinzelt Tiere vor.

Zudem wurde der kraniofaziale Winkel im Rahmen dieser Studie untersucht, um das Ausmaß der Brachycephalie feststellen zu können. Der kraniofaziale Winkel ergab bei vorhergehenden Studien an Hunden ein klares Ergebnis, bei dem brachyzephale Rassen wesentlich kleinere Winkel aufwiesen als mesozephale beziehungsweise dolichozephale Rassen (Montavon 2000; Regodon et al. 1993). In der hier durchgeführten Studie war der kraniofaziale Winkel bei der Europäisch Kurzhaarpopulation zwar in den höheren Bereichen angesiedelt, allerdings konnte aufgrund der sehr starken Streuung der kraniofazialen Winkel der Perserkatzen knapp kein statistischer Zusammenhang nachgewiesen werden. Die kraniofazialen Winkel der Perserkatzen häuften sich bevorzugt in drei Bereichen, wodurch eine Gradenteilung der Brachycephalie anhand des KFW bei den Perserkatzen grundsätzlich möglich wäre.

Die hohen fazialen Indizes, kranialen Indizes wie auch die hohen Schädelindizes und der geringe kraniofaziale Winkel resultierten aus der kurzen runden Schädelform hochgradig brachyzephaler Katzen, wie sie Schmidt et al. (2017) bereits beschrieben. Erwartungsgemäß bestand zwischen dem fazialen Index, dem kranialen Index, dem Schädelindex und dem kraniofazialen Winkel eine statistische Abhängigkeit, da sich der Schädel in seiner Gesamtheit bei zunehmender Brachycephalie verkürzte und abrundete. Aufgrund der gegenseitigen Einwirkung der kranioметриschen Parameter waren die Indizes wie auch der kraniofaziale Winkel statistisch nicht als unabhängige Parameter zu betrachten.

5.2 Extraorbitaler Anteil der Augen

Aufgrund der Kopfform sind brachyzephale Katzen prädisponiert für zahlreiche Augenerkrankungen (Maggs 2008a, 2008b). Charakteristisch für die brachyzephale Schädelkonformation sind die wenig ausgeprägten, flachen Orbitae (Featherstone und Sansom 2004; Künzel et al. 2003) und die prominenten Bulbi oculi mit ihren eng anliegenden Augenlidern (Barnett und Crispin 1998). Allerdings fand Falk (2015) heraus, dass brachyzephale Tiere sogar eine größere Gesamttiefe der Orbita ausweisen als dolichozephale Tiere. So sei nicht die Tiefe der Orbita für den exponiert gelegenen Bulbus oculi maßgebend, sondern vielmehr wird der Anschein einer flachen Orbita durch die reduzierten nasalen Knochenstrukturen erweckt (Falk 2015). In der eigens durchgeführten Studie wurde anhand genauer Volumeberechnung der extraorbitale Anteil der Augen bei den Perserkatzen im Vergleich mit den EKH als Referenzpopulation bestimmt.

Im Allgemeinen zeigten die Perserkatzen im Vergleich mit den EKH größere extraorbitale Anteile beider Augen. So stand der extraorbitale Anteil der Bulbi oculi brachyzephaler Perserkatzen durchschnittlich um das bis zu 4,5-fache weiter aus der Orbita heraus als bei den EKH. Ebenso lag auch hier wie bei den vorher genannten Parametern eine partielle Überschneidung der Werte einzelner Perserkatzen im Wertebereich der EKH vor. Daher lässt sich rückschließen, dass es auch in Bezug auf den extraorbitalen Anteil der Augäpfel Perserkatzen mit den Dimensionen einer EKH gibt. Diese Perserkatzen wären wiederum aufgrund ihrer nicht bis geringgradig exponierten Bulbi oculi als unproblematisch einzustufen und wären laut Maggs (2008a, 2008b) nicht prädisponiert für Augenerkrankungen, die bei brachyzephaler Schädelkonformation häufiger zu finden sind. Im Vergleich konnte in dieser Untersuchung gezeigt werden, dass das Auge der Perserkatze mit der maximalsten Ausprägung des extraorbitalen Anteils des Bulbus oculi sogar um das 120-fache weiter aus der Orbita herausstand als bei der EKH.

Korrespondierend dazu konnten anhand der Korrelationsanalyse enge statistische Zusammenhänge zwischen dem fazialen Index, dem kranialen Index, dem Schädelindex wie auch dem kraniofazialen Winkel zu dem extraorbitalen Anteil beider Augen nachgewiesen werden. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass die Verkürzung des Gesichtsschädels, des Hirnschädels und letztlich auch des Gesamtschädels zu größeren extraorbitalen Bulbusanteilen führt. Daher sollte innerhalb der Perserkatzenpopulation anhand der brachyzephalen Schädelkonformation differenziert werden und keine verallgemeinernde Aussage über die Rasse an sich getroffen werden, da durchaus Perserkatzen mit nahezu physiologischen Schädeldimensionen vorkommen. Der Schädelindex wies den stärksten Zusammenhang und damit auch den größtmöglichen Einfluss zu dem extraorbitalen Anteil der Bulbi oculi auf. Dieser wurde allerdings dicht gefolgt von dem kranialen Index, wobei ebenfalls der faziale Index einen starken Zusammenhang zeigte. So hatten die Ausmaße des Gesamtschädels und des Hirnschädels einen geringgradig größeren Einfluss auf die Lage des Auges als der Gesichtsschädel. Zudem wurden bei kleineren kraniofazialen Winkel ebenso stärker exponierte Bulbi oculi festgestellt.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass aus einer Längenreduktion des Schädels und der damit verbundenen Zunahme der Indizes wie auch einem kleineren kraniofazialen Winkel ein größerer extraorbitaler Anteil des Bulbus resultiert. Zwischen dem rechten und linken Augapfel bestanden keine nennenswerten Unterschiede. Das Geschlecht, das Alter wie auch die Körpermasse übten keinen Einfluss aus.

Perserkatzen weisen im Vergleich zu EKH eine verminderte Hornhautsensibilität auf (Blocker und Van Der Woerd 2001; Gralla 2014). Zudem übt der Ausprägungsgrad der Brachycephalie einen Einfluss auf die korneale Sensibilität aus. So sind hochgradig brachycephale Katzen deutlich weniger sensibel als geringgradig Brachycephale. Die verminderte korneale Sensibilität ist vermutlich auf die Exponierung der Hornhaut infolge der brachycephalen Schädelkonformation zurückzuführen (Gralla 2014). Durch die verminderte Sensitivität in Verbindung mit den prominenten Bulbi oculi der brachycephalen Katzen entsteht eine erhöhte Anfälligkeit für Korneaulzerationen und Sequesterbildung (Blocker und Van Der Woerd 2001). Ebenso stellten Packer et al. (2015a) im Rahmen ihrer Studie eine Prädisposition brachycephaler Schädelformen bei Hunden für korneale Ulzerationen fest. Aufgrund dessen ist der hier nachgewiesene Einfluss der Schädelkonformation auf die Lage der Augäpfel entscheidend für die Unversehrtheit der Augen brachycephaler Katzen. Aufgrund der reduzierten Fazialregion und der folglich stark exponierten Bulbi oculi ist davon auszugehen, dass die Perserkatzen enger anliegende Augenlider aufweisen als mesozepale Katzen. Diese eng anliegenden Augenlider der Perserkatzen begünstigen laut Barnett und Crispin (1998) die Entstehung des anatomischen Entropiums infolge der Einrollung des Lids und des Dochteffekts der Haare, woraus eine verminderte Verteilung und Drainage des Tränenfilms resultiert.

Laut Nöller (2007) führt die Schädelkonformation zu einer Veränderung der Lage des Ductus nasolacimalis. Aus dieser Lageveränderung resultiert eine vermehrte Epiphora. Der große extraorbitale Anteil der Bulbi oculi in Verbindung mit der reduzierten Fazialregion führt in der hier vorgenommenen Studie bei extremer Brachycephalie der Perserkatze dazu, dass der distalste Pol des Bulbus oculi die Nasenspitze in lateraler Ansicht überragt, beziehungsweise auf einem Niveau mit dieser zu sehen ist. Folglich muss innerhalb der Perserkatzenpopulation differenziert werden. Perserkatzen, die extraorbitale Anteile ähnlich oder nahe der EKH aufweisen sind nicht als bedenklich einzustufen, da von ausreichendem Schutz des Augapfels durch die größeren umgebenden Anteile der Orbita auszugehen ist. Die Perserkatzen mit einem hohen fazialen Index, kranialen Index wie auch einem hohen Schädelindex und einem niedrigen kraniofazialen Winkel, die große extraorbitale Anteile der Bulbi oculi zur Folge haben, sind allerdings potenziell gefährdet an den bereits erwähnten Erkrankungen zu leiden.

5.3 Zahnfehlstellungen

In der Literatur wurde bereits beschrieben, dass die Verkürzung der Kiefer bei den brachycephalen Katzen, insbesondere der hochgradig brachycephalen „Peke-Face“ Perserkatze zu einer Verdichtung der Zähne führt (Case 2003). Bei brachycephalen Hunden wird dieser Platzmangel durch Querstellung der P3 und P4 ausgeglichen (Habermehl 1994). Um die Auswirkungen der Brachycephalie auf die Zahnstellung der einzelnen Zähne bei der Perserkatze zu ermitteln, wurde der Ober- und Unterkiefer der Katzen mithilfe der 3D-Modelle untersucht. Im Gegensatz zu vorhergehenden Studien, die eine Einteilung der Perserkatzen anhand von eigens gewählten Kriterien wie der Zahnstellung vornahm (Schlueter et al. 2009; Schmidt et al. 2017), wurde in diesem Fall auf Abhängigkeiten zwischen den kranio-metrischen Größen und der Anzahl fehlgestellter Zähne untersucht. So konnte bei der Untersuchung der Zahnfehlstellungen im Ober- und Unterkiefer festgestellt werden, dass die Perserkatzen eine größere Anzahl fehlgestellter Zähne aufwiesen als die EKH. Aus der Korrelationsanalyse ging hervor, dass innerhalb der Perserkatzenpopulation statistische Zusammenhänge zwischen dem fazialen Index, dem kranialen Index, dem Schädelindex und dem kraniofazialen Winkel zu der Anzahl fehlgestellter Denten im Oberkiefer bestand. Daher ist von einer Abhängigkeit der Schädelmorphologie zu den Fehlstellungen der Zähne auszugehen. Bei einer durch die Brachycephalie bedingten Verkürzung des Schädels, der hohe kranio-metrische Indizes und einen kleinen kraniofazialen Winkel mit sich bringt, ist daher mit einer größeren Anzahl an unphysiologisch gestellten Zähnen zu rechnen. Im Unterkiefer dagegen konnten keine Zusammenhänge bezüglich der Schädeldimension innerhalb der Perserkatzenpopulation nachgewiesen werden. Daher ist davon auszugehen, dass der Oberkiefer stärker von der Längenreduktion betroffen ist als der Unterkiefer. Der daraus resultierende Platzmangel zwingt einzelne Zähne mit großer Verankerungsfläche zum Ausweichen. Der größte Zusammenhang bestand zwischen dem kranialen Index und den fehlgestellten Zähnen. Einen beinahe genauso starken Zusammenhang zeigte der Schädelindex. Gleichzeitig war ein geringer Einfluss des Geschlechts zu den Denten des Oberkiefers zu erkennen. Bei weiblichen Perserkatzen traten somit geringgradig weniger Fehlstellungen auf. Zudem wies der faziale Index wie auch der kraniofaziale Winkel einen Zusammenhang zu der Stellung der Denten auf. Zusammenfassend ließ sich also ein Einfluss der gesamten Schädelkonformation auf die Stellung der Zähne im Oberkiefer feststellen. Dies war aufgrund der gegenseitigen Beeinflussung der Indizes und des kraniofazialen Winkels zu erwarten. Allerdings geht entgegen der Hypothese, dass der engste Zusammenhang zum Gesichtsschädel besteht, wider Erwarten der bedeutendste Einfluss von den Dimensionen des Hirnschädels aus. Am

häufigsten ist der P4 des Oberkiefers von der Fehlstellung betroffen. Dies könnte möglicherweise mit der Längenreduktion des Kiefers in einem Zusammenhang stehen, bei der die größeren Zähne mit großer Verankerungsfläche von der Stellung in Längsrichtung bis hin zur Querstellung ausweichen müssen. Der M1 liegt direkt angrenzend am P4, wodurch sich der Positionsverlust des M1 bei abweichender Lage des P4 erklären lässt. So konnten die Beobachtungen von Habermehl (1994) bei kurzköpfigen Hunderassen bezüglich der quergestellten Prämolaren in unserer Studie bei der Perserkatze ebenso bestätigt werden. Der P4 hat laut Habermehl (1994) die Funktion des Reißzahns bei der Katze, wodurch die höhergradig brachyzephalen Perserkatzen aufgrund der fehlgestellten Zähne verstärkt Einschränkungen und Störungen des Kauverhaltens unterliegen. Durch diese Behinderung der physiologischen Kautätigkeit und der längeren Verweildauer des Futters in der Mundhöhle sind diese Katzen für Plaquebildung und Parodontose prädisponiert (Malik et al. 2009). Die Fehlstellung der Zähne ist somit nicht nur kosmetisch von Bedeutung, sondern auch von klinischer Relevanz.

Schlueter et al. (2009) beschrieben bereits, dass es bei brachyzephalen Katzen zu keiner nennenswerten Rotation der Canini zwischen den von ihr festgelegten Brachyzephaliegraden kam. Daher wurde bei der hier durchgeführten Studie zuerst überprüft, ob zwischen den beiden Rassen ein Unterschied bezüglich der Rotation der Canini bestand. Da hier ein hoch signifikanter Unterschied festgestellt werden konnte, wurde weitergehend auf Zusammenhänge zwischen den kranio-metrischen Messungen und der Stellung der Canini untersucht. So fiel bei der Beurteilung des Winkels zwischen den Canini des Oberkiefers und dem harten Gaumen zuerst auf, dass bei Perserkatzen generell der harte Gaumen, das Palatum durum, signifikant häufiger gebogen war als bei den EKH. In einer früheren Studie von Nöller (2007) wurde diese Biegung des harten Gaumens bereits als Dorsalrotation der Maxilla bei brachyzephalen Katzen beschrieben. Bei der hier durchgeführten Studie wurden Zusammenhänge zwischen den die Schädelkonformation betreffenden Indizes und der Biegung des Palatum durum nachgewiesen. Ein Anstieg der Indizes wie auch ein kleiner kraniofazialer Winkel, die bei stärker ausgeprägter Brachyzephalie vorlagen, erhöhten die Chance auf die gebogene Form des Palatum durum. Der engste Zusammenhang war in diesem Fall dem fazialen Index zuzusprechen, der allerdings statistisch gesehen dicht vom Schädelindex gefolgt war. So hat das Maß des Gesichtsschädels den größten Einfluss auf die Biegung des Palatum durum. Ebenso konnten Zusammenhänge vom kranialen Index und dem kraniofazialen Winkel ermittelt werden. Eine Beeinflussung durch Geschlecht, Alter oder Körpermasse lag in diesem Fall nicht vor; daher war von einem alleinigen Einfluss der bereits erwähnten kranio-metri-

schen Parameter auszugehen. Aufgrund dieser Biegung wurde die Messung des Winkels zwischen dem Caninus und dem harten Gaumen erschwert. Daher wurde die Achse, die den harten Gaumen beschreibt, durch den kranialsten und den kaudalsten Punkt des harten Gaumens gezogen und jeweils verlängert. Aufgrund dessen konnte die Biegung des Palatum durum in die Winkelmessung nicht vollständig mit einbezogen werden, weshalb es möglicherweise zu Verfälschungen der Messergebnisse bezüglich des Caninuswinkels gekommen sein könnte.

Die Biegung des harten Gaumens ließ zwar adspektorisch den Eindruck entstehen, dass bei Katzen mit einer stärker ausgeprägten Brachycephalie besonders große Winkel zwischen dem Caninus und dem harten Gaumen bestünden, statistisch gesehen war jedoch entgegen den Erwartungen innerhalb der Perserkatzenpopulation sogar ein Abfall des Caninuswinkels bei steigendem fazialen und kranialen Index zu verzeichnen. Dies könnte an der bereits beschriebenen Achse durch das nach ventral gebogene Palatum durum liegen, bei der die Biegung des harten Gaumens nicht mit einbezogen werden konnte. Daher ist dieses Ergebnis nicht zu stark zu gewichten. Eine weitere mögliche Erklärung für die kleinen Winkel der Canini stark brachycephaler Perserkatzen wäre, dass durch die starke Rotation in Querrichtung des P4 bei hochgradig brachycephalen Tieren für die Zähne mesial des P4 relativ gesehen vermehrter Platz im Kieferbogen geboten wird, wodurch es dem Caninus möglich wäre in seiner Position stark zu variieren und folglich nicht nur große, sondern auch kleine Winkel einnehmen zu können.

Die extremen Winkel der Canini sorgen in Verbindung mit dem gebogenen Palatum durum dafür, dass der Oberkiefer nicht problemlos mit dem Unterkiefer zusammenpasst, wodurch das Kauverhalten der brachycephalen Katzen zusätzlich beeinflusst bzw. eingeschränkt wird. Die Problematik der abweichenden Zahnokklusion resultierend aus der Prognathia inferior, die sich aus der brachycephalen Schädelkonformation ableitet, konnten bereits Dyce et al. (1991) beim Hund feststellen. Schmidt et al. (2017) konnten insbesondere bei den „Peke-Face“ Perserkatzen Abweichungen im Kaumuster der Canini und Incisivi finden.

5.4 Relativer luftführender Weg

Bisherige Studien belegten, dass bei brachycephalen Hunden und Katzen aufgrund einer relativen Conchenhypertrophie ein erhöhtes Risiko für Obstruktionen im Bereich der oberen Atemwege besteht. Die Nasenmuskeln sind in diesem Fall im Verhältnis zur knöchernen

Umgebung zu groß; folglich wachsen die Lamellen bis zum gegenseitigen Kontakt aufeinander zu (Oechtering et al. 2010). Laut Künzel et al. (2003) sind bei der brachyzephalen Katze im Gegensatz zum brachyzephalen Hund eher Verengungen der Nasengänge statt vollständiger Stenosen zu finden. Zudem sorgt die ungünstige Konformation der knöchernen Nasenöffnung wie auch eine zweimalige Richtungsänderung des Meatus nasi ventralis für eine Behinderung des Luftstroms. Weiterhin beschrieben Packer et al. (2015b), dass mit steigendem Brachyzephaliegrad beim Hund ein höheres Risiko für Obstruktionen der Atemwege entsteht. Diese Obstruktion hat laut Hueber (2009) bei brachyzephalen Hunden einen erhöhten intranasalen Atemwegswiderstand zur Folge. Die einzig effektive und nicht invasive Methode das Risiko für das brachyzepale Atemnotsyndrom zu senken sei aufgrund dieser Ergebnisse die Selektion innerhalb der Zucht auf weniger brachyzepale Schädelkonformationen (Packer et al. 2015b). Korrespondierend dazu wurde anhand von Evaluationen der Besitzer auch bei der Katze ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Schädelkonformation und einer verstärkten Atemwegssymptomatik festgestellt (Farnworth et al. 2016).

Künzel et al. (2003) beschrieben bereits eine flachere Neigung des knöchernen Naseneingangs, so wurde in der aktuellen Studie vorerst die relative Höhe der Apertura nasi ossea bestimmt. Sie gibt das Verhältnis des Abstandes vom Akronasion zum Nasenhöhlenboden und des Abstandes vom Akronasion zur Fissura palatina an. Diese war bei den Perserkatzen signifikant kleiner als bei den EKH. So konnte die Hypothese bestätigt werden, dass den Perserkatzen als Vertreter der brachyzephalen Schädelform bereits am Naseneingang weniger Platz zur Verfügung steht als den mesozephalen Katzen. Allerdings konnte keine Abhängigkeit zwischen den kraniometrischen Maßen und der relativen Höhe der Apertura nasi ossea festgestellt werden. Lediglich spielte die Körpermasse innerhalb der Perserkatzenpopulation eine Rolle. Daher kann davon ausgegangen werden, dass die Höhe des Naseneingangs lediglich zwischen den Rassen verschieden ist und eine weitere Abstufung anhand der Schäeldimension nicht möglich ist.

Um einen Zusammenhang zwischen der ansteigend brachyzephalen Schädelkonformation bei der Katze zum relativen luftführenden Weg herstellen zu können, wurden in der vorliegenden Studie Flächenberechnungen an definierten Lokalisationen bezüglich der luftleitenden Wege durchgeführt. Dazu wurde das luftgefüllte Areal zum Gesamtquerschnitt, bestehend aus dem Weichteilgewebe und der luftgefüllten Fläche innerhalb der Knorpel- bzw. Knochengrenzen des Cavum nasi, ins Verhältnis gesetzt, um die absoluten Größenunterschiede der Tiere in ihrer Bedeutung möglichst weitgehend zu minimieren. Die Berechnung wurde auf Höhe der Apertura nasi ossea, der Fissura palatina, dem Caninus, dem P2 und

dem P3 vorgenommen. Zusätzlich wurde die luftführende Fläche der Nares mit dem Meatus nasopharyngeus ins Verhältnis gesetzt, um eine Aussage über den luftführenden Weg zu Beginn und am Ende der Nasenhöhle treffen zu können. So wurde an allen definierten Querschnitten festgestellt, dass den EKH mehr relativer luftführender Weg zur Verfügung steht als den brachyzephalen Perserkatzen. Die größte Differenz wurde auf Höhe des Caninus erfasst. Bei den anderen Messpunkten wurden nur geringe Unterschiede zwischen beiden Rassen ermittelt. Die Werte befanden sich meistens in Ballungsräumen, wobei es nur vereinzelte Ausreißer mit sehr geringen oder tendenziell größeren relativen luftführenden Wegen unter den Perserkatzen gab. Aufgrund der Überschneidungen zwischen den Messwerten der Perserkatzen und der EKH konnten in Anlehnung an die Untersuchungen der Schädelkonformation auch hier Übergangsformen bezüglich des relativen luftführenden Weges vermutet werden.

Zusätzlich gab es auf einigen CT-Aufnahmen Hinweise auf kaudale aberrante Conchen. Daraus resultierte teilweise eine Verlegung des ventralen Nasengangs. In der hier vorgenommenen Studie wurde allerdings darauf nicht weiter eingegangen, da es nicht Ziel der Arbeit war. Das Phänomen des retrograden Conchenwachstums, bei dem eine Verschiebung der Nasenschnecken in Richtung oder sogar in die Schädelhöhle stattfand, zeigten bereits Schmidt et al. (2017) anhand von midsagittalen MRT-Aufnahmen bei „Peke-Face“ Perserkatzen. Gleichzeitig sorgen die stenotischen Nares und die Stenosierung infolge der aberranten Conchen für Obstruktionen im Bereich des oberen Atemtraktes, wodurch die Atmung der brachyzephalen Katze behindert wird (Malik et al. 2009). Oechtering et al. (2007a) differenzieren bei brachyzephalen Hunden zudem zwischen „rostralen aberranten Conchen (RAC)“ und „kaudalen aberranten Conchen (CAC)“. Bei hochgradiger Brachyzephalie ist in Folge der anatomischen Veränderungen mit Entzündungen und Schwellungen des oberen Atemtraktes wie auch nasopharyngealen Stenosen zu rechnen (Corgozinho et al. 2012). Daraus resultiert ein erhöhter Widerstand während der Inspiration brachyzephaler Hunde (Aron und Crowe 1985). Pathophysiologisch gesehen muss für eine ausreichende Sauerstoffversorgung der erhöhte Widerstand mithilfe erhöhten respiratorischen Aufwands überwunden werden (Wykes 1991). Dadurch entsteht ein höherer Unterdruck distal des Widerstands, wodurch die Weichteile in das Lumen gesogen werden und infolgedessen einer Hyperplasie unterliegen (Koch et al. 2003). Dadurch ließe sich möglicherweise der erhöhte Anteil des umgebenden Weichteilgewebes in der hier vorliegenden Untersuchung im Verhältnis zu dem kleineren luftführenden Weg bei der Perserkatze erklären.

Anschließend wurde auf Zusammenhänge zwischen den kranio-metrischen Messungen und dem relativen luftführenden Weg untersucht. Daraus ergab sich, dass lediglich der faziale Index einen Einfluss auf das Verhältnis von Nares zum Meatus nasopharyngeus ausübt. Je höher der faziale Index ist, bedingt durch die Verkürzung des Gesichtsschädels, desto kleiner sind die Nares im Verhältnis zum Meatus nasopharyngeus.

Der kraniale Index wies hingegen auf Höhe des Caninus und auf Höhe der Fissura palatina Zusammenhänge mit dem luftführenden Weg auf. Somit hatten die Ausmaße des Hirnschädels nur an diesen zwei Lokalisationen einen merkbaren Einfluss auf die anteilig luftführende Fläche. Je größer die mit dem steigenden kranialen Index verbundene Ausprägung der Brachycephalie war, desto größer war in diesem Fall der relative luftführende Weg.

Der Schädelindex hingegen zeigte lediglich einen Einfluss auf Höhe der Fissura palatina. Daher kann geschlussfolgert werden, dass der Gesamtschädel in seiner Länge und Breite lediglich an dieser knöchernen Lokalisation einen möglichen Einfluss ausübt. Auch hier ist bei steigendem Schädelindex von einer Zunahme des relativen luftführenden Weges auszugehen. Der kraniofaziale Winkel wies statistische Zusammenhänge auf Höhe der Apertura nasi ossea wie auch der Fissura palatina auf. In diesem Fall ist ein hoher Brachycephaliegrad mit einem niedrigen kraniofazialen Winkel verbunden. Je kleiner der kraniofaziale Winkel ist, desto gravierender ist folglich die Brachycephalie und desto mehr relativer luftführender Weg steht zur Verfügung. Bei allen Untersuchungen übten das Geschlecht und die Körpermasse keinen relevanten Einfluss aus. Lediglich im Modell mit dem fazialen Index konnte ein geringgradiger Einfluss des Alters festgestellt werden. Allerdings ist dieser aufgrund des verschwindend geringen statistischen Zusammenhangs als irrelevant zu deuten.

Diese Ergebnisse stehen im Gegensatz zu der anfangs aufgestellten Hypothese, dass Katzen stärker brachycephaler Schädelkonformationen weniger relativer luftführender Weg zur Verfügung steht als Katzen mit moderaten Schädelkonformationen. Dieses Ergebnis könnte sich erklären durch die Einbeziehung des Sinus frontalis in die Messungen. Die Stirnhöhle gehört im weiteren Sinne aufgrund ihrer Auskleidung mit ihrem niedrigen nur wenige Drüsen enthaltenden respiratorischen Epithel (Liebich 2004b) zu den luftleitenden Wegen. Somit ist diese zwar partiell an der Anfeuchtung der Schleimhaut im hinteren Bereich der Nase beteiligt, allerdings wirkt die Schleimhaut in diesem Bereich weniger an der Luftaufbereitung mit (Graumann und Sasse 2004). Auffällig war bei der Auswertung extrem brachycephaler Perserkatzen, dass der Sinus frontalis weiter nach rostral zieht als dies bei weniger brachycephalen Perserkatzen der Fall ist. Daher wäre ein Ansatz zur Verbesserung der Messmethode, den Sinus frontalis nicht in die Untersuchung der luftführenden Wege mit einzubeziehen.

Dadurch könnte möglicherweise eine genauere Aussage über die tatsächlich an der Luftaufbereitung beteiligte Fläche getroffen werden. Einen weiteren Faktor gilt es im Rahmen dieser Untersuchung zu überdenken. Wie bereits in Kapitel 5.3 erwähnt wurde, weisen die Dentes brachycephaler Katzen mit stark veränderten Schädelkonformationen mehr Zahnfehlstellungen auf als die weniger von Brachycephalie betroffenen Katzen. Infolge der Querstellung der großflächigen Prämolaren sind die Zähne nicht mehr an festgelegten anatomischen Lokalisationen zu finden, daher eignen sie sich möglicherweise nicht als zuverlässig vergleichbare Messpunkte der luftführenden Wege. Insbesondere auf Höhe des P3 sollten die Ergebnisse im Zusammenhang mit den kranio-metrischen Messungen hinterfragt werden. Stattdessen sollten Messungen an nahezu unveränderlichen anatomischen Strukturen wie der Fissura palatina oder der Apertura nasi ossea gewählt werden. Diese Lokalisationen repräsentieren vermutlich zuverlässigere Querschnittsflächen. Diese potenziellen Fehlerquellen sollten in Folgestudien hinreichend geprüft und möglicherweise beseitigt werden. Weiterhin können Verfälschungen oder Ungenauigkeiten beispielsweise aufgrund großer Mengen an Sekret entstehen, die teilweise die Nasengänge verlegen.

Weiterhin beschrieben Oechtering et al. (2007b) bereits, dass die Nasengänge der brachycephalen Hunde im Vergleich mit Schäferhunden vermehrt Einengungen und Abknickungen aufweisen. Ebenso sind die Nasenmuscheln der mesozephalen Hunde, insbesondere die ventrale Nasenmuschel, sehr feingliedrig in ihrer Struktur, während die Nasenmuscheln beim Mops eher plump wirken. Dieses Phänomen der plumpen und wenig feingliedrigen Struktur der Nasenmuscheln konnte in der hier durchgeführten Studie ebenso bei den Perserkatzen festgestellt werden.

Zusammenfassend lässt sich die Atemwegsproblematik in Form von beispielsweise Stridor und Stertor durch die geringer bemessenen relativen luftführenden Wege der brachycephalen Katzen (Perserkatze) im Vergleich zu den mesozephalen Katzen (EKH) in der hier vorgenommenen Studie erklären. Allerdings kann innerhalb der Perserkatzenpopulation anhand der kranio-metrischen Messungen auf keine Abhängigkeit vom Ausmaß der Brachycephalie bedingten Veränderungen des Schädels zum relativen luftführenden Weg geschlossen werden. Somit lässt sich anhand dieser Messungen lediglich eine Rasseprädisposition der Perserkatzen zu geringer bemessenen relativen luftführenden Wegen mit daraus folgender Symptomatik begründen.

5.5 Diskussion der Methoden

Für die Studie bedurfte es eines bildgebenden Verfahrens, das in der Lage war, die Knochenstrukturen am Schädel aus verschiedenen Ebenen hochauflösend darzustellen. Aufgrund dessen wurde die Computertomographie als diagnostisches Mittel der Wahl eingesetzt. Anschließend wurden mithilfe des Programms Amira 6.2 (Graphical Software; Mercury Computer Systems, Berlin, Germany) dreidimensionale Rekonstruktionen auf Grundlage der computertomographischen Bilder erstellt. Mithilfe der Allgemeinanästhesie konnten Bewegungsartefakte vermieden werden. Im Rahmen der Untersuchung wurden 69 Perserkatzen und zehn EKH verschiedenen Alters und Geschlechts untersucht. Unter den Perserkatzen waren die verschiedensten Zwischenformen bis hin zum extrem brachycephalen Phänotyp zu finden. Die Stichprobenzahl $n=10$ der EKH war relativ gering bemessen. Aufgrund der nahezu gleichartigen Gestalt der Schädel der EKH waren relevante Abweichungen bezüglich der kranio-metrischen Messungen und damit auch der übrigen gemessenen Parameter bei größeren Stichprobenumfängen folglich nicht zu erwarten. Somit bedurfte es zum Zwecke der Referenzpopulation keines größeren Stichprobenumfangs der EKH.

Auf Grundlage der dreidimensionalen Rekonstruktionen wurden kranio-metrische Messungen anhand des fazialen Index, des kranialen Index, des Schädelindex und des kraniofazialen Winkels vorgenommen. Bisherige Studien führten bei Hunden die kranio-metrischen Messungen anhand von Schädelpräparaten (Evans und De Lahunta 2013), Röntgenaufnahmen (Koch et al. 2012; Regodon et al. 1993) und computertomographischen Aufnahmen durch (Oechtering et al. 2007b; Schmidt et al. 2011). Erste kranio-metrische Messungen am dreidimensionalen Modell bei Perserkatzen nahmen bereits Schmidt et al. (2017) vor. Die dreidimensionale Rekonstruktion ermöglicht eine Ansicht des Schädels von allen Seiten wie auch einen Einblick auf die innenliegenden Strukturen. So konnten präzise Messungen an den Katzenschädeln vorgenommen werden. Die Vorteile dreidimensionaler Rekonstruktionen wurden bereits in der Humanmedizin im Rahmen verschiedener Fragestellungen genutzt (Hopper et al. 2000; Hurley et al. 2003).

Die Rekonstruktion der Schädel erfolgte mithilfe des (semi-) automatischen Keimzellenwachstumsverfahrens. Bei diesem wird lediglich ein Voxel als Keimzelle markiert und die Nachbarvoxel auf Objektzugehörigkeit überprüft (Jendrysiak 1997). Bei der volumetrischen Messung der Bulbi oculi konnte das semiautomatische Keimzellenwachstumsverfahren aufgrund einer zu hohen Fehlerquote allerdings nicht angewendet werden. Stattdessen wurden die extra- und intraorbital liegenden Anteile des Augapfels in jedem Schnitt aufwändig manuell segmentiert.

Für die Beurteilung der luftführenden Wege erwies sich die CT ebenso als effizienteste bildgebende Darstellung, um die feinen Strukturen der Knochenlamellen, auf deren Grundlage die Nasenmuscheln basieren, sichtbar zu machen (Hofmann 2005). Andere bildgebende Verfahren wie die Magnetresonanztomographie könnten diese Bereiche nicht in solch einer Präzision darstellen (Hofmann 2005). Allerdings konnten bei der Auswertung des relativen luftführenden Weges auf Grundlage der 3D-Rekonstruktionen auch Schwächen der hier vorgenommenen Untersuchung festgestellt werden. Da die luftführenden Wege zum Teil sehr eng bemessen waren und die Nasengänge sich gerade bei den EKH sehr fein dargestellt haben, fiel es bei der Segmentierung der luftgefüllten Fläche im zweidimensionalen Transversalschnitt oft sehr schwer diese vom umliegenden Gewebe genau abgrenzen zu können. Die Veränderung des Kontrasts erleichterte diese Schwierigkeit, aber konnte schlussendlich nicht vollständig Abhilfe bei der Problematik schaffen. Ebenso könnte die Einbeziehung des Sinus frontalis als luftführender Weg im weiteren Sinne zu Verfälschungen oder Ungenauigkeiten bei der Untersuchung der relativen luftführenden Wege geführt haben, da der Sinus frontalis bei hochbrachycephalen Tieren schon deutlich weiter rostral anzutreffen war als bei weniger brachycephalen Tieren. Dadurch wird rein statistisch betrachtet der Eindruck erweckt, dass stark brachycephalen Tieren im weiteren Sinne mehr relativer luftführender Weg zur Verfügung stehen würde als weniger brachycephalen Tieren.

Eine Einteilung des Brachycephaliegrades wie in vorangegangenen Studien an Hunden und Katzen anhand des Phänotyps (Gralla 2014; Nöller 2007; Schlueter et al. 2009; Schmidt et al. 2011) wurde bewusst nicht vorgenommen, um den fließenden Übergang bezüglich der pathologischen Veränderungen infolge der zunehmenden Brachycephalie innerhalb der Perserkatzenpopulation darstellen zu können. Zu bedenken gilt, dass für die hier vorgenommenen Messungen mithilfe der CT und der 3D-Rekonstruktion eine Allgemeinanästhesie notwendig ist. Daher ist diese Methodik bezüglich gutachterlicher Fragestellungen sinnvoll, allerdings nicht im Rahmen der klinischen Routine.

5.6 Fazit und Ausblick

Ein großes Problem der Rassekatzenzucht ist die züchterisch gewollte zunehmende Verkürzung der Gesichtsschädel brachycephaler Tiere (Morris 1999). Insbesondere den Züchtern, aber auch den Käufern und Katzenliebhabern müssen die negativen Folgen dieses Phänotyps aufgezeigt werden. Anhand dieser Studie konnte bewiesen werden, dass durchaus Perserkatzen existieren, die eine nahezu physiologische Schädelform aufweisen. Diese Tiere sind auch

nicht merklich von den sekundären Veränderungen betroffen und unterliegen somit nicht den symptomatischen Folgen. Bei diesen Katzen ist nicht davon auszugehen, dass ihnen aufgrund der Rassekatzenzucht gemäß des §11b des Tierschutzgesetzes Schmerzen, Leiden oder Schäden zugefügt werden (BMJV 2017). Ausgehend von dieser nahezu mesozephalen Schädelkonformation der Perserkatze existieren alle denkbaren Zwischenformen bis hin zu extrem von Brachyzehalie betroffenen Perserkatzen. Als wichtigstes Ergebnis dieser Studie lässt sich die direkte Korrelation der zunehmenden Brachyzehalie und deren negativen Folgen dokumentieren. Mit zunehmender Verkürzung des Schädels als Ganzes sind demnach mehr gesundheitliche Leiden bei den Perserkatzen zu erwarten. So resultierte aus der zunehmenden Verkürzung des gesamten Schädels, allerdings am stärksten des Hirnschädels bei gleichzeitiger Reduktion des Oberkiefers die wachsende Anzahl fehlgestellter Dentes. Da es sich bei den am häufigsten betroffenen Zähnen um den P4, den Reißzahn der Katze handelte, ist von Einschränkungen des Kau- und Jagdverhaltens auszugehen. Gleichzeitig sorgt der größere Caninuswinkel zum harten Gaumen im Vergleich zwischen den Perserkatzen und den EKH ebenso für funktionelle Behinderungen. Daraus ergeben sich erschwerte Bedingungen bei der Futteraufnahme. Folglich sind die von ausgeprägter Brachyzehalie betroffenen Tiere ohne die Futteraufbereitung durch den Menschen nur noch eingeschränkt lebensfähig. Am prägnantesten waren allerdings die zunehmend extraorbitale Anteile der Bulbi oculi bei steigender Brachyzehalie, wodurch die Prädisposition von extrem brachyzephalen Perserkatzen zu bestimmten Augenerkrankungen erklärt werden kann. Im Allgemeinen konnte im Vergleich zwischen den Rassen gezeigt werden, dass die Bulbi oculi der Perserkatzen durchschnittlich sogar um das 4,5-fache weiter aus der Orbita herausstanden als bei den EKH. Bei der Untersuchung der luftführenden Wege wurde festgestellt, dass die Perserkatzenpopulation eine geringere relative Höhe der Apertura nasi ossea aufwies; so ist schon der knöcherne Beginn der Nasenhöhle geringer bemessen als bei der EKH. Dies spiegelt sich im Laufe der weiterführenden Untersuchungen der luftführenden Wege in den verschiedenen Querschnitten wider. Bei der Perserkatzenpopulation konnten in allen untersuchten Arealen kleinere relative luftführende Wege festgestellt werden als bei den EKH. Somit ist auch die Symptomatik der von Farnworth et al. (2016) evaluierten respiratorischen Problematik in Form von Stridor möglicherweise zu erklären. Dieses ergibt sich aus dem Missverhältnis geringer luftführender Fläche und gleichzeitig größeren Anteilen Weichteilgewebes. Zusammenfassend konnte festgestellt werden, dass die Folgen der Brachyzehalie zu vielen gesundheitlichen Leiden der Katzen führen, diese aber nicht ausschließlich auf die Rassezugehörigkeit zurückzuführen sind, sondern auf das Ausmaß der brachyzephalen Schädelverkürzung.

So belegt diese Studie, dass keine Verallgemeinerung bezüglich der Folgen von Brachyze-
phalie bei der Rasse „Perserkatze“ vorgenommen werden sollte. Stattdessen sollte anhand
der kranio-metrisch bestimmten Schädelmaße differenziert werden, dass schwerwiegende ge-
sundheitliche Folgen erst bei starker Brachyze-
phalie auftreten. Die Ergebnisse dieser Studie
bilden potenziell auch die Grundlage für eine gezielte Selektion von Phänotypen der Perser-
katze, deren Nachkommen nicht unter Atembeschwerden, Zahnfehlstellungen und patholo-
gischem Exophthalmus zu leiden haben.

Beim Hund ist bereits eine Entscheidungshilfe für Amtstierärzte bezüglich der Beurteilung
von brachycephalen Hunderassen eingeführt worden (Bundetierärztekammer 2018). Ergän-
zend zu den allgemeinen Fragen bezüglich der Hunde werden hier die brachycephalen Merk-
male beurteilt. Bei diesen Merkmalen handelt es sich beispielsweise um das Vorliegen eines
Exophthalmus, Stenosen der Nares wie auch das Hervorstehen von Zähnen bei geschlosse-
nem Maul. Aufgrund der Ergebnisse der hier vorliegenden Studie könnte in Erwägung ge-
zogen werden einen solchen Beurteilungsschlüssel auch bei brachycephalen Katzen wie der
Perserkatze einzuführen, um die Qualzucht der Katzen einzudämmen.

6 Zusammenfassung

Unter Brachycephalie ist im Allgemeinen eine Längenreduktion des Schädels zu verstehen. Die Verkürzung der Fazialregion unterlag in den letzten Jahrzehnten eines progressiven Verlaufs bis hin zu extremen phänotypischen Ausprägungen. Dadurch entstand aus dem traditionellen Typ, der „Doll-Face“ Perserkatze mit noch vorhandener Fazialregion ein moderner extrem kurzgesichtiger Typ, die „Peke-Face“ Perserkatze. Aus der veränderten fazialen Konformation resultieren zahlreiche gesundheitliche Auswirkungen. Ziel dieser Studie war es Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Ausprägungen brachyzephaler Schädelkonformation und den extraorbitalen Anteilen der Bulbi oculi, den Zahnstellungen wie auch den oberen luftführenden Wegen unter Berücksichtigung des Geschlechts, des Alters und der Körpermasse zu ermitteln. Für die Messungen wurden 69 Perserkatzen verschiedener Schädeldimensionen rekrutiert, wobei zehn Europäisch Kurzhaarkatzen (EKH) als Referenzpopulation dienten. Auf Grundlage der Computertomographie wurden für die Messungen dreidimensionale Rekonstruktionen der Schädel erstellt. Die Kranioimetrie ergab bei den Perserkatzen im Rassenvergleich mit den EKH einen signifikant höheren fazialen Index, kranialen Index und Schädelindex wie auch einen tendenziell kleineren kraniofazialen Winkel. Diese Ergebnisse stimmten mit den Erkenntnissen aus vorangegangenen kranio-metrischen Studien bei Hunden überein. Ebenso konnten Abhängigkeiten der kranio-metrischen Indizes untereinander festgestellt werden. Daraus resultiert, dass nicht allein der Gesichtsschädel von Brachycephalie betroffen ist, sondern der Schädel als Ganzes. Anhand der diffus gestreuten kranio-metrischen Indizes konnten Übergangsformen innerhalb der Perserkatzenpopulation von nahezu mesozephaler Schädelkonformation bis hin zu stark brachyze-phalen Dimensionen ermittelt werden. Erwartungsgemäß konnte bei der Vermessung der Bulbi oculi festgestellt werden, dass die extraorbitalen Bulbusanteile der Perserkatzen durchschnittlich signifikant größer waren als die der EKH. Innerhalb der Perserkatzenpopulation konnten eindeutige Zusammenhänge zwischen den Schädel-dimensionen und dem Anteil der extraorbital gelegenen Bulbi oculi gesehen werden. So waren bei einem Anstieg der kranio-metrischen Indizes, insbesondere des Schädelindex und einem Abfall des kraniofazialen Winkels größere extraorbitale Bulbusanteile zu verzeichnen. Infolge der exponierten Position ist der Augapfel weniger durch die Orbita geschützt, wodurch es häufiger zu Traumata im Bereich der Augen kommen kann. Die Ergebnisse dieser Studie beweisen, dass nicht nur eine Rasseprädisposition für eine Proptosis bulbi vorliegt, sondern eine maßgebliche Beeinflussung der Lage durch die Schädel-dimensionen innerhalb der Perserkatzenpopulation besteht und somit verschiedene Zwischenformen bis hin zu Extremen vertreten sind.

Zudem wiesen die Perserkatzen signifikant häufiger Zahnfehlstellungen im Ober- und Unterkiefer auf als die EKH. Auch in diesem Fall brachte ein Anstieg der kranio-metrischen Indizes, des kranialen Index wie auch ein Abfall des kraniofazialen Winkels eine größere Anzahl unphysiologisch gestellter Denten im Oberkiefer mit sich. Da allerdings bei stärker ausgeprägter Brachycephalie lediglich der Oberkiefer innerhalb der Perserkatzenpopulation von den Zahnfehlstellungen betroffen war, kann davon ausgegangen werden, dass dieser einer stärkeren Längenreduktion unterliegt als die Mandibula und daher weniger Platz für die einzelnen Zähne zur Verfügung stellen kann. Weiterhin waren bei den Perserkatzen im Vergleich zu den EKH signifikant größere Winkel der Canini zum harten Gaumen aufzufinden. Jedoch konnten keine relevanten Zusammenhänge zwischen den kranio-metrisch bestimmten Schäeldimensionen und dem Caninuswinkel hergestellt werden. Die Zahnfehlstellungen, insbesondere die des Caninus und des P4, der funktionell als Reißzahn dient, sorgen für Abweichungen im Jagd- und Kauverhalten. Im Zuge dieser Messung konnte beobachtet werden, dass der harte Gaumen insbesondere bei den ausgeprägt brachycephalen Perserkatzen signifikant häufiger eine gebogene Form aufwies. Ebenso resultierte aus der brachycephalen Schädelform eine geringere relative Höhe der Apertura nasi ossea. So ist schon der knöchernen Beginn der Nasenhöhle bei der Perserkatze geringer bemessen als bei der EKH. Die beengten Platzverhältnisse bei den Perserkatzen spiegelten sich in allen Untersuchungen der Querschnittsflächen der luftführenden Wege wider. Aufgrund dessen lässt sich die respiratorische Symptomatik in Form von Stridor bei den Perserkatzen erklären. Innerhalb der Perserkatzenpopulation selbst konnten keine repräsentativen Zusammenhänge der kranio-metrisch bestimmten Schäeldimensionen zum luftführenden Weg ermittelt werden. Eine Ausnahme bildeten die kleineren Nares im Verhältnis zum Meatus nasopharyngeus bei steigendem fazialen Index.

Zusammenfassend belegt diese Studie, dass die klinischen Folgen der Brachycephalie nicht allein auf eine Rasseprädisposition der Perserkatzen zurückzuführen sind, sondern maßgeblich ein Ergebnis der extremen Übertypisierung sind. Die Brachycephalie von Hund und Katze steht derzeit im Fokus der Öffentlichkeitsarbeit verschiedener veterinärmedizinischer Institutionen. Bei Hunden sind bereits Entscheidungshilfen für Amtstierärzte bezüglich der Beurteilung von Qualzuchtausprägungen bei Brachycephalen entwickelt worden. Mithilfe der Ergebnisse dieser Studie könnte ein solcher Beurteilungsschlüssel auch bei brachycephalen Katzen wie der Perserkatze in Erwägung gezogen werden, um den progressiven Verlauf der Qualzucht einzudämmen.

7 Summary

In general, brachycephaly is associated with a length reduction of the skull. Over the last decades, the desired shortening of facial skull has led to accentuated up to extreme phenotypic appearance. The traditional „Doll-face“ Persian cat with still available facial region developed thereby into the modern extremely flat-faced „Peke-face“ Persian. This facial conformation is accompanied by numerous health problems. The aim of this study was to establish correlations between the different dimensions of the brachycephalic skull and the extraorbital parts of the ocular bulbs, teeth positions, as well as the area of the upper airway, taking into account sex, age and body mass. 69 Persian cats of various skull dimensions were recruited for the measurements and ten European Shorthair were used as reference population. The skulls of the cats were examined by three-dimensional reconstructions created from CT datasets. Craniometric analysis revealed a significantly higher facial index, cranial index, skull index and a rather smaller craniofacial angle in the Persian cats in comparison to the European Shorthair. These results were consistent with findings of previous craniometric studies in dogs. Likewise, dependencies of the craniometric indices could be determined among each other. As a consequence, brachycephaly affects the whole skull and not only the facial skull. Because of diffusely dispersed craniometric indices, transitional forms were found within the population of Persian cats. These forms ranged from nearly mesocephalic up to extreme brachycephalic skull conformation. As expected, extraorbital parts of the ocular bulbs were significantly larger in Persian cats than in European Shorthair. Explicit correlations were determined between the dimensions of the skull and the proportion of extraorbital bulbs within the Persian cat population. An increase of indices and a decrease of the craniofacial angle resulted in larger extraorbital parts of the ocular bulbs. As a consequence, the ocular bulb is less protected by the orbital cavity which can result in more frequent trauma to the eyes. The numerous intermediate forms up to extreme forms of brachycephaly and the resulting varying positions of the ocular bulbs that are represented within the population, can therefore not be attributed solely to a predisposition for proptosis bulbi in Persian cats. In addition to examination of the ocular bulbs, the Persian cats showed significant tooth displacement in the upper and lower jaw, more frequently than in European Shorthair. An increase of craniometric indices, in particular of cranial index, as well as a decrease of the craniofacial angle resulted also in a larger number of unphysiologically placed dentes. Since the tooth displacement in extreme forms of brachycephaly only occurs in the upper jaw, it could be assumed that the upper jaw is more affected by length reduction than the lower jaw and therefore

provides less space for the individual teeth. Compared to European Shorthair cats, significantly larger angles between canini and hard palate were found in Persian cats though no relevant correlations to craniometric skull dimensions could be found. In addition, the misaligned teeth, in particular caninus and fourth premolar, which functions as a carnassial tooth, cause deviations in hunting and chewing behaviour. Moreover, it could be observed that the hard palate of Persian cats showed more frequent a significantly curved form, especially in the case of extreme brachycephaly. The brachycephalic skull dimension also resulted in a lower height of the naso-osseal aperture. Thus, even the beginning of the bony nasal cavity in Persian cats is smaller than in European Shorthair. The constricted space conditions of the Persian cats were reflected in all examinations of the cross-sectional areas of the upper airways. The respiratory distress in the form of stridor in Persian cats can be explained by the smaller dimensioned air-filled areas compared to European Shortair. However, no representative correlations of craniometric skull dimensions to the airways could be determined within the Persian cat population. An exception were the smaller nares in relation to the nasopharyngeal meatus as the facial index increased.

In summary, this study demonstrates that the clinical impacts of brachycephaly do not occur simply due to the race predisposition of Persian cats. Rather it is a result of unduly typing of brachycephalic cats. The brachycephaly of dogs and cats is currently in the focus of public relations of various veterinary institutions. A decision guidance for public veterinarians, concerning the evaluation of characteristics of torture breeding in brachycephalic dogs, already exists. Based on the results of this study, such an assessment key could also be considered in brachycephalic cats, such as the Persian cat, to limit the progressive impact of breeding on animal welfare and health.

8 Anhang

Tabelle 1: Patientendaten der Perserkatzen und EKH

Patienten-Nr.	Rasse	Alter (Jahre)	Geschlecht	Gewicht (kg)
1	Perser	10	M	5,6
2	Perser	13	W	2,3
3	Perser	0,75	W	1,86
4	Perser	10	M	3,0
5	Perser	1	M	2,5
6	Perser	0,67	W	2,0
7	Perser	5	W	2,8
8	Perser	0,75	W	2,1
9	Perser	1	M	3,1
10	Perser	13	M	3,03
11	Perser	0,58	M	2,3
12	Perser	0,58	W	1,84
13	Perser	7	M	4,3
14	Perser	12	M	3,8
15	Perser	0,33	M	1,7
16	Perser	4	M	2,7
17	Perser	1	W	2,6
18	Perser	3	M	4,3
19	Perser	2	M	2,9
20	Perser	0,83	M	3,7
21	Perser	5	M	2,8
22	Perser	3	M	3,4
23	Perser	1	M	4,3
24	Perser	3	M	3,71
25	Perser	0,75	M	3,0
26	Perser	2	M	4,3
27	Perser	0,5	W	1,8
28	Perser	0,58	W	2,19
29	Perser	0,58	W	2,6
30	Perser	1	W	2,3
31	Perser	3	W	3,3
32	Perser	3	W	3,5
33	Perser	2	W	2,5
34	Perser	6	W	3,2
35	Perser	5	M	4,4
36	Perser	16	M	4,4
37	Perser	2	M	2,8
38	Perser	14	W	2,7
39	Perser	2	M	4,05
40	Perser	2	W	2,42
41	Perser	4	W	3,29
42	Perser	8	W	2,0
43	Perser	1	W	3,0
44	Perser	5	W	2,6
45	Perser	14	M	3,6

46	Perser	0,33	W	1,4
47	Perser	0,33	W	1,8
48	Perser	4	W	3,0
49	Perser	6	M	4,3
50	Perser	16	M	4,3
51	Perser	6	M	3,15
52	Perser	2	M	3,7
53	Perser	4	M	3,22
54	Perser	2	W	2,5
55	Perser	0,33	W	2,44
56	Perser	1	M	3,1
57	Perser	2	M	4,1
58	Perser	12	M	3,9
59	Perser	2	W	2,3
60	Perser	2	W	3,8
61	Perser	3	M	4,1
62	Perser	16	W	2,7
63	Perser	0,58	M	2,6
64	Perser	11	M	3,7
65	Perser	14	M	2,4
66	Perser	0,75	M	3,2
67	Perser	9	M	3,6
68	Perser	5	W	1,9
69	Perser	2	W	2,7
70	EKH	5	W	5,0
71	EKH	15	M	3,6
72	EKH	0,67	M	5,6
73	EKH	8	W	5,5
74	EKH	9	W	4,9
75	EKH	7	W	4,1
76	EKH	3	W	4,3
77	EKH	7	M	6,0
78	EKH	8	W	3,5
79	EKH	15	W	4,5

9 Literaturverzeichnis

- Aron D.N., Crowe D.T. (1985): Upper Airway Obstruction. General Principles and Selected Conditions in the Dog and Cat. The Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice 15 (5), 891-917
- Ballauf B. (1996): Atemwegserkrankungen bei Hund und Katze Gustav Fischer Jena
- Bamford O.S., Eccles R. (1983): The role of sympathetic efferent activity in the regulation of brain temperature. Pflügers Archiv European Journal of Physiology 396 (2), 138-143
- Barnett K.C., Crispin S.M. (1998): Feline Ophthalmology: An Atlas & Text. W.B. Saunders London
- Blaha T. (2013): Qualzuchten bei Hunden: Stellungnahme der TVT. Deutsches Tierärzteblatt 1/2013
- Blocker T., Van Der Woerd A. (2001): A comparison of corneal sensitivity between brachycephalic and Domestic Short-haired cats. Veterinary Ophthalmology 4 (2), 127-130
- BMEL, Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft: Gutachten zur Auslegung von §11b des Tierschutzgesetzes (Verbot von Qualzüchtungen) von <http://www.bmel.de/cae/servlet/contentblob/631716/publicationFile/35840/Qualzucht.pdf>; Zugriff am 13.08.2018
- BMJV, Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz: Tierschutzgesetz §11 von <https://www.gesetze-im-internet.de/tierschg/BJNR012770972.html>; Zugriff am 13.08.2018
- Böhme G. (2004): Sinnesorgane: Lehrbuch der Anatomie der Haustiere: Nervensystem, Sinnesorgane, endokrine Drüsen; von Nickel R, Schummer A, Seiferle E; 4. unveränderte Auflage; Parey Berlin, 386-472
- Brehm H., Loeffler K., Komeyli H. (1985): Schädelformen beim Hund. Anatomia, Histologia, Embryologia: Journal of Veterinary Medicine Series 14 (4), 324-331
- Breit S., Kunzel W., Oppel M. (2003): The Course of the Nasolacrimal Duct in Brachycephalic Cats. Anatomia Histologia Embryologia 32 (4), 224-227
- Budras K.D., Fricke W., Richter R. (2007): Atlas der Anatomie des Hundes. 8. überarbeitete Auflage; Schlütersche Hannover
- Bundetierärztekammer A.Q.v.K.-u.H.d. (2018): Beurteilung der Qualzuchtausprägungen beim brachycephalen Hund-Entscheidungshilfe für Amtstierärzte. Deutsches Tierärzteblatt 66 (9), 1228-1233
- Busch B. (2013): Qualzuchten beim Hund: Noch kein Ende in Sicht. Deutsches Tierärzteblatt 1/2103
- Case L.P. (2003): The Cat: It's Behavior, Nutrition & Health. 1. Auflage; Iowa State Press, Iowa

- Corgozinho K.B., Pereira A.N., Cunha S.C., Damico C.B., Ferreira A.M.R., de Souza H.J.M. (2012): Recurrent pulmonary edema secondary to elongated soft palate in a cat. *Journal of Feline Medicine and Surgery* **14** (6), 417-419
- Dixon W.J.c.e. (1993): *BMDP Statistical Software Manual*. University of California Press, Berkeley, Los Angeles, London
- Dupré G., Heidenreich D. (2016): Brachycephalic Syndrome. *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice* **46** (4), 691-707
- Dyce K.M., Sack W.O., Wensing C.J.G. (1991): *Anatomie der Haustiere: Lehrbuch für Studium und Praxis*. Enke Stuttgart
- Dyce K.M., Sack W.O., Wensing C.J.G. (2010): *Textbook of veterinary anatomy*. 4. Auflage; Saunders/Elsevier, St. Louis
- Ekstrand C., Linde-Forsberg C. (1994): Dystocia in the cat: A retrospective study of 155 cases. *The Journal of Small Animal Practice* **35** (9), 459-464
- Ellenberger W., Baum H. (1891): *Systematische und topographische Anatomie des Hundes*. Parey Berlin
- Emmerson T. (2014): Brachycephalic obstructive airway syndrome: a growing problem. *The Journal of Small Animal Practice* **55** (11), 543-544
- Evans H.E., De Lahunta A. (2013): *Miller's anatomy of the dog*. 4th ed.; hrsg. Elsevier Saunders, St. Louis, Miss.
- Falk A. (2015): *Vermessung der Orbita von Hunden und Katzen als Grundlage für die Berechnung intraorbitaler Prothesen zur Implantation nach Enukleation*. Dissertation. Berlin
- Farnworth M.J., Chen R., Packer R.M.A., Caney S.M.A., Gunn-Moore D.A. (2016): Flat Feline Faces: Is Brachycephaly Associated with Respiratory Abnormalities in the Domestic Cat (*Felis catus*)? *PLOS ONE* **11** (8),
- Featherstone H.J., Sansom J. (2004): Feline corneal sequestra: a review of 64 cases (80 eyes) from 1993 to 2000. *Veterinary Ophthalmology* **7** (4), 213-227
- Fournier P.F. (2002): The Lorenz theory of beauty. *Journal of Cosmetic Dermatology* **1** (3), 131-136
- Gelatt K.N., Peiffer R.L., Stevens J.B. (1973): Chronic ulcerative keratitis and sequestrum in the domestic cat. *Journal of the American Animal Hospital Association* **9**(3), 204-213
- Ginn J.A., Kumar M.S.A., McKiernan B.C., Powers B.E. (2008): Nasopharyngeal turbinates in brachycephalic dogs and cats. *Journal of the American Animal Hospital Association* **44** (5), 243-249

- Gralla S. (2014): Vergleich der kornealen Sensibilität von brachycephalen und mesozephalen Katzen unter Berücksichtigung des Brachycephaliegrades-Dissertation. Dissertation. Gießen
- Graumann W., Sasse D. (2004): Compact Lehrbuch Anatomie 1. Auflage; Schattauer, Stuttgart
- Grübmeyer A.J. (2014): Assoziation zephalometrischer Parameter mit dem Auftreten der Syringomyelie beim Cavalier King Charles Spaniel mit Chiari- ähnlicher Malformation. Dissertation. Gießen
- Gunn-Moore D.A., Thrusfield M.V. (1995): Feline dystocia: prevalence, and association with cranial conformation and breed. *Veterinary Record (United Kingdom)* 136 (14), 350-353
- Habermehl K.H. (1994): Kopfdarm und Gebiß: Anatomie von Hund und Katze; von Frewein J, Vollmarhaus B; 1. Auflage; Blackwell Wissenschafts-Verlag, Berlin, 130-146
- Hart B.L., Leedy M.G. (1987): Stimulus and hormonal determinants of flehmen behavior in cats. *Hormones and Behavior* 21 (1), 44-52
- Harvey C.E. (1989): Inherited and congenital airway conditions. *Journal of Small Animal Practice* 30 (3), 184-187
- Heider H.J. (1993): Kornearkerkrankungen bei der Katze. *Kleintierpraxis* 38 (9), 567-580
- Herzog A. (2001): Pareys Lexikon der Syndrome: Erb- und Zuchtkrankheiten der Haus- und Nutztiere. Parey, Berlin
- Hewicker-Trautwein M. (2007): Respirationstrakt: Pathohistologie für die Tiermedizin; von Baumgärtner W; 1. Auflage; Enke, Stuttgart, 122-147
- Hofmann E. (2005): Anatomie der Nase und der Nasennebenhöhlen im sagittalen Computertomogramm. *Klinische Neuroradiologie* 15 (4), 258-264
- Hopper K.D., Iyriboz A.T., Wise S.W., Neuman J.D., Mauger D.T., Kasala C.J. (2000): Mucosal Detail at CT Virtual Reality: Surface versus Volume Rendering. *Radiology* 214 (2), 517-522
- Hueber J.P. (2009): Impulsoszillometrische Untersuchung des intranasalen Atemungswiderstandes vor und nach laserassistierter Turbinektomie zur Therapie des Brachycephalen Atemnotsyndroms beim Hund. Dissertation. Leipzig
- Hurley M.E., Herts B.R., Remer E.M., Dylinski D., Gill I.S. (2003): Three-dimensional Volume-rendered Helical CT before Laparoscopic Adrenalectomy. *Radiology* 229 (2), 581-586
- Jendrysiak U. (1997): Segmentierung von Schnittbildern. Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH 6 107-112
- Kindler S. (1997): Die Cornea nigra der Katze. *Der praktische Tierarzt* 78 (11), 996-1004
- Koch D.A., Arnold S., Hubler M., Montavon P. (2003): Brachycephalic Syndrome in Dogs: Compendium. www.VetLearn.de 25 (1), 48-55

- Koch D.A., Wiestner T., Balli A., Montavon P.M., Michel E., Scharf G., Arnold S. (2012): Proposal for a new radiological index to determine skull conformation in the dog. *Schweizer Archiv für Tierheilkunde* 154 (5), 217-220
- Koch T., Berg R. (1992): *Lehrbuch der Veterinär-Anatomie: Bewegungsapparat*. 5. überarbeitete Auflage; Gustav Fischer, Jena
- Köhler C., Menzel A.K., Alef M., Oechtering G., Kiefer I. (2016): Vergleich der Gaumensegeldicken von normo- und brachycephalen Hunden mit Atemnotsyndrom anhand sagittaler CT-Bilder des Kopfes. *Berliner und Münchener Tierärztliche Wochenschrift* 129 (9/10), 444-452
- König H.E. (1992): *Anatomie der Katze: mit Hinweisen für die tierärztliche Praxis*. Gustav Fischer, Stuttgart
- König H.E., Liebich H.G. (2009): *Atmungsapparat (Apparatus respiratorius): Anatomie der Haussäugetiere*; von König HE, Liebich HG; 4. überarbeitete Auflage; Schattauer, Stuttgart
- König H.E., Sótönyi P., Liebich H.G. (2009): *Verdauungsapparat (Apparatus digestorius): Anatomie der Haussäugetiere*; von König HE, Liebich HG; 4. überarbeitete Auflage; Schattauer, Stuttgart, 301-366
- Künzel W., Breit S., Oppel M. (2003): Morphometric Investigations of Breed-Specific Features in Feline Skulls and Considerations on their Functional Implications. *Anatomia Histologia Embryologia* 32 (4), 218-223
- Lauruschkus G. (1942): Über Riechfeldgröße und Riechfeldkoeffizient bei einigen Hunderassen und der Katze. *Archiv für Tierheilkunde* 77 473-497
- Leonard H.C. (1957): Eversion of the lateral ventricles of the larynx in dogs: five cases. *Journal of the American Veterinary Medical Association* 131 (2), 83-84
- Liebich H.G. (2004a): *Verdauungsapparat (Apparatus digestorius): Funktionelle Histologie der Haussäugetiere*; von Liebich HG; 4. völlig überarbeite und erweiterte Auflage; Schattauer, Stuttgart
- Liebich H.G. (2004b): *Atmungsapparat (Apparatus respiratorius): Funktionelle Histologie der Haussäugetiere*; von Liebich HG; 4. völlig überarbeite und erweiterte Auflage; Schattauer, Stuttgart, 239-254
- Liebich H.G., König H.E. (2009a): *Sehorgan (Organum visus): Anatomie der Haussäugetiere*; von König HE, Liebich HG; 4. überarbeitete Auflage; Schattauer, Stuttgart, 567-588
- Liebich H.G., König H.E. (2009b): *Skelett des Stammes (Skeleton axiale): Anatomie der Haussäugetiere*; von König HE, Liebich HG; 4. überarbeitete Auflage; Schattauer, Stuttgart, 47-108
- Linek J. (2002): Hornhautsequester bei der Katze. *Fachpraxis* 41 2-4

- Linek J., Maggio F., Pizzirani S. (2008): Ophthalmologie auf den Punkt gebracht: Ein Leitfaden für die Kleintierpraxis. BE VetVerlag,
- Lippert J.P., Reinhold P., Smith H.J., Franco P., Nather S.Y., Schlüter C., Oechtering G.U. (2010): Geometry and function of the dog nose: how does function change when form of the nose is changed? *Pneumologie* 64 (7), 452-453
- Liu N.C., Troconis E.L., Kalmar L., Price D.J., Wright H.E., Adams V.J., Sargan D.R., Ladlow J.F. (2017): Conformational risk factors of brachycephalic obstructive airway syndrome (BOAS) in pugs, French bulldogs, and bulldogs. *PLOS ONE* 12 (8),
- Loeffler K. (2002): Anatomie und Physiologie der Haustiere. 10. aktualisierte und korrigierte. Auflage; Ulmer, Stuttgart
- Loeffler K., Gäbel G. (2015): Anatomie und Physiologie der Haustiere. 14. vollständig überarbeitete. Auflage; Ulmer, Stuttgart
- Mackensen H., Furler-Mihali A., Moritz J., Rickert D., Cermak R. (2017): Beurteilung von brachycephalen Hunderassen hinsichtlich Qualzuchtmerkmalen am Beispiel des Mopses
- Merkblatt zum Erkennen von tierschutzrelevanten Merkmalen. Deutsches Tierärzteblatt 65 (7), 910-915
- Maggs D.J. (2008a): Cornea and Sclera: Slatter's Fundamentals of Veterinary Ophthalmology; von Maggs DJ, Miller PE, Ofri R; 4. Auflage; Saunders, Elsevier, Saint Louis, 175-202
- Maggs D.J. (2008b): Eyelids: Slatter's Fundamentals of Veterinary Ophthalmology von Maggs DJ, Miller PE, Ofri R; 4. Auflage; Saunders Elsevier, Saint Louis, 107-134
- Malik R., Sparkes A., Bessant C. (2009): Brachycephalia: a bastardisation of what makes cats special. *Journal of Feline Medicine and Surgery* 11 (11), 889-891
- Michel G. (1992): Atmungssystem: Mikroskopische Anatomie der Haustiere; von Smollich A, Michel G; 2. überarbeitete. Auflage; Gustav Fischer, Jena, 187-212
- Montavon P.M. (2000): Le syndrome brachycephalique Proceedings 1 ères rencontres, Franco-Suisses, Lausanne (Abstract)
- Morris D. (1999): Cat breeds of the world: A Complete Illustrated Encyclopedia. Viking Penguin, New York, NY
- Negus V. (1958): The comparative anatomy and physiology of the nose and paranasal sinuses. E. & S. Livingstone, Edinburgh
- Nickel R., Schummer A., Wille K.H., Wilkens H. (2004): Passiver Bewegungsapparat, Skelettsystem: Lehrbuch der Anatomie der Haustiere: Bewegungsapparat; von Nickel R, Schummer A, Seiferle E; 8. unveränderte. Auflage; Parey, Stuttgart, 15-214

- Nöller C. (2007): Klinisch-funktionelle Anatomie und computertomographische Darstellung der Nase bei normo- und brachycephalen Katzen. Dissertation. Berlin
- Oechtering G.U., Hueber J.P., Oechtering T., Noeller C. (2007a): Laser Assisted Turbinectomy (LATE) Treating brachycephalic airway distress at its intranasal origin. *Veterinary Surgery* 36 (6),
- Oechtering G.U., Schlüter C., Lippert J.P. (2010): Brachycephaly in dog and cat: a "human induced" obstruction of the upper airways. *Pneumologie* 64 (7), 450-452
- Oechtering T.H., Oechtering G.U., Nöller C. (2007b): Strukturelle Besonderheiten der Nase brachycephaler Hunderassen in der Computertomographie. hrsg., Zugriff am 19.01.2012] Schattauer GmbH,
- Oppel M. (2002): Morphometrische und funktionell anatomische Untersuchungen am Kopf dolicho-, meso- und brachycephaler Rassekatzen. Dissertation. Wien
- Packer R.M.A., Hendricks A., Burn C.C. (2015a): Impact of Facial Conformation on Canine Health: Corneal Ulceration. *PLOS ONE* 10 (5),
- Packer R.M.A., Hendricks A., Tivers M., Burn C.C. (2015b): Impact of Facial Conformation on Canine Health: Brachycephalic Obstructive Airway Syndrome. *PLOS One* 10 (10),
- Pfister C. (2016): Nicht süß, sondern gequält: BTK Arbeitsgruppe "Qualzuchten" nimmt ihre Arbeit auf *Deutsches Tierärzteblatt* 64 1798-1802
- Poncet C.M., Dupre G.P., Freiche V.G., Estrada M.M., Poubanne Y.A., Bouvy B.M. (2005): Prevalence of gastrointestinal tract lesions in 73 brachycephalic dogs with upper respiratory syndrome. *Journal of Small Animal Practice* 46 (6), 273-279
- Povey R.C. (1978): Reproduction in the pedigree female cat: A survey of breeders. *Canadian Veterinary Journal* 19 (8), 207-213
- Prescott C.W. (1973): Reproduction patterns in the domestic cat. *Australian Veterinary Journal* 49 (3), 126-129
- Regodon S., Vivo J.M., Franco A., Guillen M.T., Robina A. (1993): Craniofacial angle in dolicho-, meso- and brachycephalic dogs: radiological determination and application. *Annals Of Anatomy* 175 (4), 361-363
- Salomon F.V., Geyer H., Gille U. (2008): Anatomie für die Tiermedizin. 2. aktualisierte und erweiterte Auflage; Enke, Stuttgart
- Schieck F., Brückner A. (1932): Kurzes Handbuch der Ophthalmologie. Springer, Berlin
- Schlueter C., Budras K.D., Ludewig E., Mayrhofer E., Koenig H.E., Walter A., Oechtering G.U. (2009): Brachycephalic Feline Noses: CT and Anatomical Study of the Relationship between Head Conformation and the Nasolacrimal Drainage System. *Journal of Feline Medicine and Surgery* 11 (11), 891-900

- Schmidt M.J., Neumann A.C., Amort K.H., Failing K., Kramer M. (2011): Cephalometric Measurements and Determination of General Skull Type of Cavalier King Charles Spaniels. *Veterinary Radiology & Ultrasound* 52 (4), 436-440
- Schmidt M.J., Kampschulte M., Enderlein S., Gorgas D., Lang J., Ludewig E., Fischer A., Meyer-Lindenberg A., Schaubmar A.R., Failing K. (2017): The Relationship between Brachycephalic Head Features in Modern Persian Cats and Dysmorphologies of the Skull and Internal Hydrocephalus. *Journal of Veterinary Internal Medicine* 31 (5), 1487-1501
- Schumacher S. (1934): *Grundriss der Histologie des Menschen*. Springer, Wien
- Stades F.C. (2006): *Praktische Augenheilkunde für den Tierarzt. 3. überarbeitete u. erweiterte. Auflage; Schlütersche, Hannover*
- Stockard C.R., Anderson O.D., James W.T. (1941): The genetic and endocrinic basis for differences in form and behavior: as elucidated by studies of contrasted pure-line dog breeds and their hybrids. *The Wistar Institute of Anatomy and Biology, Philadelphia, PA*
- The Cat Fanciers' Association I., Persian Show Standard 2015 von <http://www.cfa.org/Portals/0/documents/breeds/standards/persian.pdf>; Zugriff am 28.06.2016
- Thomé H. (2004): *Mundhöhle und Schlundkopf: Lehrbuch der Anatomie der Haustiere: Eingeweide; von Nickel R, Schummer A, Seiferle E; 9. unveränderte. Auflage; Parey, Berlin, 19-102*
- Vollmerhaus B., Frewein J., Roos H., Knospe C. (1994): *Skelett: Anatomie von Hund und Katze; von Frewein J, Vollmerhaus B; 1. Auflage; Blackwell Wissenschafts-Verlag, Berlin, 4-51*
- Wagner F. (2002): *Ästhesiometrische Messung nach COCHET und BONNET der Hornhautsensibilität bei augengesunden Katzen und Katzen mit einem Korneasequester. Dissertation. Hannover*
- Waibl H. (2004): *Atmungsapparat: Lehrbuch der Anatomie der Haustiere: Eingeweide; von Nickel R, Schummer A, Seiferle E; 9. unveränderte. Auflage; Parey, Berlin, 223-307*
- Walde I., Nell B., H S.E., G K.R. (2008): *Augenheilkunde: Lehrbuch und Atlas; Hund, Katze, Kaninchen und Meerschweinchen. 3. überarbeitete und erweiterte. Auflage; Schattauer, Stuttgart*
- Wastlhuber J. (1991): *History of domestic cats and cat breeds: Feline Husbandry: Diseases and Management in the Multiple-Cat Environment; von Pedersen NC; 1. Auflage; American Veterinary Publications, Goleta, CA, 1-59*
- Wegner W. (1995): *Kleine Kynologie. 4. Auflage; Terra, Konstanz*
- Wild P. (1994): *Auge, Band Anatomie von Hund und Katze; von Frewein J, Vollmerhaus B; 1. Auflage; Blackwell Wissenschafts-Verlag Berlin, 414-432*

- Wilkins H., Neurand K. (1994): Atmungsapparat: Anatomie von Hund und Katze; von Frewein J, Vollmarhaus B; 1. Auflage; Blackwell Wissenschafts- Verlag, Berlin, 172-197
- Williams D.L., Kim J.Y. (2009): Feline entropion: a case series of 50 affected animals (2003-2008). *Veterinary Ophthalmology* 12 (4), 221-226
- Wykes P.M. (1991): Brachycephalic airway obstructive syndrome. *Problems in Veterinary Medicine* 3 (2), 188-197

Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. Martin Schmidt für die Überlassung des interessanten Themas und die engagierte wissenschaftliche Betreuung bei der Entwicklung und Durchführung dieser Arbeit. Seine ansteckende Begeisterung für die Thematik sowie seine uneingeschränkte Unterstützung haben eine sehr angenehme Arbeitsatmosphäre geschaffen und gleichzeitig für eine ausgesprochen hohe Motivation gesorgt.

Sehr herzlich bedanke ich mich bei Herrn Dr. Klaus Failing und Frau Marion Spangenberg für die umfangreiche und geduldige Unterstützung bei der nicht immer ganz einfachen statistischen Aufbereitung und Auswertung des erhobenen Datenmaterials.

Von ganzem Herzen möchte ich mich bei meiner Schwester und ganz besonders bei meiner Mutter bedanken, die mich im Erreichen meiner Ziele unterstützt haben und mir immer zur Seite standen.

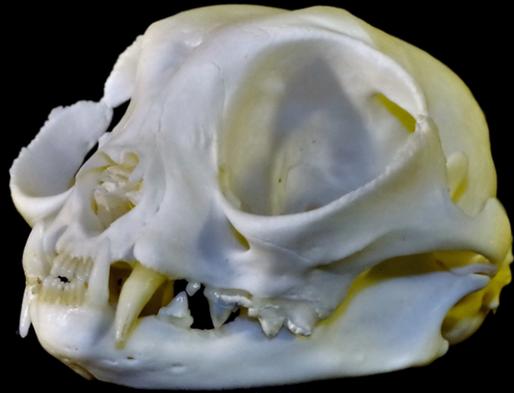
Ebenso möchte ich mich bei allen anderen Menschen bedanken, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben und immer für mich da waren.

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 den von mir durchgeführten und in der Dissertation erwähnten Untersuchungen habe ich die Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis, wie sie in der "Satzung der Justus-Liebig-Universität Gießen zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis" niedergelegt sind, eingehalten."

Gießen, den 28.03.2019

Jana Sieslack



édition scientifique
VVB LAUFERSWEILER VERLAG

VVB LAUFERSWEILER VERLAG
STAUFENBERGRING 15
D-35396 GIESSEN

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

ISBN: 978-3-8359-6613-0



9 783835 196613 0