

AUS DER KLINIK FÜR KLEINE HAUSTIERE

des Fachbereichs Veterinärmedizin
der Freien Universität Berlin

**Vermessung der Orbita von Hunden und Katzen
als Grundlage für die Berechnung intraorbitaler Prothesen
zur Implantation nach Enukleation**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Grades eines
Doktors der Veterinärmedizin
an der
Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Anika Falk
Tierärztin
aus Berlin

Berlin 2015

Journal-Nr.: 3820

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs Veterinärmedizin
der Freien Universität Berlin

Dekan: Univ.-Prof. Dr. Jürgen Zentek
Erster Gutachter: Univ.-Prof. Dr. Corinna Eule
Zweiter Gutachter: Univ.-Prof. Dr. Johanna Plendl
Dritter Gutachter: Univ.-Prof. Dr. Christoph Lischer

Deskriptoren (nach CAB-Thesaurus):

cats, dogs, orbits, amputation, skull, measurement, prosthesis implantation

Tag der Promotion: 14.12.2015

Bibliografische Information der *Deutschen Nationalbibliothek*

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

ISBN: 978-3-86387-687-6

Zugl.: Berlin, Freie Univ., Diss., 2015

Dissertation, Freie Universität Berlin

D 188

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.

Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdruckes und der Vervielfältigung des Buches, oder Teilen daraus, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Warenbezeichnungen, usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

This document is protected by copyright law.

No part of this document may be reproduced in any form by any means without prior written authorization of the publisher.

Alle Rechte vorbehalten | all rights reserved

© Mensch und Buch Verlag 2015

Choriner Str. 85 - 10119 Berlin

verlag@menschundbuch.de – www.menschundbuch.de

Inhalt		
1	Einleitung	1
2	Literaturübersicht	3
2.1	Anatomie	3
2.1.1	Orbita	3
2.1.2	Auge und Nebenorgane	5
2.2	Chirurgie der Orbita	7
2.2.1	Eukleation	7
2.2.1.1	Subkonjunktivale Eukleation (Transkonjunktivale Eukleation)	8
2.2.1.2	Transpalpebrale Eukleation („en bloc“)	10
2.2.1.3	Laterale Eukleation	10
2.2.1.4	Komplikationen nach Eukleation	11
2.2.2	Eviszeration	12
2.2.2.1	Komplikationen nach Eviszeration	14
2.2.3	Exenteration	15
2.3	Orbitaimplantate	15
2.3.1	Orbitaimplantate in der Humanmedizin	15
2.3.1.1	Silikonimplantate	18
2.3.1.2	Hydroxylapatit-Implantate	19
2.3.1.3	Implantate aus Hydroxylapatitkeramiken (HAK)	20
2.3.1.4	Methyl-Methacrylat	21
2.3.1.5	Polyethylen (Medpor)	21
2.3.2	Orbitaimplantate in der Veterinärmedizin	21
2.4	Arbeitshypothese und Ziele der Arbeit	26
3	Material und Methoden	27
3.1	Vorversuche	27
3.1.1	Voruntersuchungen	27
3.1.1.1	Computertomografische Untersuchung anhand von Schädelpräparaten	27
3.1.1.2	Vermessung von computertomografischen Aufnahmen von Hunden	31
3.1.1.3	Kadaverstudie	40
3.1.1.4	Vermessung von computertomografischen Aufnahmen in dem Programm Eclipse	46
3.2	Hauptstudie Material und Methodik	50

Inhaltsverzeichnis

3.2.1	Patientenkollektiv	50
3.2.1.1	Hunde	50
3.2.1.2	Katzen	51
3.3	Methode	52
3.3.1	Bildauswertung	52
3.4	Erstellung einer Video-Präsentation	56
3.5	Statistische Auswertung der Ergebnisse	57
4	Ergebnisse	58
4.1	Ergebnisse der CT-Studie Eclipse	58
4.1.1	Vermessung der Orbita an Hunden	58
4.1.1.1	Ausdehnung der Orbita in Bezug auf die Kopfform	59
4.1.1.2	Ausdehnung der Orbita in Bezug auf das Körpergewicht	65
4.1.1.3	Statistische Analyse aller Hunde bis 15 kg KGW in Bezug auf die Kopfform	70
4.1.2	Vermessung der Orbita an Katzen	74
4.1.2.1	Ausdehnung der Orbita in Bezug auf die Kopfform	76
4.1.2.2	Ausdehnung der Orbita in Bezug auf das Körpergewicht	82
5	Diskussion	89
5.1	Methode	91
5.2	Vermessung der Orbita an Hunden	92
5.3	Vermessung der Orbita an Katzen	100
5.4	Vermessung der Orbita als Beitrag zur Entwicklung von Orbitaimplantaten	105
6	Zusammenfassung	107
7	Summary	109
8	Literaturverzeichnis	111
9	Abbildungsverzeichnis	124
10	Tabellenverzeichnis	128

11	Anhang	131
	Danksagung	140
	Selbstständigkeitserklärung	141

Verzeichnis verwendeter Abkürzungen

A.	Arteria
bzw.	beziehungsweise
B	brachycephal
B _{dorsal/ ventral}	Breite dorsal/ventral
BKH	Britisch Kurzhaar
cm	Zentimeter
CKCS	Cavalier King Charles Spaniel
d.h.	das heißt
D	dolichocephal
DSH	Deutscher Schäferhund
EKH	Europäisch Kurzhaar
For.	Foramen
Gl.	Glandula
H	Höhe
HAK	Hydroxylapatitkeramik
JRT	Jack Russel Terrier
kg	Kilogramm
kV	Kilovolt
KGW	Körpergewicht
KF	Knochenfenster
Lig.	Ligamentum
m	männlich
mk	männlich kastriert
mm	Millimeter
mA	Milliampere
M	mesozephal
M.	Musculus
Max.	Maximum
Min.	Minimum
Mm.	Musculi
MCP	motility coupling post
MW	Mittelwert
N.	Nervus
Nn.	Nervi
Nr.	Nummer
o.g.	oben genannt
OTE	Orbital Tissue Expander
p	Signifikanz
P	Signifikanzniveau
Proc.	Processus
Procc.	Processuus
r	Korrelation
sog.	sogenannte
SD	Standard-Abweichung
T	Tiefe
v.a.	vor allem
vgl.	vergleiche
V	Volumen
w	weiblich
wk	weiblich kastriert
WHWT	West Highland White Terrier
WF	Weichteilfenster

1 Einleitung

“Das Auge ist das Fenster zur Seele.”

Dieses Zitat von Leonardo da Vinci (1452-1519) bringt die große Bedeutung des Auges, als das Sinnesorgan der nonverbalen Kommunikation, zum Ausdruck, neben der funktionalen Bedeutung und der Wichtigkeit für das äußere Erscheinungsbild. So ist es verständlich, weshalb sich viele Tierbesitzer so sehr vor einer durch Krankheit notwendig gewordenen Enukeation bei ihrem Tier scheuen. Viele Tierbesitzer sehen mehr die kosmetischen als die medizinischen Aspekte im Zusammenhang mit diesem Eingriff. Obwohl eine Enukeation häufig in der täglichen tierärztlichen Praxis durchgeführt wird, ist die Suche nach einem adäquaten Ersatz für das verlorengegangene orbitale Volumen bis heute nicht abgeschlossen. Nach dem Entfernen des Bulbus kommt es zur Atrophie des retrobulbären Fettgewebes und der Muskulatur, was ein Einsinken der Lidspalte zur Folge hat. Besonders ausgeprägt ist diese Erscheinung bei meso- und dolichocephalen Tieren aufgrund der tiefen Orbita (NASISSE et al. 1988). Auch in der Humanmedizin wird seit dem 19. Jahrhundert nach dem „perfekten“ Orbitaimplantat gesucht. Angefangen bei Glas, Holz, Knochen und vielen anderen Materialien, die in der Humanmedizin verwendet wurden, stehen heute Materialien wie Silikon und Hydroxylapatit zur Verfügung. Diese Materialien wurden auch in der Veterinärmedizin übernommen. Zunehmend werden Tieren als Volumenersatz Implantate in die leere Orbita eingesetzt. Es ist eine Vielzahl von verschiedenen Implantattypen und -größen verfügbar. Folgende Probleme werden im Zusammenhang mit Orbitaimplantaten beschrieben: ein zu groß gewähltes Implantat kann Drucknekrosen verursachen, ein zu klein gewähltes Implantat kann in der leeren Orbita rotieren. Daher muss die Implantatgröße und -form an die Größe und Rasse des jeweiligen Tieres angepasst werden. Unter dem Aspekt, dass sich z. B. ein brachycephaler Mops sowohl in Kopfform als auch in Körpergröße deutlich von einem dolichocephalen Greyhound unterscheidet bzw. eine Perser-Katze von einer Siam-Katze, wird klar, dass zur Entwicklung eines optimalen Implantats die genaue Ausdehnung der Orbita bekannt sein muss. Um eben diese Einflüsse auf die Orbita nachvollziehen zu können, war es Ziel der vorliegenden Arbeit, eine geeignete und reproduzierbare Messmethode zur Vermessung der Orbita von Hunden und Katzen zu entwickeln. Es wird davon ausgegangen, dass Unterschiede zwischen brachy-, meso- und dolichocephalen Rassen in Bezug auf die Ausdehnung der Orbita bestehen.

In der Literatur sind bisher keine Methoden zur Vermessung der Orbita von Hunden und Katzen etabliert. Mit Hilfe von computertomografischen Aufnahmen der Orbita von Hunden und Katzen soll eine reproduzierbare und leicht umsetzbare Messmethode entwickelt werden. Die Ergebnisse dieser Arbeit sollen dazu beitragen, ein geeignetes, an die Kopfform

und Größenverhältnisse angepasstes Implantat als Volumenersatz nach Enukleation entwickeln zu können.

2 Literaturübersicht

2.1 Anatomie

2.1.1 Orbita

Die knöchernen Orbita wird von Knochen des Hirn- und Gesichtsschädels gebildet (NICKEL et al. 1992). Die Orbita beinhaltet den Augapfel (Bulbus oculi) und seine Nebenorgane. Die Augenhöhle ist beim Hund nach lateral, bei der Katze mehr nach frontal gerichtet (NICKEL et al. 1992; KÖNIG, LIEBICH 2015). Bei brachyzephalen Rassen ist die Orbita sehr flach, wohingegen sie bei dolichocephalen Rassen deutlich tiefer ist (GELATT, WHITLEY 2011). Die Orbita der Katze ist nur geringfügig größer als der Augapfel (GELATT, WHITLEY 2011).

Die Größe der Orbita variiert je nach Tierart, Rasse und Kopfform. GELATT und WHITLEY (2011) geben die Höhe, Breite und Länge der Orbita mit 29 x 27 x 156 mm bei mesozephalen Hunden, 30 x 28 x 79 mm bei brachyzephalen Hunden und 29 x 33 x 214 mm bei dolichocephalen Hunden an. Bei Katzen ist die Orbita laut GELATT und WHITLEY (2011) bis zu 23 mm hoch, 26 mm breit und 87 mm lang (GELATT, WHITLEY 2011). SAMUELSON (2013) gibt die Höhe, Breite und Tiefe der Orbita für Hunde mit 28 x 29 x 49 mm und für Katzen die Höhe und Breite der Orbita mit 26 x 24 mm an.

Nach GELATT und WHITLEY (2011) lässt sich die Orbita in verschiedene Komponenten unterteilen: 1) eine intraconale Komponente (innerhalb des extraokulären Muskeltrichters), 2) eine extraconale Komponente (innerhalb der Orbita, aber außerhalb des extraokulären Muskeltrichters) und 3) eine extraendorbitale Komponente (Periost der knöchernen Orbita).

Der Zugang zur Augenhöhle (Aditus orbitae) wird vom Tränenbein, Jochbein und Stirnbein gebildet (NICKEL et al. 1992; SALOMON 2015). Der Aditus orbitae wird in einen oberen und unteren Augenhöhlenrand (Margo supraorbitalis und infraorbitalis) unterteilt (SALOMON 2015).

Die dorsale und mediale Begrenzung der Orbita wird durch das Os frontale gebildet. Bei den meisten Hunden bildet das Os lacrimale mit seiner Facies orbitalis einen Teil des ventromedialen Orbitarandes. Lediglich bei einigen brachyzephalen Hunden ist dies nicht der Fall, in diesem Fall bildet die Maxilla die ventromediale Orbitabegrenzung (MURPHY et al. 2013). Ventral begrenzen die Gl. zygomatica und der M. pterygoideus medialis die Orbita (GELATT, WHITLEY 2011). Die Gl. zygomatica reicht vom Orbitarand bis nahe an den Canalis nervus opticus. Sie liegt dorsal und lateral der Pterygoidmuskulatur (MURPHY et al. 2013). Bei der Katze ist die Gl. zygomatica sehr klein ausgebildet (GELATT, WHITLEY 2011). Nach Meinung einiger Autoren besitzt die Katze keine Gl. zygomatica, sondern eine

kleine infraorbitale Speicheldrüse (PRINCE (1960) nach SLATTER und BASHER (2003)). Auch das Os palatinum ist an der ventralen Begrenzung der Orbita beteiligt (BUDRAS 2010). Im Gegensatz zu Pferd und Rind ist die Orbita beim Fleischfresser dorsolateral nicht knöchern begrenzt, sondern wird durch das Lig. orbitale geschlossen (NICKEL et al. 1992; KÖNIG, LIEBICH 2015). Das Lig. orbitale verläuft als bindegewebiges Band zwischen dem Proc. frontalis des Os zygomaticum und dem Proc. zygomaticus des Os frontale (MURPHY et al. 2013). Bei der Katze ist der Spalt zwischen Proc. frontalis und Proc. zygomaticus schmal, dementsprechend ist das Lig. orbitale sehr kurz (SALOMON 2015). Bei der Katze verknöchert das Lig. orbitale häufig (KÖNIG, LIEBICH 2015). Beim Hund macht das Lig. orbitale etwa ein Fünftel des Orbitarandes aus, bei brachycephalen Hunden ist das Lig. orbitale länger als bei dolichocephalen Hunden (RUPP et al. 1989). Der Jochbogen steht bei dolichocephalen Hunden, im Gegensatz zu brachycephalen Hunden, nur wenig ab (RUPP et al. 1989). Nach einer röntgenologischen Studie von RUPP et al. (1989) an Hunden kann das Lig. orbitale vor allem bei älteren Hunden verkalken oder verknöchern. In dieser Studie wurden nur Hunde untersucht, die mindestens fünf Jahre oder älter waren. Auch der Temporalismuskel ist an der dorsolateralen Begrenzung der Orbita der Fleischfresser beteiligt (GELATT, WHITLEY 2011; MURPHY et al. 2013). Kaudal wird die Orbita durch die Massetermuskulatur und den vertikalen Unterkieferast begrenzt (SLATTER, BASHER 2003; GELATT, WHITLEY 2011). Laut MILLER (2013) ist auch das Basisphenoid an der Bildung der Orbita beteiligt. Die knöcherne Begrenzung der Orbita wird demzufolge von folgenden Knochen gebildet: Os frontale, Os lacrimale, Os zygomaticum, Maxilla, Os palatinum sowie dem Os praesphenoidale.

Die mediale Orbita beinhaltet beim Fleischfresser folgende Öffnungen: den Canalis opticus als Durchtritt für den N. opticus und die A. ophthalmica interna, die Fissura orbitalis als Durchtrittsstelle der Nn. ophthalmicus und oculomotorius, trochlearis und abducens, das For. ethmoidale bzw. beim Hund das meist doppelte For. ethmoidale als Durchtritt für den N. ethmoidalis, A. und V. ethmoidalis externa und das For. alare rostrale, in welchem der N. maxillaris zusammen mit der A. maxillaris verläuft (NICKEL et al. 1992; BUDRAS 2010; KÖNIG, LIEBICH 2015; SALOMON 2015). Die V. ophthalmica externa dorsalis bzw. ventralis geht aus einem Hauptast der V. maxillaris hervor, der durch den Flügelkanal (Canalis alaris) zieht (SALOMON 2015). Zudem verlaufen beim Hund der Ramus anastomoticus cum a. carotis interna und bei der Katze die Rami retis in der Fissura orbitalis (MURPHY et al. 2013; SAMUELSON 2013).

Die Periorbita kleidet die knöcherne Orbita bindegewebig aus und verläuft innerhalb dieser trichterförmig (KÖNIG, LIEBICH 2015). Die Periorbita wird vom Periost abgeleitet und ist medial und dorsal mit diesem verbunden (MURPHY et al. 2013). Sie lässt sich in eine oberflächliche und tiefe Schicht unterteilen. Besonders im kaudolateralen Bereich, in welchem die Orbita nicht knöchern umschlossen ist, ist die Periorbita stärker ausgeprägt und stellt dort eine „häutige Orbitawand“ dar (SIMOENS, GILLE 2005). Innerhalb der Periorbita des Hundes befindet sich das intraorbitale Fettgewebe (Corpus adiposum intraperiorbitale), welches Faszien, Muskeln, Gefäße und Nerven des Auges umschließt (CONSTANTINESCU, MC CLURE 1990). Ein weiteres Fettpolster (Corpus adiposum extraperiorbitale) befindet sich außerhalb der Periorbita, zwischen dieser und dem Periost, und füllt die Schläfengrube aus (CONSTANTINESCU, MC CLURE 1990; KÖNIG, LIEBICH 2015). In der Untersuchung von CONSTANTINESCU und MC CLURE (1990) wurde das extraorbitale Fettgewebe um die gesamte Periorbita vorgefunden, außer im Bereich des Lig. orbitale. In dieser Studie wurden verteilt mehrere Fettgewebsinseln außerhalb des periorbitalen Bereichs gefunden. Innerhalb der Periorbita befinden sich feine bindegewebige Häute, die sog. Augenhöhlenfaszien (Fasciae orbitales) (SIMOENS, GILLE 2005). Die äußere Faszien-schicht umgibt die Augenmuskelpyramide, reicht distal bis in die Augenlider und liegt innen der Periorbita an. Die tieferen Faszienanteile umhüllen die einzelnen orbitalen Muskeln als Fasciae musculares. Die Sklera wird oberflächlich von einer weiteren tiefen Faszien-schicht umschlossen. Diese bildet die Vagina bulbi (Tenonkapsel). Diese Faszien-schicht stellt eine gleitfähige Schicht um den Augapfel dar (besondere Bedeutung E nukleation). Gehirnwärts umhüllt die Vagina bulbi den N. opticus als Vagina externa et interna n. optici (SEIFERLE 1992).

2.1.2 Auge und Nebenorgane

Der Augapfel besitzt annähernd eine kugelige Gestalt (SEIFERLE 1992; SIMOENS, GILLE 2005; KÖNIG, LIEBICH 2015) und ist beim Fleischfresser im mittleren Durchmesser etwa 20 - 24 mm groß (KÖNIG, LIEBICH 2015), bei der Katze im Durchschnitt 20 mm (SIMOENS, GILLE 2005). GELATT und WHITLEY (2011) geben den Bulbusdurchmesser mit bis zu 25 mm bei Hunden und bis zu 21 mm bei Katzen an, bei größeren Siamkatzen beträgt der Bulbusdurchmesser sogar bis zu 22,5 mm (GELATT, WHITLEY 2011).

Der mittlere Längendurchmesser (Länge der äußeren Augenachse) in Bezug auf den mittleren Querdurchmesser (Höhe des Bulbusäquator) und zum mittleren Vertikaldurchmesser (in Höhe des vertikalen Hauptmeridians) verhält sich bei der Katze wie 21,3 : 20,1 : 20,2 mm; bei kleinen Hunden wie 20,0 : 19,7 : 18,7 mm und bei großen Hunden wie 24,2 : 24,0 : 23,0 mm (SEIFERLE 1992).

Bezogen auf die Körpergröße besitzt die Katze den größten Bulbus unter den Haussäugetieren (KÖNIG, LIEBICH 2015; SALOMON 2015). Am Bulbus werden verschiedene Innenräume unterschieden. Die vordere Augenkammer befindet sich zwischen der Hornhaut (Cornea) und der Iris. Die hintere Augenkammer wird von der Rückseite der Iris, dem Ziliarkörper, den Zonulafasern und der Linse gebildet. Der Glaskörper bildet einen weiteren Innenraum. Er befindet sich hinter der Linse und wird von der Netzhaut umgeben (SEIFERLE 1992; SIMOENS, GILLE 2005; KÖNIG, LIEBICH 2015).

Die Wand des Augapfels besteht aus drei Hüllen, der äußeren Augenhaut (Tunica fibrosa bulbi) mit Sklera und Kornea, der mittleren Augenhaut (Tunica vasculosa bulbi, Uvea) mit Choroidea, Strahlenkörper (Corpus ciliare) und der Iris sowie der inneren Augenhaut (Tunica interna bulbi), der Retina (SEIFERLE 1992; SIMOENS, GILLE 2005; MURPHY et al. 2013).

In der vorderen und hinteren Augenkammer befindet sich das Kammerwasser. Den größten Anteil des Augeninnenraums nimmt mit annähernd 80% der Glaskörper ein (Corpus vitreum) (MURPHY et al. 2013). Ebenso befindet sich die Linse (Lens) im Augeninneren, diese steht durch die Zonulafasern (Fibrae zonulares) mit dem Ziliarkörper (Corpus ciliare) in Verbindung (SIMOENS, GILLE 2005).

Der Augapfel liegt umgeben von Muskeln, Nerven, orbitalem Fettgewebe, Tränendrüse, Gl. zygomatica, Gefäßen und der Periorbita in der Orbita (SEIFERLE 1992; BUDRAS 2010). Zu den Augenmuskeln gehören die vier geraden Augenmuskeln (M. rectus dorsalis, M. rectus ventralis, M. rectus medialis, M. rectus lateralis), zwei schiefe Augenmuskeln (Mm. obliquus ventralis et dorsalis) sowie der M. retractor bulbi und der M. levator palpebrae superioris (SIMOENS, GILLE 2005; KÖNIG, LIEBICH 2015). Abgesehen von dem M. obliquus ventralis haben die Augenmuskeln ihren Ursprung in der orbitalen Apex (CHO 2008).

Der Sehnerv (N. opticus) verläuft von der Rückseite des Augapfels innerhalb des M. retractor bulbi und im Corpus adiposum orbitae und tritt durch das For. opticum und den Canalis opticus in die Schädelhöhle ein (SEIFERLE 1992).

Die Augenlider dienen dem Schutz des Auges vor äußeren Einflüssen. Gemeinsam mit der Tränenflüssigkeit sorgen sie für die Reinigung der Hornhautoberfläche und verhindern die Austrocknung des Auges (SIMOENS, GILLE 2005; KÖNIG, LIEBICH 2015). Unter anderem ist bei Hund und Katze noch ein drittes Augenlid (Nickhaut, Palpebra tertia) ausgebildet (SEIFERLE 1992; SIMOENS, GILLE 2005; KÖNIG, LIEBICH 2015). Dieses liegt im nasalen Augenwinkel und beinhaltet die Nickhautdrüsen (Glandulae palpebrae tertiae) welche zusammen mit der Gl. lacrimalis (Tränendrüse) den Tränenfilm produzieren (SEIFERLE 1992; KÖNIG, LIEBICH 2015). Die Tränendrüse liegt dorso-temporal dem Bulbus oculi an (SIMOENS, GILLE 2005; KÖNIG, LIEBICH 2015). Beim Fleischfresser wird sie durch das

Lig. orbitale bedeckt (KÖNIG, LIEBICH 2015). Die produzierte Tränenflüssigkeit wird über Tränenpunkte (Puncta lacrimalia), die Caniculi lacrimales und den Ductus nasolacrimalis in den rostralen ventralen Nasengang abgeleitet (SEIFERLE 1992; SIMOENS, GILLE 2005).

2.2 Chirurgie der Orbita

Im folgenden Abschnitt werden verschiedene Techniken der Orbita-Chirurgie vorgestellt, dazu gehören die Enukektion, Eviszeration und Exenteration. Bei der Enukektion wird der komplette Augapfel entfernt. Unter Eviszeration versteht man die Entfernung des Bulbusinhalts. Es werden die anteriore und posteriore Uvea, die Linse, der Glaskörper und die Retina entfernt. Im Anschluss wird eine intraokuläre Prothese eingesetzt. Die vollständige Entfernung aller Orbitainhalte einschließlich des Augapfels wird als Exenteration bezeichnet.

2.2.1 Enukektion

Bei der Enukektion wird der Bulbus samt seinem Inhalt entfernt (GELATT, WHITLEY 2011; MILLER 2013). Dieser chirurgische Eingriff kann aus verschiedensten Gründen notwendig sein. Neben kongenitalen Defekten, wie beispielsweise einem Mikroophthalmus mit chronischer Konjunktivitis und Keratitis, kommen auch andere Erkrankungen in Frage (GELATT, WHITLEY 2011). Auch inflammatorische Prozesse im Auge, die mit der Zerstörung intraokularer Gewebe einhergehen und in deren Folge es zur Erblindung des betroffenen Auges kommt oder die Gefahr einer systemischen Infektion besteht, machen ggf. eine Enukektion erforderlich (GELATT, WHITLEY 2011; MILLER 2013). Ebenso kommen neoplastische Veränderungen, die nicht mittels lokaler chirurgischer Entfernung oder Lasertherapie behandelt werden können, als Indikation für eine Enukektion in Frage (SPIESS, WALLIN-HAKANSON 1981; GELATT, WHITLEY 2011; MILLER 2013). Oftmals ist auch nach einem schweren Trauma mit Zerstörung des Augapfels und orbitaler Strukturen die Entfernung des Bulbus notwendig, so zum Beispiel bei einem Bulbusprolaps, bei dem drei oder mehr Augenmuskeln oder der N. opticus abgetrennt sind (GILGER et al. 1995; FRITSCHKE et al. 1996).

Die Enukektion stellt auch eine Therapiemöglichkeit beim Glaukom dar, da diese Augen aufgrund der Augeninnendruckerhöhung vergrößert und blind sind (SPIESS, WALLIN-HAKANSON 1981; GELATT, WHITLEY 2011). Alternativ kann auch eine Eviszeration durchgeführt werden (BRIGHTMAN et al. 1977; KOCH 1981; HAMOR et al. 1994; RUOSS et al. 1997). Beim sekundären Glaukom in Folge einer Panophthalmitis sollte die Enukektion des betroffenen Auges der Eviszeration vorgezogen werden (GELATT, WHITLEY 2011).

In der Literatur werden verschiedene chirurgische Techniken bzw. Zugänge beschrieben. Diese sind die subkonjunktivale, transpalpebrale und laterale Eukleation.

2.2.1.1 Subkonjunktivale Eukleation (Transkonjunktivale Eukleation)

Nach GELATT und WHITLEY (2011) gehört die subkonjunktivale Eukleation zu der einfachsten und am schnellsten durchführbaren chirurgischen Technik. Bei dieser Methode wird der Bulbus aus seiner ihn umgebenden Tenon-Kapsel entfernt. Vorteil dieser OP-Technik ist, dass intraoperativ nur wenige Blutungen auftreten und es postoperativ zu nur geringen Wundsekretansammlungen kommt (GELATT, WHITLEY 2011). Dabei werden die Konjunktiva und die Tränendrüse üblicherweise nicht entfernt, jedoch die Nickhaut (GELATT, WHITLEY 2011). Bei der Katze wird die Tränendrüse typischerweise entlang des Bulbus entfernt (HAMOR 2002). Die Darstellung der tieferliegenden Gewebe ist, bedingt durch die ödematöse bulbäre Konjunktiva, meist schwierig. Eine bessere Darstellbarkeit der Gewebe kann durch laterale Kanthotomie erreicht werden (GELATT, WHITLEY 2011; MILLER 2013). Dabei wird mit Hilfe einer Präparierschere der laterale Kanthus in seiner Gesamtheit durchtrennt (GELATT, WHITLEY 2011). Auftretende Blutungen können durch Druck oder durch Elektrokauter gestoppt werden (GELATT, WHITLEY 2011). Der Zugang zur Orbita wird über die Konjunktiva geschaffen. Auf 12 Uhr Position wird eine Inzision der bulbären Konjunktiva und Tenonkapsel mittels einer gebogenen Metzenbaumschere gesetzt und im 360° Radius in 3 - 5 mm Abstand zum posterioren Limbus das Gewebe freipräpariert (GELATT, WHITLEY 2011; MILLER 2013). Anschließend wird soweit in die Tiefe das Gewebe zwischen Konjunktiva und Tenon-Kapsel stumpf ab präpariert, bis die Ansätze der extraokulären Muskeln sichtbar werden. Mit Hilfe eines Muskelhakens werden die einzelnen Augenmuskeln angehoben und an ihrem sehnigen Ansatz durchtrennt (GELATT, WHITLEY 2011). Bei der Katze ist es aufgrund der auftretenden Blutungen oftmals schwierig, jeden Muskel einzeln darzustellen, laut HAMOR (2002) und MOULD (2002) aber auch nicht zwingend notwendig. Vielmehr kann man die Muskelansätze ertasten und vorsichtig abtrennen (HAMOR 2002). Durch Abtrennen der Mm. rectales bekommt der Bulbus mehr Beweglichkeit, wenn im Anschluss daran auch die Mm. obliquus ventralis et dorsalis sowie der M. retractor bulbi durchtrennt werden, kann der Bulbus vorsichtig vorgelagert werden (GELATT, WHITLEY 2011). Damit der N. opticus leichter darstellbar ist, insbesondere bei buphthalmischen Augen, kann laut MUGHANNAM und REINKE (1994) auch die Glaskörperflüssigkeit mittels Feinnadelaspiration abgesaugt werden. Um den N. opticus und Gefäße zu ligieren, wird im Vorfeld eine kleine gebogene Klemme (Moskitoklemme) vorsichtig hinter dem Bulbus positioniert (GELATT, WHITLEY 2011). Erst dann wird der Bulbus vorsichtig mit einer gebogenen Metzenbaumschere abgesetzt und aus der Orbita

entfernt. Besondere Vorsicht ist geboten, damit die posteriore Sklera nicht beschädigt wird (GELATT, WHITLEY 2011). Wenn der Bulbus aus der Orbita entfernt wurde, kann eine Ligatur auf dem N. opticus und den Gefäßen gesetzt werden (GELATT, WHITLEY 2011). Bei der Katze muss insbesondere darauf geachtet werden, dass so wenig Zugbelastung wie möglich auf den Bulbus ausgeübt wird, da es sonst zur Beschädigung des Chiasmas und damit zur Verletzung des N. opticus der kontralateralen Seite kommen kann (MILLER 2013). HAMOR (2002) empfiehlt den N. opticus nicht zu ligieren oder abzuklemmen, da das ebenso zu Verletzungen des Chiasmas führen kann. Auch MILLER (2013) beschreibt die Eukleationstechnik ohne Ligatur des N. opticus. Allerdings empfiehlt der Autor die Ligatur von Gefäßen des Orbitakonus oder alternativ die Blutstillung mit Hilfe von chirurgischen Schwämmen für fünf Minuten, diese sollen allerdings vor dem Wundverschluss wieder entfernt werden (MILLER 2013). In einer Studie von ALLGOEWER et al. (2006) an 215 Kleintieren, die ohne Ligation posterior des Bulbus enukleiert wurden, konnte gezeigt werden, dass keine Komplikationen im Zusammenhang mit dieser operativen Technik auftraten. Größere Blutungen wurden nicht beobachtet, dementsprechend geht der Autor davon aus, dass eine Ligatur beim Kleintier nicht zwingend erforderlich ist (ALLGOEWER et al. 2006). Im Anschluss werden im Abstand von 3 - 6 mm die Lidränder umschnitten (GELATT, WHITLEY 2011; MILLER 2013). Die Nickhaut wird vorgelagert und an ihrer Basis mit gebogener Klemme abgeklemmt, nun kann die Nickhaut samt Nickhautdrüse mit einer Metzenbaumschere abgesetzt werden (GELATT, WHITLEY 2011). Sofern kein Orbitaimplantat eingesetzt wird vernäht man nun die verbliebenen extraokulären Muskeln sowie die periorbitale Faszie mit Einzelheften (2-0 bis 4-0 Fadenstärke) (GELATT, WHITLEY 2011). Die Lider werden mit einfachen Einzelheften vernäht. Dazu wird nicht resorbierbares Nahtmaterial der Fadenstärke 3-0 bis 5-0 verwendet (GELATT, WHITLEY 2011). Diese chirurgische Technik der Eukleation wird auch in der Humanmedizin eingesetzt. Im Unterschied zur Veterinärmedizin werden hier die einzelnen Augenmuskeln mittels Nahtmaterial intraoperativ vor Durchtrennen des Muskelansatzes fixiert, um sie zu einem späteren Zeitpunkt der Operation mit dem Implantat zu vernähen. Vor Absetzen des Bulbus wird keine Klemme am N. opticus angebracht, es wird nach Durchtrennen des Nervs durch Druck mit einem mit Thrombin getränkten Schwämmchen über 5 Minuten eine Hämostase erreicht. Kleinere Blutungen werden mittels Elektrokauter gestoppt. Dem Patienten wird im Anschluss ein Orbitaimplantat eingesetzt (JORDAN, MAWN 2009).

2.2.1.2 Transpalpebrale Enukeation („en bloc“)

Diese OP-Technik wird häufig bei Großtieren verwendet. Besonders geeignet ist diese Methode, wenn intraokuläre Infektionen oder Infektionen der Konjunktiva vorliegen (HAMOR 2002; GELATT, WHITLEY 2011).

Beide Lider werden mit einer einfachen fortlaufenden Naht verschlossen oder mit Hilfe einer ALLIS-Klemme gefasst (GELATT, WHITLEY 2011). Nun umschneidet man die Lider in 6 - 8 mm Abstand mit einem Skalpell (GELATT, WHITLEY 2011). Nach Durchtrennen der Haut wird der Schnitt vorsichtig bis zur Konjunktiva fortgesetzt (GELATT, WHITLEY 2011). Dann wird mit einer Metzenbaumschere in der Tiefe die Muskulatur stumpf freipräpariert. Das Absetzen des Bulbus in seiner Gesamtheit wird wie bei der subkonjunktivalen Enukeation durchgeführt. Die periokuläre Faszie wird mit einfachen Ligaturen mit resorbierbarem Nahtmaterial verschlossen, dies reduziert zudem den entstandenen Freiraum. Das orbitale Septum wird mit Einzelknopfleften verschlossen. Die Augenlider werden zweischichtig vernäht (GELATT, WHITLEY 2011). Einigen Autoren nach erfolgt ein einschichtiger Wundverschluss (SCHEBITZ, ALEF 2007).

MUGHANNAM und REINKE (1994) beschreiben zwei chirurgische Techniken zur Enukeation unter Verwendung einer periorbitalen Lappenplastik. Bei der ersten Technik werden an Ober- und Unterlid je eine Inzision zwischen Bindegewebe und Periost gesetzt und das Gewebe freipräpariert, der dorsale Anteil der Lappenplastik sollte ein Drittel des Lig. orbitale beinhalten. Beide Bindehautlappen werden mittig mittels Skalpell eingeschnitten. Jeweils der laterale und mediale Anteil werden über der Orbita vernäht. Danach folgt der übliche Wundverschluss. Diese Technik eignet sich, wenn wenig Gewebe zur Verfügung steht. Ist ausreichend Gewebe vorhanden, werden die Bindehautlappen auf die gleiche Weise präpariert, allerdings ohne Inzision vollständig mittig über der Orbita vernäht. Auch hier schließt sich der übliche Wundverschluss an. MUGHANNAM und REINKE (1994) konnten mit dieser OP-Technik gute Ergebnisse erzielen, die Orbita erschien postoperativ weniger eingesunken und die Patientenbesitzer waren mit dem kosmetischen Ergebnis sehr zufrieden (MUGHANNAM, REINKE 1994).

2.2.1.3 Laterale Enukeation

Die laterale Enukeation stellt eine modifizierte Technik der transpalpebralen Enukeation dar, welche sich besonders bei dolichocephalen Hunden oder bei Tieren mit sehr tiefer Orbita eignet (WOLF 1990; GELATT, WHITLEY 2011). Zunächst wird eine laterale Kanthotomie durchgeführt. Mittels einer Metzenbaumschere werden beginnend am lateralen Kanthus die äußere Schicht der Augenlider (Haut, M. orbicularis oculi) von der inneren Schicht (palpebrale Konjunktiva, orbitales Septum) bis zum medialen Kanthus abpräpariert.

Nun wird die Haut der Augenlider mit der Metzenbaumschere vollständig umschnitten. Die Lidränder werden mit kleinen Moskitoklemmen gefasst und verschlossen. Im medialen Kanthus wird das Lig. palpebrale laterale durchtrennt und die Konjunktiva nahe dem Limbus freipräpariert. Dann werden wie bei der subkonjunktivalen Eukleation die Muskeln dargestellt und nahe des Bulbus durchtrennt. Nach Anbringen einer Klemme hinter dem Bulbus wird dieser vorsichtig abgesetzt und eine Ligatur auf N. opticus und begleitende Gefäße gesetzt. Der Bulbus wird gemeinsam mit der Tränenrüse, Konjunktiva und Nickhaut ‚en bloc‘ entfernt. Der Wundverschluss erfolgt in vier Schichten: Endorbita, orbitales Septum, Unterhaut, Haut (GELATT, WHITLEY 2011). Nach Meinung einiger Autoren ist keine Ligatur der den N. opticus begleitenden Gefäße (A. ophthalmica externa) notwendig, da die Blutung mit Verschluss der Fascia orbitalis von alleine zum Stillstand kommt (SCHEBITZ, ALEF 2007).

2.2.1.4 Komplikationen nach Eukleation

Intraoperativ können starke Blutungen auftreten. Auch Rupturen am Bulbus oder Inzisionen können zu intraoperativen Komplikationen führen (COOK, PEIFFER 1985). Nach einer durchgeführten Eukleation treten häufig Schwellungen auf, die durch Blutungen innerhalb der Orbita entstehen (GELATT, WHITLEY 2011). Dabei spielen laut GELATT und WHITLEY (2011) unzureichende Blutstillung oder kleinere Gefäße, die nicht ligiert wurden eine Rolle. Solche Blutungen werden häufiger nach transpalpebraler Eukleation als nach subkonjunktivaler Eukleation beobachtet (GELATT, WHITLEY 2011). Da postoperativ antibiotisch therapiert wird, kommt es selten zu Infektionen, wenn dennoch Infektionen auftreten, entstehen diese meist innerhalb der ersten Woche postoperativ (GELATT, WHITLEY 2011). Die am häufigsten beobachtete Langzeit-Komplikation ist das Einsinken der Lider. Bei Katzen und kurzhaarigen Hunden fällt diese Vertiefung der Orbita besonders stark auf, weniger bei langhaarigen Hunden (GELATT, WHITLEY 2011). Verbliebene Reste der Nickhautdrüsen und Tränenrüssen können zu Schwellungen führen (SPIESS, WALLIN-HAKANSON 1981; COOK, PEIFFER 1985). Diese entwickeln sich mitunter erst Wochen bis Monate später in Form von intraorbitalen Zysten und Fisteln. In sehr ausgeprägten Fällen kann eine chirurgische Korrektur mit Entfernung entsprechender Drüsenreste erforderlich sein (GELATT, WHITLEY 2011). Wird intraoperativ die Gl. zygomatica traumatisiert, kann auch diese Zysten ausbilden (WOLF 1990; KUNZEL et al. 2003). Durch Reste der Konjunktiva können sich Fistelkanäle bilden, auch hier kann eine chirurgische Korrektur notwendig werden. Auch Emphyseme können beobachtet werden und entstehen vermutlich durch Luftzufuhr über den Tränen-Nasen-Kanal (COOK, PEIFFER 1985). COOK und PEIFFER (1985) nennen auch Traumata an der knöchernen Orbita im Bereich des

periorbitalen Sinus im Zusammenhang mit der Entstehung von postoperativen Emphysemen. CHO (2008) empfiehlt intraoperativ die nasolakrimalen Öffnungen zu ligieren oder kautern, vor allem bei brachycephalen Hunden, da diese Komplikation hier häufiger beobachtet wird (CHO 2008). In einem Fallbericht von BEDFORD (1979) wurde bei einem Pekinesen ein vollständig erhaltener Tränenkanal als Ursache eines postoperativ entstandenen Emphysems diagnostiziert. Ein ähnlicher Fall wurde von MARTIN (1971) beschrieben (zitiert nach BEDFORD (1979)). Bei Katzen wurde die Schädigung des Sehnervs des kontralateralen Auges nach Eukleation beschrieben, besonders hoch ist das Risiko bei Katzen mit einer tiefen Orbita (DONALDSON et al. 2014).

2.2.2 Eviszeration

Die Durchführung einer Eviszeration stellt eine Alternative zur Eukleation dar (BRIGHTMAN et al. 1977; KOCH 1981; HAMOR et al. 1994; RUOSS et al. 1997). Durchgeführt wird dieser Eingriff bei blinden schmerzhaften Augen (RIGGS, WHITLEY 1990). Beim primären Glaukom im Endstadium, welches nicht auf Medikamente anspricht, ist die Eviszeration eine Therapiemöglichkeit (CHO 2008). Auch beim sekundären Glaukom infolge einer septischen Panophthalmitis kommt dieser Eingriff zum Einsatz (RIGGS, WHITLEY 1990). Bei intraokulären Neoplasien sollte jedoch die Eukleation durchgeführt werden, ebenso bei ausgedehnten Hornhautulzerationen oder verminderter Tränenproduktion (HAMOR 2002; GELATT, WHITLEY 2011). Da bei der Eviszeration nach Entfernung sämtlicher Bulbusinhalte ein intraokuläres Implantat eingesetzt wird, ist das kosmetische Ergebnis deutlich ansprechender als nach Eukleation (GELATT, WHITLEY 2011; JORDAN, MAWN 2009). In einem Fallbericht von ROMKES und EULE (2012) wurde ein intraokuläres Implantat bei einem Hund mit therapieresistentem sekundären Glaukom eingesetzt und mit einer extraokulären Prothese kombiniert. Das chirurgische sowie kosmetische Ergebnis war hervorragend (ROMKES, EULE 2012).

In Studien von BRIGHTMAN et al. (1977), bei denen Hunden intrasklerale Prothesen nach Eviszeration eingesetzt wurden, konnte nachgewiesen werden, dass die verwendeten Silikonkugeln oder Methyl-Methacrylat-Implantate weder schmerzhaft noch toxisch sind. Es konnten keine Hinweise für Immunsystemreaktionen gefunden werden. Ebenso stellte man fest, dass das kosmetische Erscheinungsbild ähnlich dem gesunden Auge war (BRIGHTMAN et al. 1977). Der Implantatdurchmesser wurde mittels Messschieber an dem horizontalen Hornhautdurchmesser bestimmt, die Implantatgrößen variierten zwischen 18 mm und 22 mm (WHITLEY et al. 1985; LIN et al. 2007). Der Implantatdurchmesser sollte 1-2 mm größer gewählt werden als der horizontale Hornhautdurchmesser (BRIGHTMAN et al. 1977; WILKIE et al. 1994; MCLAUGHLIN 1998). Bei Augen, die in Folge eines Glaukoms

vergrößert sind, kann der Implantatdurchmesser kleiner gewählt werden als der horizontale Hornhautdurchmesser, da sich die Sklera und Kornea postoperativ innerhalb von 1-3 Monaten wieder zusammenziehen (HAMOR 2002; GELATT, WHITLEY 2011). Die intraokulären Implantate sind in unterschiedlichen Farben verfügbar, meist werden schwarz eingefärbte Implantate bei Hunden und gelb eingefärbte Implantate bei Katzen verwendet (CHO 2008; GELATT, WHITLEY 2011).

Zur Durchführung der Eviszeration wird zunächst ein Lidspreizer zwischen das dorsale und ventrale Augenlid eingesetzt. Wenn erforderlich kann auch eine laterale Kanthotomie durchgeführt werden. Mittels Tenotom-Schere wird ein 6 mm großer Zugang nahe des Limbus in der Konjunktiva geschaffen. Dieser wird um 180° fortgesetzt (etwa bis 3 und 9 Uhr Position). Die Konjunktiva wird vorsichtig von der darunterliegenden Sklera und der Tenon-Kapsel getrennt. Die Hämostase erfolgt ggf. mittels Elektrokauter (GELATT, WHITLEY 2011). Die Sklera wird nun auf 12 Uhr Position mittels mikrochirurgischer Klinge eröffnet, etwa 4 mm posterior und parallel des Limbus (WHITLEY et al. 1985; GELATT, WHITLEY 2011). Auch die Sklera wird mittels Tenotom-Schere über 180° eröffnet. Es ist darauf zu achten, dass die Sklera 1-2 mm weiter eröffnet wird als das Implantat im Durchmesser groß ist. Alternativ kann auch über den Limbus ein Zugang zur vorderen Augenkammer geschaffen werden, bei dieser OP-Technik kommt es jedoch häufiger zu postoperativen Komplikationen (GELATT, WHITLEY 2011).

In der Humanmedizin gibt es noch die Möglichkeit zusätzlich eine Keratektomie durchzuführen. Zudem werden V-förmige Stücke lateral und medial aus der Sklera herausgeschnitten, um das Einbringen des Implantats zu erleichtern. Nach Entfernen sämtlicher Bulbusinhalte wird eine posteriore Sklerotomie im Bereich des N. opticus durchgeführt. Im Anschluss werden im Radius von 360° mehrere Inzisionen in der Sklera gesetzt. Dies erlaubt es auch größere Implantate einzusetzen (JORDAN, MAWN 2009). Im posterioren Bereich wird der Bulbus mit Hilfe einer Linsenschlinge und im anterioren Bereich mit Hilfe eines Iris-Spatels eviszeriert, um vordere und hintere Uvea von dem Limbus und der Sklera zu trennen. Mit vorsichtigem Zug an der Iris werden die Uvea samt Linse, Glaskörper und Retina entfernt. Der intraokulare Raum wird mit steriler Kochsalzlösung gründlich unter möglichst wenig Druck gespült, um Gewebereste und Blutbestandteile zu entfernen (GELATT, WHITLEY 2011). COOK und PEIFFER (1985) beschreiben, dass auch das Absaugen von Geweberesten hilfreich sein kann (COOK, PEIFFER 1985). Mit Hilfe eines Einführungs-instruments für Augenimplantate (Carter Sphere Holder) wird das zuvor ausgemessene Implantat vorsichtig in die Bulbushülle eingebracht. Im Anschluss wird wiederholt mit steriler Kochsalzlösung gespült (GELATT, WHITLEY 2011).

Eine Alternative zum intraokulären Implantat stellen PEÑA et al. (1997) vor. In dieser Studie wurde anstelle eines Implantats Silikon-Öl in die Sklerahülle eingebracht. Vorteil dieser Methode ist, dass das Volumen dem kontralateralen Auge angepasst werden kann. Bei den fünf Hunden, die mit dieser Methode behandelt wurden, waren keine Komplikationen zu beobachten und die Patientenbesitzer sehr zufrieden mit dem kosmetischen Ergebnis (PEÑA et al. 1997). Die Sklera wird mit resorbierbarem Nahtmaterial mit Einzelheften oder einer fortlaufenden Naht verschlossen, ebenso die Konjunktiva und Tenon-Kapsel. Sofern im Vorfeld durchgeführt, wird nun auch die laterale Kanthotomie mit Einzelheften vernäht (GELATT, WHITLEY 2011). Häufig wird zum Schutz der Kornea eine vollständige temporäre Tarsorrhaphie vorgenommen (KOCH 1981; GELATT, WHITLEY 2011).

2.2.2.1 Komplikationen nach Eviszeration

In der Literatur werden Komplikationsraten von 8-14% beschrieben (BRIGHTMAN et al. 1977; KOCH 1981; WHITLEY et al. 1985; HAMOR 2002).

Bedingt durch das Implantat kann es zu Korneaerosionen und -ulzerationen kommen (WILKIE et al. 1994; LIN et al. 2007). Oft ist die Kornea schon durch das präoperativ bestehende Glaukom geschädigt. In einem Fallbericht von KOCH (1981) kam es bei einem Hund nach bilateralen Einsatz intraokulärer Prothesen bei beiden Augen zu Korneaerosionen. Nach zweimonatiger Antibiotikabehandlung kam es einseitig zu einer Implantatextrusion, in deren Folge das Implantat entfernt werden musste und das betroffene Auge enukleiert wurde. Die Korneaerosion des kontralateralen Auges heilte nach acht Wochen unter Therapie ab (KOCH 1981). Auch in anderen Studien musste in wenigen Fällen ein betroffenes Auge nach Einsatz einer intraokulären Prothese als Folge von postoperativen Komplikationen enukleiert werden (BRIGHTMAN et al. 1977; WHITLEY et al. 1985). Postoperativ entsteht oftmals ein Korneaödem als Folge des operativen Eingriffs (VESTRE et al. 1978; HAMOR et al. 1994; RUOSS et al. 1997). In den meisten Fällen bildet sich das Ödem innerhalb von 4-8 Wochen postoperativ zurück. Auch Neovaskularisation und Pigmentierungen können sich bilden und dauerhaft bestehen (MEEK 1988). Diese Veränderungen stören im Regelfall nicht. Die Gefahr von Wunddehiszenzen ist erhöht, wenn der Zugang direkt über den Limbus erfolgt (GELATT, WHITLEY 2011). Auch Implantatextrusionen können auftreten, besonders wenn das Implantat zu groß gewählt oder das korneale Endothel vor oder nach der Operation geschädigt wurde (COOK, PEIFFER 1985). Ebenso können Wunddehiszenzen zur Extrusion des Implantats führen (COOK, PEIFFER 1985). Infektionen im Zusammenhang mit intraokulären Prothesen treten selten auf, meistens reicht eine antibiotische Therapie zur Behandlung aus (WHITLEY et al. 1985; LIN et al. 2007). Bei etwa 10% der eviszerierten Tiere entsteht nach Implantateinsatz eine

Keratokonjunktivitis sicca (WHITLEY et al. 1985; RUOSS et al. 1997; BLOCKER et al. 2007; LIN et al. 2007). Bei Tieren, bei denen die Eviszeration auf Grund eines intraokulären Tumors durchgeführt wird, können Rezidive auftreten (NARANJO, DUBIELZIG 2014).

2.2.3 Exenteration

Unter Exenteration versteht man das Entfernen aller Strukturen der Orbita, einschließlich Bulbus, Nickhaut, Konjunktiva, Tränendrüse, Gl. zygomatica, extraokulärer Muskulatur (GELATT, WHITLEY 2011; MILLER 2013). In manchen Fällen werden auch Anteile des orbitalen Periosts entfernt (GELATT, WHITLEY 2011). Orbitale Neoplasien, therapieresistente Infektionen oder expansiv wachsende intraokuläre Tumore machen dieses radikale Vorgehen notwendig (MILLER 2013). Das chirurgische Vorgehen unterscheidet sich kaum von der transpalpebralen Eukleation, abgesehen davon, dass nahe der Orbitawand das Gewebe freipräpariert wird und die intraorbitalen Muskeln nahe der Periorbita abgesetzt und zusammen mit dem orbitalen Fettgewebe entfernt werden (GELATT, WHITLEY 2011). Laut HAMOR (2002) kann auch über einen transkonjunktivalen (subkonjunktivalen) Zugang eine Exenteration durchgeführt werden. Im knöchernen Bereich der Orbita lassen sich die Gewebe verhältnismäßig einfach entfernen, ventral und ventromedial muss jedoch sehr vorsichtig vorgegangen werden, da hier die Orbita durch Muskulatur begrenzt ist (HAMOR 2002). Die Gefahr von Blutungen ist bei dieser OP-Technik deutlich höher (GELATT, WHITLEY 2011). Der Wundverschluss erfolgt in mehreren Schichten (GELATT, WHITLEY 2011).

Die Komplikationen, die postoperativ auftreten können, sind gleich den Komplikationen nach Eukleation, allerdings ist die postoperative Schwellung deutlich stärker, zudem kommt es zu einer stärkeren Wundkontraktur (COOK, PEIFFER 1985).

2.3 Orbitaimplantate

2.3.1 Orbitaimplantate in der Humanmedizin

Der Begriff Implantat ist eine zusammenfassende Bezeichnung für Stoffe und Teile, die zur Erfüllung bestimmter Ersatzfunktionen für einen begrenzten Zeitraum oder auf Lebenszeit in den menschlichen Körper eingebracht werden (PSCHYREMBEL 2014). Unter dem Begriff Prothese versteht man den künstlichen Ersatz von Körperteilen, z.B. eines Auges (PSCHYREMBEL 2014). Beide Begriffe, Implantat und Prothese, können durchaus synonym verwendet werden.

Im Jahre 1583 beschreibt Bartisch erstmals die Durchführung einer Eukleation. In den folgenden Jahrhunderten wurde die Eukleationstechnik immer weiter entwickelt. Einen

großen Beitrag dazu leisteten Tenon (1806) mit seiner Beschreibung der Anatomie und Bonnét (1841) und Ferral (1841) mit Etablierung der heutigen E nukleationstechnik (zitiert nach GUTHOFF et al. (1995)).

TYERS und COLLINS beschrieben 1982 den Volumenverlust nach E nukleation ohne Implantateinsatz als Postenukleations-Socket-Syndrom. Durch die Entfernung des Bulbus entsteht lt. TYERS und COLLINS (1982) ein Raum von 7 cm³, wenn Fettgewebnekrosen hinzukommen zusätzlich nochmal 2-3 cm³ (TYERS, COLLINS 1982). Das klinische Bild ist geprägt durch eine vertiefte Oberlidfurche, eine Ptosis sowie einen Enophthalmus der Prothese. Das sichtbar überdehnte Unterlid führt zur Subluxation der Prothese (TYERS, COLLINS 1982). In der Literatur werden unterschiedliche Ursachen für das Postenukleations-Socket-Syndrom diskutiert. So ist laut SOLL (1986) und GUTHOFF (1992) die Atrophie des orbitalen Fettgewebes für die vertiefte Oberlidfurche verantwortlich (SOLL 1986; GUTHOFF 1992). SMIT und KOORNEEF (1990) hingegen beschreiben als Ursache eine Umverteilung des Fettgewebes nach kaudoventral (SMIT, KOORNEEF 1990). In der computertomografischen Studie von SMIT und KOORNEEF (1990) wurde die Retraktion des M. rectus superior und des M. levator-Komplexes für das Post-E nukleations-Socket-Syndrom verantwortlich gemacht (SMIT, KOORNEEF 1990). Die Ptosis wird von verschiedenen Autoren durch das Absacken der extraokulären Muskulatur erklärt (GUTHOFF 1992; KOHLHAAS et al. 1998). SMIT und KOORNEEF (1990) hingegen sind der Auffassung, dass die Ptosis durch intraoperative Schädigung des M. levator oder Narbenbildung verursacht wird (SMIT, KOORNEEF 1990). Um den Volumenverlust auszugleichen, gibt es in der Humanmedizin seit über hundert Jahren das Bestreben geeignete Orbitaimplantate zu entwickeln, wobei das Orbitaimplantat nur bedingt eine funktionelle Prothese darstellt; es dient vielmehr als Volumenersatz (DRESP 2009).

1884 versuchte Mules (Mules, G. 1884, zitiert nach SMIT (1991); (SMIT et al. 1991)) erstmals das verlorene Bulbusvolumen nach Eviszeration mit einer Glaskugel zu ersetzen. 1887 setzte Frost im Anschluss einer E nukleation eine Glaskugel in die Orbita (Tenon Kapsel) (FROST 1887). Im Laufe der Entwicklung der Orbitaimplantate, wie wir sie heute kennen, wurde eine Vielzahl an Materialien verwendet. Seit dem 19. Jahrhundert kamen in der Humanmedizin Materialien wie Silikon, Hydroxylapatit, Glas, Silber, Holzkugeln, Knorpel und Knochen als Implantat zum Einsatz (PERRY 1990; SAMI et al. 2007; DRESP 2009).

Eine neue E nukleationstechnik mit anschließendem Implantateinsatz beschrieb SOLL (1972). Dabei wird das Implantat tiefer in den Muskelkonus eingebracht und tief in die posteriore Tenon Kapsel eingebettet. PERRY (1990) beschreibt drei wesentliche Vorteile dieser OP-Technik: 1) es können größere Implantate verwendet und damit das

Volumendefizit reduziert werden, 2) das Auftreten von Migration wird verringert und 3) durch Verschluss der Tenon Kapsel über dem Implantat werden Extrusionsraten verringert.

1982 definierte SOLL (1982) die Anforderungen, die ein Orbitaimplantat als Bulbusersatz erfüllen sollte: 1) vollständige Abdeckung durch Körpergewebe, 2) einfache Konstruktion, 3) keine scharfen Ränder, 4) geringes Eigengewicht des Implantats, 5) keine bedeckten Tunnel, 6) biologisch inertes Material (SOLL 1982).

In der Humanophthalmologie unterscheidet man primäre und sekundäre Implantate. Primäre Implantate werden zum Zeitpunkt der Eukleation in die Tenon Kapsel eingesetzt, sekundäre Orbitaimplantate werden zu einem späteren Zeitpunkt nach der Eukleation posterior der Tenon Kapsel in das orbitale Fettgewebe eingebracht (TYERS, COLLINS 1982). Der Einsatz von sekundären Implantaten ist gegenüber den primären Implantaten erschwert, zudem ist die Beweglichkeit reduziert (TYERS, COLLINS 1982).

Zu den im Allgemeinen bekannten Komplikationen im Zusammenhang mit Orbitaimplantaten gehören die Implantatmigration, -exposition, -extrusion und -infektion (CHALASANI et al. 2007). Beim Einsatz von Orbitaimplantaten sollte die Größe des Implantats so groß wie möglich gewählt werden, um die Orbita gut auszufüllen, es ist aber darauf zu achten, dass das Implantat nicht zu groß gewählt wird, da es sonst zu Extrusionen kommen kann (TYERS, COLLINS 1982; JOHNSON 1990; CUSTER, TRINKAUS 1999). In einer Studie von THALLER (1997) zur Vermessung der anophthalmischen Augenhöhle konnte gezeigt werden, dass das verlorengegangene Orbitavolumen zu gering eingeschätzt wird und dadurch zu klein gewählte Implantate eingesetzt werden (THALLER 1997). Diese Volumendefizite bleiben durch postoperative Ödembildung mitunter mehrere Monate bis zum vollständigen Rückgang des Ödems verborgen (THALLER 1997). Allerdings konnte von verschiedenen Autoren nachgewiesen werden, dass nicht allein der Implantatdurchmesser von Bedeutung für das Auftreten von Komplikationen ist, sondern vielmehr die posteriore Positionierung des Orbitaimplantats (NUNERY et al. 1993; KALTREIDER, NEWMAN 1996). Ebenso kann ein zu klein gewähltes Implantat das Volumendefizit nicht vollständig ausgleichen (CUSTER 2000; AMATO et al. 2003). Die Migrationsneigung von Orbitaimplantaten ist erhöht, wenn keine Fixierung der extraokulären Muskulatur über dem Implantat stattfindet. Die Implantatmigration findet meist nach ventral und lateral statt und zeichnet sich durch einen flachen inferioren Fornix aus (TYERS, COLLINS 1982). Die häufigsten Ursachen für eine frühe Implantatexposition sind fehlerhafte OP-Techniken oder Infektionen, die zu einer Wunddehiszenz führen (TYERS, COLLINS 1982; KOHLHAAS et al. 1998). Der Einsatz des Implantats tief in die posteriore Orbita ermöglicht einen Wundverschluss mit weniger Zugspannung auf der Konjunktiva (RUBIN et al. 1998). Auch zu groß gewählte Implantate, die Spannung auf den Wundbereich ausüben, können

Nahtdehiszenzen zur Folge haben (ANDERSON et al. 1990; KOHLHAAS et al. 1998). Bei mangelhafter Hygiene oder chronischen Infektionen des Implantatbodens (socket) kann es auch zu einem späteren Zeitpunkt noch zu Implantatexpositionen und -extrusionen kommen (TYERS, COLLINS 1982). Wird die extraokuläre Muskulatur am Implantat fixiert, so ist darauf zu achten, dass diese spannungsfrei fixiert wird, da sonst postoperativ ein zu starker Muskeldruck / Muskelzug auf das Implantat einwirkt, der zum Heraushebeln des Implantats führen kann (KOHLHAAS et al. 1998). Auch das Vorhandensein von Poren im Implantatmaterial und dementsprechend der Porendurchmesser haben Einfluss auf die Stabilität eines Implantats, denn die Poren ermöglichen das Einwachsen von fibrovaskulärem Gewebe in das Implantat (MAWN et al. 1998; CHALASANI et al. 2007). Es hat sich gezeigt, dass Porendurchmesser von 150 bis 700 µm optimal für das Einwachsen von fibrovaskulärem Gewebe sind (SON 2012).

In der Humanmedizin wird nach Einsatz eines Implantats im Regelfall zusätzlich eine Prothese eingesetzt. Der schlechte Sitz einer solchen Prothese kann ebenfalls zur Duckatrophie von Bindehaut und Tenon und somit zu Komplikationen führen (ANDERSON et al. 1990; KOHLHAAS et al. 1998).

Bis heute ist die Suche nach dem idealen Implantat nicht abgeschlossen. In den letzten Jahrzehnten wurden verschiedenste Implantate aus den unterschiedlichsten Materialien entwickelt. Im folgenden Abschnitt soll eine kleine Auswahl von Orbitaimplantaten aus der Humanophthalmologie kurz besprochen werden.

2.3.1.1 Silikonimplantate

Silikon wird in der Medizin in den verschiedensten Bereichen eingesetzt, da es hervorragend bioverträglich und kostengünstig ist (SON 2012). Die vergleichsweise schlechte Motilität und das Unvermögen von fibrovaskulärem Wachstum in das Silikonimplantat begrenzen den Einsatz in der Anophthalmuschirurgie. Silikonimplantate weisen höhere Extrusionsraten als andere in der Humanophthalmologie eingesetzte Implantatmaterialien auf (SON 2012).

NUNERY et al. (1993) beschreiben eine E nukleationstechnik mit anschließenden Einsatz von Silikonkugeln in die anophthalmische Augenhöhle. Bei dieser OP-Technik wird das Implantat mit Spendersklera umhüllt, um darüber die extraokulären Muskeln zu fixieren. Dieses chirurgische Vorgehen zeigte eine gute Motilität des Implantats (NUNERY et al. 1993). In der Studie von NUNERY et al. (1993) an 48 Patienten, die ein primäres Implantat erhielten, wurden keine Fälle von Extrusion oder Exposition der eingesetzten Silikonimplantate beobachtet. Allerdings beschreibt der Autor in einem Fall das Auftreten einer Implantatexposition nach sekundärer Implantation (NUNERY et al. 1993).

WELLS und HARRIS (2011) beschreiben eine ähnliche OP-Technik mit Einsatz einer soliden Silikonsphäre bei 75 Patienten mit Fixation der extraokulären Muskulatur am Implantat. In dieser Fallstudie traten lediglich bei zwei Patienten Komplikationen in Form einer Implantatluxation und einer Implantatexposition auf (WELLS, HARRIS 2011). Diese OP-Technik birgt laut der Autoren ein geringes Komplikationsrisiko (WELLS, HARRIS 2011). 2012 entwickelte SON (2012) ein poröses Silikonimplantat für die Anophthalmuschirurgie. Dieses neue Silikonimplantat ermöglicht mit seiner Porengröße (200 - 800 µm) das Einwachsen von fibrovaskulärem Gewebe in das Implantat (SON 2012). Ein Haltestift für eine Prothese kann jedoch nicht angebracht werden. Das neue poröse Silikonimplantat wurde bisher erfolgreich im Tierversuch getestet (SON 2012).

2.3.1.2 Hydroxylapatit-Implantate

Korallines Hydroxylapatit besteht vorwiegend aus Calcimphosphat, wie es auch im menschlichen Knochen zu finden ist. Dieses Material ist hoch biokompatibel, nicht toxisch und hypoallergen (PERRY 1990; NORDA, MEYER-RUSENBERG 2003). Entwickelt wurde das Implantat von PERRY (1990). Die spongiöse Struktur des Hydroxylapatits ermöglicht das Einwachsen von fibrovaskulärem Gewebe und sorgt damit für eine Verankerung des Implantats in der Orbita (PERRY 1990; MCNAB 1995; NORDA, MEYER-RUSENBERG 2003). Der Porendurchmesser beträgt 300 bis 700 µm (MAWN et al. 1998; NORDA, MEYER-RUSENBERG 2003). Dieses sphärische Implantat ist in Größen von 16 mm bis 22 mm Durchmesser erhältlich. Vor Einsatz eines Hydroxylapatit-Implantats in die Orbita wird dieses umhüllt. Dafür werden Materialien wie Leichensklera oder biologisch autologe Materialien, wie Teile der Fascia lata, der Temporalisfaszie, orbitales Periost oder bindegewebige Anteile des M. rectus abdominis verwendet (NORDA, MEYER-RUSENBERG 2003). Durch die Umhüllung des Implantats wird auch das Einwachsen von fibrovaskulärem Gewebe erleichtert und damit die Migrationsgefahr verringert (PERRY 1990). Die Umhüllung des Implantats ist essenziell zur Fixierung der extraokulären Muskulatur und damit für die spätere Prothesenbeweglichkeit (SHIELDS et al. 1993). Ebenso ist es möglich das Implantat mit Rinderperikard zu umhüllen, was aber von einigen Autoren aufgrund der Gefahr einer Prioneninfektion abgelehnt wird (NORDA, MEYER-RUSENBERG 2003). Eine Alternative zu biologischen Materialien stellt die Umhüllung mit einem Vicrylnetz dar (JORDAN et al. 2003). Die Komplikationsraten bei Umhüllung des Implantats mit einem Vicrylnetz lagen in dieser Studie bei 5% (JORDAN et al. 2003). In einem Tierversuch zeigten sich in den ersten acht Wochen nach Implantation Fremdkörperreaktionen im umliegenden Gewebe, nach diesen acht Wochen war das komplette Vicrylnetz durch fibrovaskuläres Gewebe ersetzt worden (JORDAN et al. 1995). Dieses Hüllmaterial wird v.a. in Nordamerika verwendet (NORDA,

MEYER-RUSENBERG 2003). Implantate ohne Umhüllung weisen aufgrund der rauen Oberfläche eine höhere Expositionsgefahr auf (REMULLA et al. 1995). Die Implantatmotilität von umhüllten Hydroxylapatit-Implantaten ist im Allgemeinen sehr gut (NUNERY et al. 1993). Laut NORDA und MEYER-RUSENBERG (2003) gehören diese Implantate zu den weltweit am häufigsten verwendeten, als postoperative Komplikationen nennen die Autoren pathologische Bindehautveränderungen oder Nahtdehiszenzen. Ebenso sind Nekrosen der Sklerahülle als postoperative Komplikation beschrieben, die bis zur Freilegung des Implantats und seiner Extrusion führen können (NUNERY et al. 1993; REMULLA et al. 1995; NORDA, MEYER-RUSENBERG 2000). Als Ursachen dafür werden ein ungenügender Vaskularisierungsgrad des Implantats und die mechanische Reizung der Sklera aufgrund der rauen Oberfläche des Hydroxylapatits, insbesondere bei zu groß gewählten Implantaten, genannt (REMULLA et al. 1995). In einer Studie von MCNAB (1995) wurden ähnliche Komplikationen beobachtet. SHIELDS et al. (1993) konnten keine derartigen Komplikationen in ihrer Studie feststellen, allerdings traten auch hier bei 3 von 200 Patienten Wunddehiszenzen auf, die die Autoren aber mit dem schlechten Sitz der Prothese erklären (SHIELDS et al. 1993). NUNERY et al. (1993) empfehlen das Implantat tief in die Augenhöhle einzusetzen, hinter die posteriore Tenonfaszie, um damit das Risiko von Implantatextrusionen zu minimieren (NUNERY et al. 1993).

Mittlerweile ist auch synthetisches Hydroxylapatit verfügbar. Es besitzt laut NORDA und MEYER-RUSENBERG (2003) ähnliche Vor- und Nachteile wie das koralline Hydroxylapatit.

2.3.1.3 Implantate aus Hydroxylapatitkeramiken (HAK)

Zu den Hydroxylapatitkeramiken gehört die sog. „Guthoff-Plombe“. Dieses Implantat besteht aus einem anterioren laborchemisch hergestellten Hydroxylapatit-Anteil und einem posterioren Silikonanteil (GUTHOFF et al. 1995). Der anteriore Hydroxylapatit-Anteil des Implantats besitzt Poren mit einem Durchmesser von 300 bis 500µm (MAWN et al. 1998; NORDA, MEYER-RUSENBERG 2003). Im Inneren des Implantats befindet sich ein Lufteinschluss, dadurch ist das Implantat leichter (GUTHOFF et al. 1995). Auf dem porösen anterioren Anteil befinden sich Furchen über denen die extraokuläre Muskulatur vernäht wird (GUTHOFF et al. 1995). Eine Umhüllung ist bei diesem Implantat nicht erforderlich (NORDA, MEYER-RUSENBERG 2003). In einer retrospektiven Studie von KOHLHAAS et al. (1998) traten Komplikationen im Zusammenhang mit den HAK-Silikonimplantaten in Form von konjunktivalen Dehiszenzen und Implantatrotation auf. Histologisch konnte eine fibröse Kapselbildung bei zwei entfernten Implantaten mit chronisch granulomatöser Entzündung festgestellt werden. Das Einwachsen von fibrovaskulärem Gewebe war in diesen Fällen sehr gering (KOHLHAAS et al. 1998).

2.3.1.4 Methyl-Methacrylat

Zu den Methyl-Methacrylat-Implantaten gehört das „Universal Implant“, welches von ANDERSON et al. (1990) entwickelt wurde. Dieses Implantat stellt eine Spezifikation des IOWA-Implantats von ALLEN et al. (1960) dar. Dieses Implantat verfügt über eine konvexe, halbkugelförmige Hinterfläche. Auf der Vorderfläche befinden sich vier kleine Hügel, zwischen diesen verläuft horizontal und vertikal eine Rinne. Das „Universal Implant“ weist im Gegensatz zum IOWA-Implantat kleinere abgerundete Wölbungen auf. Mehrere Tunnel-Bohrungen ermöglichen das Einsprossen von fibrovaskulärem Gewebe, wodurch ein stabiles Gefüge zwischen dem Implantat und der Tenonkapsel sowie den extraokulären Muskelsträngen entsteht (ANDERSON et al. 1990). Wie bei anderen Implantatmodellen können auch beim „Universal Implant“ Komplikationen wie Extrusion, Migration, Drucknekrosen, Wunddehiscenzen und Infektionen auftreten (ANDERSON et al. 1990). Dieses Implantat ist in verschiedenen Größen verfügbar und kann sowohl primär als auch sekundär nach Enukleation eingesetzt werden, sowie nach Eviszeration (ANDERSON et al. 1990).

2.3.1.5 Polyethylen (Medpor)

Das poröse hochverdichtete Polyethylen wird schon seit vielen Jahrzehnten in der rekonstruktiven Knochenchirurgie eingesetzt. Im Gegensatz zu Hydroxylapatit-Implantaten ist dieses synthetische Material weicher und kann intraoperativ mit einem Skalpell bearbeitet werden (NORDA, MEYER-RUSENBERG 2003), diese Materialbeschaffenheit erlaubt auch die Fixierung der extraokulären Muskeln am Implantat (KARESH, DRESNER 1994). Polyethylen-Implantate können ohne Umhüllung als Orbitaimplantat verwendet werden. In einer Studie von CHEN und CUI (2006) konnten nur in 1% der Fälle (3/302) Komplikationen beobachtet werden. Polyethylen-Implantate weisen eine gute Verträglichkeit auf und ermöglichen das Einwachsen von fibrovaskulärem Gewebe (KARESH, DRESNER 1994; CHEN, CUI 2006). Allerdings zeigte eine Studie von REMULLA et al. (1995), dass das Einwachsen von fibrovaskulärem Gewebe auf die Peripherie beschränkt ist. Der Porendurchmesser dieses Implantatmaterials liegt bei etwa 100 bis 500µm (MAWN et al. 1998; NORDA, MEYER-RUSENBERG 2003). Diese Implantate sind in Größen von 16 mm bis 22 mm in kugelförmiger und konischer Form erhältlich (NORDA, MEYER-RUSENBERG 2003).

2.3.2 Orbitaimplantate in der Veterinärmedizin

Die Enukleation eines Auges wird häufig in der Veterinärmedizin durchgeführt. Nach Entfernung des Augapfels erscheinen die Lider eingesunken (HAMOR et al. 1992; RAMSEY,

FOX 1997). Besonders auffällig ist die eingesunkene Orbita bei kurzhaarigen Tieren, sowie mesozephalen und dolichocephalen Rassen mit tiefer Orbita (NASISSE et al. 1988; RAMSEY, FOX 1997). Für dieses Erscheinungsbild gibt es in der Literatur unterschiedliche Erklärungen. Zum einen spielt das durch die Entfernung des Augapfels verlorene Volumen eine große Rolle, zum anderen wird davon ausgegangen, dass das extraokuläre Gewebe atrophiert (PROVOST et al. 1989). Aus diesem Grund scheuen sich viele Tierbesitzer davor, diesen Eingriff bei ihrem Tier vornehmen zu lassen (LETTOW 1987; HAMOR et al. 1992). Durch Einsatz eines Orbitaimplantats kann diesem Erscheinungsbild vorgebeugt werden (GELATT, WHITLEY 2011). Der Einsatz eines Implantats wird als sichere und kostengünstige Methode zur Verbesserung des postoperativen Erscheinungsbildes angesehen (HAMOR et al. 1992; MILLER 2013).

Die Größe des Implantats wird so gewählt, dass es die Orbita ausfüllt und annähernd die Größe des kontralateralen Bulbus aufweist (HAMOR et al. 1992; MICHAU, GILGER 2004; GELATT, WHITLEY 2011). Bei Hunden variiert der Durchmesser des Implantats zwischen 12 mm und 28 mm (HAMOR et al. 1994). MILLER (2013) gibt Implantatdurchmesser von 16-22 mm bei Hunden und Katzen an. Bei brachycephalen Hunden können kleinere Implantatdurchmesser verwendet werden, wohingegen bei dolichocephalen Hunden größere Implantate notwendig sind (NASISSE et al. 1988; CHO 2008).

In der Veterinärmedizin werden Silikonimplantate oder Methyl-Methacrylat-Kugeln als Orbitaimplantat verwendet (NASISSE et al. 1988; HAMOR et al. 1994; YI et al. 2009; MILLER 2013).

Bei Verwendung eines Silikonimplantats wird die anteriore Fläche des Implantats mit einem Skalpell abgeflacht, damit die konvexe Kontur des Implantats weniger prominent ist und weniger Zugbelastung auf die Hautnaht ausgeübt wird (SPIESS, WALLIN-HAKANSON 1981; GELATT, WHITLEY 2011; MILLER 2013). Ein Silikonimplantat kann auch ohne Abflachung eingesetzt werden (TOTH, HOLLERRIEDER 1999). Nach Einsetzen eines Implantats wird das orbitale Gewebe mit nicht resorbierbarem Nahtmaterial verschlossen, um das Implantat an seinem Platz zu fixieren und Rotationen zu vermeiden (SPIESS, WALLIN-HAKANSON 1981; GELATT, WHITLEY 2011). Es muss darauf geachtet werden, dass das subkutane Gewebe das Implantat vollständig umschließt, um die Gefahr einer Implantatextrusion zu verringern (HAMOR et al. 1992; HAMOR 2002).

NASISSE et al. (1988) haben in ihrer Studie bei 78 Hunden und Katzen Methyl-Methacrylat-Kugeln nach Eukleation eingesetzt. Die Implantate wurden in den orbitalen Konus eingebracht und die Tenon Kapsel über den Implantaten vernäht. Danach erfolgte der übliche Wundverschluss. In dieser Studie wurden Implantatdurchmesser von 14 bis 22 mm verwendet. Die passende Größe wurde intraoperativ anhand des äußeren

Erscheinungsbildes bezüglich der Symmetrie zum kontralateralen Auge ausgewählt. Postoperativ traten bei den meisten Patienten Schwellungen auf, diese waren vor allem bei brachycephalen Hunden sehr ausgeprägt. Komplikationen traten bei drei Hunden und zwei Katzen auf. Als Komplikation traten traumatische Implantatrotation, spontane Extrusion des Implantats und Wundinfektion auf. Bei zwei Katzen wurden Flüssigkeitsansammlungen um das Implantat herum beobachtet, das Implantat musste jedoch in beiden Fällen nicht entfernt werden. Bei den Katzen stellte sich der operative Einsatz der Implantate schwierig dar, da die Orbita sehr groß ist, aber nur wenig Tenon-Gewebe zum Verschluss über dem Implantat vorhanden war. Dies könnte nach Meinung der Autoren Ursache für die Flüssigkeitsansammlung um das Implantat sein (NASISSE et al. 1988).

YI et al. (2009) untersuchten in einer Studie die Beweglichkeit von Prothesen nach Implantateinsatz beim Hund. Die Autoren teilten ihre Patienten in drei Gruppen ein, Gruppe I Enukleation mit Silikonimplantat, Gruppe II Eviszeration mit Silikonimplantat, Gruppe III Eviszeration mit Silikonimplantat mit Haltestift (Medpor MCP). Es zeigte sich, dass die Motilität bei den enukleierten Tieren mit Silikonimplantateinsatz deutlich geringer war als bei Tieren, bei denen eine Eviszeration mit Implantateinsatz durchgeführt wurde. Zusätzlich wurde die Motilität einer eigens dem jeweiligen Tier angepassten Prothese getestet. Eine Prothesenmotilität konnte nur in den beiden Gruppen, bei denen die Eviszeration durchgeführt wurde, festgestellt werden, wobei Tiere mit MCP-Einsatz eine deutlich bessere Motilität aufwiesen. Schwere Komplikationen traten bei keinem der Tiere auf (YI et al. 2009).

Beim Pferd wurde der Einsatz von Hydroxylapatit-Implantaten durchgeführt. Hierbei wurde das Implantat genau wie in der Humanmedizin mit Spendersklera (vom Pferd) umhüllt und die extraorbitale Muskulatur an der Umhüllung vernäht (MICHAU, GILGER 2004). Die eingesetzten Implantate wiesen eine geringe Motilität und gute Verträglichkeit auf. Der kosmetische Erfolg war sehr zufriedenstellend (MICHAU, GILGER 2004).

TALIERI et al. (2004) verwendeten Methyl-Methacrylat in seinem modellierbaren Zustand um die Orbita von Hunden nach Exenteration aufzufüllen. Sie formten das Methyl-Methacrylat und füllten die Orbita bis zum knöchernen Orbitarand damit auf. Während der exothermen Reaktion, unter der das Methyl-Methacrylat aushärtet, kühlten sie das umliegende Gewebe mit steriler Kochsalzlösung. Über dem ausgehärteten Methyl-Methacrylat wurde erst die Konjunktiva und im Anschluss die Haut vernäht. Die Wunden verheilten ohne Komplikationen. In vorhergehenden Studien wurden ähnliche Versuche mit Methyl-Methacrylat bei Pferden und Kaninchen durchgeführt (BRYAN et al. 1992; RAHAL et al. 1996). BRYAN et al. (1992) beobachteten einige Monate nach Einsatz des Methyl-

Methacrylats bei Pferden eine Atrophie des das Implantat umgebenden Gewebes. Damit verbunden war auch der Verlust des kosmetisch ansprechenden Erscheinungsbildes, da es lokal zum Einsinken der Haut über dem Implantat kam. Ähnliche Komplikationen konnten auch in der Studie von RAHAL et al. (1996) beobachtet werden. Die Atrophie des umgebenden Gewebes wurde auf die exotherme Reaktion des Methyl-Methacrylats beim Aushärten zurückgeführt (RAHAL et al. 1996). TALIERI et al. (2004) gehen davon aus, dass diese Komplikation in der eigenen Studie nicht aufgetreten ist, weil das Methyl-Methacrylat allseits von der knöchernen Orbita umschlossen war.

ORIA et al. (2015a) entwickelten aus Polymethylmethacrylat ein eigenes Implantat mit untereinander verbundenen Tunneln. Dieses Implantat testeten die Autoren an 31 Hunden und 11 Katzen mit sehr guten Ergebnissen. Durch die im Implantat befindlichen Tunnel konnte das Implantat intraoperativ innerhalb der Orbita fixiert werden. Zudem ermöglichten die Tunnel das Einwachsen von fibrösem Gewebe. In der beschriebenen Studie wurden Implantatgrößen von 12 - 24 mm Durchmesser verwendet. Die Langzeitergebnisse waren kosmetisch sehr zufriedenstellend. Schwere Komplikationen konnten nicht beobachtet werden. Es traten zwar Implantat-Rotationen auf, diese spielten jedoch für das kosmetische Erscheinungsbild keine Rolle.

Als Alternative zu intraorbitalen Implantaten können auch nichtresorbierbare Nahtmaterialien verwendet werden, um daraus ein Implantatnetz zu gestalten, welches den rostralen Orbitalrand überdeckt und somit ein Einsinken der Lider nach Eukleation verhindert (RAMSEY, FOX 1997). Bei dieser operativen Versorgung der anophthalmischen Orbita konnten in einer Studie von HAMOR et al. (1993) keine Komplikationen beobachtet werden.

Mögliche Komplikationen nach Implantateinsatz können sein: Wunddehiszenzen, Implantatextrusion, traumatische Dislokation des Implantats, Implantatrotation, Infektionen oder die Bildung eines orbitalen Seroms (NASISSE et al. 1988; HAMOR et al. 1994; CHO 2008). Wenn postoperativ Infektionen entstehen, wird häufig die Entfernung des Implantats erforderlich (GELATT, WHITLEY 2011). Kommt es zur Rotation des Implantats, geschieht dies meist spontan oder nach Trauma (HAMOR et al. 1992). Ein rotiertes Implantat ist als nach außen gewölbte (Lid)-Oberfläche der Haut erkennbar, dies führt jedoch nicht zwingend zu einer Implantatextrusion (HAMOR et al. 1992). In der Studie von HAMOR et al. (1993) traten bei zwei Hunden Implantatrotationen auf, in einem Fall spontan, in dem anderen Fall als Folge eines Unfalls. In beiden Fällen war keine operative Versorgung erforderlich. Auch ein zu groß gewähltes Implantat kann eine Implantatextrusion bedingen (MICHAU, GILGER 2004). Bei Katzen werden höhere Extrusionsraten von etwa 5% im Gegensatz zu Hunden beobachtet (HAMOR et al. 1993; MILLER 2013). GELATT und WHITLEY (2011) geben

sogar Extrusionsraten von 20 bis 40% bei der Katze an, die Gründe hierfür sind bisher nicht bekannt (GELATT, WHITLEY 2011). Bei Katzen bilden sich mitunter Flüssigkeitsansammlungen um das Implantat, diese sind aseptisch (GELATT, WHITLEY 2011). Bei Hunden liegt die Zufriedenheit der Besitzer mit dem kosmetischen Ergebnis nach Implantateinsatz bei 98 bis 99% (MILLER 2013). Die Zufriedenheit der Besitzer mit dem kosmetischen Bild konnte auch in anderen Studien festgestellt werden (HAMOR et al. 1993).

2.4 Arbeitshypothese und Ziele dieser Arbeit

Die Enukleation ist in der Veterinärmedizin ein häufig durchgeführter operativer Eingriff. Vielen Tierhaltern fällt es schwer, solch einen Eingriff bei ihrem Tier durchführen zu lassen. Die Tierbesitzer scheuen sich vor dem kosmetischen Bild einer eingesunkenen Orbita nach Enukleation. In der Literatur sind viele Studien zu finden, bei denen mittels verschiedener OP-Techniken und Implantate versucht wurde, das kosmetische Bild nach Enukleation und damit die Akzeptanz der Besitzer zu verbessern (NASISSE et al. 1988; HAMOR et al. 1993; RAMSEY, FOX 1997; TOTH, HOLLERRIEDER 1999; YI et al. 2009), doch diese Implantate und OP-Techniken bergen Nachteile und Komplikationen.

Zur Entwicklung eines geeigneten Implantats für Hunde und Katzen ist es entscheidend, die Ausmaße der Orbita beider Tierarten genau zu kennen. Dafür muss die Orbita vermessen werden. In der Humanmedizin gibt es verschiedene Untersuchungen zur Vermessung der Orbita beim Menschen (THALLER 1997; CUSTER, TRINKAUS 1999; KALTREIDER et al. 1999; KALTREIDER 2000). In der Veterinärmedizin sind bisher keine vergleichbaren computertomografischen Studien an Hunden und Katzen zu finden.

Ziel dieser Studie war es, die Orbita von Hunden und Katzen sinnvoll und reproduzierbar zu vermessen. Es wurde eine praktikable, leicht durchführbare und für andere Veterinärmediziner anwendbare Messmethode entwickelt. Dabei wurde besonderes Augenmerk auf die unterschiedlichen Kopfformen und Körpergrößen der Tiere gelegt. Es sollte die Hypothese überprüft werden, dass es deutliche Unterschiede zwischen brachycephalen, mesozephalen und dolichocephalen Hunderassen bezüglich der Ausdehnung der Orbita gibt. Ebenso sollte der Einfluss der Körpergröße bezüglich des Körpergewichts auf das Volumen der Orbita untersucht werden. Gleiche Zusammenhänge, wenn auch weniger prägnant, wurden für die Orbita von verschiedenen Katzenrassen angenommen. Die vorliegenden Messergebnisse sollen dazu beitragen, ein geeignetes Orbitaimplantat für Hunde und Katzen in verschiedenen Implantatgrößen zu entwickeln.

3 Material und Methoden

3.1 Vorversuche

3.1.1 Voruntersuchungen

Alle beschriebenen CT Untersuchungen wurden an der Klinik für kleine Haustiere der Freien Universität mit einem Computertomografen der Firma Siemens (Light Speed QXi, GE Medical Systems, Milwaukee WI, USA) durchgeführt. In den hier abgebildeten CT-Schnittbildern finden sich folgende Informationen:

Der **linke obere Quadrant** enthält (in folgender Reihenfolge):

CT-Einstellungen, Schnittebene, interne Untersuchungsnummer, Seriennummer, Schichtposition im Scout, Vergrößerungsmaßstab (DFOV), verwendeter Filter (z.B. Detail)

Der **linke untere Quadrant** enthält:

Aufnahmeparameter (kV, mA), Schichtdicke in mm, Röhrenneigung (Gantryneigung), Umlaufzeit, Window width und Window level (=Fensterweite und Fensterlänge)

Der **rechte obere Quadrant** enthält:

Untersuchungsort, Patientendaten (Name), ID-Nummer, Untersuchungsdatum

Der **rechte untere Quadrant** enthält:

Übersicht über die Position des Schnittbildes

Zur Auswertung der CT-Aufnahmen wurde das CT-eigene Bildbetrachtungsprogramm (Volume Viewer Plus Vxtool 5.11.3) genutzt.

3.1.1.1 Computertomografische Untersuchung anhand von Schädelpräparaten

In einer ersten computertomografischen Studie wurden vier Schädel von Hunden und drei Schädel von Katzen unterschiedlicher Rassen aus der Anatomischen Sammlung des Instituts für Veterinär-Anatomie des Fachbereichs Veterinärmedizin der Freien Universität Berlin untersucht. Ziel dieses Versuchs war es, geeignete knöcherne Strukturen zu identifizieren, die bei jedem Tier zuverlässig auffindbar sind und zur Entwicklung von Messstrecken zur Vermessung der Ausdehnung der Orbita beitragen können.

Alle Schädel wurden mit dem harten Gaumen parallel zur Tischebene gelagert (Abbildung 1). Für die Untersuchung der Hundeschädel wurde die Einstellung LWS Spirale, 200mA und ein Knochenfenster gewählt, bei einem Tischvorschub von 1,25 mm. Damit ergaben sich 1,2 mm Transversalschnitte. Zusätzlich zu den Nativaufnahmen wurden die Hundeschädel in einer zweiten computertomografischen Untersuchung bei gleicher Einstellung mit vier Bleimarken

versehen. Die Bleimarken wurden beidseits jeweils am höchsten Punkt des Os frontale am Proc. zygomaticus und des Os zygomaticum am Proc. frontalis angebracht (Abbildung 1 und Abbildung 3).

Für die Untersuchung der Katzenschädel wurden die Einstellungen Heimtier Kopf, 200mA und ein Knochenfenster gewählt, bei einem Tischvorschub von 0,6 mm. Damit ergaben sich Transversalschnitte von 0,6 mm Schichtdicke. Bei allen vier Katzenschädeln wurden ausschließlich Nativaufnahmen angefertigt. Zur vereinfachten Lagerung des harten Gaumens parallel zur Tischebene wurden alle Katzenschädel ohne Unterkiefer (Os mandibulare) untersucht (Abbildung 2).



Abbildung 1: Lagerung der Hundeschädel mit Bleimarken am Proc. frontalis und Proc. zygomaticus (roter Punkt).

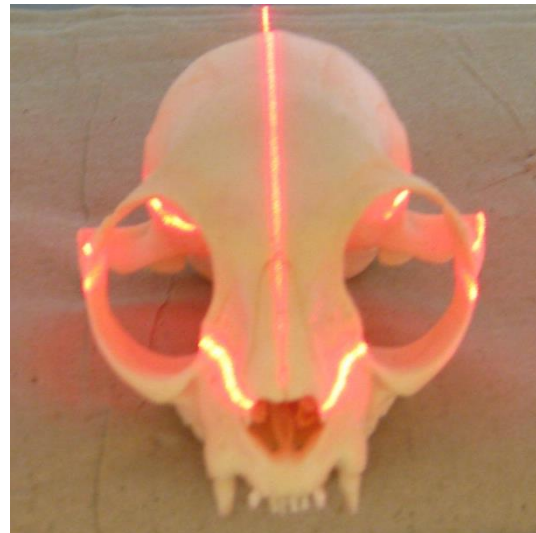


Abbildung 2: Lagerung der Katzenschädel im CT mit rotem Laserkreuz.

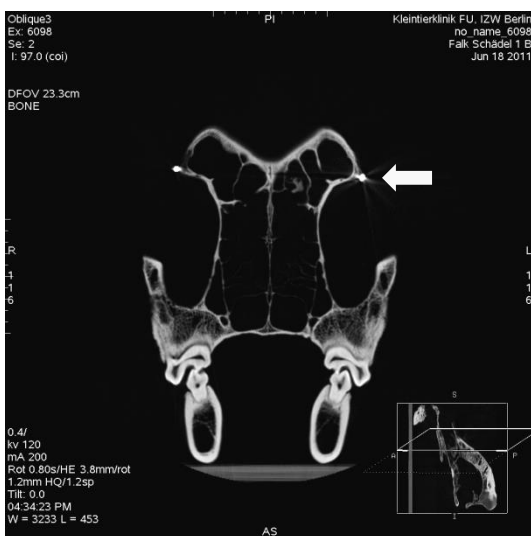


Abbildung 3: CT-Schnittbild(Transversalebene) eines Hundeschädels mit angebrachten Bleimarken am Proc. zygomaticus (Pfeil).

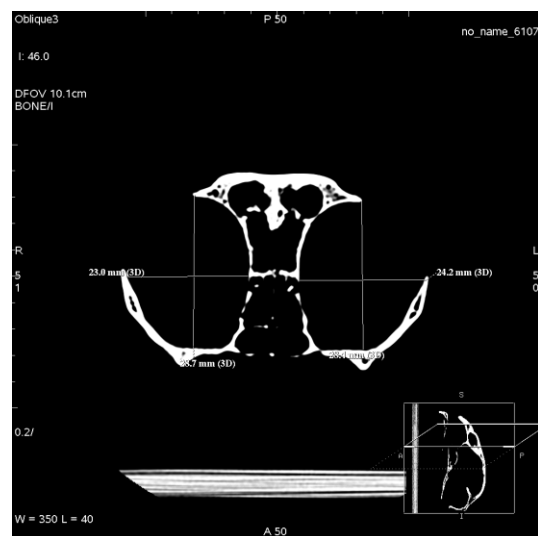


Abbildung 4: CT-Schnittbild (Transversalebene) eines Katzenschädels.

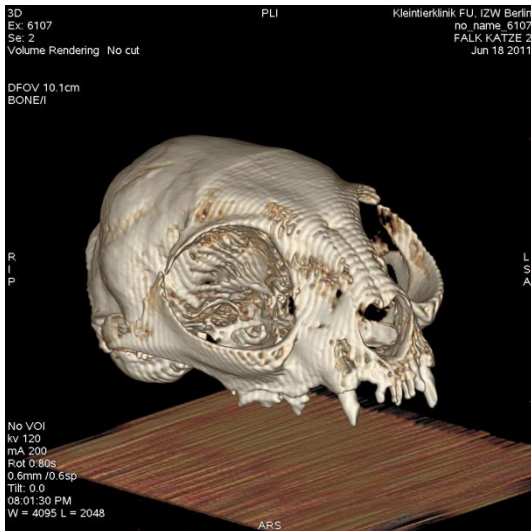


Abbildung 5:
3D Rekonstruktion der CT-Aufnahme eines
Katzenschädels.

Die Ergebnisse der computertomografischen Untersuchung der Katzen- und Hundeschädel haben gezeigt, dass bei Hunden und Katzen keine geeigneten Knochenpunkte zur reproduzierbaren Vermessung der Orbita verfügbar sind. Die Lage und Größe des Bulbus sowie seiner Anhangsorgane und die Lage und Ausdehnung der die Orbita begrenzenden Weichteilgewebe waren an den Schädelpräparaten nicht nachvollziehbar.

Bei allen untersuchten Hundeschädeln waren der Proc. frontalis und Proc. zygomaticus auch ohne Bleimarke sehr gut auffindbar.

Bei den untersuchten Katzenschädeln war die teilweise geschlossene Orbita in den Transversalschnitten nicht vollständig darstellbar.

Zwar konnten der Proc. frontalis und der Proc. zygomaticus dargestellt werden, diese beiden knöchernen Strukturen reichen als solche jedoch nicht aus, die komplette Orbita sinnvoll zu vermessen.

Es wurden Messungen an den Schichtbildaufnahmen und an den 3D Knochenrekonstruktionen durchgeführt. Diese Messungen führten zu abweichenden Messergebnissen. Es ist davon auszugehen, dass auf Grund der fehlenden Orientierungspunkte in der 3D Knochenrekonstruktion in einer anderen Schnittebene die Orbita vermessen wurde und sich deshalb verschiedene Messergebnisse ergaben (vgl. Abbildung 8 und 9 mit Abbildung 10).

Aufgrund dieser Ergebnisse wurden keine weiteren Messversuche an den anatomischen Schädelpräparaten durchgeführt (Abbildung 6 bis Abbildung 10).

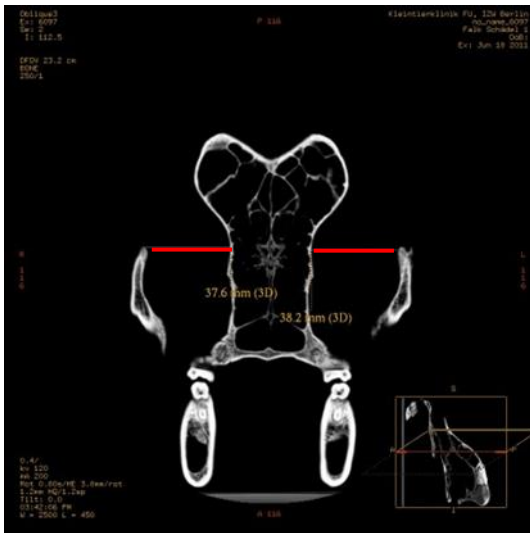


Abbildung 6: CT-Schnittbild (Transversalebene) eines Hundeschädels mit beidseits in den Orbitae eingezeichneten Messstrecken. Die Messstrecken verlaufen horizontal zwischen dem Proc. frontalis und der medialen Orbitawand.

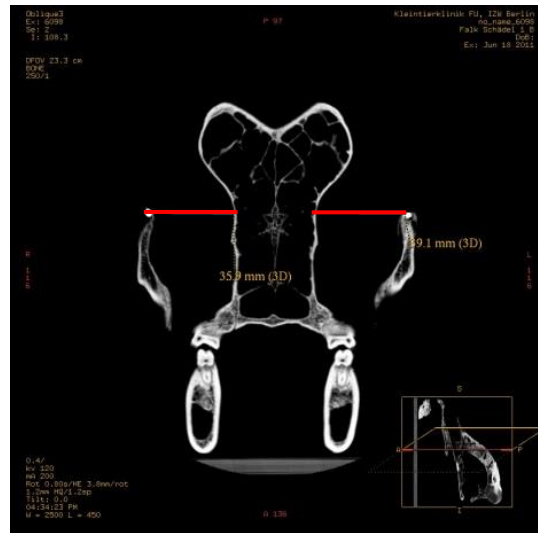


Abbildung 7: CT-Schnittbild (Transversalebene) eines Hundeschädels mit beidseits am Proc. frontalis befestigten Bleimarken. In beiden Orbitae befinden sich die eingezeichneten Messstrecken, die horizontal zwischen dem Proc. frontalis und der medialen Orbitawand verlaufen.

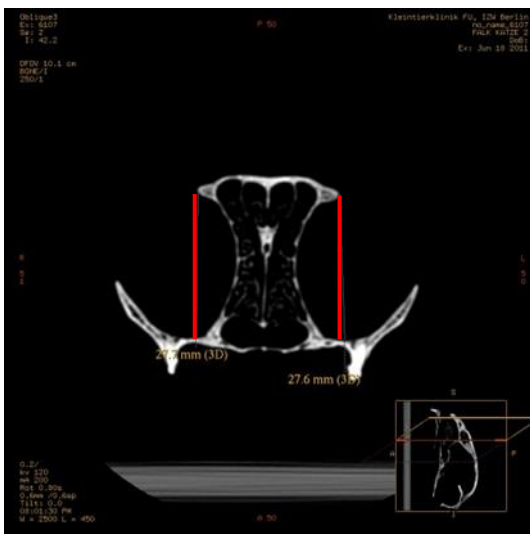


Abbildung 8: CT-Schnittbild (Transversalebene) eines Katzenschädels mit beidseits zwischen dem Proc. zygomaticus und dem dorsalen Maxillarand vertikal verlaufenden Messstrecken.

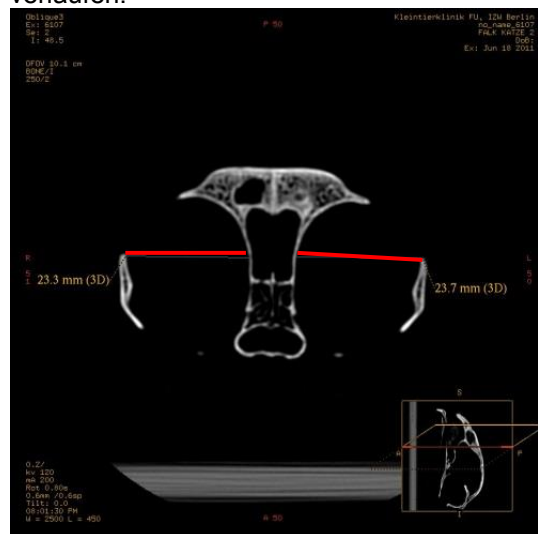


Abbildung 9: CT-Schnittbild (Transversalebene) eines Katzenschädels mit beidseits in den Orbitae eingezeichneten Messstrecken. Die Messstrecken verlaufen horizontal zwischen dem Proc. frontalis und der medialen Orbitawand.

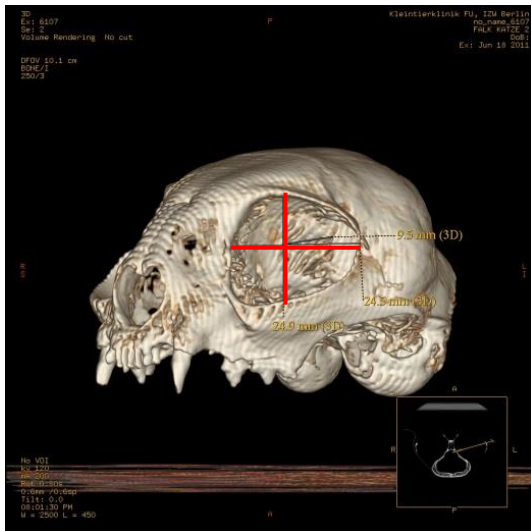


Abbildung 10:

3D Rekonstruktion eines Katzenschädels zur Darstellung des knöchernen Orbitaraumes. Es wurden folgende Messstrecken eingezeichnet: Höhe der Orbita vom Ventralrand des Os frontalis zum Dorsalrand der Maxilla, Breite der Orbita vom Lateralrand des Os lacrimale zum Bereich des Lig. orbitale, Tiefe der Orbita vom Mittelpunkt der Orbita ausgehend bis zur knöchernen Begrenzung des Os praesphenoidale.

3.1.1.2 Vermessung von computertomografischen Aufnahmen von Hunden

In einem zweiten Versuch wurden bereits vorhandene CT-Aufnahmen von Hunden retrospektiv ausgewertet.

Es sollte die Frage beantwortet werden, ob die Orbitae mit Hilfe von angrenzenden Strukturen und Hilfspunkten sinnvoll und reproduzierbar vermessen werden können. Zudem war es Ziel dieser Untersuchung zu klären, ob diese Strukturen und Hilfspunkte sowohl bei brachycephalen, mesozephalen und dolichocephalen Hunden auf gleiche Weise verwendet werden können.

Für die Vermessung der Orbita wurden CT-Untersuchungen von sechs Hunden (siehe Anhang Tabelle 15) ausgewählt, bei denen aus Gründen der weiterführenden klinischen Diagnostik computertomografische Untersuchungen des Kopfes durchgeführt wurden. Bei allen ausgewählten CT-Studien wurde darauf geachtet, dass die Tiere mit dem harten Gaumen parallel zur Tischebene gelagert waren, damit die verschiedenen Messungen immer in der gleichen Schnittebene durchgeführt werden konnten und es nicht zu Lageveränderungen im dreidimensionalen Raum kam. Somit waren Transversalebene, Coronalalebene und Sagittalebene bei jedem Tier gleich definiert. Alle Messungen wurden

vom selben Untersucher am CT-eigenen Bildbetrachtungsprogramm (Volume Viewer Plus Voxeltool 5.11.3) durchgeführt.

Die Vermessung der Orbita wurde zunächst wie folgt durchgeführt:

1. Vermessung des **Bulbus** (Abbildung 11 und Abbildung 13)

- beidseits horizontal und vertikal an der weitesten Ausdehnung in Transversalschnittebene
- diagonal an der weitesten Ausdehnung in der Coronalschnittebene
- Messung im Knochenfenster

2. Vermessung der **Orbitahöhe in Transversalschnittebene** (Abbildung 15)

- Höhe der Orbita von der mediokaudalen Wurzel des Molaren M2 des Oberkiefers bis zur knöchernen Dorsalbegrenzung der Orbita
- Höhe der Orbita von der kaudolateralen Wurzel des Molaren M2 des Oberkiefers bis zum Proc. zygomaticus des Os frontale
- Messung im Knochenfenster

3. Vermessung der **Orbitahöhe in Sagittalschnittebene** (Abbildung 14)

- Höhe der Orbita von der mediokaudalen Wurzel des Molaren M2 des Oberkiefers bis zur knöchernen Dorsalbegrenzung der Orbita
- Höhe der Orbita von der kaudolateralen Wurzel des Molaren M2 des Oberkiefers bis zum Proc. zygomaticus des Os frontale
- Messung im Knochenfenster

4. Vermessung der **Breite** der Orbita (Abbildung 16)

- die eigentliche Messstrecke wurde mit Hilfslinien hergeleitet
- Hilfslinie 1: weiteste Strecke zwischen dem Proc. frontalis des Os zygomaticum und dem Proc. zygomaticus des Os frontale
- Hilfslinie 2: $\frac{1}{2}$ Hilfslinie 1
- von Hilfslinie 1 und 2 im 90° Winkel abgeleitete Strecke zur Messung der Breite der Orbita
- Messung im Knochenfenster
- Messung in Transversalschnittebene

Es hat sich gezeigt, dass die Vermessung des Bulbus im Knochenfenster nicht optimal ist, da die Struktur des Bulbus nicht gut erkennbar ist. Zudem traten Probleme bei der Messung des brachycephalen Shih Tzu auf, da hier u.a. die Molaren im Oberkiefer verschoben (rotiert) waren. Aus diesem Grund wurde ein weiterer brachycephaler Hund in die Versuchsreihe aufgenommen und auf die gleiche Weise vermessen. Aufgrund der vorliegenden Ergebnisse

und um die Reproduzierbarkeit der Messergebnisse zu überprüfen, wurde eine erneute Vermessung der ausgewählten Tiere vorgenommen.

In einem zweiten Arbeitsschritt wurden folgende Änderungen in der Messreihe vorgenommen:

ad 1. Vermessung des **Bulbus** (Abbildung 12)

- zusätzliche Messung aller Dimensionen im Weichteilfenster

ad 2. und 3. Vermessung der **Orbitahöhe**

- die Messung der Höhe der Orbita erfolgte wie oben beschrieben, allerdings wurden die Bereiche über der entsprechenden Wurzel des Molaren M2 (Wurzela Apex bis dorsale Oberkieferbegrenzung) von der eigentlichen Messstrecke subtrahiert

ad 4. unveränderte Durchführung

5. Vermessung der **Orbitatiefe** (Abbildung 17)

- die eigentliche Messstrecke wurde mit Hilfslinien hergeleitet
- Hilfslinie 1: weiteste Strecke zwischen dem Proc. frontalis des Os zygomaticum und der dorsalen Randfläche des Os lacrimale
- Hilfslinie 2: $\frac{1}{2}$ Hilfslinie 1
- von Hilfslinie 1 und 2 im 90° Winkel abgeleitete Strecke zur Messung der Tiefe der Orbita mit Orientierung am Verlauf des N. opticus
- Messung im Weichteilfenster
- Messung in Coronalschnittebene

Alle zuvor beschriebenen Messungen wurden für jedes untersuchte Tier zweimalig durchgeführt. Beide Messreihen lagen zeitlich vier Wochen auseinander. Die Einstellungen im CT wurden beibehalten.

Die Messergebnisse der ersten und zweiten Messung sowie die Ergebnisse der Messung im Weichteilfenster und im Knochenfenster wurden mittels Korrelationsanalyse verglichen. Zudem wurden die Messergebnisse der linken und rechten Orbitae verglichen.

Es wurde überprüft, inwieweit die verschiedenen Messmethoden bei der Messung der Höhe der Orbitae (mit und ohne Wurzel des M2, sowie Orbitahöhe in Transversal- und Sagittalschnittebene) zu unterschiedlichen Ergebnissen führen.

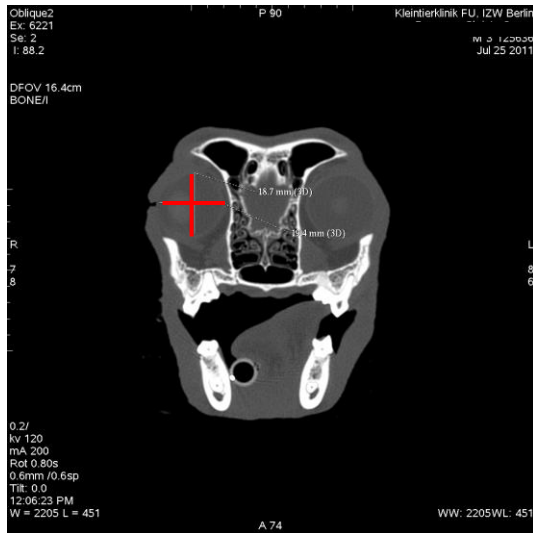


Abbildung 11:
CT-Schnittbild mit Vermessung des Bulbus (Höhe und Breite) im Knochenfenster (Transversalschnitt).

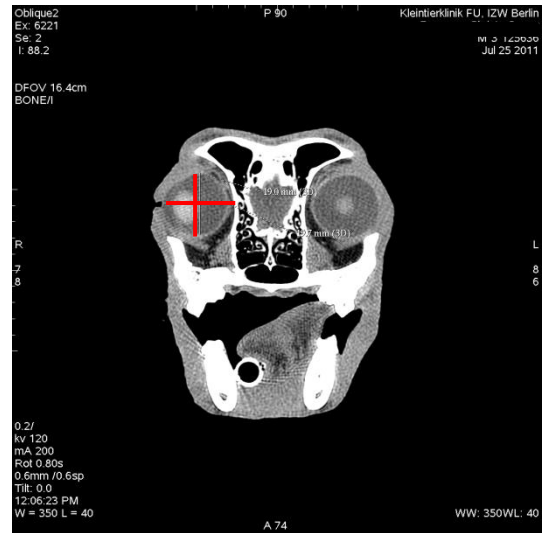


Abbildung 12:
CT-Schnittbild mit Vermessung des Bulbus (Höhe und Breite) im Weichteilfenster (Transversalschnitt).

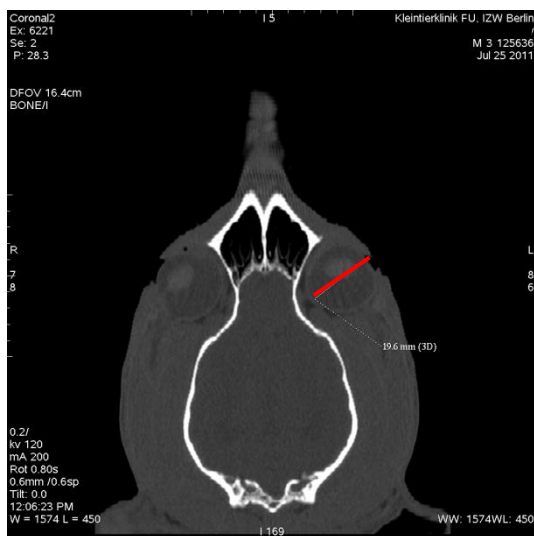


Abbildung 13:
CT-Schnittbild mit Vermessung des Bulbus (Tiefe) im Knochenfenster (Coronalschnitt).

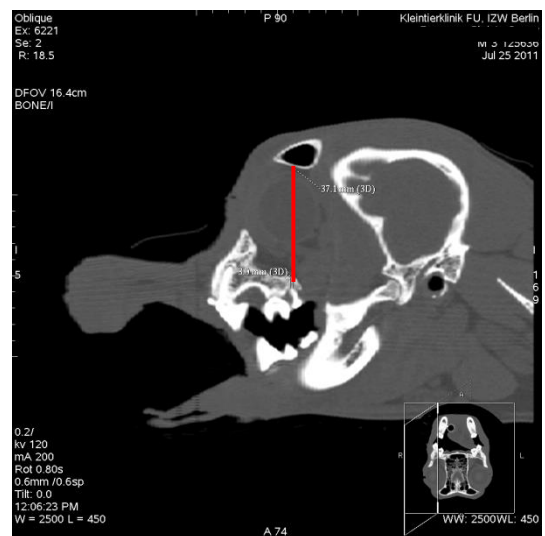


Abbildung 14:
CT-Schnittbild mit Messung der Orbitahöhe (Sagitalschnitt, Knochenfenster).

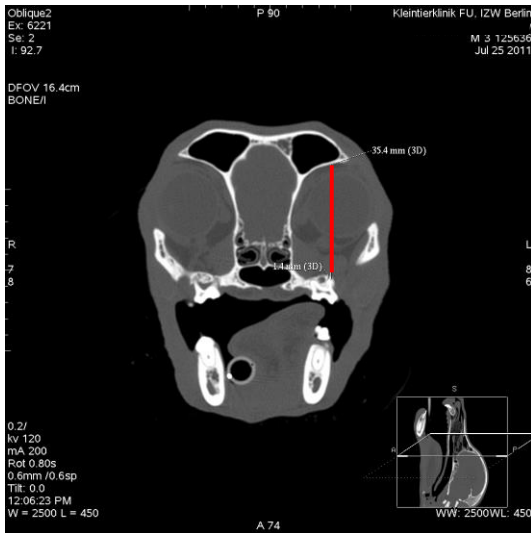


Abbildung 15:
CT-Schnittbild mit Messung der Orbitahöhe (Transversalschnitt, Knochenfenster).

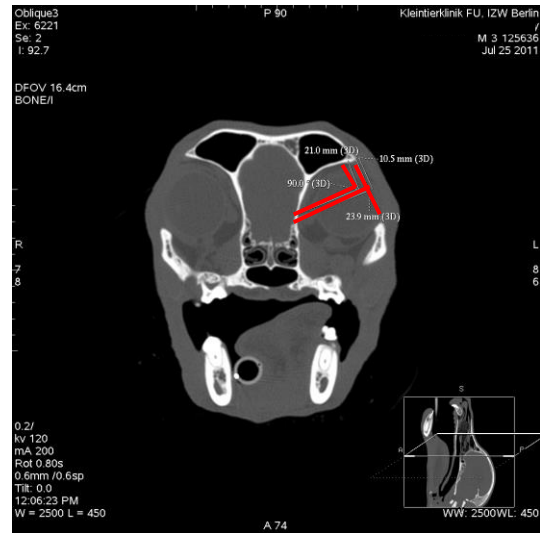


Abbildung 16:
CT-Schnittbild mit Messung der Orbitabreite mit eingezeichneten Hilfslinien (Transversalschnitt, Knochenfenster).

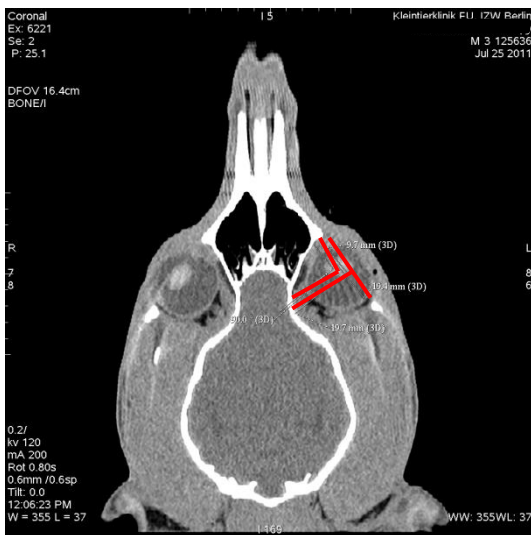


Abbildung 17:
CT-Schnittbild mit Messung der Orbitatiefe mit eingezeichneten Hilfslinien (Coronalschnitt, Weichteilfenster).

In folgendem Abschnitt sind die Ergebnisse aus der Vermessung von computertomografischen Aufnahmen von Hunden dargestellt. Mit Ausnahme eines Hundes (Tier Nr. 5, Shih Tzu) konnten bei allen Tieren folgende Strukturen mühelos aufgefunden werden: Proc. frontalis, Proc. zygomaticus und die Wurzeln des Molaren M2 (vgl. Tabelle 1). Der Hund Nr. 5 wurde aus diesem Grunde aus der Versuchsreihe ausgeschlossen. Die entwickelten Hilfslinien konnten bei allen anderen Hunden eingezeichnet werden.

Tabelle 1: Darstellbarkeit des Proc. zygomaticus und des Proc. frontalis als Hilfspunkte zur Vermessung der Orbita in den CT-Untersuchungen der Hunde aus Vorversuch 2 (N=6 Hunde, n=12 Orbitae)

Tier	Proc. zygomaticus		Proc. frontalis		mediokaudale und kaudolaterale Wurzeln des Molaren 2	
	linke Orbita	rechte Orbita	linke Orbita	rechte Orbita	linke Maxilla	rechte Maxilla
1	x	x	x	x	x	x
2	x	x	x	x	x	x
3	x	x	x	x	x	x
4	x	x	x	x	x	x
5	-	-	(x)	(x)	x (weit hinter Orbita)	x (weit hinter Orbita)
6	x	x	x	x	x	x

Darstellbarkeit von Hilfsstrukturen bei sechs untersuchten Hunden. Bei Tier Nr. 5 handelt es sich um einen Shih Tzu; bei diesem Hund sind der Proc. frontalis und Proc. zygomaticus nicht deutlich abgrenzbar, die Wurzel der Molaren (M2) befindet sich weit hinter der knöchernen Orbita. (x = Struktur auffindbar, (x) = Struktur schlecht definiert, - = Struktur nicht auffindbar)

In Tabelle 2 sind die Minimum-, Maximum- und Mittelwerte und die Standardabweichung dargestellt. Die Korrelation (r) und Signifikanz (p) aller Messstrecken zwischen linker und rechter Orbita sind angegeben.

Die Messergebnisse der Untersuchung der linken und rechten Orbita korrelieren bei allen Tieren signifikant (Tabelle 2). Bei der Messung der Orbitabreite konnte keine statistisch signifikante Korrelation zwischen der Messung der linken und rechten Orbita festgestellt werden ($p > 0,05$).

Material und Methoden

Tabelle 2: Deskriptive statistische Angaben zu der Vermessung der Orbita an Hunden mittels CT-Aufnahmen aus dem Vorversuch 2 (N=5 Hunde, n=10 Orbitae, Messstrecken in mm, Volumen in mm³)

Variable	Min.	Max.	MW	SD	r	p
Bulbus Höhe KF 1	18,80	24,90	21,62	2,12	0,966	0,008
Bulbus Höhe KF 2	18,70	23,10	20,88	1,54	0,899	0,038
Bulbus Breite KF 1	18,30	23,60	21,20	1,94	0,941	0,017
Blubus Breite KF 2	19,10	23,40	21,10	1,41	0,925	0,024
Bulbus Tiefe KF 1	17,50	22,80	20,92	1,90	0,946	0,015
Bulbus Tiefe KF 2	18,40	22,40	20,63	1,30	0,933	0,020
Volumen Bulbus KF 1	3150,83	7011,72	5130,44	1358,00	0,974	0,005
Volumen Bulbus KF 2	3512,88	6308,28	4810,87	934,48	0,947	0,014
Bulbus Höhe WF 1	19,00	22,60	20,79	1,38	0,994	0,001
Bulbus Höhe WF 2	19,00	23,10	21,02	1,60	0,926	0,024
Bulbus Breite WF 1	18,70	22,30	20,87	1,32	0,934	0,020
Bulbus Breite WF 2	19,10	23,40	21,18	1,44	0,916	0,029
Bulbus Tiefe WF 1	19,10	21,90	20,68	1,07	0,995	<0,001
Bulbus Tiefe WF 2	19,70	23,30	20,99	1,27	0,984	0,002
Volumen Bulbus WF 1	3740,14	5516,27	4736,58	805,83	0,989	0,001
Volumen Bulbus WF 2	3761,07	6393,15	4943,92	956,82	0,984	0,002
Höhe sagittal innen 1	28,80	55,90	42,57	8,56	0,951	0,013
Höhe sagittal innen 2	29,00	57,50	42,29	8,75	0,896	0,040
Höhe sagittal außen 1	34,40	57,60	46,17	9,05	0,982	0,003
Höhe sagittal außen 2	35,50	57,00	46,40	9,00	0,961	0,009
Höhe transversal innen 1	28,80	54,60	42,37	8,56	0,933	0,021
Höhe transversal innen 2	28,40	57,70	42,62	9,07	0,885	0,046
Höhe transversal außen 1	32,20	59,60	45,45	9,93	0,996	<0,001
Höhe transversal außen 2	35,40	58,60	46,24	9,20	0,972	0,006
Breite 1	20,40	29,70	24,43	2,99 (~3,00)	0,788	0,113*

Fortsetzung Tabelle 2

Breite 2	21,00	28,50	24,47	2,28	0,811	0,096*
Tiefe 1	16,80	31,30	23,93	5,92	1,0	<0,001
Tiefe 2	15,00	34,00	23,11	6,27	0,920	0,027

In der Tabelle sind die Korrelation (r) und Signifikanz (p) aller untersuchten Messstrecken zwischen rechter und linker Orbita angegeben. Alle Messergebnisse aus der Messung der linken und rechten Orbita korrelieren statistisch signifikant ($p < 0,05$). Der Vergleich aus der Messung der Orbitabreite der linken und rechten Orbita korreliert nicht statistisch signifikant (* $p > 0,05$).

(Min. = Minimum, Max. = Maximum, MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, r = Korrelation, p = Signifikanz, WF = Weichteilfenster, KF = Knochenfenster, 1 = erste Messung, 2 = zweite Messung)

Mittels Korrelationsanalyse konnte gezeigt werden, dass die Messergebnisse der ersten und zweiten Messung miteinander statistisch signifikant korrelieren ($p < 0,05$) (Tabelle 3).

Tabelle 3: Korrelationsanalyse der wiederholten Vermessung der Orbita an Hunden mittels CT-Aufnahmen aus Vorversuch 2 mit Darstellung der Korrelation (r) und Signifikanz (p) aus dem Vergleich der Messung 1 und 2 (N=5 Hunde, n=10 Orbitae)

Variable	r	p
Bulbus Höhe KF	0,960	<0,001
Bulbus Breite KF	0,938	<0,001
Bulbus Tiefe KF	0,955	<0,001
Volumen Bulbus KF	0,977	<0,001
Bulbus Höhe WF	0,952	<0,001
Bulbus Breite WF	0,941	<0,001
Bulbus Tiefe WF	0,804	0,005
Volumen Bulbus WF	0,956	<0,001
Höhe sagittal innen	0,980	<0,001
Höhe sagittal außen	0,993	<0,001
Höhe transversal innen	0,955	<0,001
Höhe transversal außen	0,980	<0,001
Breite	0,805	0,005
Tiefe	0,962	<0,001

In der Tabelle sind die Korrelation (r) und Signifikanz (p) aller untersuchten Messstrecken aus dem Vergleich von erster und zweiter Messung angegeben. Die Messergebnisse aus beiden Messversuchen korrelieren statistisch signifikant ($p < 0,05$).
(r = Korrelation, p = Signifikanz, WF = Weichteilfenster, KF = Knochenfenster)

Des Weiteren wurden die Messergebnisse der Vermessung des Bulbus im Knochen- und Weichteilfenster miteinander verglichen (Anhang Tabelle 16). Auch hier waren keine signifikanten Unterschiede zwischen beiden Messmethoden zu verzeichnen ($p < 0,05$); (Tabelle 16). Ebenso konnten keine signifikanten Unterschiede bei den unterschiedlichen Messmethoden der Orbitahöhe festgestellt werden (alle $p < 0,05$) (Anhang Tabelle 16).

Die Vermessung der Orbita von Hunden mittels CT-Aufnahmen im CT eigenen Bildbetrachtungsprogramm (Volume Viewer Plus Voxeltool 5.11.3) konnte erfolgreich durchgeführt werden. Allerdings konnten die Procc. zygomatici und Procc. frontales bei einem brachycephalen Hund nicht dargestellt werden, da die Schädelkontur sehr rund war und der Proc. frontalis und der Proc. zygomaticus dementsprechend nicht ausreichend ausgebildet waren. Bei diesem Tier konnte zwar die Wurzel des Molaren M2 als Orientierungspunkt für die Messung der Orbitahöhe aufgefunden werden, allerdings war dieser Molare soweit im Oberkiefer nach kaudal verschoben, dass er sich außerhalb des zu vermessenden Bereichs befand. Dies ist zurückzuführen auf die in der Literatur

beschriebene angeborene Wachstumshemmung des Splanchnokraniums bei brachycephalen Hunden (HENNET, HARVEY 1992; BMELV 2005).

Dieser Messversuch hat gezeigt, dass die Vermessung des Bulbus im Weichteilfenster besser geeignet ist, da der Bulbus in seiner Struktur im Weichteilfenster in Übereinstimmung mit der Literatur sehr gut dargestellt wird (FIKE et al. 1984; PENNINCK et al. 2001).

Um reproduzierbare Messergebnisse zu erhalten, wurden verschiedene Hilfslinien eingezeichnet. Das Einzeichnen der Hilfslinien gestaltete sich kompliziert und zeitaufwändig. Es ist davon auszugehen, dass sich mit den verwendeten Hilfslinien auch deutlich mehr Fehlerquellen ergeben. Wenngleich die statistische Auswertung sehr gute Ergebnisse erbrachte, so ist doch bei genauer Betrachtung der Messergebnisse eine große Streuung der Rohdaten erkennbar (vgl. Tabelle 2). Auf Grund dessen wurde nach einfacher umsetzbaren und praktikablen Methoden gesucht. Dieser Vorversuch wurde nicht weiter fortgeführt.

3.1.1.3 Kadaverstudie

Im Rahmen einer Kadaverstudie wurden in einem weiteren Vorversuch computertomografische Aufnahmen von fünf euthanasierten Hunden und fünf euthanasierten Katzen angefertigt. Alle Tiere aus der Kadaverstudie wurden aus anderen medizinischen Gründen unabhängig von dieser Studie euthanasiert und der Klinik zur unschädlichen Beseitigung durch eine Tierkörperbeseitigungsanstalt überlassen.

Ziel der Kadaverstudie war es, das Orbitavolumen in seiner Gesamtheit zu bestimmen und für den Untersucher anschaulich darzustellen. Des Weiteren sollte die Frage geklärt werden, ob aus dieser Untersuchung ein geeignetes, verlässliches Verfahren zur Vermessung der Orbita entwickelt werden kann.

Alle Tiere der Kadaverstudie wurden für die computertomografische Untersuchung des Kopfes mit dem harten Gaumen parallel zur Tischebene gelagert. Für die Hunde wurden je nach Körpergewicht des Tieres die Einstellungen LWS Spirale, 200 bzw. 250mA, 120kV gewählt und je eine CT-Studie im Knochen- und Weichteilfenster angefertigt. Die Schnittdicke betrug bei allen Hunden 1,25 mm. Für die computertomografische Untersuchung der Katzen wurden die Einstellungen LWS Spirale, 200mA, 120kV gewählt und je eine CT-Studie im Knochen- und Weichteilfenster angefertigt. Die Schnittdicke betrug bei allen Katzen 0,6 mm.

Die erste computertomografische Untersuchung wurde als Nativaufnahme durchgeführt.

Im Anschluss daran wurden bei allen Tieren beide Augen enukleiert. Dafür wurde mittels subkonjunktivaler E nukleationstechnik der Bulbus freipräpariert. Nach Durchtrennen der Fascia orbitalis profunda und dem Absetzen der extraokularen Muskeln wurde der Bulbus vorgelagert.

Im Anschluss wurden der M. retractor bulbi, der N. opticus sowie die A. ophthalmica externa durchtrennt. Der Bulbus wurde vom umgebenden Gewebe gelöst und in seiner Gesamtheit abgesetzt. Nach Enukektion des Bulbus wurden die Lidränder umschnitten und mit einer einschichtigen fortlaufenden Naht verschlossen. Nun erfolgte eine zweite computertomografische Untersuchung des Kopfes mit den oben genannten Einstellungen für Hunde und Katzen.

Für eine dritte CT-Studie der Köpfe wurde die Naht an beiden Lidern wieder geöffnet und Modelliermasse (hobby time, Keramiplast) in die Orbita eingebracht. Bei einem Hund wurde in die rechte Orbita ein Silikonimplantat mit 23 mm Durchmesser (Acrivet, Hennigsdorf, Deutschland) eingesetzt. Über der Modelliermasse bzw. dem Silikonimplantat wurden die Lider erneut mit einer einschichtigen Naht verschlossen. Es erfolgte eine weitere computertomografische Untersuchung des Kopfes. Auch bei der dritten Untersuchung wurden die oben genannten CT Einstellungen beibehalten.

Die Auswertung der CT-Studie erfolgte mit Hilfe des Programms Eclipse (Varian Medical Systems, Inc., Düsseldorf). Eclipse ist ein Programm, welches für die Planung von Strahlentherapieprotokollen eingesetzt wird. Zur Auswertung wurde nur die dritte CT-Studie herangezogen.

In einem ersten Arbeitsschritt wurden die CT-Untersuchungen wie folgt bearbeitet:

1. Einzeichnen der Körperkontur (Body – hellgrüne Linie)
2. Einzeichnen der knöchernen Strukturen (Bone - gelbe Linie)
3. Einzeichnen des Volumens der Modelliermasse bzw. des Silikonimplantats (linke Orbita – rote Linie, rechte Orbita – dunkelblaue Linie)
4. Einzeichnen des retrobulbären Gewebes in seiner Gesamtheit (retrobulbäres Gewebe links - pinkfarbene Linie, retrobulbäres Gewebe rechts – hellblaue Linie)
5. Einzeichnen des M. pterygoideus medialis und der Gl. zygomatica als gemeinsame Struktur (linke Orbita – rosa Linie, rechte Orbita – dunkelgrüne Linie).

Alle Strukturen bzw. Organe wurden in jeder Schnittebene eingezeichnet. Im Anschluss an die oben genannten Arbeitsschritte wurde das Volumen der Modelliermasse, bzw. des Silikonimplantats, berechnet. Zudem wurden folgende Messungen durchgeführt:

1. **Höhe** der Orbita
 - Messstrecke vom knöchernen Orbitadach (Os frontale auf Höhe des Sinus frontalis lateralis) bis zum tiefsten Punkt noch vorhandenen retrobulbären Gewebes
 - Messung in der transversalen Schnittebene

2. **Breite** der Orbita

- dorsale (bzw. laterale) Randfläche des Proc. frontalis bis zur medialen Orbitawand (auf Höhe des Os lacrimale)
- ventrale (bzw. mediale) Randfläche des Proc. frontalis bis zur medialen Orbitawand (auf Höhe des Os lacrimale)
- Messung in der transversalen Schnittebene

3. **Tiefe** der Orbita

- rostrale Fläche der Modelliermasse bis zum kaudalsten Punkt des retrobulbären Gewebes
- Messung in coronaler Schnittebene

Die Messung der Höhe und Tiefe der Orbita erfolgte durch Orientierung an den zuvor benannten Strukturen. Dabei spielte die korrekte Lagerung der Tiere eine erhebliche Rolle für die Reproduzierbarkeit der gewählten Messtrecken bzw. Messpunkte, da eine verkippte Lagerung der Tiere auch eine Veränderung der Lage der gewählten Strukturen zur Vermessung dieser Strecken zur Folge hätte.

Nach Einzeichnen aller genannten Strukturen wurde mit dem Programm Eclipse das Volumen von retrobulbärem Gewebe, Modelliermasse bzw. Silikonimplantat, das orbitale Gesamtvolumen sowie das Gesamtvolumen von Gl. zygomatica und M. pterygoideus berechnet. Zudem wurde die Korrelation von linker und rechter Orbita überprüft.



Abbildung 18:
Lagerung eines Hundes im CT mit Laserkreuz, Nativaufnahme.

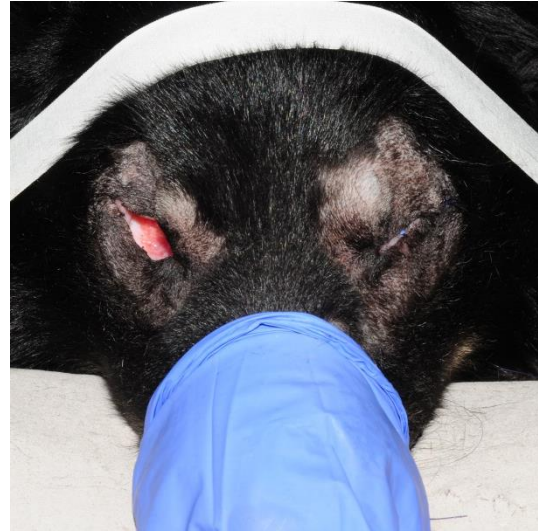


Abbildung 19:
Lagerung eines Hundes im CT. Beide Augen sind enukleiert, die rechte Augenhöhle ist bereits mit einer Naht verschlossen, die Lider der linken Augenhöhle sind noch nicht vernäht.



Abbildung 20:
Lagerung eines Hundes im CT. Das rechte Auge ist enukleiert und die Lider mit einer Naht verschlossen. Die linke Orbita wurde mit Modelliermasse aufgefüllt, die Lider sind noch nicht mit einer Naht verschlossen.

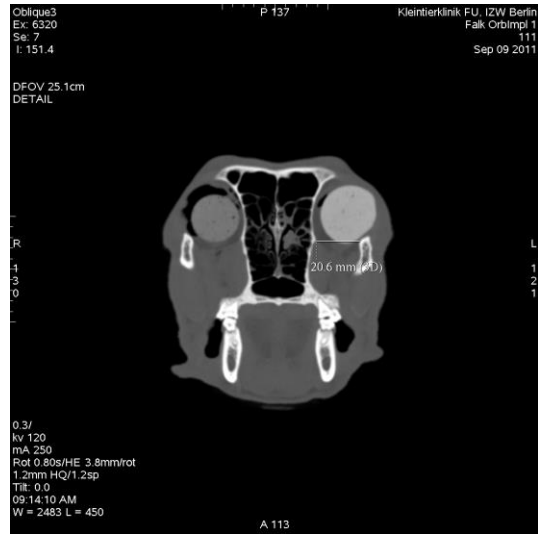


Abbildung 21:
CT-Schnittbild (Transversalschnitt) eines Hundes nach Einsatz der Modelliermasse in die Orbita (links) bzw. eines Silikonimplantats (rechts).

Die Kadaverstudie erbrachte folgende Ergebnisse: das Überführen der CT-Studien in das Software-Programm Eclipse hat ohne Probleme funktioniert, alle Gewebe, d.h. Körperkontur, der Schädelknochen, Modelliermasse (als Bulbusersatz), retrobulbäres Gewebe, sowie die Gl. zygomatica zusammen mit dem M. pterygoideus konnten in den einzelnen Schnittbildern aufgefunden und eingezeichnet werden. Die Modelliermasse besitzt annähernd

Knochendichte und ließ sich daher mühelos in den einzelnen Schnittbildern erkennen und einzeichnen.

Anhand der in die Orbita eingesetzten Modelliermasse konnte bei den untersuchten Hunden ein knöcherner Engpass der Orbita zwischen dem Proc. frontalis und der Crista pterygoidea aufgefunden werden (Abbildung 22). Bei den untersuchten Katzen konnte ein solcher Engpass nicht aufgefunden werden (Abbildung 23). Allerdings war deutlich erkennbar, dass der Bulbus bzw. die Modelliermasse, die anstelle des Bulbus eingesetzt wurde, fast den gesamten Orbitarum einnimmt.

Mit Hilfe der Modelliermasse konnte ebenfalls sehr anschaulich dargestellt werden, dass der Bulbus bei der Katze weit nach dorsolateral und nasal aus der Orbita ragt (Abbildung 24).

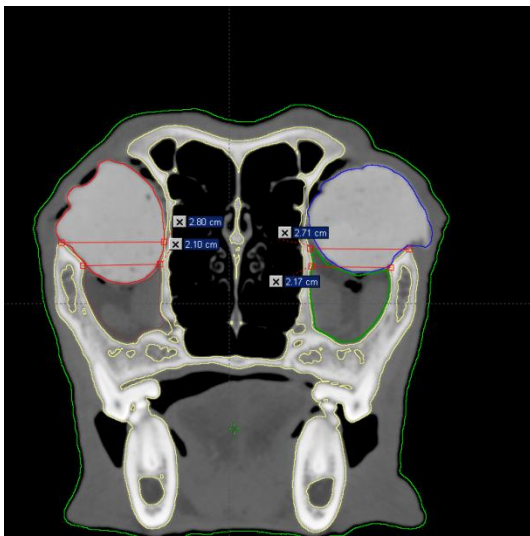


Abbildung 22:
CT-Schnittbild (Transversalschnitt) eines Hundes aus der Kadaverstudie mit Darstellung des knöchernen Engpasses zwischen dem Proc. frontalis und der lateralen Begrenzung der Crista pterygoidea. Die Modelliermasse wird in diesem Bereich deutlich erkennbar komprimiert.

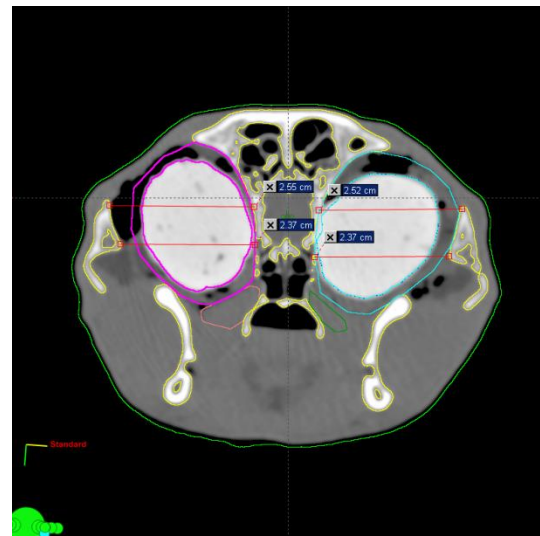


Abbildung 23:
CT-Schnittbild (Transversalschnitt) einer Katze aus der Kadaverstudie mit in der Orbita befindlicher Modelliermasse. Es ist kein knöcherner Engpass zwischen dem Proc. frontalis und der lateralen Begrenzung der Crista pterygoidea erkennbar.

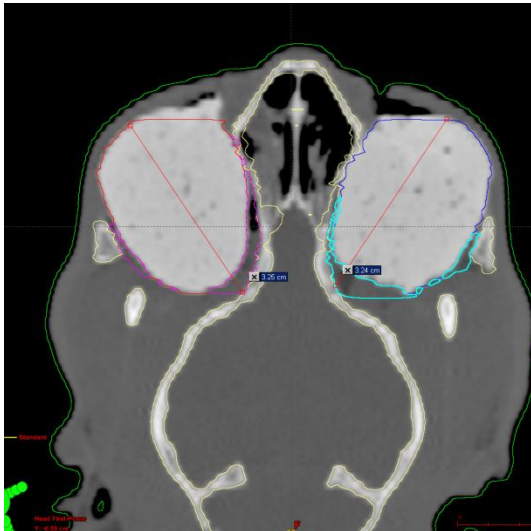


Abbildung 24:

CT-Schnittbild (Coronalschnitt) einer Katze aus der Kadaverstudie. Die in die Orbita eingesetzte Modelliermasse füllt den Orbitaräum vollständig aus. Die Modelliermasse ragt zudem weit nach dorsolateral aus der Orbita.

Es wurde angenommen, dass durch das Einzeichnen einzelner Gewebe die Vermessung der Orbita vereinfacht wird. Zudem bietet das Einzeichnen der orbitalen Strukturen markante wiederauffindbare Orientierungspunkte, die die Messmethode vereinfachen und sicherer machen. Bei allen in der Kadaverstudie untersuchten Tieren konnten die zuvor definierten Messtrecken nachvollzogen und eingezeichnet werden. Die Volumenberechnung durch das Software-Programm Eclipse erfolgte problemlos.

In Tabelle 4 und Tabelle 5 sind die Minimum-, Maximum- und Mittelwerte sowie die Standardabweichung der Messung getrennt nach Hunden und Katzen aufgeführt.

Tabelle 4: Deskriptive statistische Angaben zu der Vermessung der Orbita von Katzen mittels CT-Aufnahmen aus der Kadaverstudie (N=5 Katzen, n=10 Augen, Körpergewicht 3,5-4,9 kg)

Variable	Min.	Max.	MW	SD
V _{Bulbus}	6,03	10,25	8,14	1,29 (~1,30)
V _{retrGew}	1,90	3,34	2,61	0,52
V _{GzygMptr}	0,53	0,96	0,72	0,13
H	2,43	3,02	2,75	0,21
B _{dorsal}	2,28	2,55	2,42	0,09 (~0,10)
B _{ventral}	2,10	2,37	2,23	0,11
T	2,89	3,29	3,07	0,14

(Min. = Minimum, Max. = Maximum, MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, V_{Bulbus} = Volumen Bulbus in cm³, V_{retrGew} = Volumen retrobulbäres Gewebe in cm³, V_{GzygMptr} = Volumen Gl. zygomatica und M. pterygoideus in cm³, H = Orbitahöhe in cm, B_{dorsal} = dorsale Orbitabreite in cm, B_{ventral} = ventrale Orbitabreite in cm, T = Tiefe der Orbita in cm)

Tabelle 5: Deskriptive statistische Angaben zu der Vermessung der Orbita von Hunden mittels CT-Aufnahmen aus der Kadaverstudie (N=5 Hunde, n=10 Augen, Körpergewicht 6,7-29,5 kg)

Variable	Min.	Max.	MW	SD
V _{Bulbus}	6,64	16,33	11,00	3,04
V _{retrGew}	1,58	11,04	5,55	2,78
V _{GzygMptr}	3,16	12,06	7,16	2,82
H	2,80	3,69	3,29	0,31
B _{dorsal}	2,45	2,98	2,70	0,17
B _{ventral}	2,02	2,39	2,19 (~2,20)	0,11
T	3,33	4,85	4,04	0,55

(Min. = Minimum, Max. = Maximum, MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, V_{Bulbus} = Volumen Bulbus in cm³, V_{retrGew} = Volumen retrobulbäres Gewebe in cm³, V_{GzygMptr} = Volumen Gl. zygomatica und M. pterygoideus in cm³, H = Orbitahöhe in cm, B_{dorsal} = dorsale Orbitabreite in cm, B_{ventral} = ventrale Orbitabreite in cm, T = Tiefe der Orbita in cm)

Vergleicht man die Messergebnisse von linker und rechter Orbita, so korrelieren die Messergebnisse beider Orbitae statistisch hochsignifikant ($p < 0,05$) (Anhang Tabelle 18). Die untersuchten Katzen und Hunde wurden gemeinsam betrachtet.

Durch die bei allen Tieren in die Orbita eingesetzte Modelliermasse konnte der Orbitaraum sehr anschaulich dargestellt werden. Die Kadaverstudie hat sich als sehr hilfreich für die Entwicklung von Messstrecken erwiesen. Zudem bietet das Programm Eclipse deutlich mehr technische Möglichkeiten für die Vermessung von Geweben und Organen, wobei insbesondere die farbige Abgrenzung einzelner Strukturen deren Anatomie anschaulich darstellt und damit die Vermessung der Orbita vor allem in Bezug auf die an die Augenhöhle angrenzenden Strukturen vereinfacht. Die Vermessung der Orbita im Eclipse ermöglicht den Verzicht auf komplizierte Hilfslinien.

3.1.1.4 Vermessung von computertomografischen Aufnahmen in dem Programm Eclipse

In einem letzten Vorversuch sollte überprüft werden, ob die Vermessung der Orbita bei Hunden mithilfe der eingezeichneten Gewebe und der entwickelten Messstrecken reproduzierbar ist. Dafür wurden an einer Auswahl von 13 Hunden wiederholte Messungen durchgeführt. Alle CT-Untersuchungen wurden bei diesen Tieren im Rahmen weiterführender klinischer Diagnostik in der Kleintierklinik der Freien Universität Berlin vorgenommen. Ein Teil der Tiere stammte aus der zuvor beschriebenen Kadaverstudie. Die CT-Studien wurden in das Programm Eclipse (Varian Medical Systems, Inc., Düsseldorf) übertragen. Im Anschluss wurden folgende Gewebe in beiden Orbitae eingezeichnet: Bulbus, retrobulbäres Gewebe und Gl. zygomatica und M. pterygoideus medialis als Gesamtheit. Nach Einzeichnen der oben genannten Strukturen wurden die Höhe der Orbita,

die Breite der Orbita und die Tiefe der Orbita nach der in Abschnitt 3.1.1.3 beschriebenen Methode gemessen. Die Messungen der Höhe, Breite und Tiefe der Orbitae erfolgten zweimalig durch denselben Untersucher an verschiedenen Tagen, sowie durch einen unabhängigen zweiten Untersucher. Der unabhängige Untersucher wurde kurz in den Umgang mit dem Programm Eclipse eingewiesen, war aber ansonsten nicht mit dieser Forschungsarbeit vertraut.

Für die Messergebnisse wurden intra und inter observer Tests durchgeführt. Ebenso wurde die Korrelation von linker und rechter Orbitae überprüft.

In folgendem Abschnitt sind die Ergebnisse aus der Vermessung von computertomografischen Aufnahmen in dem Programm Eclipse dargestellt. Die Vermessung der Höhe, Breite und Tiefe der Orbita gelang problemlos bei beiden Untersuchern. Die Messergebnisse von linker und rechter Orbita korrelieren bei allen Messstrecken und für jeden Untersucher statistisch signifikant ($p < 0,05$) (Tabelle 6). Die Minimum-, Maximum- und Mittelwerte sowie die Standardabweichung der Messergebnisse sind in Tabelle 6 angegeben. Die Auswertung der hier durchgeführten intra und inter observer variation Tests zeigte, dass die entwickelten Messstrecken reproduzierbare Ergebnisse lieferten ($p < 0,05$) (Anhang Tabelle 69).

Tabelle 6: Deskriptive statistische Angaben zu der Vermessung der Orbita an Hunden mittels CT-Aufnahmen aus dem Vorversuch 4 mit Darstellung der Korrelation (r) und Signifikanz (p) aus dem Vergleich der Messung der linken und rechten Orbita (N=13 Hunde, n=26 Orbitae)

Variable	Anzahl Augen	Min.	Max.	MW	SD	r	p
H1	26	2,23	6,60	4,92	1,08	0,980	<0,001
H2	26	2,35	6,80	4,77	1,22	0,988	<0,001
H3	26	2,22	6,44	4,75	1,19	0,989	<0,001
H _{retr1}	26	1,82	3,79	3,14	0,46	0,886	<0,001
H _{retr2}	26	1,89	3,73	2,97	0,51	0,779	0,002
H _{retr3}	26	1,94	3,85	3,21	0,53	0,966	<0,001
B _{dorsal1}	26	1,68	3,20	2,61	0,36	0,946	<0,001
B _{dorsal2}	26	1,77	3,51	2,53	0,41	0,943	<0,001
B _{dorsal3}	26	1,86	3,66	2,59	0,46	0,962	<0,001
B _{ventral1}	26	1,48	2,79	2,07	0,32	0,886	<0,001
B _{ventral2}	26	1,54	2,91	1,99	0,35	0,898	<0,001
B _{ventral3}	26	1,27	3,17	2,05	0,44	0,892	<0,001
T1	26	1,93	5,60	3,84	0,86	0,959	<0,001
T2	26	1,98	5,50	3,70	0,87	0,750	0,003
T3	24	1,87	5,58	3,89	0,89 (~0,90)	0,964	<0,001

In der Tabelle sind die Korrelation (r) und Signifikanz (p) aller untersuchten Messstrecken für die Messung der linken und rechten Orbita Messungen dargestellt. Alle Messergebnisse aus den Messung der Orbita beidseits korrelieren statistisch signifikant ($p < 0,05$). (Min. = Minimum, Max. = Maximum, MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, r = Korrelation, p = Signifikanz, H = Gesamthöhe der Orbita in cm, H_{retr} = Orbitahöhe einschließlich retrobulbären Gewebe in cm, B_{dorsal} = dorsale Orbitabreite in cm, B_{ventral} = ventrale Orbitabreite in cm, T = Tiefe der Orbita in cm, 1 = erste Messung, 2 = zweite Messung, 3 = dritte Messung).

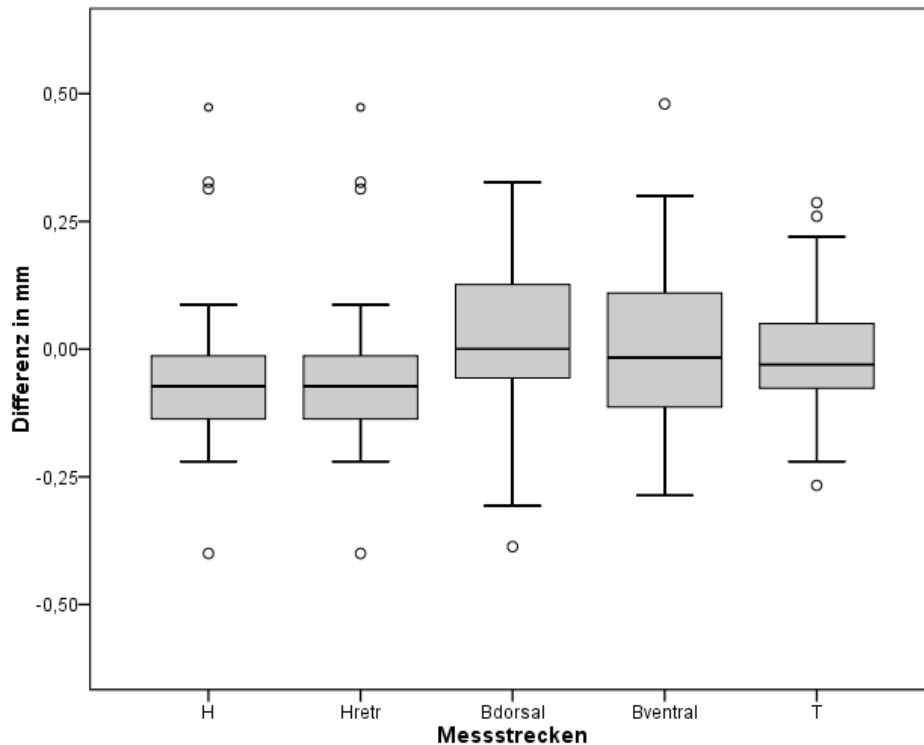


Abbildung 25: Darstellung der durchschnittlichen Differenz zwischen den Messungen 1-3 (Intra und Inter observer-Tests) für alle untersuchten Messstrecken und jedes Tier (N=13 Hunde, n=26 Orbitae). Auf der X-Achse sind die einzelnen Messstrecken dargestellt, die Y-Achse zeigt die durchschnittliche Differenz der Messungen für alle Untersucher (H = Gesamthöhe der Orbita in cm, H_{retr} = Orbitahöhe einschließlich retrobulbären Gewebe, B_{dorsal} = dorsale Orbitabreite, $B_{ventral}$ = ventrale Orbitabreite, T = Tiefe der Orbita).

Die wiederholte Vermessung der Augenhöhle bei 13 Hunden durch zwei verschiedene Untersucher in dem Programm Eclipse hat gezeigt, dass die Ergebnisse reproduzierbar sind. Durch das Einzeichnen der orbitalen Strukturen in dem Programm Eclipse erhält man Hilfsstrukturen, die auch für einen unkundigen Untersucher leicht auffindbar sind. Zudem lassen sich damit alle Strukturen in jeder Schnittebene und in jeder Schnittrichtung sicher erkennen und zuordnen. Damit entfällt auch die Notwendigkeit von umständlich eingezeichneten Hilfslinien, um einzelne Messungen vornehmen zu können. Der Untersucher erhält eine sehr plastische Darstellung von der Orbita und ihrer enthaltenen Strukturen.

3.2 Hauptstudie Material und Methodik

3.2.1 Patientenkollektiv

Für diese Arbeit wurden computertomografische Untersuchungen aus den Jahren 2010 bis 2013 retrospektiv ausgewertet, die in der Klinik und Poliklinik für kleine Haustiere der Freien Universität Berlin angefertigt wurden.

3.2.1.1 Hunde

Die Studie umfasst 40 Hunde verschiedenen Alters und verschiedener Rassen. Bei allen Tieren wurde im Rahmen weiterführender Diagnostik in der Klinik eine computertomografische Untersuchung des Kopfes vorgenommen. In die eigene Untersuchung wurden nur computertomografische Untersuchungen von ausgewachsenen Hunden aufgenommen, die keine krankhaften Veränderungen im Bereich des Kopfes insbesondere im Bereich der Orbita und angrenzenden Geweben aufwiesen.

Alle untersuchten Tiere gehören dem brachyzephalen, mesozephalen oder dolichocephalen Schädeltyp an. Die Zuordnung der Hunde zu den verschiedenen Kopfformen erfolgte subjektiv anhand von Studien von KOCH et al. (2003); BALLI (2004); KOCH et al. (2012) (Tabelle 7). Die Zuordnung der Tiere aus der eigenen Untersuchung zu den verschiedenen Schädelformen ist im Anhang in Tabelle 21 zu finden. Die genannten Studien dienten als Grundlage, insofern, als dass die in den Studien angegebene Zuordnung verschiedener Hunderassen zu bestimmten Schädeltypen als Orientierung für die Zuordnung der in der eigenen Studie untersuchten Tiere herangezogen wurde. Da nicht alle in der eigenen Studie untersuchten Hunderassen in den o.g. Studien wiederzufinden waren, wurde die Zuordnung dieser Tiere aufgrund der Schädelform bestimmt. Dazu wurden in dem Programm Eclipse 3D Rekonstruktionen der Schädelknochen durchgeführt und betrachtet. Dabei galten die in den Studien von KOCH et al. (2003); BALLI (2004); KOCH et al. (2012) beschriebenen Hunderassen als Maßstab für die Zuordnung zur brachyzephalen, mesozephalen und dolichocephalen Kopfform. Die in den Studien von KOCH et al. (2003); BALLI (2004); KOCH et al. (2012) beschriebenen Schädel-Indizes für Röntgenbilder wurden an den CT-Bildern nicht gemessen und berechnet.

Zusätzlich zu den Kopfformen wurden alle Hunde in drei Gewichtsgruppen eingeteilt. Dafür wurde mit Hilfe der Statistik-Software SPSS (Version 21) ein Gewichtscluster erstellt. Im Vorfeld wurde eine Einteilung in sechs Gewichtsgruppen vorgenommen, wobei diese Einteilung statistisch keine Unterschiede zu dem generierten Gewichtscluster erbrachte. Aus diesem Grund wurde die Zuordnung des Gewichtsclusters für die weitere Analyse beibehalten.

Es wurden nur CT-Aufnahmen von korrekt gelagerten Tieren ausgewertet.

Tabelle 7: Übersicht über die in der Literatur beschriebenen Kopfformeinteilungen bei verschiedenen Hunderassen, die als Orientierung für die Kopfformeinteilung der Hunde aus der Hauptstudie diente.

Rasse	Koch 2012 et 2003	Balli 2004
CKCS	brachyzephal	brachyzephal
Mops	brachyzephal	brachyzephal
Shih Tzu	brachyzephal	
Pekinese	brachyzephal	
Yorkshire Terrier	brachyzephal	
Französische Bulldogge	brachyzephal	brachyzephal
Malteser	brachyzephal	
Boxer	brachyzephal	brachyzephal
Bulldogge (nicht genauer definiert)	brachyzephal	
Greyhound	dolichocephal	normozephal
Chihuahua	brachyzephal	
Bostenterrier	brachyzephal	
Miniatur-/Rehpinscher	brachyzephal	
Golden Retriever	normozephal	normozephal
Dachshund	normozephal	
Norwich Terrier	normozephal	brachyzephal
Englische Bulldogge		brachyzephal
DSH		normozephal
Beagle		normozephal
JRT		normozephal
Dalmatiner		normozephal
Labrador		normozephal
Rottweiler		normozephal
Staffordshire Terrier		brachyzephal
Bordeaux Dogge		brachyzephal
Eurasier		normozephal
Lagotto Romagnolo		normozephal
Bearded Collie		normozephal
Schweizer Senne		normozephal
Australian Shepered		normozephal
Gordon Setter		normozephal
Ridgeback		normozephal
Dobermann		normozephal

CKCS = Cavalier King Charles Spaniel, JRT = Jack Russel Terrier, DSH = Deutscher Schäferhund

3.2.1.2 Katzen

Es wurden computertomografische Aufnahmen von 40 Katzen unterschiedlichen Alters und verschiedener Rassen ausgewertet. Alle computertomografischen Untersuchungen wurden im Rahmen weiterführender Diagnostik in der Klinik angefertigt. Alle Katzen gehören dem brachyzephalen, mesozephalen oder dolichocephalen Schädeltyp an. Die Zuordnung zu den einzelnen Kopfformen erfolgte nach NÖLLER (2006) und OPPEL (2002). In der Dissertation von OPPEL (2002) wurden die Katzen anhand von CT-Aufnahmen in Katzen mit rundem, dreieckigem und keilförmigem Schädel eingeteilt. Diese Zuordnung erfolgte subjektiv in Anlehnung an die Dissertation von OPPEL (2002) anhand von 3D Rekonstruktionen die von allen untersuchten Katzen im Rahmen der Studie mit Hilfe des Programmes Eclipse erstellt wurden. Die Katzen wurden zusätzlich zu der Kopfform in drei Gewichtgruppen eingeteilt. Die Erstellung der Gewichtgruppen erfolgte subjektiv. Es wurden nur computertomografische Untersuchungen von Tieren ausgewertet, die keine krankhaften

Veränderungen im Bereich des Schädels, insbesondere im Bereich der Orbita aufwiesen. Alle untersuchten Tiere waren ausgewachsen.

3.3 Methode

Alle computertomografischen Untersuchungen wurden in der Klinik und Poliklinik für kleine Haustiere der Freien Universität Berlin an einem Computertomografen der Firma Siemens (Light Speed QXi, GE Medical Systems, Milwaukee WI, USA) durchgeführt.

3.3.1 Bildauswertung

Für die Auswertung der computertomografischen Aufnahmen wurden die CT-Studien sowie die computertomografischen Aufnahmen der ausgewählten Hunde und Katzen in das Programm Eclipse (Varian Medical Systems, Inc., Düsseldorf) übertragen. Eclipse ist ein Programm, welches für die Planung von Strahlentherapieprotokollen eingesetzt wird.

Folgende Arbeitsschritte wurden bei allen CT-Studien in allen Schnittbildern manuell durchgeführt:

1. Einzeichnen der Körperkontur (Body – hellgrüne Linie)
2. Einzeichnen der knöchernen Strukturen (Bone - gelbe Linie)
3. Einzeichnen des Bulbus (Bulbus links – rote Linie, Bulbus rechts – dunkelblaue Linie)
4. Einzeichnen des retrobulbären Gewebes in seiner Gesamtheit (retrobulbäres Gewebe links - pinkfarbene Linie, retrobulbäres Gewebe rechts – hellblaue Linie)
5. Einzeichnen des M. pterygoideus medialis und der Gl. zygomatica als gemeinsame Struktur (linke Orbita – rosa Linie, rechte Orbita – dunkelgrüne Linie).

Grundlage für die Auswertung bzw. das Auffinden der einzelnen Strukturen waren diverse Artikel und Bücher zur computertomografischen Anatomie von Hund und Katze (FIKE et al. 1984; GEORGE, SMALLWOOD 1992; MORGAN et al. 1994; MIHALJEVI et al. 2009).

Im Anschluss an o.g. Arbeitsschritte konnte mithilfe des Programmes Eclipse eine Volumenberechnung der einzelnen Strukturen durchgeführt werden. Es wurden folgende Volumina bestimmt: Volumen Bulbus (V_{Bulbus}), Volumen retrobulbäres Gewebe (V_{retrGew}), Volumen M. pterygoideus und Gl. zygomatica (V_{GzygMptr}).

Das orbitale Gesamtvolumen (V_{Orbita}) wurde aus der Addition vom Bulbusvolumen (V_{Bulbus}) und Volumen retrobulbäres Gewebe (V_{retrGew}) errechnet.

Mit Hilfe der eingezeichneten Konturen der einzelnen Strukturen (Gewebe) wurden folgende Messungen durchgeführt:

1. **Höhe** der Orbita als Messstrecke vom knöchernen Orbitadach (Os frontale auf Höhe des Sinus frontalis lateralis) bis zum tiefsten Punkt noch vorhandenen retrobulbären Gewebes, Messung in der transversalen Schnittebene
2. **Breite** der Orbita (dorsale bzw. laterale) Randfläche des Proc. frontalis bis zur medialen Orbitawand (lateral Rand des Os lacrimale) sowie ventrale Randfläche bzw. mediale Randfläche des Proc. frontalis bis zur medialen Orbitawand (lateral Rand des Os lacrimale), beide Messungen wurden in der transversalen Schnittebene durchgeführt
3. **Tiefe** der Orbita, hierbei wurde zum einen die Gesamttiefe der Orbita gemessen (rostrale Bulbusfläche bis zum kaudalsten Punkt des retrobulbären Gewebes, Durchführung in coronaler Schnittebene) sowie die Tiefe des retrobulbären Gewebes ohne Bulbusanteil (kaudale Bulbusfläche bis zum kaudalsten Punkt des retrobulbären Gewebes, Durchführung in coronaler Schnittebene).

Die Messung der Höhe und Tiefe der Orbita erfolgte mit Orientierung an den zuvor benannten Strukturen. Dabei spielte die korrekte Lagerung der Tiere eine erhebliche Rolle für die Reproduzierbarkeit der gewählten Messstrecken bzw. Messpunkte, da eine verkippte Lagerung der Tiere auch eine Veränderung der Lage der gewählten Strukturen zur Vermessung dieser Strecken zur Folge hätte. Bei der Tiefe der Orbita wurde der am weitesten kaudal gelegene Bereich des retrobulbären Gewebes als Endpunkt gewählt, da der Bulbus samt seiner umgebenden Gewebe nicht parallel zum Gaumen in der Orbita liegt und die kegelförmige Ausdehnung dieser Strukturen berücksichtigt werden sollte.

Die einzelnen Messergebnisse wurden zur Dokumentation auf dem PC gespeichert.



Abbildung 26:
CT-Schnittbild eines Hundes (Beagle, weiblich, 11,0 kg KGW, 4 Jahre) mit beidseits in den Orbitae eingezeichneten Messstrecken zur Messung der Orbitabreite, erstellt mit Hilfe des Programms Eclipse. Die Messstrecken verlaufen horizontal zwischen der dorsalen (bzw. lateralen) Randfläche des Proc. frontalis bis zum lateralen Rand des Os lacrimale sowie ventrale (bzw. mediale) Randfläche des Proc. frontalis bis zum lateralen Rand des Os lacrimale (Transversalschnitt).



Abbildung 27:
CT-Schnittbild eines Hundes (Beagle, weiblich, 11,0 kg KGW, 4 Jahre) mit beidseits in den Orbitae eingezeichneten Messstrecken zur Messung der Orbitahöhe, erstellt mit Hilfe des Programms Eclipse. Die Messstrecken verlaufen zwischen dem Os frontale auf Höhe des Sinus frontalis lateralis bis zum tiefsten Punkt noch vorhandenen retrobulbären Gewebes (Transversalschnitt).



Abbildung 28:
CT-Schnittbild eines Hundes (Beagle, weiblich, 11,0 kg KGW, 4 Jahre) mit beidseits in den Orbitae eingezeichneten Messstrecken zur Messung der orbitalen Gesamttiefe, erstellt mit Hilfe des Programms Eclipse. Die Messstrecken verlaufen von der rostralen Bulbusfläche bis zum kaudalsten Punkt des retrobulbären Gewebes (Coronalschnitt).

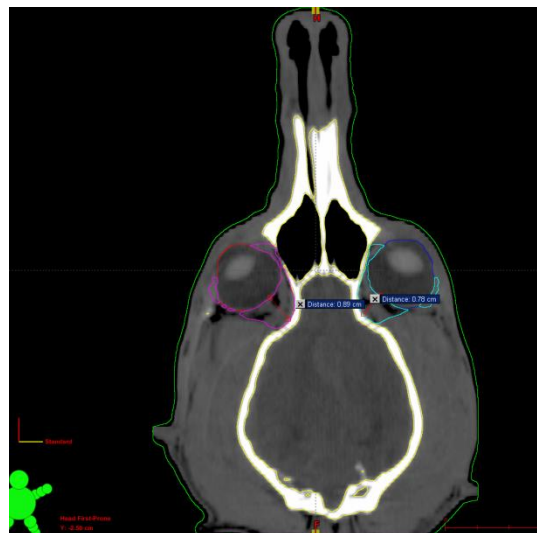


Abbildung 29:
CT-Schnittbild eines Hundes (Beagle, weiblich, 11,0 kg KGW, 4 Jahre) mit beidseits in den Orbitae eingezeichneten Messstrecken zur Messung der Orbitatiefe, erstellt mit Hilfe des Programms Eclipse. Die Messstrecken verlaufen vom kaudalen Bulbusrand bis zum kaudalsten Punkt des retrobulbären Gewebes (Coronalschnitt).

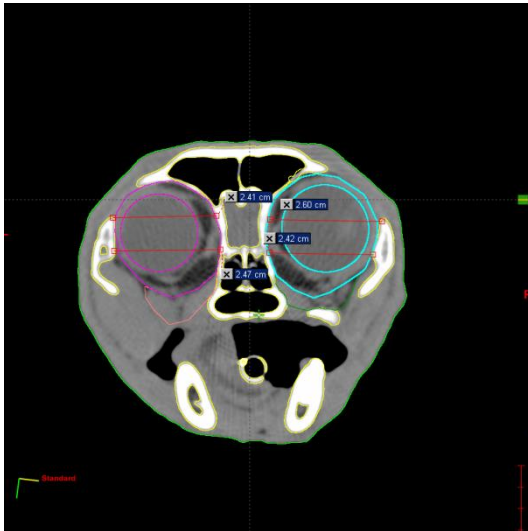


Abbildung 30:
CT-Schnittbild einer Katze (EKH, männlich-kastriert, 7,3 kg KGW, 3 Jahre) mit beidseits in den Orbitae eingezeichneten Messstrecken zur Messung der Orbitabreite, erstellt mit Hilfe des Programms Eclipse. Die Messstrecken verlaufen horizontal zwischen der dorsalen (bzw. lateralen) Randfläche des Proc. frontalis bis zum lateralen Rand des Os lacrimale sowie ventrale (bzw. mediale) Randfläche des Proc. frontalis bis zum lateralen Rand des Os lacrimale (Transversalschnitt).



Abbildung 31:
CT-Schnittbild einer Katze (EKH, männlich-kastriert, 7,3 kg KGW, 3 Jahre) mit beidseits in den Orbitae eingezeichneten Messstrecken zur Messung der Orbitahöhe, erstellt mit Hilfe des Programms Eclipse. Die Messstrecken verlaufen zwischen dem Os frontale auf Höhe des Sinus frontalis bis zum tiefsten Punkt noch vorhandenen retrobulbären Gewebes (Transversalschnitt).

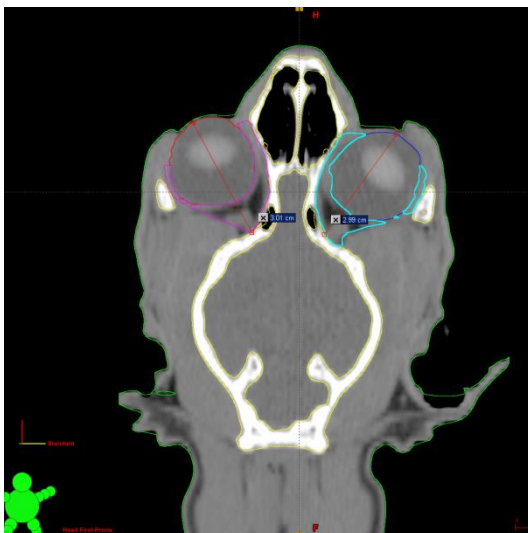


Abbildung 32:
CT-Schnittbild einer Katze (EKH, männlich-kastriert, 7,3 kg KGW, 3 Jahre) mit beidseits in den Orbitae eingezeichneten Messstrecken zur Messung der orbitalen Gesamttiefe, erstellt mit Hilfe des Programms Eclipse. Die Messstrecken verlaufen von der rostralen Bulbusfläche bis zum kaudalsten Punkt des retrobulbären Gewebes (Coronalschnitt).



Abbildung 33:
CT-Schnittbild einer Katze (EKH, männlich-kastriert, 7,3 kg KGW, 3 Jahre) mit beidseits in den Orbitae eingezeichneten Messstrecken zur Messung der Orbitatiefe, erstellt mit Hilfe des Programms Eclipse. Die Messstrecken verlaufen vom kaudalen Bulbusrand bis zum kaudalsten Punkt des retrobulbären Gewebes (Coronalschnitt).

Legende zu den Abbildungen 25-32:

hellgrüne Konturlinie = Body-Line, gelbe Konturlinie = Knochen, rote Konturlinie = linker Bulbus, dunkelblaue Konturlinie = rechter Bulbus, pinkfarbene Konturlinie = retrobulbäres Gewebe links, hellblaue Konturlinie = retrobulbäres Gewebe rechts, rosa Konturlinie = M. pterygoideus medialis und Gl. zygomatica links, dunkelgrüne Konturlinie = M. pterygoideus medialis und Gl. zygomatica rechts

3.4 Erstellung einer Video-Präsentation

Zur Veranschaulichung der angefertigten Untersuchungen dieser Arbeit wurde eine Video-CD erstellt und der Dissertation beigelegt (im Rückumschlag).

Auf der beigelegten Video-CD befinden sich Videoaufzeichnungen von drei Hunden und drei Katzen, bei denen im Rahmen der vorliegenden Dissertation die Orbita untersucht und vermessen wurde. Es sind für jede Tierart Vertreter aller drei Schädeltypen, also brachy-, meso- und dolichocephale Tiere, ausgewählt worden. Der Videoaufbau erfolgte bei allen Tieren gleichermaßen.

Auf dem Bildschirm ist zu Beginn ein Monitor zu sehen. In der Mitte des Monitors werden die CT-Schnittbilder eines Tieres in Transversalebene gezeigt. Nasal beginnend wird für jedes Tier die angefertigte CT-Serie in Richtung Hinterhaupt durchfahren. Weichteilgewebe stellen sich in den CT-Aufnahmen in verschiedenen Graustufen dar, knöcherne Strukturen erscheinen weiß. Der Kopf als Ganzes ist in jedem Schnittbild mit einer grünen Linie umrandet, knöcherne Strukturen sind mit einer gelben Linie gekennzeichnet (umrandet). Im Bereich der Orbita sind folgende Strukturen in jedem Schnittbild eingezeichnet (sofern in diesem Bereich vorhanden): die Bulbi (rote und dunkelblaue Linie), das retrobulbäre Gewebe als Gesamtheit (violette und hellblau Linie), die Gl. zygomatica und der M. pterygoideus als Gesamtheit (rosafarbene und dunkelgrüne Linie). Nach Durchlaufen aller Transversalschnittbilder erfolgt die Umstellung in den 3D Modus. Hier werden alle vorher benannten und eingezeichneten Gewebe als 3D-Rekonstruktion dargestellt. Der Kopf als Ganzes erscheint transparent grün, darunter lassen sich die Schädelknochen (gelb) und alle zuvor benannten Gewebe erkennen. Der Kopf wird von allen Seiten gezeigt, bevor die grüne Kopfkontur entfernt wird, damit nur noch der knöcherne Schädel samt des orbitalen Gewebes (Bulbus, retrobulbäres Gewebe, Speicheldrüse und M. pterygoideus) dargestellt wird. Auch diese Schädel-Ansicht wird von allen Seiten gezeigt.

Die Aufnahmen sollen die kopfformspezifischen Unterschiede zwischen Hunden bzw. Katzen veranschaulichen. Ein einzelnes Schnittbild kann diese Unterschiede bei Weitem nicht so eindrucksvoll darstellen. Zudem wird die Lage der Organe innerhalb der knöchernen Orbita und in Bezug auf den Kopf als Ganzes in ausdrucksvoller Weise deutlich.

3.5 Statistische Auswertung der Ergebnisse

Die Ergebnisse wurden aus den erstellten Excel Tabellen in das Statistik Programm SPSS (Version 21) eingelesen.

In den Vorversuchen 2 und 3 (Vermessung von CT-Aufnahmen von Hunden; Vermessung von CT-Aufnahmen von Hunden in dem Programm Eclipse) wurden die Messstrecken der linken und rechten Orbita mittels Korrelationsanalyse verglichen. Im Vorversuch 2 wurden ebenfalls die Ergebnisse der verschiedenen Messreihen mittels Korrelationsanalyse verglichen. Für die Überprüfung der Messgenauigkeit verschiedener Untersucher wurden die erste, zweite und dritte Messung aus dem Messversuch in dem Programm Eclipse mit dem Korrelationskoeffizienten miteinander verglichen. Bei allen durchgeführten statistischen Tests wurde das Signifikanzniveau bei $P < 0,05$ festgelegt.

In der Hauptstudie wurde zunächst die Normalverteilung der einzelnen Messwerte mittels Shapiro-Wilk-Test überprüft. Zudem wurde eine Levene-Statistik erstellt, um die Homogenität der Varianzen als Grundlage für die durchgeführten statistischen Tests zu beurteilen (siehe Anhang Tabelle 23).

Um einen Zusammenhang zwischen Kopfform und Körpergewicht hinsichtlich der eingezeichneten Volumina (V_{Bulbus} , V_{retrGew} , V_{Orbita} , V_{GzygMptr}) und Messstrecken (H , B_{dorsal} , B_{ventral} , T_{gesamt} , T) zu ermitteln, wurden für die normalverteilten Daten die einfaktorielle ANOVA und für die nicht normalverteilten Daten Post-Hoc-Tests (Welch-Test) durchgeführt. Zusätzlich wurde bei nicht normalverteilten Daten nichtparametrische Kruskal Wallis ANOVA ergänzend durchgeführt. Das Signifikanzniveau wurde für alle angewendeten Test mit $P < 0,05$ festgelegt.

Die Übereinstimmung der Messergebnisse von linker und rechter Orbita wurde mittels Korrelationskoeffizienten überprüft. Als signifikant wurden Variablen mit $p < 0,01$ angesehen.

4 Ergebnisse

4.1 Ergebnisse der CT-Studie in dem Programm Eclipse

4.1.1 Vermessung der Orbita an Hunden

An 40 Hunden unterschiedlichster Rassen (Anhang Tabelle 21) wurden die im Material- und Methoden-Teil beschriebenen Messstrecken angewandt. Alle Tiere waren ausgewachsen (Alter von 1,4 Jahren bis 16,6 Jahren). Von den untersuchten Hunden waren 17 Tiere weiblich (weiblich = 9, weiblich-kastriert = 8) und 23 männlich (männlich = 18, männlich kastriert = 5). Das Gewicht der Hunde reichte von 1,7 kg bis 72,0 kg.

Von den 40 untersuchten Hunden wurden 13 Hunde dem brachycephalen Schädeltyp (32,5%), 22 Hunde dem mesozephalen Schädeltyp (55,0%) und 5 Hunde dem dolichocephalen Schädeltyp (12,5%) zugeordnet. Die Zuordnung erfolgte subjektiv in Anlehnung an die Studien von KOCH et al. (2003); BALLI (2004); KOCH et al. (2012) (siehe Material und Methoden).

In Tabelle 8 sind Minimum-, Maximum- und Mittelwert sowie die Standardabweichung der einzelnen Messstrecken dargestellt. Zudem finden sich in Tabelle 8 die Korrelation (r) und Signifikanz (p) aus dem Vergleich der Messergebnisse von linker und rechter Orbita.

Tabelle 8: Deskriptive statistische Angaben zu der Vermessung der Orbita an Hunden mittels CT-Aufnahmen in dem Programm Eclipse aus der Hauptstudie mit Darstellung der Korrelation (r) und Signifikanz (p) aus dem Vergleich der Messergebnisse von linker und rechter Orbita (N=40 Hunde, n=80 Orbitae)

Variable	Min.	Max.	MW	SD	r	p
V _{Bulbus}	2,36	7,18	5,01	1,16	0,978	<0,001
V _{retrGew}	0,95	24,35	8,93	5,18	0,996	<0,001
V _{Orbita}	3,35	31,02	13,94	6,24	0,997	<0,001
V _{GzygMptr}	0,42	15,82	6,03	3,75	0,992	<0,001
H	1,89	4,53	3,33	0,71	0,991	<0,001
B _{dorsal}	1,81	3,54	2,50	0,39	0,978	<0,001
B _{ventral}	1,33	3,18	2,06	0,37	0,956	<0,001
T _{gesamt}	2,04	5,33	3,39	0,69	0,990	<0,001
T	0,46	2,76	1,41	0,53	0,991	<0,001

In der Tabelle sind die Korrelation (r) und Signifikanz (p) aller untersuchten Messstrecken zwischen rechter und linker Orbita angegeben. Alle Messergebnisse aus der Messung der linken und rechten Orbita korrelieren statistisch signifikant ($p < 0,05$).

(Min. = Minimum, Max. = Maximum, MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, r = Korrelation, p = Signifikanz, V_{Bulbus} = Volumen Bulbus in cm³, V_{retrGew} = Volumen retrobulbäres Gewebe in cm³, V_{Orbita} = orbitales Gesamtvolumen in cm³, V_{GzygMptr} = Volumen Gl. zygomatica und M. pterygoideus in cm³, H = Orbitahöhe in cm, B_{dorsal} = dorsale Orbitabreite in cm, B_{ventral} = ventrale Orbitabreite in cm, T_{gesamt} = Gesamttiefe der Orbita in cm, T = Orbitatiefe ohne Bulbusanteil in cm)

Mittels Korrelationskoeffizienten wurde die Korrelation zwischen den Messergebnissen der linken und rechten Orbita der einzelnen Tiere untersucht. Bei allen betrachteten Messstrecken konnte eine signifikante Korrelation zwischen linker und rechter Orbita festgestellt werden ($r=0,956-0,997$, $p < 0,001$) (Tabelle 8). In Abbildung 34 ist die Korrelation

zwischen rechter und linker Orbita am Beispiel des Orbitavolumens dargestellt ($r=0,997$, $p<0,05$).

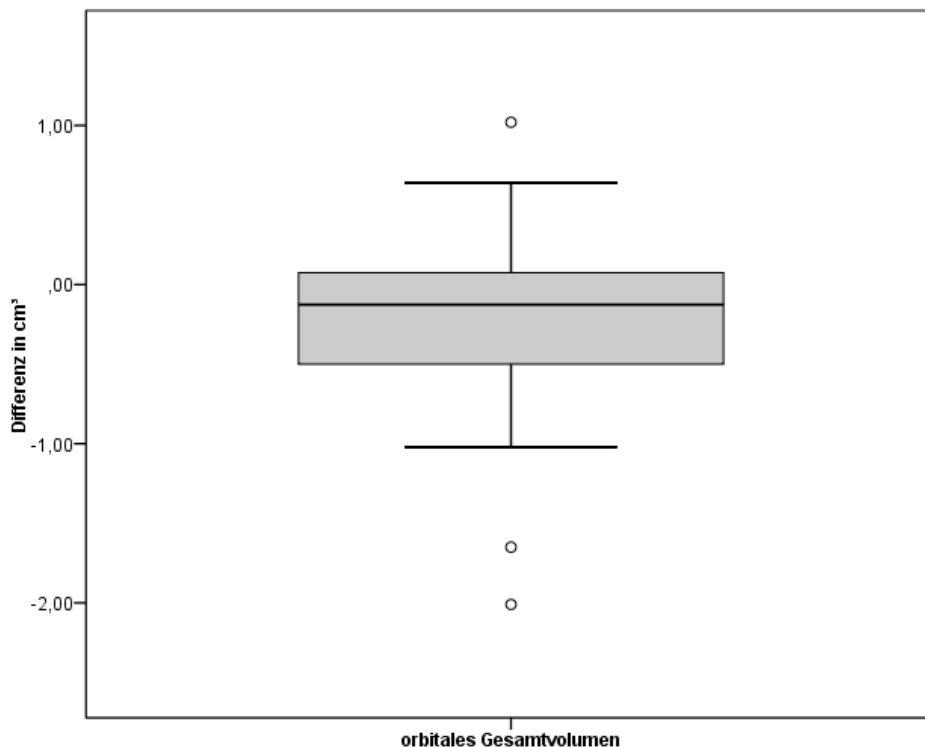


Abbildung 34: Darstellung der durchschnittlichen Differenz zwischen der Messung des linken und rechten Orbitavolumens bei den untersuchten Hunden aus der Hauptstudie (N=40 Hunde, n=80 Orbitae).

Auf der X-Achse ist das orbitale Gesamtvolumen dargestellt, die Y-Achse zeigt die durchschnittliche Differenz der Messungen für das linke und rechte Orbitavolumen für jedes Tier.

4.1.1.1 Ausdehnung der Orbita in Bezug auf die Kopfform

In Tabelle 9 sind alle Minimum-, Maximum- und Mittelwerte sowie die Standardabweichung, Median und Signifikanz (p) der Messergebnisse für die untersuchten Hunde in Bezug auf die Kopfform dargestellt, ebenso sind die verwendeten statistischen Testverfahren angegeben. Alle Daten wurden auf Normalverteilung überprüft. Die Daten aus der Messung des Bulbusvolumens und der Gesamttiefe der Orbita waren normalverteilt. Alle anderen Messdaten waren nicht normalverteilt. Für nicht normalverteilte Daten wurde der Welch-Test um die Kruskal-Wallis ANOVA ergänzt.

Ergebnisse

Tabelle 9: Deskriptive statistische Angaben zu der Vermessung der Orbita von Hunden mittels CT-Aufnahmen in dem Programm Eclipse unterteilt nach den Kopfformen aus der Hauptstudie mit Darstellung der Signifikanzwerte (p) aus dem Vergleich der einzelnen Kopfformen in Bezug auf die Ausdehnung der Orbita. (N=40 Hunde, n=80 Orbitae, davon N=13 brachyzephe Hunde (n=26 Orbitae), N=22 mesozephe Hunde (n=44 Orbitae), N=5 dolichozepe Hunde (n=10 Orbitae))

Variable	Min.			Max.			MW			SD			Median			p	statistisches Testverfahren	Kruskal Wallis ANOVA p
	B	M	D	B	M	D	B	M	D	B	M	D	B	M	D			
V _{Bulbus}	2,36	3,30	3,27	7,12	7,10	7,18	4,81	5,11	5,11	1,40	0,97	1,32	4,90	5,06	4,90	0,558	ANOVA	-
V _{retrGew}	0,95	2,79	4,01	24,35	18,79	14,99	8,20	9,32	9,08	6,55	4,44	4,39	5,49	10,07	7,65	0,748	Welch-Test	0,198
V _{Orbita}	3,35	6,36	7,39	31,02	25,89	22,17	13,00	14,43	14,18	7,80	5,35	5,70	10,57	15,36	12,54	0,720	Welch-Test	0,400
V _{GzygMptr}	0,42	1,31	3,27	10,35	15,82	13,67	4,01	6,94	7,26	3,20	3,66	3,68	2,48	7,81	6,57	0,004	Welch-Test	0,058
H	1,89	2,32	2,67	4,49	4,25	4,53	3,09	3,41	3,60	0,86	0,57	0,69	2,82	3,60	3,76	0,160	Welch-Test	0,342
B _{dorsal}	1,81	2,04	1,91	3,33	3,54	2,98	2,61	2,48	2,32	0,43	0,36	0,37	2,70	2,40	2,25	0,142	Welch-Test	0,041
B _{ventral}	1,64	1,60	1,33	2,77	3,18	2,45	2,29	1,97	1,87	0,34	0,33	0,34	2,30	1,88	1,89	0,001	Welch-Test	0,001
T _{gesamt}	2,04	2,28	2,70	5,33	4,67	3,86	3,45	3,39	3,22	0,87	0,60	0,50	3,65	3,50	2,98	0,579	ANOVA	-
T	0,46	0,60	0,74	2,61	2,76	1,90	1,46	1,40	1,27	0,57	0,53	0,38	1,44	1,49	1,17	0,623	Welch-Test	0,375

(Min. = Minimum, Max. = Maximum, MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, p = Signifikanz, B = Brachyzephal, M = Mesozephal, D = Dolichozepe, V_{Bulbus} = Volumen Bulbus in cm³, V_{retrGew} = Volumen retrobulbäres Gewebe in cm³, V_{Orbita} = orbitales Gesamtvolumen in cm³, V_{GzygMptr} = Volumen Gl. zygomatica und M. pterygoideus in cm³, H = Orbitahöhe in cm, B_{dorsal} = dorsale Orbitabreite in cm, B_{ventral} = ventrale Orbitabreite in cm, T_{gesamt} = Gesamttiefe der Orbita in cm, T = Orbitatiefe ohne Bulbusanteil in cm)

Die Messung des **Bulbus-Volumens (V_{Bulbus})** hat keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Gruppen gezeigt ($F(2,77)=0,588$, $p=0,558$). Vor allem bei mesozephalen und dolichocephalen Hunden sind keine Unterschiede im Bulbusvolumen zu verzeichnen ($p=1,00$). Das Bulbusvolumen ist bei brachycephalen Hunden geringfügig kleiner als bei meso- und dolichocephalen Hunden. Der Mittelwert ist bei meso- und dolichocephalen Hunden mit $5,11\text{cm}^3$ gleich. Der Mittelwert für das Bulbusvolumen liegt bei $4,81\text{ cm}^3$ und ist damit geringfügig kleiner als bei meso- und dolichocephalen Tieren.

Die **Volumenmessung des retrobulbären Gewebes (V_{retrGew})** hat gezeigt, dass es auch hier keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Kopfformen gibt ($F(2,77)=0,748$, $p=0,748$). Brachycephale Hunde haben im Mittel mit $8,20\text{ cm}^3$ das kleinste Volumen des retrobulbären Gewebes gefolgt von den dolichocephalen Hunden mit einem Mittelwert von $9,08\text{cm}^3$. Das größte Volumen des retrobulbären Gewebes haben mesozephal Hunde, im Mittel $9,32\text{ cm}^3$. Ebenso verhält es sich bei dem Vergleich der Medianwerte, das kleinste retrobulbäre Volumen besitzen brachycephale Hunde (Median $5,49\text{ cm}^3$) gefolgt von dolichocephalen Hunden (Median $7,65\text{ cm}^3$). Mit einem Median von $10,07\text{ cm}^3$ weisen mesozephal Hunde den größten Wert auf.

Das **Gesamtvolumen der Orbita (V_{Orbita})** setzt sich aus der Volumenmessung des Bulbus und der Volumenmessung des retrobulbären Gewebes zusammen. Das orbitale Gesamtvolumen weist keine signifikanten Unterschiede in den einzelnen Gruppen auf ($F(2,77)=0,720$, $p=0,720$). Das kleinste orbitale Gesamtvolumen weisen brachycephale Hunde (Median $10,57\text{ cm}^3$, MW $13,00\text{ cm}^3$) gefolgt von dolichocephalen Hunden (Median $12,54\text{ cm}^3$, MW $14,18\text{ cm}^3$) auf. Das größte orbitale Gesamtvolumen besitzen mesozephal Hunde (Median $15,36\text{ cm}^3$, MW $14,43\text{ cm}^3$). Allerdings weisen mesozephal und brachycephale Hunde nur geringe Volumenunterschiede auf.

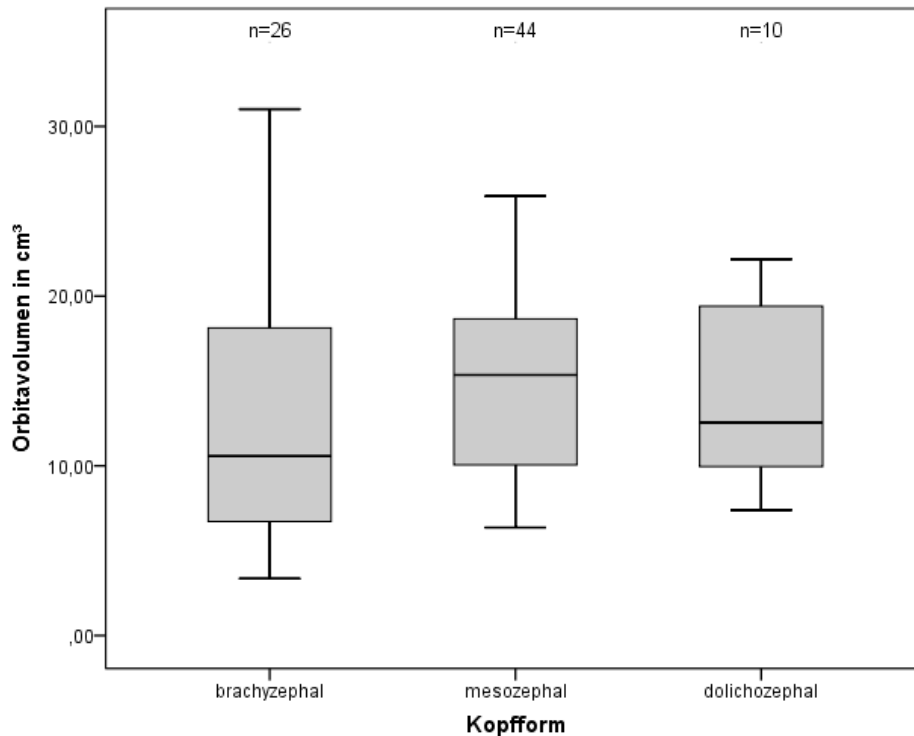


Abbildung 35: Vergleich des orbitalen Gesamtvolumens von Hunden in Bezug auf die verschiedenen Kopfformen im Boxplot (n=Anzahl Augen).

Erläuterung: In dem Boxplot sind die Messergebnisse des Orbitavolumens mit Minimum, Maximum und Median dargestellt. Wie in diesem exemplarischen Boxplot für das Orbitavolumen verhalten sich auch folgende Messungen: Bulbusvolumen, Volumen des retrobulbären Gewebes, Orbitahöhe, dorsale Orbitabreite und beide Tiefenmessungen.

Signifikante Unterschiede konnten bei der **Volumenmessung der Gl. zygomatica und des M. pterygoideus ($V_{GzygMptr}$)** zwischen den Gruppen festgestellt werden ($F(2,77)=0,004$, $p<0,05$). Diese Volumenunterschiede bestehen sehr deutlich zwischen Hunden mit brachycephaler und mesozephaler Kopfform ($p=0,005$). Vergleicht man Hunde mit brachycephaler und dolichocephaler Kopfform so sind diese Volumenunterschiede weniger signifikant ausgebildet ($p=0,052$) aber vorhanden. Zwischen Tieren mit mesozephaler und dolichocephaler Kopfform sind keine signifikanten Unterschiede zu verzeichnen ($p=0,967$). Dies zeigt sich auch in dem Ergebnis der Kruskal Wallis-Analyse ($p=0,058$). Danach gibt es keine signifikanten Unterschiede bei einem Signifikanzniveau von $p<0,05$. Das kleinste Volumen von Gl. zygomatica und des M. pterygoideus findet man bei brachycephalen Hunden (Median $2,48 \text{ cm}^3$, MW $4,01 \text{ cm}^3$), hier sind die Unterschiede statistisch signifikant zu meso- und dolichocephalen Hunden. Das Volumen von Gl. zygomatica und des M. pterygoideus ist bei mesozephalen Hunden (Median $7,8 \text{ cm}^3$, MW $6,94 \text{ cm}^3$) nur geringfügig größer als bei dolichocephalen Hunden (Median $6,57 \text{ cm}^3$, MW $7,26 \text{ cm}^3$).

Bei der Messung der **dorsoventralen Ausdehnung der Orbita (H)** konnten keine signifikanten gruppenspezifischen Unterschiede festgestellt werden ($F(2,77)=0,160$, $p=0,160$). Trotzdem bestehen Unterschiede, wenn auch nicht statistisch signifikant, zwischen den einzelnen Kopfformen, insbesondere beim Vergleich brachycephaler Tiere mit mesozephalen und dolichocephalen Hunden ($p=0,175$, bzw. $p=0,149$). Diese sind zwischen Hunden mit mesozephaler Kopfform und dolichocephaler Kopfform nicht vertreten ($p=0,748$). Hunde mit brachycephaler Kopfform besitzen einen Median von $2,82 \text{ cm}^3$ (MW $3,09 \text{ cm}^3$) und weisen damit die geringste Orbitahöhe im Vergleich zu mesozephalen Hunden (Median $3,60 \text{ cm}^3$, MW $3,41 \text{ cm}^3$) und dolichocephalen Hunden (Median $3,76 \text{ cm}^3$, MW $3,60 \text{ cm}^3$) auf.

Die **dorsale Breitenmessung (B_{dorsal})** zeigte keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Gruppen ($F(2,77)=0,142$, $p=0,142$). Die breiteste Orbita weisen brachycephale Tiere auf (Median $2,70 \text{ cm}$, MW $2,61 \text{ cm}$). Bei mesozephalen Hunden beträgt die dorsale Orbitabreite im Mittel $2,48 \text{ cm}$ (Median $2,40 \text{ cm}$). Dolichocephale Hunde haben im Mittel eine dorsale Orbitabreite von $2,32 \text{ cm}$ (Median $2,25 \text{ cm}$). Die maximale Orbitabreite wurde mit $3,54 \text{ cm}$ bei einem Rottweiler gemessen, welcher der mesozephalen Kopfform zugeordnet wurde (Tier Nr. 35, Hund, Rottweiler, m, 6,5 Jahre, $49,0 \text{ kg KGW}$). Bei der Kruskal-Wallis-Analyse konnten jedoch statistisch signifikante Unterschiede bei der dorsalen Breitenmessung festgestellt werden ($p=0,041$).

Deutliche Unterschiede ergaben sich bei der **ventralen Breitenmessung** der Orbita (**B_{ventral}**). Hier sind signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Gruppen erkennbar ($F(2,77)=0,001$, $p=0,001$). Diese sind sehr stark zwischen Hunden mit brachycephaler und mesozephaler Kopfform ($p=0,001$) und Hunden mit brachycephaler und dolichocephaler Kopfform ($p=0,005$) ausgeprägt. Zwischen Mesozephalen und Dolichocephalen bestehen keine signifikanten Unterschiede ($p=0,713$). Die kleinste ventrale Breite weisen dolichocephale Tiere mit einem Median von $1,89 \text{ cm}$ (MW $1,87 \text{ cm}$) auf. Die kleinste ventrale Orbitabreite wurde bei einem dolichocephalen Hund gemessen (Tier Nr. 39, Hund, Barsoi, mk, 7,3 Jahre, $66,0 \text{ kg KGW}$; $B_{\text{ventral}} = 1,33 \text{ cm}$). Die ventrale Breite reichte bei den verbliebenen dolichocephalen Hunden von $1,33 \text{ cm}$ bis $2,45 \text{ cm}$. Die mesozephalen Hunde nehmen eine Mittelstellung ein. Der Median für die ventrale Breite bei mesozephalen Hunden beträgt $1,88 \text{ cm}$ (MW $1,97 \text{ cm}$). Die größte ventrale Breite konnte bei brachycephalen Hunden gemessen werden (Median $2,30 \text{ cm}$, MW $2,29 \text{ cm}$).

Ergebnisse

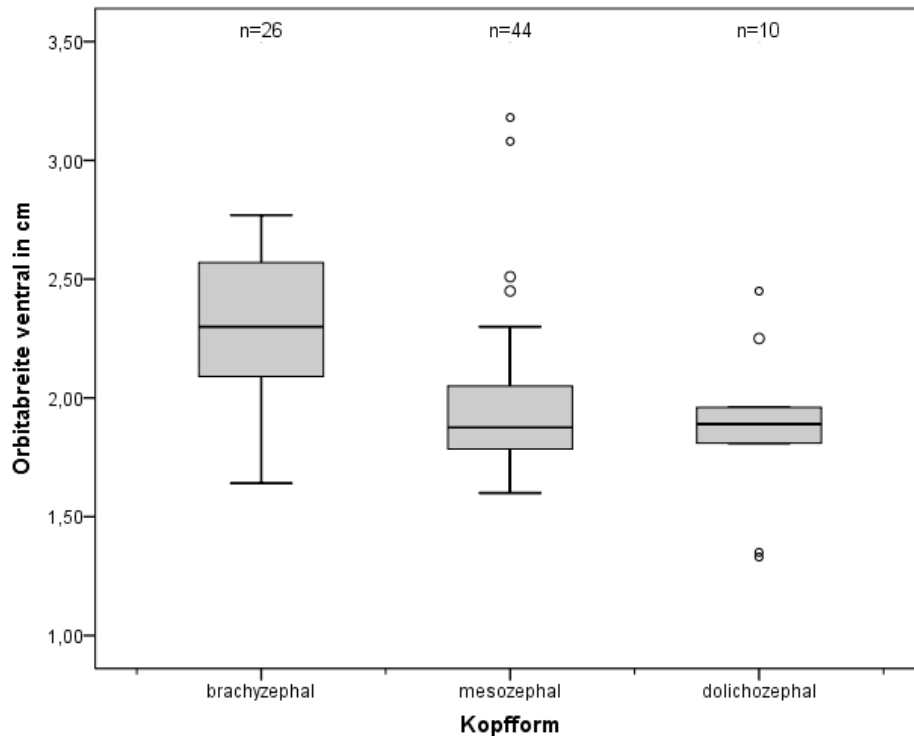


Abbildung 36: Vergleich der ventralen orbitalen Breitenmessung von Hunden in Bezug auf die verschiedenen Kopfformen im Boxplot (n=Anzahl Augen).

Erläuterung: In dem Boxplot sind die Messergebnisse der ventralen Breitenmessung mit Minimum, Maximum und Median dargestellt. Wie in diesem exemplarischen Boxplot für die ventrale Orbitabreite verhält es sich auch bei der Volumenmessung von *M. pterygoideus* und *Gl. zygomatica*.

Die Tiefe der Orbita wurde zweimal gemessen. Die erste Tiefenmessung entspricht der **Orbitatiefe einschließlich des Bulbus (T_{Gesamt})**. Bei der zweiten Tiefenmessung wurde die **Tiefe der Orbita ohne den Bulbus gemessen (T)**.

Betrachtet man die Gesamttiefe der Orbita (T_{Gesamt}) so ergeben sich zwischen den einzelnen Gruppen keine signifikanten Unterschiede ($F(2,77)=0,579$, $p=0,579$). Die größte Gesamttiefe der Orbita findet sich bei brachycephalen Hunden (Median 3,65 cm, MW 3,45 cm), wobei hier die Spannbreite zwischen Minimum und Maximum sehr groß ist. Die kleinste Gesamttiefe der Orbita findet sich bei dolichocephalen Hunden (Median 2,98 cm, MW 3,22 cm). Bei mesozephalen Hunde beträgt der Median 3,50 cm (MW 3,39 cm).

Die Messung der Tiefe der Orbita ohne den Bulbus in den verschiedenen Gruppen zeigt keine signifikanten Unterschiede ($F(2,77)=0,623$, $p=0,623$). Wie bei der Gesamttiefe der Orbita haben auch bei der Tiefenmessung ohne Bulbusanteil die Brachycephalen die tiefste Orbita (MW 1,46 cm, Median 1,44 cm), gefolgt von den mesozephalen Hunden (MW 1,40 cm, Median 1,49 cm). Bei dolichocephalen Hunden wurde die kleinste Orbitatiefe gemessen (MW 1,27 cm, Median 1,17 cm).

4.1.1.2 Ausdehnung der Orbita in Bezug auf das Körpergewicht

Alle 40 Hunde wurden in drei Gewichtsgruppen eingeteilt.

Die Einteilung der Hunde in Gewichtsgruppen erfolgte, um einen Rückschluss auf die Körpergröße ziehen zu können. Zugleich sollte geprüft werden, inwieweit die Ausdehnung der Orbita von der Größe des Tieres abhängt.

Folgende Gruppen wurden unterschieden:

Gewichtsgruppe 1: 0-15 kg KGW (N=19, n=38 Orbitae)

Gewichtsgruppe 2: 16-44 kg KGW (N=15, n=30 Orbitae)

Gewichtsgruppe 3: >44 kg KGW (N=6, n=12 Orbitae).

In Tabelle 10 sind alle Minimum-, Maximum- und Mittelwerte sowie Standardabweichung, Median und Signifikanz (p) der Messergebnisse für die untersuchten Hunde in Bezug auf die Gewichtsklassen und die jeweiligen genutzten statistischen Analyseverfahren dargestellt. Alle Daten wurden auf Normalverteilung überprüft. Die Messergebnisse der Volumenmessung des M. pterygoideus und der Gl. zygomatica sowie der Orbitahöhe waren normalverteilt; alle anderen Datensätze waren nicht normalverteilt. Für nicht normalverteilte Daten wurde der Welch-Test um die Kruskal-Wallis ANOVA ergänzt.

Ergebnisse

Tabelle 10: Deskriptive statistische Angaben zu der Vermessung der Orbita von Hunden mittels CT-Aufnahmen in dem Programm Eclipse unterteilt nach Gewichtsklassen aus der Hauptstudie mit Darstellung der Signifikanzwerte (p) aus dem Vergleich der einzelnen Gewichtsklassen in Bezug auf die Ausdehnung der Orbita. (N=40 Hunde, n=80 Orbitae, davon Gewichtsklasse 1 (bis 15 kg, N=19, n=38 Orbitae), Gewichtsklasse 2 (16-44 kg, N=15, n=30 Orbitae), Gewichtsklasse 3 (>44 kg, N=6, n=12 Orbitae))

Variable	Min.			Max.			MW			SD			Median			p	statistische Testverfahren	Kruskal Wallis ANOVA
	0-15	16-44	>44	0-15	16-44	>44	0-15	16-44	>44	0-15	16-44	>44	0-15	16-44	>44			
V _{Bulbus}	2,36	4,77	5,86	5,21	6,65	7,18	4,02	5,65	6,54	0,74	0,47	0,46	4,30	5,78	6,55	<0,001	Welch-Test	0,000
V _{retrGew}	0,95	7,45	12,43	10,29	16,35	24,35	4,44	11,69	16,22	2,09	2,28	3,96	4,53	11,70	14,82	<0,001	Welch-Test	0,000
V _{Orbita}	3,35	12,22	18,93	15,18	22,35	31,02	8,46	17,34	22,77	2,71	2,55	4,22	8,81	17,47	21,51	<0,001	Welch-Test	0,000
V _{GzygMptr}	0,42	5,02	8,06	4,87	10,35	15,82	2,71	7,98	11,66	1,32	1,31	2,78	2,50	8,16	11,55	<0,001	ANOVA	-
H	1,89	3,49	3,60	3,29	4,37	4,53	2,67	3,83	4,14	0,36	0,23	0,29	2,67	3,77	4,15	<0,001	ANOVA	-
B _{dorsal}	1,81	2,14	1,91	3,02	3,10	3,54	2,28	2,69	2,75	0,27	0,26	0,59	2,24	2,64	2,80	<0,001	Welch-Test	0,000
B _{ventral}	1,64	1,68	1,33	2,66	2,77	3,18	1,99	2,12	2,15	0,28	0,30	0,66	1,90	2,09	2,03	0,169	Welch-Test	0,148
T _{gesamt}	2,04	2,95	3,65	3,92	4,31	5,33	2,87	3,69	4,26	0,49	0,32	0,55	2,77	3,71	4,07	<0,001	Welch-Test	0,000
T	0,46	1,14	1,42	1,89	2,11	2,76	1,04	1,63	2,01	0,40	0,31	0,50	0,93	1,55	1,81	<0,001	Welch-Test	0,000

(Min. = Minimum, Max. = Maximum, MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, p = Signifikanz, V_{Bulbus} = Volumen Bulbus in cm³, V_{retrGew} = Volumen retrobulbäres Gewebe in cm³, V_{Orbita} = orbitales Gesamtvolumen in cm³, V_{GzygMptr} = Volumen Gl. zygomatica und M. pterygoideus in cm³, H = Orbitahöhe in cm, B_{dorsal} = dorsale Orbitabreite in cm, B_{ventral} = ventrale Orbitabreite in cm, T_{gesamt} = Gesamttiefe der Orbita in cm, T = Orbitatiefe ohne Bulbusanteil in cm)

Zwischen den drei betrachteten Gewichtgruppen unterschied sich das **Bulbusvolumen** (V_{Bulbus}) hochsignifikant ($F(2,77) < 0,001$, $p < 0,001$). Hunde, die der Gewichtsguppe 1 zugeordnet wurden, besitzen das kleinste Bulbusvolumen (Median $4,30 \text{ cm}^3$, MW $4,02 \text{ cm}^3$). Hunde der Gewichtsklasse 2 nehmen eine Mittelstellung ein (Median $5,78 \text{ cm}^3$, MW $5,65 \text{ cm}^3$). Bei Hunden der Gewichtsguppe 3 wurde das größte Bulbusvolumen gemessen (Median $6,55 \text{ cm}^3$, MW $6,54 \text{ cm}^3$).

Dieselben gewichtsspezifischen Unterschiede konnten auch bei der Volumenmessung des **retrobulbären Gewebes** (V_{retrGew}) sowie dem **orbitalen Gesamtvolumen** (V_{Orbita}) festgestellt werden ($F(2,77) = 0,000$, $p = 0,000$).

Bei Hunden der Gewichtsguppe 1 findet sich das geringste retrobulbäre Volumen (Median $4,53 \text{ cm}^3$, MW $4,44 \text{ cm}^3$). Allerdings wurde bei einem Hund dieser Gewichtsguppe ein deutlich größeres retrobulbäres Volumen gemessen (Hund, Französische Bulldogge, m, 3,1 Jahre, $11,5 \text{ kg KGW}$). Es handelt sich hierbei um eine $11,50 \text{ kg}$ schwere Französische Bulldogge mit einem Volumen des retrobulbären Gewebes von $10,29 \text{ cm}^3$. Das größte Volumen des retrobulbären Gewebes wiesen Hunde der Gewichtsguppe 3 auf (Median $14,82 \text{ cm}^3$, MW $16,22 \text{ cm}^3$). Hunde der Gewichtsguppe 2 nehmen eine Mittelstellung ein (Median $11,70 \text{ cm}^3$, MW $11,69 \text{ cm}^3$). Entsprechend der Ergebnisse der einzelnen Gewichtsguppen bezüglich des Bulbusvolumen und des retrobulbären Volumens sind bei der Messung des orbitalen Gesamtvolumens dieselben Unterschiede zwischen den Gewichtsguppen zu verzeichnen ($F(2,77) = 0,000$, $p = 0,000$).

Hunde der Gewichtsguppe 1 besitzen das kleinste orbitale Gesamtvolumen (Median $8,81 \text{ cm}^3$, MW $8,46 \text{ cm}^3$), gefolgt von Hunden der Gewichtsguppe 2 (Median $17,47 \text{ cm}^3$, MW $17,34 \text{ cm}^3$). Das größte Orbitavolumen besitzen Hunde der Gewichtsguppe 3 (Median $21,51 \text{ cm}^3$, MW $22,77 \text{ cm}^3$). Diese Volumenunterschiede in Bezug auf die Gewichtsklassen sind in der Abbildung 37 in Form eines Boxplots dargestellt.

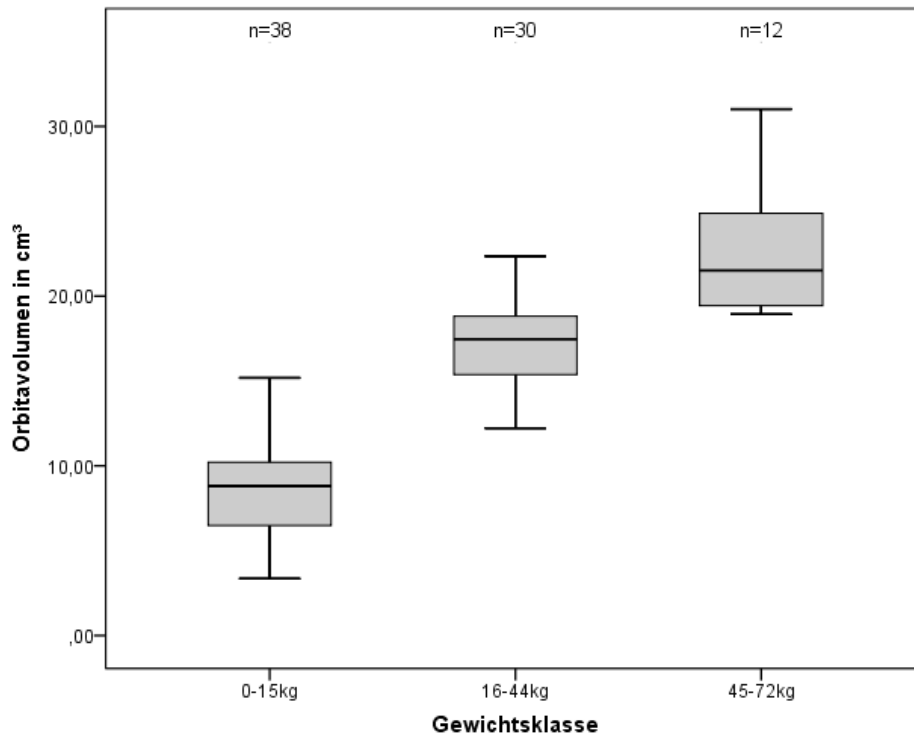


Abbildung 37: Vergleich des orbitalen Gesamtvolumens von Hunden in Bezug auf die verschiedenen Gewichtsklassen im Boxplot (n=Anzahl Augen).

Erläuterung: In dem Boxplot sind die Messergebnisse der Messung des Gesamtorbitavolumens mit Minimum, Maximum und Median dargestellt. Dieses Boxplot ist exemplarisch für das orbitale Gesamtvolumen. Bei allen beschriebenen Messtrecken verhält sich die Größenverteilung gleichartig, mit Ausnahme der ventralen Breitenmessung.

Bei der Analyse der **Volumenmessung der Gl. zygomatica und dem M. pterygoideus ($V_{GzygMptr}$)** konnte ein signifikanter Unterschied des Volumens in allen drei Gruppen festgestellt werden ($F(2,77)=0,000$, $p=0,000$). Dieser signifikante Unterschied spiegelt sich zwischen allen drei Gewichtsklassen wieder. Die kleinste Volumenausdehnung dieser Gewebe konnte bei Hunden der Gewichtsklasse 1 gefunden werden (Median $2,50 \text{ cm}^3$, MW $2,71 \text{ cm}^3$). Hunde der Gewichtsklasse 2 weisen ein deutlich größeres Volumen im Vergleich zu Gruppe 1 auf (Median $8,16 \text{ cm}^3$, MW $7,98 \text{ cm}^3$). Hunde der Gewichtsklasse 3 weisen das größte Gewebevolumen von allen drei Gruppen auf (Median $11,55 \text{ cm}^3$, MW $11,66 \text{ cm}^3$).

Ebenso konnten signifikante Unterschiede bei allen drei Gewichtsklassen bei der Messung der **Orbitahöhe (H)** festgestellt werden ($F(2,77)=0,000$, $p=0,00$). Die geringste Orbitahöhe findet sich bei Hunden der Gewichtsklasse 1 (Median $2,67 \text{ cm}$, MW $2,67 \text{ cm}$). Die größte orbitale Höhenausdehnung weisen Hunde der Gewichtsklasse 3 auf (Median $4,15 \text{ cm}$, MW $4,14 \text{ cm}$). Bei Hunden der Gewichtsklasse 2 wurde im Mittel eine Orbitahöhe von $3,83 \text{ cm}$ gemessen (Median $3,77 \text{ cm}$).

Die einzelnen Gewichtsklassen wurden auch bezüglich der Breite der Orbita untersucht.

Die **dorsale Breitenmessung (B_{dorsal})** (Beschreibung s. Material und Methode) ergab signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen ($F(2,77)=0,000$, $p=0,000$). Die Unterschiede zwischen Gewichtsklasse 2 und Gewichtsklasse 3 waren nicht signifikant ($p=0,843$). Die dorsal gemessene Breite der Orbita ist in diesen beiden Gruppen ähnlich. Vergleicht man die Mittelwerte aller drei Gruppen, sind diese Unterschiede zwar nachvollziehbar, aber nur geringe Werteunterschiede zu verzeichnen (MW Gruppe 1 2,28 cm, MW Gruppe 2 2,69 cm, MW Gruppe 3 2,75 cm). Auch beim Vergleich der Median-Werte sind die Unterschiede nur geringfügig (Median Gruppe 1 2,24 cm, Median Gruppe 2 2,64 cm, Median Gruppe 3 2,80 cm).

Die **ventrale Breitenmessung (B_{ventral})** der Orbita hingegen erbrachte keinen statistisch signifikanten Unterschied in den drei Gewichtsklassen ($p=0,169$ bzw. $p=0,426$). Die Median- und Mittelwerte liegen bei allen drei Gruppen nahe beieinander (Gruppe 1 Median 1,90 cm, MW 1,99 cm; Gruppe 2: Median 2,09 cm, MW 2,12 cm; Gruppe 3: Median 2,03 cm, MW 2,15 cm).

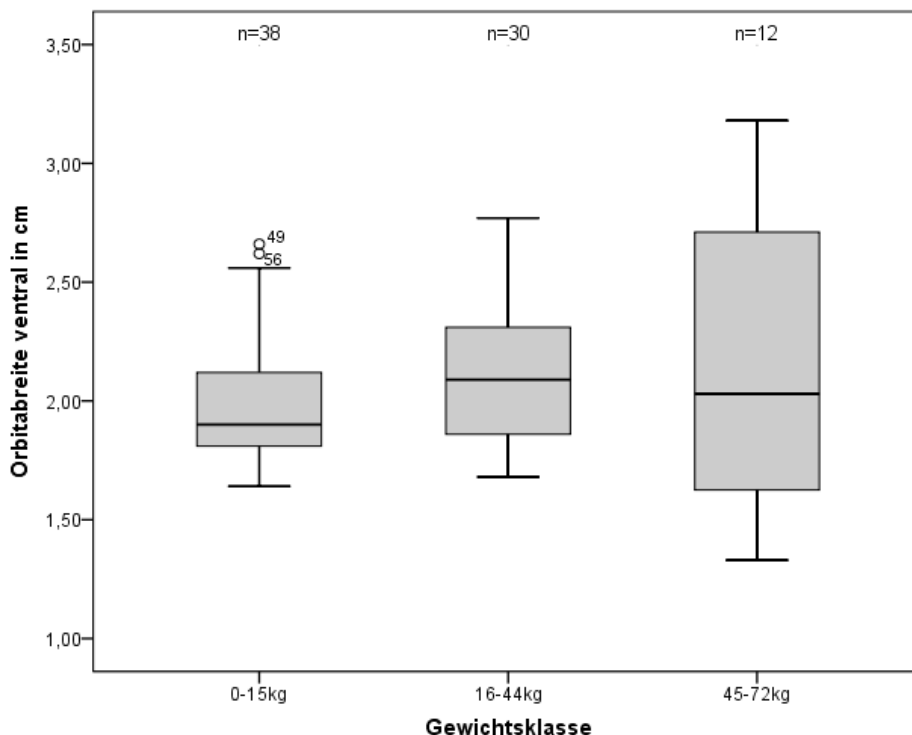


Abbildung 38: Vergleich der ventralen Breitenmessung der Orbita von Hunden in Bezug auf die verschiedenen Gewichtsklassen im Boxplot (n =Anzahl Augen).

Erläuterung: In dem Boxplot sind die Messergebnisse der Messung der ventralen Orbitabreite mit Minimum, Maximum und Median dargestellt. Es bestehen keine signifikanten Gruppenunterschiede.

Die Messung der **Gesamttiefe der Orbita (T_{Gesamt})** sowie der **Tiefe ohne Bulbusanteil (T)** zeigte wieder signifikante Unterschiede in allen Gewichtgruppen ($F(2,77)=0,000$, $p=0,000$). Die geringste Tiefenausdehnung der Orbita wurde bei Hunden der Gewichtsklasse 1 gemessen (Median 2,77 cm, MW 2,87 cm) wobei Tier Nr. 9 (Hund, Mops, m, 8,5 Jahre, 8,5 kg KGW, T_{Gesamt} : 3,86 cm bzw. 3,62 cm) und Tier Nr. 16 (Hund, Französische Bulldogge, m, 3,1 Jahre, 11,5 kg KGW, T_{Gesamt} : bds. 3,92 cm) eine deutlich größere Gesamttiefe aufweisen (T_{Gesamt} : 3,86 cm). Bei Hunden der Gewichtgruppe 3 findet sich die größte gemessene Tiefe der Orbita (Median 4,07 cm, MW 4,26 cm). Bei Tieren der Gewichtgruppe 2 beträgt die Orbitatiefe im Mittel 3,69 cm (Median 3,7 cm). Diese Ergebnisse lassen sich sowohl bei der Gesamttiefe der Orbita sowie der ohne Bulbusanteil gemessenen Tiefe der Orbita feststellen ($F(2,77)=0,000$, $p=0,000$), (Gruppe 1: Median 0,93 cm, MW 1,04 cm; Gruppe 2: Median 1,55 cm, MW 1,63cm; Gruppe 3: Median 1,81 cm, MW 2,01 cm).

4.1.1.3 Statistische Analyse aller Hunde bis 15 kg KGW in Bezug auf die Kopfform

Ergänzend zu den vorhergehenden Analysen wurden nochmal alle Hunde bis 15 kg Körpergewicht in Bezug auf die Kopfform untersucht.

In Tabelle 11 sind alle Minimum-, Maximum- und Mittelwerte sowie Standardabweichung, Median und Signifikanz (p) der Messergebnisse für die untersuchten Hunde bis zu einem Körpergewicht von 15 kg in Bezug auf die Kopfform dargestellt. Alle Daten wurden auf Normalverteilung überprüft. Die Daten aus der Messung der Orbitahöhe, Orbitabreite (dorsal und ventral) und des Volumens des M. pterygoideus und Gl. zygomatica waren normalverteilt und wurden mittels einfaktorieller ANOVA ausgewertet. Alle restlichen Messdaten waren nicht normalverteilt und wurden mittels Welch-Test und ergänzend Kruskal-Wallis-Analyse ausgewertet.

Ergebnisse

Tabelle 11: Deskriptive statistische Angaben zu der Vermessung der Orbita von Hunden bis 15 kg Körpergewicht mittels CT-Aufnahmen in dem Programm Eclipse unterteilt nach den Kopfformen aus der Hauptstudie mit Darstellung der Signifikanzwerte (p) aus dem Vergleich der einzelnen Kopfformen in Bezug auf die Ausdehnung der Orbita. (N=19 Hunde, n=38 Orbitae, davon N=8 brachycephale Hunde (n=16 Orbitae), N=9 mesozepale Hunde (n=18 Orbitae), N=2 dolichocephale Hunde (n=4 Orbitae))

Variable	Min.			Max.			MW			SD			Median			p	statistische Testverfahren	Kruskal Wallis ANOVA
	B	M	D	B	M	D	B	M	D	B	M	D	B	M	D			
V _{Bulbus}	2,36	3,30	3,27	5,21	4,75	4,34	3,92	4,15	3,84	1,00	0,47	0,56	4,10	4,36	3,88	0,525	Welch-Test	0,639
V _{retrGew}	0,95	2,79	4,01	10,29	6,53	5,98	4,11	4,63	4,93	2,87	1,35	1,01	3,87	4,73	4,87	0,670	Welch-Test	0,389
V _{Orbita}	3,35	6,36	7,39	15,18	11,09	10,28	8,03	8,77	8,77	3,74	1,72	1,56	8,05	8,81	8,71	0,779	Welch-Test	1,00
V _{GzygMptr}	0,42	1,31	3,27	3,80	4,87	4,54	1,74	3,30	3,91	1,01	1,10	0,64	1,64	3,55	3,92	<0,01	ANOVA	-
H	1,89	2,32	2,67	3,15	3,29	3,00	2,48	2,80	2,86	0,40	0,29	0,17	2,50	2,76	2,89	0,014	ANOVA	-
B _{dorsal}	1,81	2,04	1,91	3,02	2,40	2,30	2,40	2,18	2,25	0,38	0,10	0,05	2,36	2,17	2,26	0,072	ANOVA	-
B _{ventral}	1,64	1,60	1,33	2,66	2,03	1,94	2,18	1,83	1,90	0,33	0,12	0,04	2,22	1,83	1,89	<0,01	ANOVA	-
T _{gesamt}	2,04	2,28	2,70	3,92	3,60	2,87	3,00	2,81	2,78	0,65	0,36	0,08	2,87	2,77	2,77	0,531	Welch-Test	0,943
T	0,46	0,60	0,74	1,89	1,51	1,13	1,22	0,91	0,94	0,49	0,27	0,21	1,18	0,84	0,94	0,134	Welch-Test	0,790

(Min. = Minimum, Max. = Maximum, MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, p = Signifikanz, B = Brachycephal, M = Mesozephal, D = Dolichocephal, V_{Bulbus} = Volumen Bulbus in cm³, V_{retrGew} = Volumen retrobulbäres Gewebe in cm³, V_{Orbita} = orbitales Gesamtvolumen in cm³, V_{GzygMptr} = Volumen Gl. zygomatica und M. pterygoideus in cm³, H = Orbitahöhe in cm, B_{dorsal} = dorsale Orbitabreite in cm, B_{ventral} = ventrale Orbitabreite in cm, T_{gesamt} = Gesamttiefe der Orbita in cm, T = Orbitatiefe ohne Bulbusanteil in cm)

Die Analyse des **Bulbusvolumens** ergab zwischen den Hunden mit verschiedenen Kopfformen keine signifikanten Unterschiede ($F(2,35)=0,525$, $p=0,525$). Auch die Kruskal-Wallis-Analyse erbrachte keine signifikanten Unterschiede ($p=0,639$).

Die Analyse des **retrobulbären Gewebes** und des **orbitalen Gesamtvolumens** erbrachte ebenfalls keine Unterschiede in Abhängigkeit von der Kopfform.

Anders stellt es sich bei der Analyse des **Gewebevolumens von Gl. zygomatica und M. pterygoideus** dar ($F(2,35)<0,01$, $p<0,01$). Hier bestehen signifikante Unterschiede zwischen brachycephalen und mesozephalen Hunden ($p<0,01$) sowie brachycephalen und dolichocephalen Hunden ($p<0,01$). Bei mesozephalen und dolichocephalen Hunden sind diese Volumenunterschiede nicht vorhanden ($p=0,568$). Brachycephale Hunde weisen mit $1,74 \text{ cm}^3$ im Mittel das geringste Gewebevolumen auf (Median= $1,63 \text{ cm}^3$). Bei meso- und dolichocephalen Hunden weichen die Mittel- und Medianwerte nur geringfügig voneinander ab (siehe Tabelle 11).

Auch bei der **Orbitahöhe** bestehen kopfformspezifische Unterschiede ($F(2,35)=0,014$, $p=0,014$). Besonders ausgeprägt sind diese Unterschiede zwischen brachycephalen und mesozephalen Hunden ($p=0,026$), weniger signifikant unterscheiden sich brachycephale und mesozephaler Hunde in der dorsoventralen Ausdehnung der Orbita ($p=0,126$). Keine Unterschiede bestehen zwischen meso- und dolichocephalen Hunden ($p=0,947$). Hunde brachycephaler Rassen weisen mit $2,48 \text{ cm}$ im Mittel die geringste Orbitahöhe auf (Median $2,50 \text{ cm}$).

Die **dorsale Orbitabreite** unterscheidet sich nicht statistisch signifikant zwischen Hunden verschiedener Kopfformen ($F(2,35)=0,072$, $p=0,072$). Allerdings bestehen, wenn auch nicht statistisch signifikant, Unterschiede zwischen Hunden mit brachycephaler und mesozephaler Kopfform ($p=0,074$). Zwischen brachy- und dolichocephalen bzw. meso- und dolichocephalen Hunden bestehen keine Unterschiede bei der dorsalen Orbitabreite. Mit einem Mittelwert von $2,40 \text{ cm}$ besitzen brachycephale Hunderassen die größte dorsale Orbitabreite (Median $2,36 \text{ cm}$). Bei mesozephalen und dolichocephalen Hunden beträgt die dorsale Orbitabreite im Mittel $2,18 \text{ cm}$ bzw. $2,25 \text{ cm}$.

Die **ventrale Orbitabreite** unterscheidet sich zwischen allen Gruppen statistisch hochsignifikant ($F(2,35)<0,01$, $p<0,01$). Allerdings bestehen diese Unterschiede nur zwischen brachycephalen und mesozephalen bzw. brachycephalen und dolichocephalen Hunden ($p<0,01$ bzw. $0,095$). Die ventrale Orbitabreite von mesozephalen und dolichocephalen Hunden weist keine signifikanten Unterschiede auf ($p=0,887$). Brachycephale zeigen die größte ventrale Orbitabreite im Vergleich zu anderen Kopfformen (vgl. Tabelle 11).

Bei der Messung der **Gesamttiefe** der Orbita ($F(2,35)=0,531$, $p=0,531$) und der **Tiefe ohne Bulbusanteil** ($F(2,35)=0,134$, $p=0,134$) konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Kopfformen festgestellt werden. Allerdings bestehen geringe Unterschiede zwischen brachyzephalen und mesozephalen Hunden ($p=0,068$).

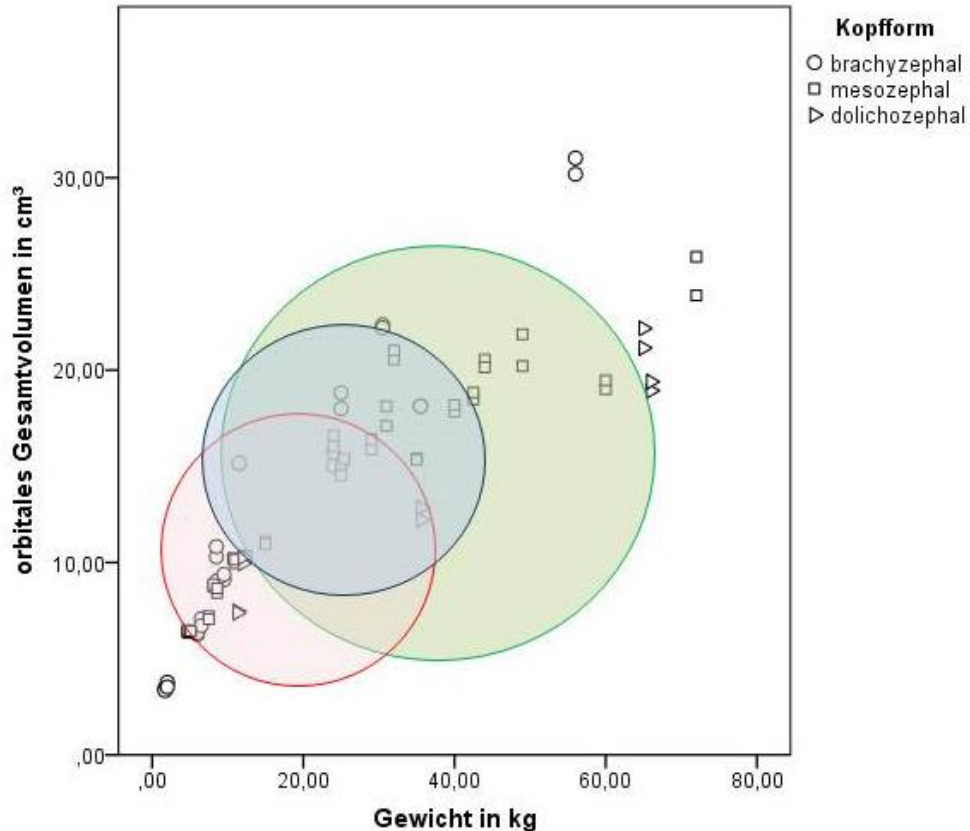


Abbildung 39: Orbitales Gesamtvolumen aller untersuchten Hunde (N=40 Tiere, n=80 Orbitae) in Bezug auf das Körpergewicht.

Erläuterung: Auf der X-Achse ist das Körpergewicht in kg angegeben. Die Y-Achse zeigt das gemessene orbitale Gesamtvolumen in cm³. Innerhalb der farbigen Kreise befinden sich 50% aller Tiere derselben Kopfform

(roter Kreis = brachyzephaler Hunde, blauer Kreis = mesozephaler Hunde, grüner Kreis = dolichozecephaler Hunde).

4.1.2 Vermessung der Orbita an Katzen

Es wurden 40 Katzen unterschiedlicher Rassen untersucht (Tabelle 22). Bei allen Katzen wurde die oben beschriebenen Messstrecken zur Vermessung der Orbita angewandt. Von den 40 Katzen waren 15 Tiere weiblich (37,5%, davon 5 unkastriert, 10 weiblich kastriert) und 25 männlich kastriert (62,5%). Das Alter der Tiere reichte von 12 Monaten (1Jahr) bis 192 Monate (16 Jahre). Alle Tiere in dieser Studie waren ausgewachsen. Das Körpergewicht der Katzen reichte von 2,3 kg KGW bis 11,9 kg KGW.

Von den 40 untersuchten Katzen wurden 9 Tiere dem brachyzephalen Schädeltyp (rund, 22,5%), 26 Tiere dem mesozephalen Schädeltyp (dreieckig, 65%) und 5 Tiere dem dolichocephalen Schädeltyp (keilförmig, 12,5%) zugeordnet. Die Zuordnung der Tiere in die jeweilige Kopfform erfolgte subjektiv mittels 3D-Rekonstruktion des Kopfes in dem Programm Eclipse in Anlehnung an die Studien von OPPEL (2002) und NÖLLER (2006) (siehe Material und Methoden).

Mittels Korrelationskoeffizienten wurde die Korrelation von linker und rechter Orbita überprüft. Bei der Betrachtung der Korrelationskoeffizienten und der graphischen Betrachtung mittels Streudiagrammen zeigten die Messergebnisse aus der Messung der linken und rechten Orbita einen sehr engen Zusammenhang untereinander.

Bei allen Tieren konnte eine signifikante Korrelation zwischen linker und rechter Orbita festgestellt werden ($r=0,978-0,817$, $p<0,001$).

In Abbildung 40 ist die durchschnittliche Differenz des linken und rechten Orbitavolumens dargestellt, um die Korrelation von linker und rechter Orbita nachvollziehen zu können ($r=0,962$, $p<0,05$).

Ergebnisse

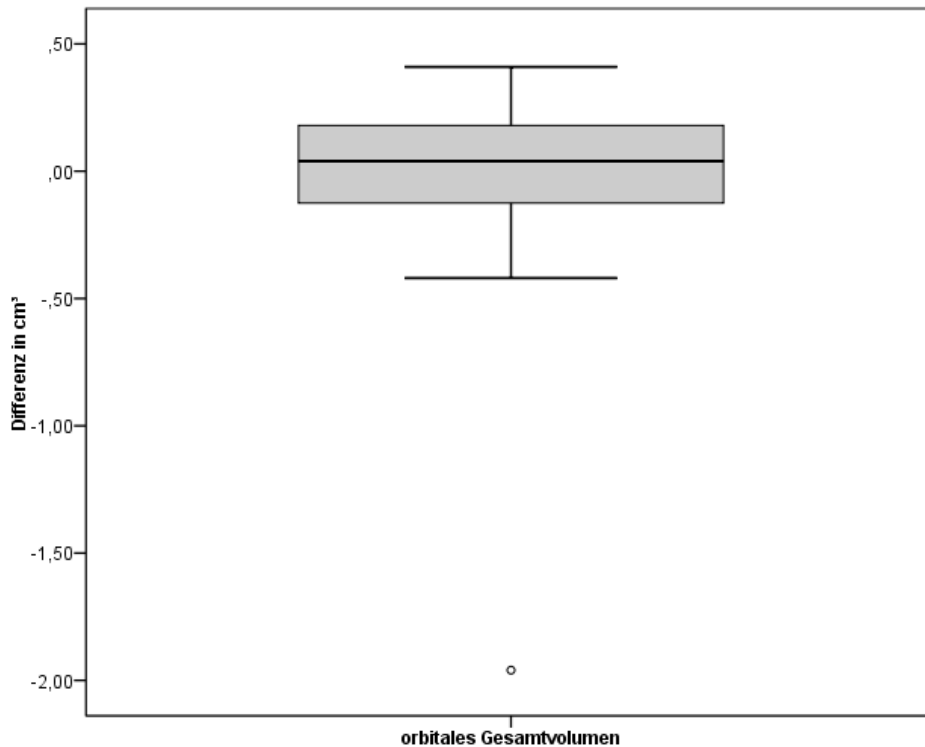


Abbildung 40: Darstellung der durchschnittlichen Differenz zwischen der Messung des linken und rechten Orbitavolumens bei den untersuchten Katzen aus der Hauptstudie (N=40 Katzen, n=80 Orbitae).

Auf der X-Achse ist das orbitale Gesamtvolumen dargestellt, die Y-Achse zeigt die durchschnittliche Differenz der Messungen für das linke und rechte Orbitavolumen für jedes Tier.

In Tabelle 12 sind Minimum-, Maximum- und Mittelwert sowie die Standardabweichung der einzelnen Messstrecken dargestellt. Zudem finden sich in Tabelle 12 die Korrelation (r) und Signifikanz (p) aus dem Vergleich der Messergebnisse von linker und rechter Orbita.

Tabelle 12: Deskriptive statistische Angaben zu der Vermessung der Orbita an Katzen mittels CT-Aufnahmen in dem Programm Eclipse aus der Hauptstudie mit Darstellung der Korrelation (r) und Signifikanz (p) aus dem Vergleich der Messergebnisse von linker und rechter Orbita (N=40 Katzen, n=80 Orbitae)

Variable	Min.	Max.	MW	SD	r	p
V _{Bulbus}	3,99	6,26	4,97	0,40	0,978	<0,001
V _{retrGew}	2,62	7,44	4,51	1,04	0,934	<0,001
V _{Orbita}	6,61	13,47	9,48	1,34	0,962	<0,001
V _{GzygMptr}	0,43	1,91	0,91	0,34	0,958	<0,001
H	2,38	3,41	2,74	0,19	0,962	<0,001
B _{dorsal}	1,69	2,79	2,25	0,22	0,937	<0,001
B _{ventral}	1,86	2,74	2,28	0,15	0,817	<0,001
T _{gesamt}	1,89	3,20	2,78	0,24	0,971	<0,001
T	0,28	1,36	0,79 (~0,80)	0,22	0,942	<0,001

In der Tabelle sind die Korrelation (r) und Signifikanz (p) aller untersuchten Messstrecken zwischen rechter und linker Orbita angegeben. Alle Messergebnisse aus der Messung der linken und rechten Orbita korrelieren statistisch signifikant ($p < 0,05$).

(Min. = Minimum, Max. = Maximum, MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, r = Korrelation, p = Signifikanz, V_{Bulbus} = Volumen Bulbus in cm³, V_{retrGew} = Volumen retrobulbäres Gewebe in cm³, V_{Orbita} = orbitales Gesamtvolumen in cm³, V_{GzygMptr} = Volumen Gl. zygomatica und M. pterygoideus in cm³, H = Orbitahöhe in cm, B_{dorsal} = dorsale Orbitabreite in cm, B_{ventral} = ventrale Orbitabreite in cm, T_{gesamt} = Gesamttiefe der Orbita in cm, T = Orbitatiefe ohne Bulbusanteil in cm)

4.1.2.1 Ausdehnung der Orbita in Bezug auf die Kopfform

In Tabelle 13 sind alle Minimum-, Maximum- und Mittelwerte sowie Standardabweichung, Median und Signifikanz (p) der Messergebnisse für die untersuchten Katzen in Bezug auf die Kopfform dargestellt. Zudem sind die verwendeten statistischen Testverfahren angegeben. Alle Messdaten wurden auf Normalverteilung überprüft. Die Daten der Vermessung des Bulbus und der Gesamttiefe der Orbita waren normalverteilt. Für alle anderen beschriebenen Messtrecken waren die Daten nicht normalverteilt. Für nicht normalverteilte Daten wurde der Welch-Test um die Kruskal-Wallis ANOVA ergänzt.

Ergebnisse

Tabelle 13: Deskriptive statistische Angaben zu der Vermessung der Orbita von Katzen mittels CT-Aufnahmen in dem Programm Eclipse unterteilt nach den Kopfformen aus der Hauptstudie mit Darstellung der Signifikanzwerte (p) aus dem Vergleich der einzelnen Kopfformen in Bezug auf die Ausdehnung der Orbita. (N=40 Katzen, n=80 Orbitae, davon N=9 brachycephale Katzen (n=18 Orbitae), N=26 mesozephe Katzen (n=52 Orbitae), N=5 dolichocephale Katzen (n=10 Orbitae))

Variable	Min			Max			Mittel			Std-Abw.			Median			p	statistisches Testverfahren	Kruskal Wallis ANOVA
	B	M	D	B	M	D	B	M	D	B	M	D	B	M	D			
V _{Bulbus}	4,53	4,36	3,99	5,37	6,26	5,27	4,98	5,03	4,67	0,27	0,41	0,45	4,95	5,06	4,60	0,034	ANOVA	
V _{retrGew}	3,03	3,06	2,62	5,70	7,44	5,09	4,47	4,68	3,69	0,75	1,06	1,04	4,64	4,61	3,07	0,040	Welch-Test	0,387
V _{Orbita}	7,95	7,65	6,61	10,97	13,47	10,34	9,45	9,71	8,36	0,93	1,36	1,37	9,53	9,68	8,04	0,033	Welch-Test	0,117
V _{GzygMptr}	0,45	0,48	0,43	1,78	1,91	1,27	0,88	0,96	0,74	0,36	0,33	0,29	0,78	0,94	0,66	0,117	Welch-Test	0,015
H	2,43	2,38	2,39	2,89	3,19	3,41	2,72	2,75	2,72	0,14	0,17	0,36	2,76	2,76	2,64	0,707	Welch-Test	0,574
B _{dorsal}	2,08	1,69	1,90	2,60	2,79	2,60	2,33	2,24	2,11	0,16	0,22	0,22	2,34	2,22	2,02	0,030	Welch-Test	0,060
B _{ventral}	1,86	2,00	2,06	2,41	2,74	2,47	2,19	2,33	2,24	0,17	0,13	0,12	2,22	2,34	2,23	0,008	Welch-Test	0,004
T _{gesamt}	2,63	2,32	1,89	3,17	3,20	3,01	2,89	2,79	2,55	0,16	0,21	0,39	2,85	2,77	2,60	0,001	ANOVA	
T	0,56	0,37	0,28	1,36	1,27	0,94	0,87	0,81	0,65	0,23	0,21	0,21	0,81	0,77	0,67	0,055	Welch-Test	0,060

(Min. = Minimum, Max. = Maximum, MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, p = Signifikanz, B = Brachycephal, M = Mesozephal, D = Dolichocephal, V_{Bulbus} = Volumen Bulbus in cm³, V_{retrGew} = Volumen retrobulbäres Gewebe in cm³, V_{Orbita} = orbitales Gesamtvolumen in cm³, V_{GzygMptr} = Volumen Gl. zygomatica und M. pterygoideus in cm³, H = Orbitahöhe in cm, B_{dorsal} = dorsale Orbitabreite in cm, B_{ventral} = ventrale Orbitabreite in cm, T_{gesamt} = Gesamttiefe der Orbita in cm, T = Orbitatiefe ohne Bulbusanteil in cm)

Die **Volumenmessung des Bulbus (V_{Bulbus})** ergab zwischen den einzelnen Kopfformen einen signifikanten Unterschied ($F(2,77)=0,034$, $p=0,034$). Bei Betrachtung der einzelnen Gruppen wird deutlich, dass insbesondere zwischen brachycephalen und dolichocephalen Tieren signifikante Unterschiede im Volumen des Bulbus zu verzeichnen sind ($p=0,143$). Noch stärker ausgeprägt sind diese Volumenunterschiede bei Katzen mit mesozephaler und dolichocephaler Kopfform ($p=0,034$). Nur zwischen Tieren mit brachycephalem oder mesozephalen Schädel lassen sich keine statistisch signifikanten Unterschiede im Bulbusvolumen verzeichnen ($p=0,889$). Das kleinste Bulbusvolumen wurde bei dolichocephalen Katzen gemessen (MW 4,67 cm³, Median 4,60 cm³). Mesozephalen Katzen weisen das größte Bulbusvolumen auf (MW 5,03 cm³, Median 5,06 cm³). Hierbei hatte eine Maine Coon, die den mesozephalen Katzen zugeordnet wurde, das größte Bulbusvolumen (Tier Nr. 34, Katze, Maine Coon, mk, 7,6 Jahre, 11,9 kg KGW, Bulbusvolumen = 6,26 cm³). Brachycephale Katzen haben ein größeres Bulbusvolumen als dolichocephale, allerdings sind die Unterschiede nur geringfügig (MW 4,98 cm³, Median 4,95 cm³).

Auch die **Volumenmessung des retrobulbären Gewebes (V_{retrGew})** erbrachte signifikante Unterschiede zwischen Katzen verschiedener Kopfformen ($F(2,77)=0,040$, $p=0,040$). Insbesondere zwischen brachycephalen und dolichocephalen Katzen sowie zwischen dolichocephalen und mesozephalen Katzen sind diese Volumenunterschiede signifikant ($p=0,143$ bzw. $p=0,019$). Keine Unterschiede finden sich bei brachycephalen und mesozephalen Katzen ($p=0,744$). Bei der Kruskal-Wallis-Analyse konnten jedoch keine statistisch signifikanten Unterschiede für das retrobulbäre Gewebivolumen für Katzen verschiedener Kopfform festgestellt werden ($p=0,387$). Das geringste Volumen des retrobulbären Gewebes ist bei dolichocephalen Katzen zu verzeichnen (Median 3,07 cm³, MW 3,69 cm³). Brachycephale Katzen haben das größte retrobulbäre Volumen (Median 4,64 cm³, MW 4,47 cm³), unterscheiden sich aber nur geringfügig von mesozephalen Tieren (Median 4,61 cm³, MW 4,68 cm³). Allerdings ist das kleinste Gewebivolumen bei einer Exotic Shorthair-Katze zu verzeichnen, welche dem brachycephalen Schädeltyp zugeordnet wurde (Tier Nr. 39: Katze, Exotic Shorthair, w, 1,5 Jahre, 2,9 kg KGW).

Das **Gesamtvolumen der Orbita (V_{Orbita})** ist bei allen Kopfformen signifikant verschieden ($F(2,77)=0,033$, $p=0,033$). Vor allem beim Vergleich brachycephaler und dolichocephaler Katzen ($p=0,104$) und mesozephaler und dolichocephaler Katzen ($p=0,012$) ist dieser Volumenunterschied signifikant ausgeprägt. Zwischen brachycephalen und mesozephalen Katzen sind die orbitalen Volumenunterschiede nicht statistisch signifikant ($p=0,757$). Allerdings sind diese Unterschiede im orbitalen Gesamtvolumen beim Vergleich der

Medianwerte in der Kruskal-Wallis-Analyse nicht statistisch signifikant ($p=0,117$). Das geringste orbitale Gesamtvolumen besitzen dolichocephale Katzen (Median $8,04 \text{ cm}^3$, MW $8,36 \text{ cm}^3$). Bei brachycephalen Katzen ist das Orbitavolumen nur geringfügig kleiner als bei mesozephalen Katzen (Brachycephal Median $9,53 \text{ cm}^3$, MW $9,45 \text{ cm}^3$; Mesozephal Median $9,68 \text{ cm}^3$, MW $9,71 \text{ cm}^3$).

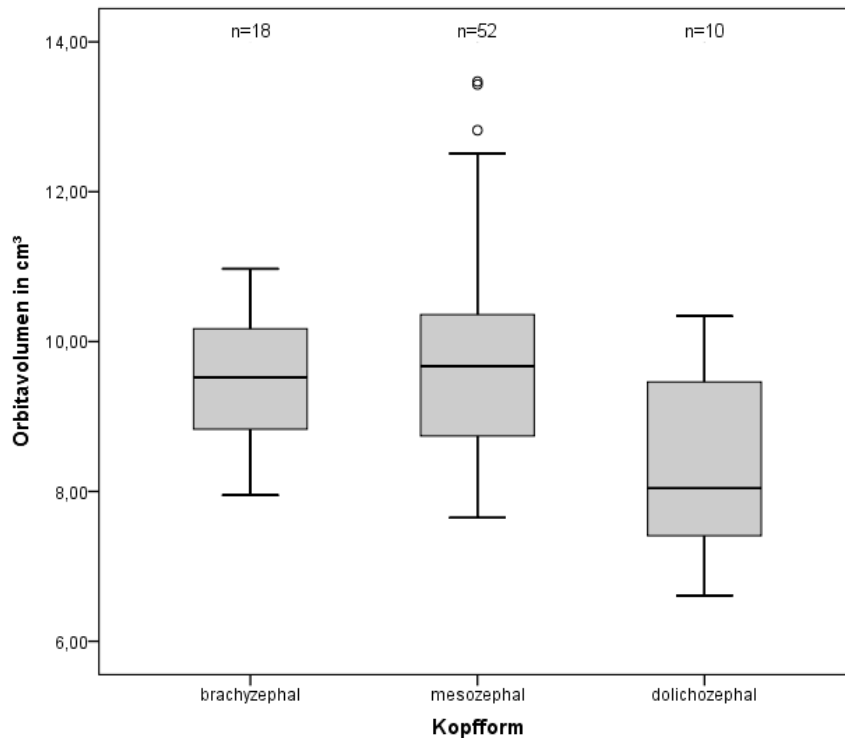


Abbildung 41: Vergleich des orbitalen Gesamtvolumens von Katzen in Bezug auf die verschiedenen Kopfformen im Boxplot (n=Anzahl Augen).

Erläuterung: In dem Boxplot sind die Messergebnisse des Orbitavolumens mit Minimum, Maximum und Median dargestellt. Wie in diesem exemplarischen Boxplot für das Orbitavolumen dargestellt verhalten sich auch folgende Messungen: Bulbusvolumen, Volumen des retrobulbären Gewebes, dorsale und ventrale Orbitabreite sowie die Gesamttiefe der Orbita.

Die **Volumenmessung der Gl. zygomatica und des M. pterygoideus ($V_{GzygMptr}$)** erbrachte keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen Katzen verschiedener Schädeltypen ($F(2,77)= 0,117$, $p=0,117$). Allerdings sind geringe Unterschiede in der Volumenausdehnung dieser Gewebe zwischen mesozephalen und dolichocephalen Katzen zu erkennen, diese sind jedoch nicht statistisch signifikant ($p= 0,165$). Keine Unterschiede bestehen zwischen brachycephalen und mesozephalen Katzen ($p=0,655$) sowie brachy- und dolichocephalen Katzen ($p=0,577$). Bei dem Medianwert-Vergleich durch die Kruskal-Wallis-Analyse fällt jedoch auf, dass es signifikante Unterschiede in den Medianwerten für das Volumen des M. pterygoideus und der Gl. zygomatica gibt ($p=0,015$). Dolichocephale Katzen weisen das geringste Volumen auf (Median $0,66 \text{ cm}^3$, MW $0,74 \text{ cm}^3$), wobei eine EKH Katze anhand Ihrer Schädelform den dolichocephalen zugeordnet wurde und das größte Volumen der Gl.

zygomatica und des M. pterygoideus aufweist (Tier Nr. 29. Katze, EKH, mk, 3,5 Jahre, 7,3 kg KGW). Das kleinste Gewebevolumen in dieser Gruppe findet sich bei einer Siam-Katze (Tier Nr. 5, Katze, Siam, wk, 2,4 Jahre, 2,3 kg KGW). Mesozephele Katzen hingegen hatten das größte Volumen von Gl. zygomatica und M. pterygoideus (Median 0,94 cm³, MW 0,96 cm³). Die brachycephalen Katzen unterscheiden sich nur geringfügig von den mesozephalen Katzen (Median 0,78 cm³, MW 0,88 cm³).

Die **dorsoventrale Ausdehnung der Orbita (H)** zwischen den einzelnen Schädelformen der Katzen ist nicht verschieden ($F(2,77)=0,707$, $p=0,707$) (Abbildung 42). Zwischen allen drei Schädelformen sind bei der Messung der Orbitahöhe nur geringfügige Unterschiede zu verzeichnen. Eine Ausnahme stellt eine Tonkanese-Katze dar, welche die größte gemessene Orbitahöhe aufweist (Tier Nr. 4, Katze, Tonkanese, wk, 5,8 Jahre, 2,99 kg KGW). Bei der Messung der Höhe der Orbita besteht zwischen allen drei Schädelformen nur ein geringfügiger Unterschied zwischen den Mittel- und Medianwerten (brachycephal Median 2,76 cm, MW 2,72 cm; mesozephal: Median 2,76 cm, MW 2,75 cm; dolichocephal: Median 2,64 cm, MW 2,72 cm).

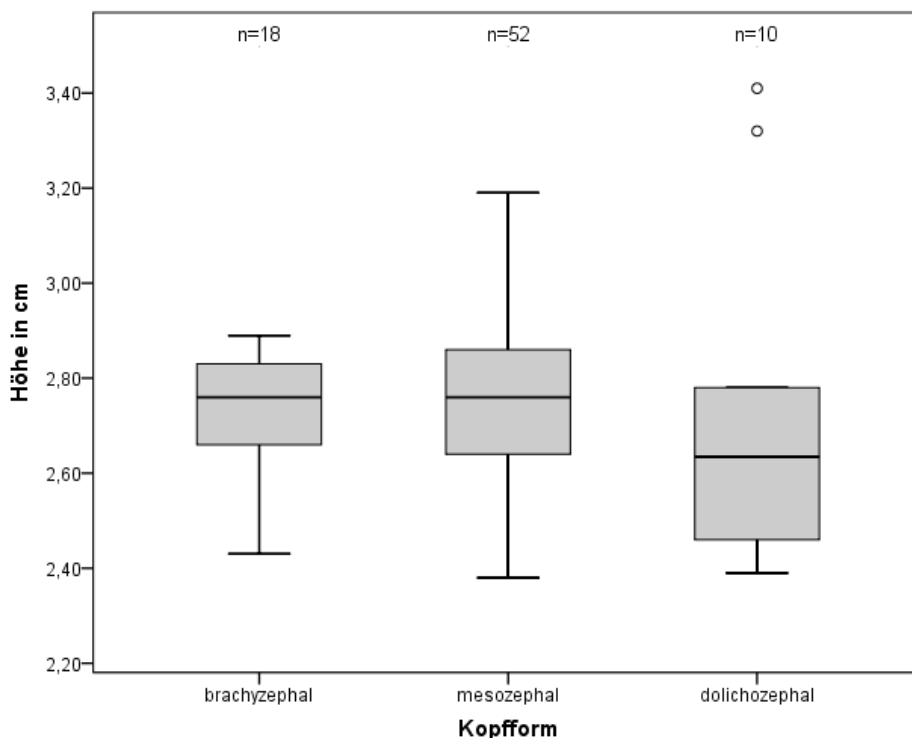


Abbildung 42: Vergleich der Orbitahöhe von Katzen in Bezug auf die verschiedenen Kopfformen im Boxplot (n=Anzahl Augen).

Erläuterung: In dem Boxplot sind die Messergebnisse der Orbitahöhe mit Minimum, Maximum und Median dargestellt. Wie in diesem exemplarischen Boxplot für die Orbitahöhe dargestellt verhalten sich auch folgende Messungen: Volumen von M. pterygoideus und Gl. zygomatica sowie orbitale Tiefe ohne Bulbusanteil.

Die Breite der Orbita wurde dorsal und ventral gemessen. Hierbei unterscheiden sich die Schädeltypen bei der Messung der **dorsalen Breite (B_{dorsal})** signifikant ($F(2,77)=0,030$, $p=0,030$). Besonders stark sind diese Unterschiede zwischen Tieren mit brachycephaler und dolichocephaler Kopfform ausgeprägt ($p=0,032$). Nicht statistisch signifikant sind die Unterschiede zwischen brachycephalen und mesozephalen Katzen ($p=0,344$) bzw. mesozephalen und dolichocephalen Katzen ($p=0,170$). Auch beim Vergleich der Medianwerte mit Hilfe der Kruskal-Wallis-Analyse fallen Unterschiede zwischen Katzen verschiedener Kopfformen auf, allerdings sind diese nicht statistisch signifikant ($p=0,060$). Brachycephale Katzen besitzen die größte dorsale Breite (Median 2,34 cm, MW 2,33 cm), dolichocephale Katzen die geringste dorsale Orbitabreite (Median 2,02 cm, MW 2,11 cm). Mesozephalie Tiere nehmen eine Mittelstellung ein (Median 2,22 cm, MW 2,24 cm).

Die Unterschiede sind bei der **ventralen Breite der Orbita (B_{ventral})** noch signifikanter ausgeprägt ($F(2,77)=0,008$, $p=0,008$), insbesondere zwischen brachycephalen und mesozephalen Katzen ($p=0,002$). Nicht signifikant sind die Unterschiede zwischen brachycephalen und dolichocephalen Katzen ($p=0,609$) sowie zwischen mesozephalen und dolichocephalen Katzen ($p=0,221$). Allerdings weisen mesozephalie Katzen die größte ventrale Orbitabreite auf (Median 2,34 cm, MW 2,33 cm), brachycephale Katzen hingegen die geringste (Median 2,22 cm, MW 2,19 cm). Dolichocephale Tiere unterscheiden sich nur geringfügig von beiden Gruppen (Median 2,23 cm, MW 2,24 cm).

Bei der Messung der **Gesamttiefe der Orbita (T_{Gesamt})**, also Tiefe einschließlich des Bulbus, wurden signifikante Unterschiede zwischen allen Kopfformen festgestellt ($F(2,77)=0,001$, $p=0,001$). Diese Unterschiede sind bei brachycephalen und mesozephalen nur schwach und daher statistisch nicht signifikant ausgeprägt ($p=0,282$). Beim Vergleich der brachycephalen mit den dolichocephalen Katzen bzw. mesozephalen Katzen mit den dolichocephalen Katzen ergaben sich hochsignifikante Unterschiede in der Tiefenausdehnung der Orbita ($p=0,001$ bzw. $p=0,012$). Die größte Gesamttiefe der Orbita konnte bei den Brachycephalen nachgewiesen werden (Median 2,86 cm, MW 2,89 cm), die geringste Orbitatiefe wiesen dolichocephale Tiere auf (Median 2,60 cm, MW 2,55 cm). Mesozephalie Katzen haben nur eine geringfügig geringere Orbitatiefe als brachycephale Katzen, unterscheiden sich aber deutlich von den dolichocephalen Katzen (Median 2,77 cm, MW 2,79 cm).

Diese signifikanten Unterschiede konnten beim Vergleich der **Tiefe der Orbita ohne Bulbusanteil (T)** zwischen den Kopfformen nicht festgestellt werden ($F(2,77)=0,055$, $p=0,055$). Jedoch unterscheidet sich die Tiefe der Orbita zwischen brachycephalen und

dolichocephalen Katzen signifikant ($p=0,036$). Diese Unterschiede sind weniger stark zwischen Tieren mit brachycephaler und mesozephaler Kopfform ($p=0,576$) bzw. Tieren mit mesozephaler und dolichocephaler Kopfform ($p=0,101$). Die geringste Tiefe der Orbita wiesen dolichocephale Katzen auf (Median 0,67 cm, MW 0,65 cm), mesozephaler und brachycephaler Katzen unterschieden sich nur geringfügig in der Orbitatiefe, wobei brachycephale Katzen die tiefere Orbita aufwiesen (mesozephal: Median 0,77 cm, MW 0,81 cm; brachycephal: Median 0,81 cm, MW 0,87 cm).

4.1.2.2 Ausdehnung der Orbita in Bezug auf das Körpergewicht

Die Katzen wurden für die Analyse in Bezug auf den Einfluss des Körpergewichts auf die Ausdehnung der Orbita in folgende Gewichtsgruppen eingeteilt:

- Gewichtsgruppe 1: <3 kg KGW (N=6, n=18 Orbitae)
- Gewichtsgruppe 2: 3-6 kg KGW (N=23, n=46 Orbitae)
- Gewichtsgruppe 3: >6 kg KGW (N=11, n=22 Orbitae).

In Tabelle 14 sind alle Minimum-, Maximum- und Mittelwerte sowie die Standardabweichung (SD), Median und Signifikanz (p) der Messergebnisse für die untersuchten Katzen in Bezug auf die Gewichtsgruppen dargestellt. Ebenso sind die verwendeten statistischen Analyseverfahren angegeben. Alle Daten wurden auf Normalverteilung überprüft. Die Daten der Volumenmessung von *M. pterygoideus* und *Gl. zygomatica* waren normalverteilt. Für alle anderen Messungen waren die Daten nicht normalverteilt. Für nicht normalverteilte Daten wurde der Welch-Test um die Kruskal-Wallis ANOVA ergänzt.

Ergebnisse

Tabelle 14: Deskriptive statistische Angaben zu der Vermessung der Orbita von Katzen mittels CT-Aufnahmen in dem Programm Eclipse unterteilt nach Gewichtsklassen aus der Hauptstudie mit Darstellung der Signifikanzwerte (p) aus dem Vergleich der einzelnen Gewichtsklassen in Bezug auf die Ausdehnung der Orbita. (N=40 Katzen, n=80 Orbitae, davon Gewichtsklasse 1 (bis 3 kg, N=6, n=18 Orbitae), Gewichtsklasse 2 (3-6 kg, N=23, n=46 Orbitae), Gewichtsklasse 3 (>6 kg, N=11, n=22 Orbitae))

Variable	Min			Max			Mittel			Std-Abw.			Median			p	statistische Testverfahren	Kruskal Wallis ANOVA
	<3	3-6	>6	<3	3-6	>6	<3	3-6	>6	<3	3-6	>6	<3	3-6	>6			
V _{Bulbus}	3,99	4,36	4,76	4,94	5,64	6,26	4,56	4,98	5,18	0,31	0,36	0,37	4,57	5,04	5,17	<0,001	Welch-Test	0,000
V _{retrGew}	2,62	3,05	4,21	4,86	5,80	7,44	3,29	4,44	5,34	0,68	0,75	0,99 (~1,00)	3,09	4,34	5,01	<0,001	Welch-Test	0,000
V _{Orbita}	6,61	7,83	9,18	9,46	11,44	13,47	7,85	9,42	10,51	0,82	0,99	1,29	7,76	9,32	10,16	<0,001	Welch-Test	0,000
V _{GzygMptr}	0,43	0,45	0,56	0,68	1,46	1,91	0,55	0,88	1,18	0,08	0,24	0,39	0,52	0,81	1,14	<0,001	ANOVA	
H	2,38	2,43	2,65	3,41	3,05	3,19	2,65	2,73	2,81	0,35	0,16	0,14	2,55	2,76	2,79	0,073	Welch-Test	0,088
B _{dorsal}	1,90	1,69	2,23	2,39	2,53	2,79	2,05	2,19	2,48	0,15	0,16	0,15	2,01	2,19	2,50	<0,001	Welch-Test	0,000
B _{ventral}	1,86	1,94	2,07	2,24	2,55	2,74	2,13	2,29	2,37	0,13	0,12	0,15	2,18	2,30	2,36	<0,001	Welch-Test	0,000
T _{gesamt}	2,44	1,89	2,55	2,85	3,17	3,20	2,64	2,77	2,89	0,13	0,27	0,19	2,64	2,79	2,92	<0,001	Welch-Test	0,016
T	0,28	0,48	0,56	0,71	1,36	1,14	0,54	0,85	0,83	0,16	0,21	0,16	0,62	0,81	0,81	<0,001	Welch-Test	0,001

(Min. = Minimum, Max. = Maximum, MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, r = Korrelation, p = Signifikanz, V_{Bulbus} = Volumen Bulbus in cm³, V_{retrGew} = Volumen retrobulbäres Gewebe in cm³, V_{Orbita} = orbitales Gesamtvolumen in cm³, V_{GzygMptr} = Volumen Gl. zygomatica und M. pterygoideus in cm³, H = Orbitahöhe in cm, B_{dorsal} = dorsale Orbitabreite in cm, B_{ventral} = ventrale Orbitabreite in cm, T_{gesamt} = Gesamttiefe der Orbita in cm, T = Orbitatiefe ohne Bulbusanteil in cm)

Das ermittelte **Bulbusvolumen (V_{Bulbus})**, das Volumen des **retrobulbären Gewebes (V_{retrGew})** sowie dementsprechend das **orbitale Gesamtvolumen (V_{Orbita})** sind zwischen allen Gewichtsgruppen signifikant verschieden voneinander ($F(2,77) < 0,001$, $p < 0,001$). Die Unterschiede im Bulbusvolumen sind bei Katzen der Gewichtsgruppe 2 und der Gewichtsgruppe 3 zwar ausgeprägt, allerdings nicht statistisch signifikant ($p = 0,119$).

Das größte Bulbusvolumen weisen Katzen der Gewichtsgruppe 3 auf (Median $5,17 \text{ cm}^3$, MW $5,18 \text{ cm}^3$), Katzen unter 3 kg KGW besitzen das kleinste Bulbusvolumen (Median $4,57 \text{ cm}^3$, MW $4,56 \text{ cm}^3$). Katzen der Gruppe 2 besitzen ein mittleres Bulbusvolumen von $4,98 \text{ cm}^3$ (Median $5,04 \text{ cm}^3$). Unter den Katzen der Gewichtsgruppe 3 weist ein Tier das mit Abstand größte Bulbusvolumen vom $6,26 \text{ cm}^3$ auf (Tier Nr. 34, Katze, Maine Coon, mk, 7,6 Jahre, $11,9 \text{ kg KGW}$).

Vergleicht man die Volumina des retrobulbären Gewebes in den unterschiedlichen Gewichtsgruppen, so nimmt auch hier das retrobulbäre Volumen mit dem Gewicht der Tiere zu ($F(2,77) < 0,001$, $p < 0,001$), d.h. Katzen der Gewichtsgruppe 1 (Median $3,09 \text{ cm}^3$, MW $3,29 \text{ cm}^3$) weisen ein geringeres retrobulbäres Gewebevolumen auf als Katzen der Gewichtsgruppe 2 (Median $4,34 \text{ cm}^3$, MW $4,44 \text{ cm}^3$). Das größte ermittelte Volumen findet sich bei Katzen der Gewichtsgruppe 3 (Median $5,01 \text{ cm}^3$, MW $5,34 \text{ cm}^3$). Unter den Katzen der Gewichtsgruppe 1 weist ein Tier ein sehr großes retrobulbäres Volumen von $4,86 \text{ cm}^3$ auf (Tier Nr. 35, Katze, Siam, w, 10,9 Jahre, $2,9 \text{ kg KGW}$). Bei den Katzen der Gewichtsgruppe 3 besitzen zwei Maine Coon das größte retrobulbäre Gewebevolumen, interessanterweise ein Tier (Tier Nr. 26, Katze, Maine Coon, mk, 5,5 Jahre) mit $6,2 \text{ kg KGW}$ und ein Tier (Tier Nr. 34, Katze, Maine Coon, mk, 7,6 Jahre) mit $11,9 \text{ kg KGW}$.

Das orbitale Gesamtvolumen unterscheidet sich bei allen Gewichtsgruppen signifikant voneinander ($F(2,77) < 0,001$, $p < 0,001$). Entsprechend der Ergebnisse aus dem Vergleich der Gewichtsklassen bezüglich des retrobulbären Gewebevolumens und des Bulbusvolumens findet sich bei den Katzen der Gewichtsgruppe 1 das geringste orbitale Gesamtvolumen (Median $7,76 \text{ cm}^3$, MW $7,85 \text{ cm}^3$) und bei den Katzen der Gewichtsgruppe 3 das größte orbitale Gesamtvolumen (Median $10,16 \text{ cm}^3$, MW $10,51 \text{ cm}^3$). Wobei bei dem Vergleich von Katzen der Gewichtsgruppe 2 und 3 auffällt, dass sowohl Median als auch Mittelwerte nur vergleichsweise gering voneinander abweichen (Median $9,32 \text{ cm}^3$, MW $9,42 \text{ cm}^3$). In Abbildung 43 sind die Gruppenunterschiede im Boxplot dargestellt.

Ergebnisse

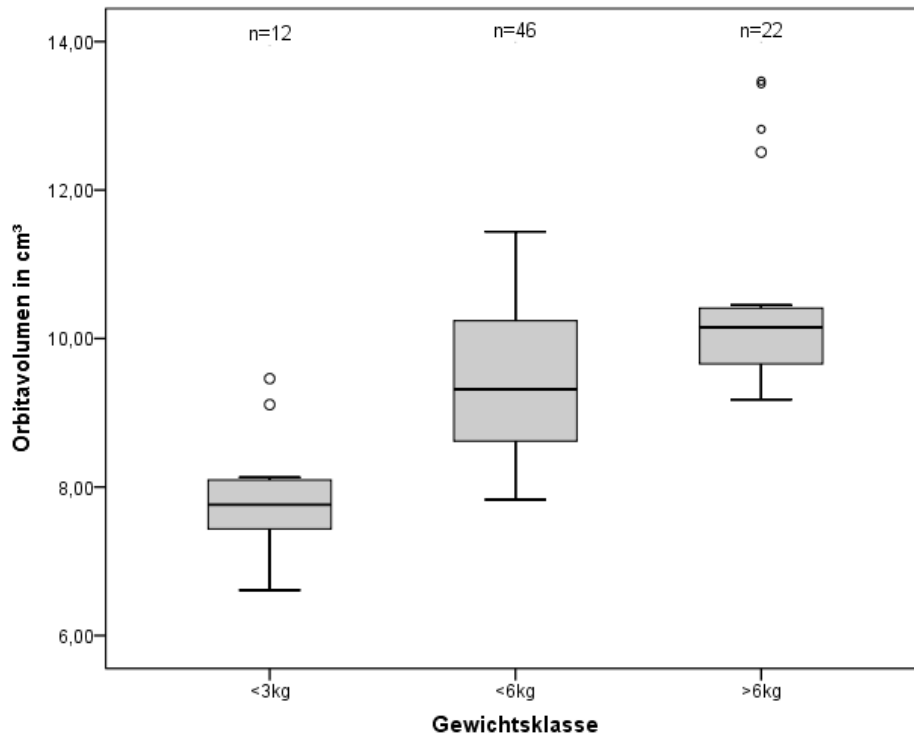


Abbildung 43: Vergleich des orbitalen Gesamtvolumens von Katzen in Bezug auf die verschiedenen Gewichtsklassen im Boxplot (n=Anzahl Augen).

Erläuterung: In dem Boxplot sind die Messergebnisse der Messung des Gesamtorbitavolumens mit Minimum, Maximum und Median dargestellt. Dieses Boxplot ist exemplarisch für das orbitale Gesamtvolumen. Für alle beschriebenen Messstrecken verhält sich die Größenverteilung gleichartig, mit Ausnahme der Messung der Orbitahöhe.

Das **Volumen der Gl. zygomatica und des M. pterygoideus ($V_{GzygMptr}$)** unterscheidet sich zwischen allen Gewichtsklassen hochsignifikant ($F(2,77) < 0,001$, $p = 0,001$). Katzen der Gewichtsklasse 1 zeigen ein deutlich kleineres Gewebevolumen (Median $0,52 \text{ cm}^3$, MW $0,55 \text{ cm}^3$) im Vergleich zu Gewichtsklasse 2 (Median $0,81 \text{ cm}^3$, MW $0,88 \text{ cm}^3$) und Gewichtsklasse 3. Das größte Gewebevolumen findet sich bei Katzen der Gewichtsklasse 3 (Median $1,14 \text{ cm}^3$, MW $1,18 \text{ cm}^3$).

Bei der Messung der **Höhe (H)** gibt es keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Gewichtsklassen ($F(2,77) = 0,073$, $p = 0,073$). Bei Betrachtung der einzelnen Gewichtsklassen fällt jedoch auf, dass die Orbitahöhe zwischen Gewichtsklasse 1 und Gewichtsklasse 3 verschieden voneinander ist ($p = 0,062$). Zwischen Gewichtsklasse 1 und 2 ($p = 0,412$) und Gewichtsklasse 2 und 3 ($p = 0,261$) bestehen keine statistisch signifikanten Unterschiede in der Höhe der Orbita. Diese geringen Unterschiede zeigen sich sowohl in dem Vergleich der Medianwerte (Kruskal-Wallis-Analyse $p = 0,088$) als auch bei dem Vergleich der Mittelwerte. Die Höhe der Orbita nimmt mit dem Gewicht zu (Gruppe 1: Median $2,55 \text{ cm}$, MW $2,65 \text{ cm}$; Gruppe 2: Median $2,76 \text{ cm}$, MW $2,73 \text{ cm}$; Gruppe 3: Median $2,79 \text{ cm}$, MW $2,81 \text{ cm}$). Eine Ausnahme bildet hierbei eine Katze der Gewichtsklasse 1 (Tier Nr. 4,

Katze, Tonkanese, wk, 5,8 Jahre, 2,99 kg KGW) mit einer Orbitahöhe von 3,41 cm. Bei den Katzen der Gewichtsguppe 3 weist eine Katze (Tier Nr. 26, Katze, Maine Coon, mk, 5,5 Jahre, 6,20 kg KGW) eine Orbitahöhe von 3,19 cm auf und liegt damit unter der maximal gemessenen Orbitahöhe der Katze aus Gewichtsguppe 1 (Abbildung 44).

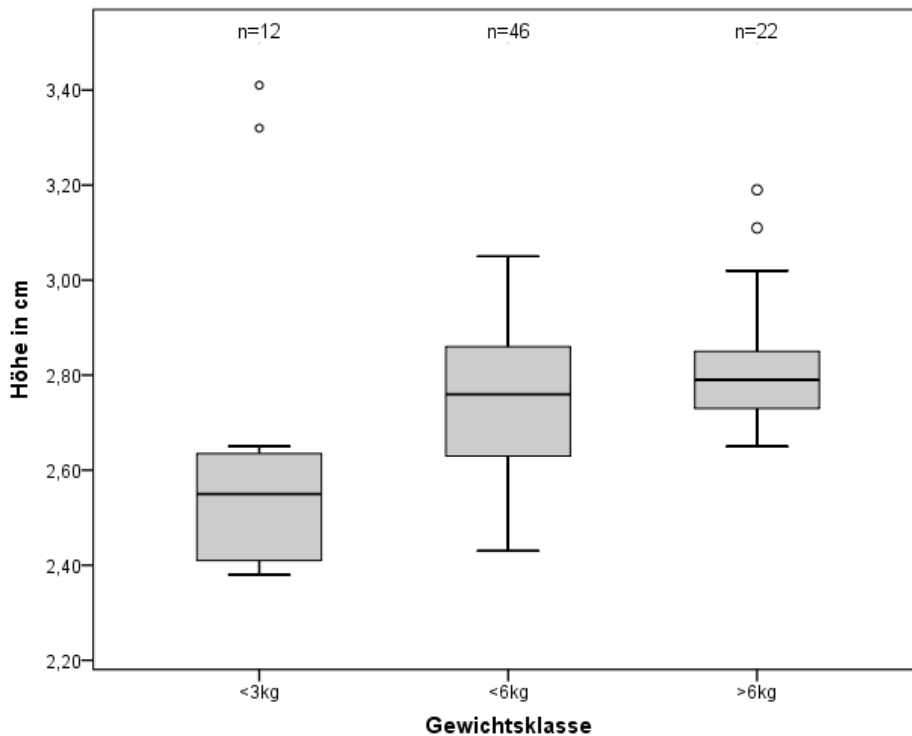


Abbildung 44: Vergleich der Höhe der Orbita von Katzen in Bezug auf die verschiedenen Gewichtsguppen im Boxplot (n=Anzahl Augen)

Erläuterung: In dem Boxplot sind die Messergebnisse der Messung der Orbitahöhe mit Minimum, Maximum und Median dargestellt. Es bestehen keine signifikanten Gruppenunterschiede.

Die Breite der Orbita, dorsal und ventral gemessen, unterscheidet sich hochsignifikant zwischen allen Gewichtsklassen ($F(2,77) < 0,001$, $p < 0,001$).

Die **dorsale Breite** (B_{dorsal}) der Orbita ist bei Katzen der Gewichtsguppe 1 kleiner (Median 2,01 cm, MW 2,05 cm) als bei Tieren der Gewichtsguppe 2 (Median 2,19 cm, MW 2,19 cm) und Gewichtsguppe 3 (Median 2,50 cm, MW 2,48 cm). Tiere der Gewichtsguppe 3 weisen die größte dorsale Breite auf. Allerdings konnte bei einem Tier der Gewichtsguppe 1 eine deutlich größere dorsale Orbitabreite gemessen werden, als bei den anderen Tieren dieser Gewichtsguppe (Tier Nr. 39, Katze, Exotic Shorthair, w, 1,5 Jahre, 2,9 kg KGW). Die geringste dorsale Orbitabreite in dieser Gruppe wurde bei einer Siam (Tier Nr. 35, Katze, Siam, w, 10,9 Jahre, 2,9 kg KGW) und einem Tonkanesen (Tier Nr. 4, Katze, Tonkanese, wk, 5,8 Jahre, 2,99 kg KGW) gemessen. Die kleinste gemessene dorsale Orbitabreite wurde bei einem Tier der Gewichtsguppe 2 mit 1,69 cm gemessen (Tier Nr. 17, Katze, EKH, mk, 6,7 Jahre, 5,8 kg KGW).

Die **ventrale Orbitabreite** (B_{ventral}) unterscheidet sich in allen Gewichtsgruppen hochsignifikant ($p=0,000$), allerdings sind diese Unterschiede zwischen Katzen der Gewichtsgruppe 2 und Gewichtsgruppe 3 etwas geringer ($p=0,081$) ausgeprägt. Die ventrale Breite ist bei Katzen der Gewichtsgruppe 1 am kleinsten (Median 2,81 cm, MW 2,13 cm). Sie unterscheidet sich deutlich von der ventralen Breite bei Katzen der Gewichtsgruppe 2 (Median 2,30 cm, MW 2,29 cm). Die größte ventrale Breite wurde bei Katzen der Gewichtsgruppe 3 gemessen (Median 2,36 cm, MW 2,37 cm). Bei einer Katze der Gewichtsgruppe 1 konnte die kleinste ventrale Breite gemessen werden (Tier Nr. 39, Katze, Exotic Shorthair, w, 1,5 Jahre, 2,9 kg KGW). Die größte ventrale Breite fand sich bei einem Tier der Gewichtsgruppe 3 (Tier Nr. 34, Katze, Maine Coon, mk, 7,6 Jahre, 11,9 kg KGW). Bei den Katzen der Gewichtsgruppe 2 sind die Messergebnisse der dorsalen und ventralen Breitenmessung nur geringfügig voneinander verschieden (Mittel B_{dorsal} : 2,19 cm, B_{ventral} 2,29 cm; Median: B_{dorsal} 2,19 cm, B_{ventral} 2,30 cm).

Die Messergebnisse zur Tiefe der Orbita unterscheiden sich in allen drei Gewichtsgruppen, unabhängig davon, ob die **Gesamtiefe der Orbita** (T_{Gesamt}) oder die **Tiefe (T) der Orbita ohne Bulbusanteil** gemessen wurde ($F(2,77) < 0,001$, $p < 0,001$). Allerdings fällt auf, dass bei der Gesamttiefe der Orbita die Unterschiede zwischen Katzen aus Gewichtsgruppe 1 und 2 ($p=0,250$) und zwischen Gewichtsgruppe 2 und 3 ($p=0,170$) etwas geringfügiger ausfallen. Am deutlichsten unterscheiden sich Tiere mit einem KGW von unter 3 kg und über 6 kg voneinander ($p=0,019$). Die Mittel- und Medianwerte der Gesamttiefenmessung zeigen, dass Katzen der Gewichtsgruppe 2 (Median 2,79 cm, MW 2,77 cm) nur eine geringfügig größere Gesamttiefe der Orbita besitzen als Katzen der Gewichtsgruppe 1 (Median 2,64 cm, MW 2,64 cm). Die größte Gesamttiefe konnte bei Katzen der Gewichtsgruppe 3 gemessen werden (Median 2,92 cm, MW 2,89 cm). Eine Ausnahme bildet ein Tier der Gewichtsgruppe 2, bei dieser Katze wurde die geringste Gesamttiefe der Orbita gemessen (Tier Nr. 24, Katze, Thaikatze, wk, 2,5 Jahre, 4,2 kg KGW).

Bei der Tiefenmessung ohne Bulbusanteil fällt zudem auf, dass sich Tiere zwischen 3-6 kg KGW nicht signifikant von Tieren mit über 6 kg KGW unterscheiden ($p=0,892$). Vergleicht man die Orbitatiefe ohne Bulbusanteil zwischen allen Gewichtsgruppen, so weisen Katzen der Gewichtsgruppe 1 die geringste Tiefe auf (Median 0,62 cm, MW 0,54 cm). Allerdings unterscheiden sich Katzen der Gewichtsgruppe 2 und 3 nur geringfügig voneinander (Gruppe 2: Median 0,81 cm, MW 0,85 cm; Gruppe 3: Median 0,81 cm, MW 0,83 cm).

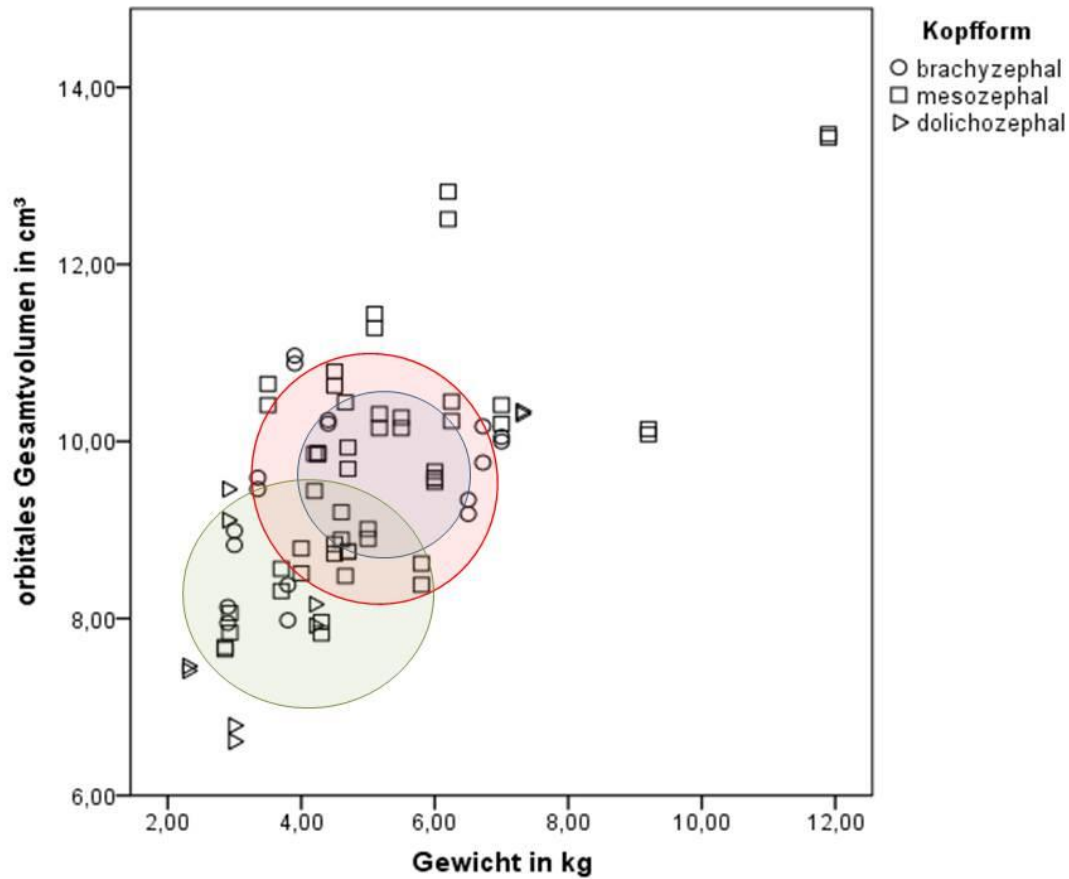


Abbildung 45: Orbitales Gesamtvolumen aller untersuchten Katzen (N=40 Tiere, n=80 Orbitae) in Bezug auf das Körpergewicht.

Erläuterung: Auf der X-Achse ist das Körpergewicht in kg angegeben. Die Y-Achse zeigt das gemessene orbitale Gesamtvolumen in cm³. Innerhalb der farbigen Kreise befinden sich 50% aller Tiere derselben Kopfform.

(roter Kreis = brachycephale Katzen, blauer Kreis = mesozephal Katzen, grüner Kreis = dolichocephale Katzen)

5 Diskussion

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde anhand von computertomografischen Studien von Hunden und Katzen die knöcherne Orbita sowie ihr Inhalt vermessen, wobei der Einfluss von Rasse/Kopfform und Körpergewicht auf die Ausdehnung der Orbita untersucht wurde.

Die Computertomographie ermöglicht neben der Darstellung von knöchernen Strukturen auch eine gute räumliche Darstellung der intraorbitalen Weichteilgewebe und Adnexe des Bulbus (FIKE et al. 1984; BOROFFKA, VOORHOUT 1999).

In der Vergangenheit wurden diverse Studien bei den unterschiedlichsten Tierarten angefertigt, in denen der Bulbus sowie seine Inhalte mittels Ultraschall untersucht wurden (SCHIFFER et al. 1982; COTTRILL et al. 1989; GILGER et al. 1998; TUNTIVANICH et al. 2007; GONÇALVES et al. 2009; MIRSHAHI et al. 2014). Es existieren bisher sehr wenige Daten zu der Ausdehnung der Orbita, wobei oftmals Angaben zur Gewinnung dieser Daten fehlen (GELATT, WHITLEY 2011; SAMUELSON 2013). Eine computertomografische Vermessung der gesamten Orbita wurde nach aktuellem Wissenstand bisher nicht vorgenommen.

Die in der eigenen Arbeit durchgeführte Vermessung der Orbita bei Hunden und Katzen hat neue Fakten hervorgebracht. So konnte die bisher angenommene Tatsache widerlegt werden, dass brachyzephe Tiere eine flachere Orbita und dolichozepe Tiere eine tiefe Orbita besitzen. Vielmehr handelt es sich hierbei um eine anatomische Besonderheit, bei brachyzephalen Hunden bedingt durch den abgerundeten, zum Teil kaum ausgebildeten Proc. frontalis, wodurch ein knöcherner Engpass, wie bei meso- und dolichozepehalen Hunden vorhanden, innerhalb der Orbita fehlt. Dadurch liegt der Bulbus bei brachyzephalen Hunden relativ ungeschützt in der Orbita. Durch den fehlenden Knochenrichter kann der Bulbus nicht so tief in der Orbita einsinken, wodurch der Anschein einer flacheren Orbita entsteht.

Es konnten für Hunde und Katzen Unterschiede in der Ausdehnung der Orbita je nach Körpergewicht nachgewiesen werden. Diese Größenunterschiede sind insbesondere bei Hunden von klinischer Relevanz. Bei Katzen sind die Größenunterschiede zwar statistisch signifikant, jedoch sind die Ergebnisse nicht zwingend von klinischer Relevanz, da die Gruppenunterschiede sehr geringfügig sind und im klinischen Alltag doch eher vernachlässigt werden können. Ein Faktor, auf den in dieser Arbeit kein Einfluss genommen werden konnte, war jedoch das Gewicht in Bezug auf das Normalgewicht eines Tieres. Anhand der CT-Aufnahmen ließ sich für den Autor dieser Studie keine Unterscheidung machen, ob die Tiere normalgewichtig, adipös oder kachektisch waren. Es wurde lediglich das absolute Gewicht aus der Akte des Patienten entnommen ohne den Ernährungszustand

zu hinterfragen, wodurch es eine gewisse Unschärfe der Daten geben kann. Dieser Faktor kann durchaus zu Fehlern in der Analyse der Messergebnisse geführt haben bzw. hat dieser Faktor maßgeblich die Zuordnung eines Tieres zu einer Gewichtsgruppe beeinflusst. Ein Einfluss des Geschlechts wurde nicht untersucht, da auf eine große Vielfalt an unterschiedlichen Tieren verschiedener Kopfformen Wert gelegt wurde. Trotzdem können die hier vorliegenden Daten einen Überblick darüber geben, wie sich der orbitale Raum darstellt.

In etlichen vorhergehenden Studien wurde bei verschiedenen Tierarten der Bulbus (HAMIDZADA, OSUOBENI 1999; FERNANDES et al. 2003; ZHOU et al. 2006; HERNANDEZ-GUERRA et al. 2007; SQUARZONI et al. 2010; TONI et al. 2010), bei wenigen Tierarten auch die gesamte Orbita vermessen (SARNAT 1970; ORIA et al. 2015b). SARNAT (1970) hat Ausgüsse mit elastischem Gummi von der Orbita von 23 Kaninchen unterschiedlichen Alters gefertigt. Der Autor konnte dadurch den Einfluss des Heranwachsens eines Tieres auf die Größe der Orbita nachweisen. Ebenso wurden geringe Unterschiede zwischen linker und rechter Orbita nachgewiesen. Ob diese Unterschiede statistisch signifikant waren, gibt der Autor nicht an. Allerdings ergeben sich aus der Studie von SARNAT (1970) keine Messwerte sondern „nur“ Volumina für die Kaninchenorbita. In einer anderen Studie wurde die Orbita des Sambar-Hirsches untersucht (ORIA et al. 2015b). In dieser Studie wurde die knöchernen Orbita von drei Sambar-Hirschen mit Hilfe eines digitalen Messschiebers an anatomischen Schädelpräparaten untersucht. Bei diesen Tieren ist die Orbita vollständig geschlossen. Es wurden die Höhe, Breite und Tiefe mit 42 x 40 x 61 mm gemessen (ORIA et al. 2015b). Bedenkt man, dass ein Sambar-Hirsch ausgewachsen etwa 110 bis 260 kg KGW hat, so sind die Ergebnisse mit denen der eigenen Arbeit durchaus vergleichbar. In der Literatur finden sich auch Angaben zu der Ausdehnung der Orbita (H/B/T) von Pferden mit 59 x 62 x 98 mm und Rindern mit 64 x 65 x 120 mm (GELATT, WHITLEY 2011; SAMUELSON 2013). Die Autoren geben nicht an, mit welchen Instrumenten die Werte ermittelt wurden bzw. an welchen und wie vielen Tieren die Orbita vermessen wurde. Berücksichtigt man jedoch wieder die Körpergröße, so erscheinen auch diese angegebenen Werte im Zusammenhang mit den eigenen gemessenen Werten vergleichbar. In einer humanmedizinischen Studie wurde der Zusammenhang zwischen Bulbusgröße in Bezug auf die Orbitagröße an 33 Erwachsenen untersucht (CHAU et al. 2004). Die axiale Bulbuslänge wurde mittels Ultraschall ermittelt, die Orbita und der Bulbus mittels MRT untersucht. Zusätzlich wurde der Kopf der Personen mittels Messschieber vermessen. Ähnlich wie in der eigenen Arbeit wurde das Orbita- und Bulbusvolumen mittels Einzeichnen der Gewebe in der MRT-Bildserie ermittelt und berechnet. Es konnte kein Einfluss des Geschlechts auf die Größe des Bulbus nachgewiesen werden, jedoch auf die

Ausdehnung der Orbita. Bei Männern war die Orbita signifikant größer als bei Frauen. Es konnte in der Studie am Menschen ein Einfluss der Kopfgröße auf die Ausdehnung der Orbita nachgewiesen werden, wohingegen aber ein großer Bulbus nicht zwingend mit einer größeren Orbita einhergeht (CHAU et al. 2004). Demgegenüber wurde in der vorliegenden Arbeit der Einfluss der Körpergröße auf die Orbita von Hunden und Katzen nachgewiesen, wobei gerade bei Hunden die untersuchte Population deutlich inhomogener ist als bei der Studie an Menschen.

5.1 Methode

Bei allen untersuchten Tieren dieser Arbeit wurde aus Gründen unabhängig von dieser Studie eine computertomografische Untersuchung vorgenommen. Retrospektiv wurden vorhandene CT-Studien ausgewählt und ausgewertet. Tiere, die anatomische bzw. krankhafte Veränderungen im Bereich der Orbita oder an direkt angrenzenden Strukturen aufwiesen, wurden von der Studie ausgeschlossen, um Messfehler zu vermeiden. Es wurden ausschließlich adulte Tiere ausgewählt, da nur bei ausgewachsenen Tieren das Orbitawachstum vollständig abgeschlossen ist. Das Orbita-Wachstum findet parallel zum Bulbuswachstum statt. So wird durch die Druckbelastung des Bulbus und seiner Anhangsorgane auf die umliegenden knöchernen Strukturen das Wachstum der Orbita stimuliert. Dieser Einfluss konnte in diversen Studien nachgewiesen werden (SARNAT, SHANEDLING 1970, 1972; SARNAT 1981; TSE et al. 2007; MARTIN 2010; FAN et al. 2012).

In verschiedenen Studien wurde die Darstellung des Bulbus und seiner Adnexe mittels bildgebender Verfahren beim Tier untersucht (GEORGE, SMALLWOOD 1992; PENNINCK et al. 2001; SHOJAEI et al. 2003; COLLINS et al. 2013; LABRUYERE, SCHWARZ 2013).

FIKE et al. (1984) beschrieben die Anatomie der caninen Orbita an einem einzigen Beagle mit Hilfe von CT-Aufnahmen. Sie konnten in ihrer Studie alle Orbitainhalte identifizieren und darstellen. Zudem bietet das retrobulbäre Fettgewebe einen guten Kontrast und ermöglicht dadurch die Unterscheidung verschiedener Weichteilgewebe.

Zu ähnlichen Ergebnissen kam auch eine computertomografische Studie von BOROFFKA und VOORHOUT (1999) an neun Hunden. Die knöcherne Abgrenzung der Orbita konnte gut dargestellt werden, ebenso Weichteilgewebe wie die extraokuläre Muskulatur, der mediale M. pterygoideus, die Gl. zygomatica und das Fettgewebe.

Auch an Katzen wurden computertomografische Untersuchungen der Anatomie des Kopfes vorgenommen. SHOJAEI et al. (2003) verglichen die Anatomie anhand von CT-Aufnahmen und Sektionsschnitten an fünf Katzen. COLLINS et al. (2013) verglichen CT-Studien von anästhesierten und nicht anästhesierten Katzen (n=11) miteinander.

In einer aktuellen Studie von D'AOOUT et al. (2014) wurde die Anatomie der Orbita und der Augen an vier Köpfen adulter Pferde mittels CT und MRT untersucht. Beide Bildserien wurden mit anatomischen Modellen und eigens angefertigten Präparaten verglichen. Dabei zeigte sich, dass das CT insbesondere für die Darstellung der knöchernen Orbita geeignet ist. Auch die extraokuläre Muskulatur konnte dargestellt werden, wenn auch nicht so detailgetreu wie im MRT. Der Bulbus war mit beiden bildgebenden Verfahren sehr gut identifizierbar. Intraokuläre Strukturen konnten im MRT besser dargestellt werden. Insgesamt schlussfolgern D'AOOUT et al. (2014), dass das CT eine geeignete Technik zur Darstellung der knöchernen Orbita sowie deren Beziehung zu umgebenden Strukturen, wie der Stirnhöhle ist. Auch SALGÜERO et al. (2015) haben Augen von Hunden im CT untersucht, sie geben an, dass die CT-Untersuchung sicherlich nicht die geeignetste Methode zur Untersuchung der Augen, aber doch hilfreich bei der Interpretation okulärer Strukturen ist. Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die Ausdehnung der Orbita zu vermessen, wobei die Identifikation einzelner Strukturen, wie z.B. der Bulbusinhalte, nur eine untergeordnete Rolle spielte. Wie schon in o.g. Studien gezeigt, hat sich die CT-Untersuchung als hervorragende Methode zur Darstellung der Orbita erwiesen. Da nicht einzelne Weichteilgewebe sondern die intraorbitalen Inhalte als Gesamteinheit gemessen wurden, war die Darstellbarkeit dieser mittels CT-Aufnahmen sehr gut geeignet. Will man einzelne Strukturen innerhalb der Orbita untersuchen, sollten MRT-Aufnahmen ausgewertet werden.

5.2 Vermessung der Orbita an Hunden

In der vorliegenden Arbeit wurden 40 Hunde untersucht. Die Orbitae dieser Hunde wurden mittels CT-Aufnahmen vermessen. Es sollte geklärt werden, inwieweit die Kopfform und das Körpergewicht Einfluss auf die Ausdehnung der Orbita haben. Alle ausgewählten Hunde wurden zunächst nach ihrer Rasse in die entsprechende Kopfform eingeteilt. Dafür wurden mehrere Studien als Referenz für die Kopfformeinteilung herangezogen. Die Einteilung in die jeweiligen Kopfformen erfolgte auf Grundlage der vorliegenden Studien (KOCH et al. 2003; BALLI 2004; KOCH et al. 2012). Die Einteilung erfolgte subjektiv, da in den Referenz-Studien zum Teil nicht alle in der vorliegenden Arbeit untersuchten Rassen beschrieben wurden und sich die Autoren der Studien zum Teil in ihrer Meinung geringfügig voneinander unterscheiden (KOCH et al. 2003; BALLI 2004; KOCH et al. 2012). So untersuchte BALLI (2004) die Schädel von 64 adulten Hunden, fertigte Röntgenbilder von diesen Tieren an und berechnete daraus Schädelindizes. Aus den Schädelindizes leitete BALLI (2004) den Brachycephaliegrad ab. Die Einteilung erfolgte in seiner Studie in brachycephale und normozephele Hunde. Eine weitere Unterscheidung der normozephalen Hunde in meso- und dolichocephale Tiere wurde nicht vorgenommen. Ein Vergleich der Studien ist in Tabelle 7

aufgelistet (KOCH et al. 2003; BALLI 2004; KOCH et al. 2012). Eine Vermessung der Schädel und mathematische Berechnung der Schädelindizes wurde in der vorliegenden Studie nicht vorgenommen. Stattdessen orientierte sich die eigene Studie bei der Einteilung der Kopfformen an den Daten von KOCH et al. (2003), BALLI (2004) und KOCH et al. (2012). Rasselisten anderer Autoren wurden richtungsweisend hinzugezogen (BREHM et al. 1985; HENDRICKS 1992; OECHTERING et al. 2007; OECHTERING et al. 2008; DYCE et al. 2010; MONNET 2011; DUPRÉ et al. 2013).

Es wurde der Einfluss von Kopfform und Körpergröße auf die Ausdehnung der Orbita für alle Hunde untersucht. Dabei zeigte sich, dass es nur geringfügige Unterschiede zwischen den verschiedenen Hunderassen in Bezug auf ihre Kopfform gibt, sehr wohl jedoch in Bezug auf die Körpergröße.

Bei der Untersuchung des **Bulbusvolumens** konnten in der vorliegenden Studie keine Unterschiede in Bezug auf die Kopfform nachgewiesen werden. Allerdings konnte ein Einfluss des Körpergewichts auf die Größe des Bulbus nachgewiesen werden. So besitzen Hunde mit geringem Körpergewicht auch einen kleineren Bulbus. Berechnet man aus dem Bulbusvolumen den Durchmesser des Bulbus unter der Annahme, dass der Bulbus des Fleischfressers annähernd eine kugelige Gestalt aufweist (SEIFERLE 1992; SIMOENS, GILLE 2005; KÖNIG, LIEBICH 2015; SALGÜERO et al. 2015), so zeigt sich, dass sich der Bulbusdurchmesser, der in dieser Arbeit gemessen wurde, mit den Messungen in anderen Publikationen deckt, es ergeben sich Werte von 16,5-23,9 mm. KÖNIG und LIEBICH (2015) geben Bulbusgrößen von 20-24 mm für den Fleischfresser an, GELATT und WHITLEY (2011) nennen Bulbusdurchmesser von 19,7 mm bis zu 25 mm bei Hunden. Es finden sich in der Literatur Untersuchungen des Bulbus mittels Ultraschall, bei denen die axiale Länge gemessen wurde. In einer Studie von TUNTIVANICH et al. (2007) wurden bei 52 Wochen alten Mischlingshunden Bulbusdurchmesser von 18,0-20,2 mm gemessen (n=20 Hunde). COTTRILL et al. (1989) untersuchten die Augen von meso- und dolichocephalen Hunden (N=62 Hunde, davon n=40 Mesozephele, n=22 Dolichocephale) mittels Ultraschall (B-Mode) und direkt mittels Messschieber. Sie konnten statistisch signifikante Unterschiede zwischen der axialen Bulbuslänge von mesozephalen und dolichocephalen Hunden für beide Messmethoden nachweisen. Nach Ihren Messungen ergaben sich Bulbusdurchmesser von 19,9 mm \pm 1,2 mm für mesozephele Hunde sowie 21,2 mm \pm 1,3 mm für dolichocephale Hunde mittels Sonographie. Damit waren die Bulbi von dolichocephalen Hunden größer als bei mesozephalen Hunden. Geschlechtsunterschiede und Unterschiede zwischen linkem und rechtem Auge konnten in der Studie nicht nachgewiesen werden. Die Unterschiede in der Bulbusgröße begründen die Autoren damit, dass diese mit der Kopfform und dem

Körpergewicht zusammenhängt. Vergleicht man die Körpergewichte beider Gruppen so fällt auf, dass die dolichocephalen Hunde dieser Studie ein insgesamt höheres Körpergewicht aufweisen (21-38 kg KGW) im Vergleich zu den mesozephalen (9-32 kg KGW) (COTTRILL et al. 1989). Diese Unterschiede wurden auch schon in vorhergehenden Studien beschrieben (PRINCE (1960); LARSEN (1979) zitiert nach COTTRILL et al. (1989)). Auch SEIFERLE (1992) unterscheidet zwischen großen und kleinen Hunden und gibt die Bulbusdurchmesser in Form von Längs-, Quer- und Vertikaldurchmesser bei kleinen Hunden mit 20,0 : 19,7 : 18,7 mm und bei großen Hunden mit 24,2 : 24,0 : 23,0 mm an. Das Messverfahren und die Anzahl der untersuchten Tiere aus der Publikation von SEIFERLE (1992) sind unbekannt. SALGÜERO et al. (2015) haben die Augen von 22 Hunden mittels CT vermessen. Es wurde unter anderem der Bulbusdurchmesser gemessen und das Bulbusvolumen berechnet. Für den anteroposterioren Bulbusdurchmesser geben die Autoren Werte von 18-23 mm an. Das Bulbusvolumen wurde mit 3,13-5,58 cm³ gemessen. SALGÜERO et al. (2015) haben die Untersuchung an Hunden verschiedener Rassen im Alter von 4-144 Monaten durchgeführt. Es wurde der Einfluss der erhobenen Daten auf Alter und Geschlecht untersucht, dabei konnten keine statistisch relevanten Zusammenhänge festgestellt werden. Ebenso wurden keine Unterschiede zwischen linkem und rechtem Auge gefunden. Allerdings stellen die Autoren fest, dass es einen signifikanten Einfluss des Körpergewichts auf das Bulbusvolumen gibt (SALGÜERO et al. 2015). Der Einfluss der Körpergröße konnte auch in der eigenen Studie bestätigt werden, ein Einfluss der Kopfform konnte nicht nachgewiesen werden, womöglich durch den geringen Anteil an dolichocephalen Hunden in der vorliegenden Studie (12,5%, n=5). In der eigenen Arbeit sind die Werte für das Bulbusvolumen weiter gefächert (2,36-7,18 cm³) als in der Publikation von SALGÜERO et al. (2015), die sicherlich durch die größere Tierzahl und Auswahl unterschiedlicher Rassen in der eigenen Arbeit bedingt ist. Weitere Daten zum Bulbusdurchmesser sind in der Literatur vorhanden und decken sich mit den eigenen Ergebnissen (MURPHY et al. 2013). Ein Unterschied zwischen linkem und rechtem Bulbus eines Tieres konnte in der vorliegenden Studie nicht nachgewiesen werden. Dies deckt sich mit den Ergebnissen von SCHIFFER et al. (1982) und TUNTIVANICH et al. (2007).

In der vorliegenden Studie konnten bei der Ausdehnung des **retrobulbären Gewebes**, also der extraokulären Strukturen (Muskeln, Fettgewebe), keine Unterschiede bezüglich der Kopfform festgestellt werden. Allerdings fällt auf, dass bei den mesozephalen Tieren im Mittel das größte Volumen gemessen wurde im Vergleich zu Tieren anderer Kopfform. Hier ist sicherlich der große Anteil von 55% an mesozephalen Hunden in der Studie ursächlich. Daraus ergibt sich eine große Tierzahl mit einer großen „Streuung“ des Körpergewichts von

4,7-72,0 kg KGW. Bei den Brachycephalen wiegen die Tiere 1,7-56,0 kg, die dolichocephalen Hunde weisen ein Körpergewicht von 12,0-66,0 kg auf. Es fällt jedoch auf, dass sich die Medianwerte aller Hunde bezüglich der Kopfform deutlich unterscheiden (brachycephal 5,49 cm³, dolichocephal 7,65 cm³, mesozephal 10,07 cm³). Diese Tatsache ist zum einen durch die kleine Tierzahl der brachycephalen und dolichocephalen Hunde bedingt, zudem besitzen 8 von 13 brachycephalen Tieren ein Körpergewicht von unter 15 kg. Nur ein brachycephaler Hund wog über 35 kg (1/13). Dadurch kommt das in dieser Gruppe kleine retrobulbäre Volumen zustande.

Es konnten keine statistisch signifikanten Unterschiede des **orbitalen Gesamtvolumens** für Hunde verschiedener Kopfformen nachgewiesen werden. Allerdings besteht ein deutlicher Zusammenhang des Orbitavolumens mit der Körpergröße. Große Hunde weisen ein deutlich höheres Orbitavolumen auf als kleine Hunde. Dieser Sachverhalt erklärt sich, da sich das orbitale Gesamtvolumen aus dem Bulbusvolumen und dem Volumen des retrobulbären Gewebes zusammensetzt und bei diesen Messungen ebenfalls ein Gewichtseinfluss nachgewiesen werden konnte. Nach Wissen des Autors der vorliegenden Studie existieren in der Literatur keine verfügbaren Daten, die zum Vergleich der hier vorliegenden Ergebnisse herangezogen werden könnten.

Setzt man die Bulbusgröße ins Verhältnis zum orbitalen Gesamtvolumen, so besitzen brachycephale Hunde ein Orbita/Bulbus-Verhältnis von 1:2,70, bei mesozephalen verhält es sich 1:2,82 und bei dolichocephalen 1:2,77. Es wird also deutlich, dass brachycephale Hunde den größeren Bulbus im Verhältnis zur Orbita besitzen. Betrachtet man das Verhältnis Bulbus zu Orbitavolumen in den einzelnen Gewichtsklassen, so fällt auf, dass die Bulbusgröße mit zunehmendem Körpergewicht im Verhältnis zum Orbitavolumen abnimmt (vgl. Anhang Tabelle 24).

Bei der Messung des **Volumens von Gl. zygomatica und M. pterygoideus** konnten sowohl kopfformabhängige als auch gewichtsabhängige Unterschiede nachgewiesen werden. Brachycephale Hunde weisen das kleinste Volumen dieser Gewebe auf. Hier ist wieder die Verteilung der Hunde in den einzelnen Gruppen ursächlich. Die meisten brachycephalen Hunde gehören in die Gewichtsklasse 1 und wiegen unter 15 kg. Es stellt sich jedoch auch die Frage inwieweit die Brachycephalie als solche einen Einfluss auf dieses kleine Volumen hat. Es wurde eine Verkürzung des Gesichtsschädels und der Nasenstrukturen bei brachycephalen Hunden nachgewiesen, bedingt durch eine Wachstumshemmung (HENNET, HARVEY 1992). Des Weiteren kann es bei Brachycephalie zur Unterentwicklung der Kaumuskulatur sowie Gebiss- und Kieferanomalien kommen (BMELV 2005). Unter Berücksichtigung dieser Veränderungen bei kurzköpfigen Hunden ist auch eine

Verkleinerung dieser Gewebe (Gl. zygomatica, M. pterygoideus) aufgrund unzureichender Platzverhältnisse denkbar.

In der vorliegenden Arbeit konnten (ausgehend von den Mittelwerten) folgende Werte für die **Ausdehnung der Orbita** ermittelt werden ($H/B(B_{\text{dorsal}})/T(T_{\text{gesamt}})$): brachycephal 31 x 26 x 35 mm, mesozephal 34 x 25 x 34 mm, dolichocephal 36 x 23 x 32 mm. Die hier gemessenen Werte unterscheiden sich vor allem bei der Orbitatiefe deutlich von den in der Literatur angegebenen Werten. GELATT und WHITLEY (2011) geben die Höhe, Breite und Tiefe der Orbita mit 30 x 28 x 79 mm bei brachycephalen Hunden, 29 x 27 x 156 mm bei mesozephalen Hunden und 29 x 33 x 214 mm bei dolichocephalen Hunden an. GELATT und WHITLEY (2011) machten keine Angaben darüber, wie diese Werte ermittelt wurden oder an wie vielen Tieren unterschiedlicher Rassen die Untersuchung durchgeführt wurde. Wie schon im Vorversuch 1 dieser Arbeit an Schädelpräparaten gezeigt, lässt sich die Ausdehnung der Orbita ohne Berücksichtigung der umgebenden Weichteile nicht sinnvoll vermessen. Deshalb könnte man davon ausgehen, dass die in der Literatur angegebenen Werte anhand von Schädelpräparaten ermittelt wurden. Dies würde die sehr großen Schwankungen der Orbitatiefe zwischen den Literaturangaben und der eigenen Messung erklären. Vergleicht man die in der vorliegenden Arbeit gemessene Höhe und Breite der Orbita mit den Angaben von GELATT und WHITLEY (2011), so lassen sich nur geringe Unterschiede zwischen den Messwerten erkennen, dem gegenüber stehen starke Abweichungen bei der Messung der Orbitatiefe, wobei auffällt, dass v.a. bei dolichocephalen Hunden sehr starke Abweichungen zu den eigenen Daten zu verzeichnen sind. In der vorliegenden Arbeit konnte gezeigt werden, dass durch die Züchtung auf Rundköpfigkeit und dem damit verbundenen weit ausladenden Jochbogen die Orbita von brachycephalen Hunden breiter ist als von dolichocephalen, was den Daten von GELATT und WHITLEY (2011) widerspricht. Dem gegenüber stehen Werte, die SAMUELSON (2013) angibt. Die canine Orbita wird mit einer Höhe, Breite und Tiefe von 28 x 29 x 49 mm angegeben. Es fällt auf, dass die Daten von SAMUELSON (2013) mit den eigenen Ergebnissen vergleichbar sind, wenn auch bei der Publikation die Breite und Höhe geringer gemessen wurde und die Tiefe der Orbita größer ist als in der eigenen Untersuchung. Jedoch findet auch bei SAMUELSON (2013) keinerlei Unterscheidung bezüglich der Kopfform statt. Ebenso bleibt unklar, woher der Autor die Daten bezieht, bzw. wie diese Daten ermittelt wurden. Es lässt sich also vermuten, dass die sehr unterschiedlichen Ergebnisse der Messmethode der zuvor genannten Studien geschuldet sind, da aber leider keine Angaben zu Messmethode, Tierzahl oder generell zum Signalement gemacht werden, ist ein Vergleich der Methodik zu eigenen Studie kaum möglich und kann nur über Vermutungen erfolgen. In der verfügbaren

Literatur sind nach dem Wissenstand des Autors der vorliegenden Arbeit keine Studien verfügbar, die das Körpergewicht in Bezug auf die Ausdehnung der Orbita untersucht haben, wobei eine Größenzunahme der Orbita mit dem Körpergewicht logisch erscheint und in dieser Arbeit nachgewiesen werden konnte.

DYCE et al. (2010) beschreiben die Merkmale der verschiedenen Kopfformen. Dolichocephale Hunde, wie der Greyhound, besitzen einen langen, schmalen Kopf, brachycephale Rassen, wie die Bulldogge, einen verkürzten Gesichtsbereich und einen großen rundlichen Schädel, mesozepale Hunde hingegen besitzen ein ausgewogenes Verhältnis der Schädellänge zur Schädelbreite (DYCE et al. 2010). Zudem sitzen laut der Autoren die Augen bei dolichocephalen Hunden tief in der Orbita, wohingegen sie bei brachycephalen Hunden weiter vorstehen. Dies deckt sich mit der Beschreibung anderer Autoren (BMELV 2005; GELATT, WHITLEY 2011; EVANS, DE LAHUNTA 2013).

Bisherige Annahmen gingen davon aus, dass brachycephale Rassen eine flachere Orbita und dolichocephale Rassen eine tiefere Orbita aufweisen, wobei nach dem Wissen des Autors der vorliegenden Arbeit keine Belegdaten zu dieser Hypothese vorliegen. Die eigenen Messdaten spiegeln diese Annahme nicht wieder. Dementsprechend liefert die Literatur keine „Messschablone“ bzw. Anleitung zur Vermessung der Orbita, an der man sich in der vorliegenden Arbeit hätte orientieren können. Folglich wurden über mehrere Stufen in den geschilderten Vorversuchen Messstrecken entwickelt und geprüft, um letztlich eine reproduzierbare Messmethode zu erstellen.

Die Messung der **Höhe**, **Breite** und **Tiefe** der Orbita ergab gewichtsabhängige Unterschiede. In Abhängigkeit von der Größe des Tieres resp. dem Körpergewicht nimmt auch die Größe der Orbita zu. Die einzige Ausnahme stellt die Messung der ventralen Breite dar, hier konnten keine statistisch signifikanten größenabhängigen Unterschiede nachgewiesen werden.

Bei der Messung der Orbitahöhe fällt auf, dass sich brachycephale Tiere von meso- und dolichocephalen Hunden unterscheiden. Brachycephale Hunde weisen eine geringere Höhe der Orbita auf. Zum einen kann dies durch die Züchtung auf Kurzköpfigkeit bedingt sein, andererseits ist das Vorliegen von Messungenauigkeiten denkbar. Die Höhe der Orbita wurde als Strecke vertikal verlaufend zwischen dem Os frontale auf Höhe des Sinus frontalis lateralis sowie dem tiefsten Punkt noch vorhandenen retrobulbären Gewebes definiert. KOMEYLI (1984) konnte in seiner Studie nachweisen, dass bei Brachycephalen die Stirnhöhlen nicht immer angelegt sind, die bei dieser Messstrecke als Orientierungspunkt diente. Bei der Messung der Höhe der Orbita fällt auf, dass sich die Mittel- und Medianwerte um fast 1,5cm in den drei Gewichtsklassen unterscheiden.

In der vorliegenden Arbeit zeigt sich, dass es gravierende Unterschiede bei der dorsalen und ventralen Breitenmessung gibt. So konnten bei der dorsalen Breitenmessung keine signifikanten Unterschiede zwischen den verschiedenen Kopfformen festgestellt werden. Allerdings weisen brachycephale Hunde eine größere ventrale Breite auf als meso- und dolichocephale Hunde. Meso- und dolichocephale Hunde unterscheiden sich nicht in ihrer ventralen Breite. Eine Erklärung hierfür lässt sich in verschiedenen Faktoren finden. Die Messung der Orbitabreite wurde sowohl ventral als auch dorsal an dem Proc. frontalis des Os zygomaticum vorgenommen. Dieser Processus besitzt bei meso- und dolichocephalen Tieren eine deutliche Abschrägung nach medial und bildet somit ein kleines „Podest“ innerhalb der Orbita. Bei brachycephalen Hunden ist diese Abschrägung kaum bzw. bei einigen Vertretern gar nicht ausgebildet, der Proc. frontalis ist abgerundet. In Vorversuch 2 der vorliegenden Arbeit konnte zudem gezeigt werden, dass bei kurzköpfigen Hunden der Proc. frontalis und Proc. zygomaticus nicht immer deutlich ausgebildet und somit nicht bei allen Tieren auffindbar sind. Deshalb müssen auch Messungenauigkeiten in Betracht gezogen werden. Dies kann mit der in der Literatur beschriebenen Wachstumshemmung und dem „Kugelpopf“ erklärt werden (HENNET, HARVEY 1992; BMELV 2005). Sichtbar wird dieser Zustand phänotypisch als weit ausladender Jochbogen. Daraus ergibt sich, dass bei brachycephalen Hunden eine größere ventrale Breite gemessen wurde als bei meso- oder dolichocephalen Hunden. Da nun bei brachycephalen Hunden dieser knöcherner Engpass, der auch schon in der Kadaverstudie identifiziert werden konnte, fehlt, liegt der Bulbus weniger geschützt in der Orbita. So ist bei Meso- und Dolichocephalen der knöcherner Verlauf der Orbita eher trichterförmig und der Bulbus liegt gut geschützt innerhalb des knöchernen Engpasses zwischen Proc. frontalis und Crista pterygoidea. Bei brachycephalen Hunden liegt der Bulbus relativ ungeschützt in der knöchernen Orbita und wird nicht durch den knöchernen Engpass abgestützt. Es ist denkbar, dass der Bulbus bei brachycephalen Hunden dadurch, wie in der Literatur beschrieben, leichter protrahiert (FRITSCHE et al. 1996; MOULD 2002). Zudem sinkt der Bulbus durch den fehlenden Knochenrichter nicht so tief in die Orbita, dadurch entsteht das Bild der weit vorstehenden Augen, welche im Zusammenhang mit der Züchtung auf Rundköpfigkeit bei Brachyzehalie gesehen werden. Damit hat die ventrale Breite maßgeblich einen Einfluss auf die Tiefe der Orbita. Bei der Messung der Orbitatiefe wurde das am weitesten kaudal gelegene retrobulbäre Gewebe als Orientierung gewählt. Zudem wurde auf eine korrekte Lagerung der Tiere im CT geachtet, um Messabweichungen durch verkippte Aufnahmen auszuschließen. Da der Bulbus samt seiner umgebenden Strukturen aber nicht parallel zum Gaumen in der Orbita liegt, sind geringgradige Abweichungen der Messergebnisse zur tatsächlichen anatomischen Tiefe denkbar, aber eher von untergeordneter klinischer Relevanz. Die Messung der Orbitatiefe

erbrachte zwar größenabhängige Unterschiede, jedoch keine signifikanten Unterschiede zwischen Hunden verschiedener Kopfformen. Die größte orbitale Gesamttiefe wurde bei den kurzköpfigen Hunden gemessen, allerdings fällt auf, dass in dieser Gruppe der Unterschied zwischen der kleinsten gemessenen Orbitatiefe und der größten Orbitatiefe 3,29 cm beträgt. Dies erklärt sich dadurch, dass in dieser Gruppe eine 56,00 kg schwere Bordeaux Dogge vertreten ist. Vergleicht man die Mittelwerte aller Gruppen so unterscheiden sich die Messergebnisse um maximal 0,23 cm. Bei der Messung des Bulbusvolumens konnten schon größenabhängige Unterschiede nachgewiesen werden, dadurch erklärt sich auch die mit der Größe des Tieres zunehmende Gesamttiefe der Orbita, da der Bulbus in die Messung mit einbezogen wurde. Bei der Messung der Orbitatiefe ohne Bulbusanteil konnten ebenfalls größenabhängige Unterschiede nachgewiesen werden. So unterscheiden sich die Mittelwerte der Hunde unter 15 kg KGW und über 44 kg KGW um 0,97 cm, das bedeutet bei einem MW von 1,04 cm in Gruppe 1 und einem MW von 2,01 cm in Gruppe 3 eine Zunahme der Orbitatiefe von annähernden 50 %. Bei Hunden unterschiedlicher Kopfformen konnten keine signifikanten Unterschiede in der Orbitatiefe ohne Bulbusanteil gezeigt werden. Auch wenn die Tiefenmessung im Mittel bei Brachycephalen die höchsten Werte ergaben, so betragen die maximalen Unterschiede der Mittelwerte dieser Gruppen gerade 0,19 cm. Betrachtet man das Verhältnis von Höhe/Breite/Tiefe, so fällt auf, dass sich die Höhe der Orbita über alle Kopfformen und Gewichtsklassen annähernd 1:1 mit der Tiefe der Orbita verhält. Die Breite der Orbita reduziert sich mit zunehmender Größe der Tiere im Verhältnis zur Höhe. Ebenso reduziert sich die Orbitabreite im Verhältnis zur Orbitahöhe und -tiefe von brachycephalen über mesozepale zu dolichocephalen Hunden (vgl. Anhang Tabelle 24).

In der vorliegenden Arbeit wurden zusätzlich noch alle Hunde mit einem **Körpergewicht unter 15 kg** separat ein zweites Mal auf kopfformspezifische Unterschiede in der Ausdehnung der Orbita untersucht. Da in der Gewichtsklasse unter 15 kg KGW eine hohe Anzahl an brachycephalen Hunden vertreten waren, sollte ein Einfluss auf die Gesamtauswertung ausgeschlossen werden. Es hat sich gezeigt, dass die hohe Anzahl an brachycephalen Hunden bei den Tieren unter 15 kg keinen Einfluss auf die Gesamtergebnisse hat. Die Auswertung der Ergebnisse deckt sich mit den Ergebnissen der Analyse aller Tiere. Zudem konnten Trends, die sich in der Gesamtauswahl an Hunden bei der Analyse nur mit geringer statistischer Signifikanz gezeigt haben, in dieser Analyse bestätigt werden. So weisen brachycephale Hunde auch in dieser Gruppe das kleinste Gewebvolumen von Gl. zygomatica und M. pterygoideus auf. Das bedeutet, dass brachycephale Hunde auch im Vergleich zu anderen Hunden der gleichen Gewichtsklasse ein geringeres Gewebvolumen aufweisen und es keine Beeinflussung des

Gesamtergebnisses durch die ungleich verteilten Körpergewichte dieser Hunde (8 von 13 brachycephalen Hunden unter 15 kg KGW) gegeben hat. Selbiges ergab sich bei der Auswertung der Orbitahöhe, der dorsalen und ventralen Orbitabreite, sowie der Orbitatiefe.

5.3 Vermessung der Orbita an Katzen

Im Rahmen dieser Arbeit wurden 40 Katzen untersucht. Die Orbitae dieser Katzen wurden mittels CT-Aufnahmen vermessen. Es sollte die Frage geklärt werden, inwieweit die Kopfform und das Körpergewicht Einfluss auf die Ausdehnung der Orbita haben. Dafür wurden alle ausgewählten Katzen zunächst nach ihrer Rasse in die entsprechende Kopfform eingeteilt. Auf Grundlage der Untersuchungen von NÖLLER (2006) und OPPEL (2002) wurden alle ausgewählten Katzen bezüglich Ihrer Kopfform subjektiv dem brachycephalen, mesozephalen und dolichocephalen Schädeltyp zugeordnet. OPPEL (2002) untersuchte die Schädel von Katzen auf anatomische Unterschiede in Bezug auf die Kopfform. Dafür wurden vom Autor die Katzenschädel anhand ihrer Kopfform in drei Gruppen untergliedert: „runde Schädelform“, „dreieckige Schädelform“, „keilförmige Schädelform“ und die Zuordnung der Tiere anhand von Ergebnissen der Längen-, Höhen- und Breitenparameter der osteometrischen Untersuchung mit der subjektiven Einteilung verglichen. Die subjektive Zuordnung der Katzen zu den verschiedenen Schädelformen stimmte in 95,65% der Fälle mit der statistisch berechneten Gruppenzugehörigkeit überein (OPPEL 2002). In Anlehnung an die Studie wurden in der eigenen Arbeit unter Berücksichtigung von Rassestandards die Katzenschädel in der 3D Rekonstruktion anhand ihrer Form in brachycephal, mesozephal und dolichocephal eingeteilt.

Die Messung des **Bulbusvolumens** hat gezeigt, dass es bei Katzen verschiedener Kopfformen und Gewichtsklassen Unterschiede gibt. So besitzen mesozephal Katzen das größte Bulbusvolumen, bei brachycephalen Tieren ist das Bulbusvolumen kleiner. Das kleinste Bulbusvolumen lässt sich bei dolichocephalen Katzen finden. Betrachtet man Katzen unterschiedlicher Gewichtsklassen, so ist mit zunehmendem Körpergewicht auch das Bulbusvolumen größer. Errechnet man aus dem Bulbusvolumen den Bulbusdurchmesser erhält man Werte von 19,7 mm bis 22,7 mm. In der Literatur finden sich einige Studien bei denen die axiale Länge von Katzenaugen gemessen wurde. GELATT und WHITLEY (2011) geben die axiale Länge des Bulbus mit 20-22 mm bei der Katze an, wobei bei Siam-Katzen sogar Werte von bis zu 22,5 mm gemessen wurden. SEIFERLE (1992) gibt mit 20,1 mm ähnliche Werte an, SAMUELSON (2013) nennt für Katzen 20-21 mm Bulbusdurchmesser, GILGER et al. (1998) geben eine mittlere axiale Bulbuslänge von 20,91 mm an. In einer weiteren Studie wurden 60 Augen von 30 Katzen mittels Ultraschall vermessen, unter

anderem auch die axiale Bulbuslänge als Strecke zwischen der Kornea und Retina. Im Mittel ergaben sich Bulbusdurchmesser von 18,6 mm, ein Unterschied zwischen dem linken und rechtem Auge bestand nicht (GONÇALVES et al. 2009). Auch MIRSHAHI et al. (2014) untersuchten die Augen von Katzen mittels Ultraschall. In ihrer Studie haben die Autoren die Bulbi von 20 Perser-Katzen vermessen und ähnliche Werte wie in der Literatur beschrieben erhalten (17,8-22,0 mm in vertikaler Ebene, 18,4-22,5 mm in horizontaler Ebene). Auch in dieser Studie konnten keine Unterschiede zwischen dem linken und rechten Auge nachgewiesen werden. Diese Daten decken sich mit den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit. Dass keine Unterschiede zwischen linken und rechtem Auge bestehen, wurde auch in anderen Studien nachgewiesen (GILGER et al. 1998). Dass mesozepale Katzen in der vorliegenden Arbeit ein größeres Bulbusvolumen zeigen als Katzen anderer Kopfformen, liegt vermutlich daran, dass in dieser Gruppe 65% aller untersuchten Tiere vertreten sind, sowie, dass es in dieser Gruppe die größten Gewichtsunterschiede gibt (KGW 3,0-11,9 kg). Dadurch erklärt sich auch das deutlich kleinere Bulbusvolumen bei dolichocephalen Katzen. Untersucht wurden nur fünf Tiere mit diesem Schädeltyp in der Studie. Vier dieser Tiere wiesen ein KGW von 2,3-4,2 kg auf.

Wie schon bei dem Bulbusvolumen beobachtet, gibt es Einflüsse der Kopfform und des Körpergewichts auf das **Volumen des retrobulbären Gewebes**. Zwischen Katzen des brachycephalen und mesozepalen Schädeltyps konnten jedoch keine Volumenunterschiede nachgewiesen werden. Allerdings besitzen die dolichocephalen Katzen ein deutlich kleineres Volumen der extraokularen Gewebe. Wenn man bedenkt, dass drei von sechs Tieren in der Gewichtsklasse unter 3 kg KGW zu den dolichocephalen Katzen zugeordnet wurden, so erklären sich auch die Gewichtsunterschiede. Diese Gewichtsunterschiede können nur in sehr geringem Maß bei Katzen unter und über 6 kg KGW nachgewiesen werden.

Ausgehend von den genannten Ergebnissen ist es eine logische Konsequenz, dass bei dem **orbitalen Gesamtvolumen** die gleichen Differenzen nachweisbar sind. Das geringste orbitale Gesamtvolumen besitzen dolichocephale resp. kleine Katzen. Brachy- und mesozepale, sowie Katzen über und unter 6 kg KGW unterschieden sich in Ihrem orbitalen Gesamtvolumen kaum. Nach Wissen des Autors existiert keine Literatur mit Angaben zum Orbitavolumen bzw. dem retrobulbären Gewebvolumen, die mit den vorliegenden Daten verglichen werden kann. Nach Aussage von GELATT und WHITLEY (2011) ist die Orbita bei Katzen nur geringfügig größer als der Augapfel, wobei die Autoren keine Angabe über die Herkunft der Daten machen. Diese Hypothese kann in der vorliegenden Studie nicht

bestätigt werden, vielmehr nimmt der Bulbus etwa 50% des Orbitaraumes ein, das verbleibende Volumen wird von dem retrobulbären Gewebe aufgefüllt.

Setzt man die Bulbusgröße ins Verhältnis zum orbitalen Gesamtvolumen, so besitzen brachycephale Katzen ein Orbita/Bulbus-Verhältnis von 1:1,90, bei mesozephalen verhält es sich 1:1,93 und bei dolichocephalen 1:1,79. Dolichocephale Katzen besitzen den größeren Bulbus im Verhältnis zur Orbita. Bei den Hunden hingegen konnte festgestellt werden, dass die brachycephalen Tiere den größten Bulbus im Verhältnis zum Orbitavolumen besitzen. Es ist denkbar, dass diese tierartspezifischen Unterschiede durch die größere Variation an unterschiedlichsten Hunderassen innerhalb der verschiedenen Kopfformen zustande kommen. Zudem besitzen Hunde ein deutlich weiteres Orbita/Bulbus-Verhältnis, wobei dies sicherlich durch die größere Streuung der Körpergewichte bei Hunden zustande kommt. Betrachtet man das Verhältnis Bulbus zu Orbitavolumen in den einzelnen Gewichtsklassen, so fällt auf, dass die Bulbusgröße mit zunehmendem Körpergewicht im Verhältnis zum Orbitavolumen abnimmt. Diese Tatsache konnte schon bei den Hunden nachgewiesen werden (vgl. Anhang Tabelle 24).

Bei dem **Volumen der Gl. zygomatica und dem M. pterygoideus** konnten zwar keine kopfformabhängigen Unterschiede nachgewiesen werden. Allerdings gibt es deutliche Unterschiede in den verschiedenen Gewichtsklassen. Wieder weisen kleine Tiere ein kleineres Volumen auf als Katzen über 3 kg KGW. Das Gewebenvolumen nimmt mit dem Körpergewicht zu. In der Literatur finden sich Hinweise darauf, dass bei Katzen keine Gl. zygomatica angelegt ist (PRINCE (1960) nach SLATTER und BASHER (2003)). Andere Autoren geben an, dass die Gl. zygomatica sehr klein ausgebildet ist, zudem füllt der Bulbus fast die komplette Orbita aus (GELATT, WHITLEY 2011). Diese Aussage ist hinweisend dafür, dass in der vorliegenden Studie sehr kleine Gewebevolumina gemessen wurden. Konkrete Größenangaben werden in der Literatur jedoch nicht gemacht.

In der vorliegenden Arbeit konnten (ausgehend von den Mittelwerten) folgende Werte für die **Ausdehnung der Orbita** ermittelt werden ($H/B(B_{\text{dorsal}})/T(T_{\text{gesamt}})$): Brachycephale 27 x 23 x 29 mm, Mesozephalie 26 x 22 x 28 mm, Dolichocephale 27 x 21 x 26 mm. In der Literatur finden sich keine Angaben zur Ausdehnung der Orbita in Bezug auf die Kopfform. GELATT und WHITLEY (2011) gibt die Höhe, Breite und Tiefe der Orbita mit 23 x 26 x 87 mm an. SAMUELSON (2013) nennt nur die Höhe und Breite der Orbita bei Katzen mit 26 mm x 24 mm. Die in der Literatur angegebene Höhe und Breite der Orbita lässt sich mit den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit vergleichen. Hier gibt es nur geringfügige Wertabweichungen. Bei der Tiefenmessung lassen sich jedoch starke Abweichungen

erkennen, die Autoren geben weder an, mit welcher Messmethode sie zu den Ergebnissen gekommen sind, noch findet sich in der Literatur eine Tierzahl (GELATT, WHITLEY 2011). Dies macht einen Vergleich der eigenen Daten mit der Literatur schwierig. Es muss davon ausgegangen werden, dass die Autoren die Messung an Katzenschädeln ohne Berücksichtigung der Weichteilgewebe vorgenommen haben. Zu gleichem Ergebnis kommt der Autor der vorliegenden Arbeit schon bei der Auswertung der Messwerte der Orbita von Hunden. Die hier ermittelten Messwerte lassen sich auch in Bezug auf die Kopfform nicht mit der Literatur vergleichen, da es in der Literatur keine Angaben diesbezüglich gibt. Es ist festzustellen, dass sich Katzen bezüglich ihrer Kopfform nur in der Breite und Tiefe signifikant unterscheiden.

Die Messung der **Höhe**, **Breite** und **Tiefe** der Orbita ergab gewichtsabhängige Unterschiede. Außer bei der Messung der Höhe der Orbita nimmt die Ausdehnung der Orbita mit dem Körpergewicht zu. Die Höhe der Orbita unterscheidet weder zwischen Katzen verschiedener Kopfformen noch zwischen Katzen unterschiedlicher Gewichtsgruppen. Da unsere gezüchteten Hauskatzen an sich eine sehr homogene Art sind und es wenige Schwankungen in der Körpergröße im Vergleich zum Hund gibt, kann man vermuten, dass der Katzenschädel als solches eine bestimmte Grundgröße aufweist und deshalb nicht so starke Schwankungen zu verzeichnen sind. In der vorliegenden Arbeit konnten jedoch signifikante Unterschiede der Orbitabreite in Bezug auf die Kopfform und das Körpergewicht nachgewiesen werden. In der Dissertation von OPPEL (2002) wurden brachyzephe Katzen dem runden Schädeltyp zugeordnet, daraus erklärt sich die in der eigenen Arbeit gemessene größere Breite bei brachyzephalen Katzen im Vergleich zu Katzen anderer Schädelformen. Dolichozepele Katzen mit ihrem keilförmigen, spitzen Schädel weisen eine geringere Orbitabreite auf. Die Unterschiede der Breitenmessung betrafen sowohl die dorsal und ventral gemessene Breite. Die Orbitabreite nimmt mit dem Körpergewicht zu. Auch für die Messung der Tiefe der Orbita ergaben sich unterschiedliche Ergebnisse bezüglich der Kopfform und der Körpergröße. Brachyzephe Tiere weisen eine höhere Orbitatiefe auf, was durch den größeren Bulbus bei diesen Tieren zu erklären ist, zumal bei der Untersuchung der Orbitatiefe ohne Bulbusanteil diese Unterschiede nicht mehr zu verzeichnen waren. Mit dem Körpergewicht hingegen nimmt die Tiefe der Orbita zu.

Bei Katzen ist das Verhältnis von Höhe/Breite/Tiefe im Vergleich zu Hunden sehr ausgeglichen. Ähnlich wie bei Hunden stehen die Orbitahöhe und -tiefe annähernd im Verhältnis 1:1. Die Orbitabreite ist nur geringfügig kleiner als die Orbitahöhe und -tiefe. Bei der Unterscheidung der einzelnen Kopfformen sind keine gravierenden Unterschiede dieser Verhältnisse feststellbar, allerdings nimmt die Orbitabreite mit dem Gewicht im Verhältnis zur Höhe und Tiefe zu (vgl. Anhang Tabelle 24).

DYCE et al. (2010) beschreibt die Kopfform von Katzen. Insgesamt weisen Katzen ein kurzes Gesicht auf, wobei bei orientalischen Rassen, insbesondere Siamesen, das Gesicht proportional deutlich länger ist und der Kopf eher keilförmig. Dem gegenüber stehen brachyzepale Katzen, die ein sehr kurzes Gesicht aufweisen. Im Vergleich zum Hund besitzen Katzen eine größere Orbita und größere Augen (DYCE et al. 2010). In der eigenen Studie konnte gezeigt werden, dass Katzen einen ähnlich großen Bulbus besitzen wie Hunde, obwohl bei Hunden die Größe in Bezug auf das Körpergewicht deutlich variabler ist. Hunde besitzen jedoch eine deutlich größere Orbita, wobei bei Katzen im Verhältnis zum Körpergewicht das Orbitavolumen sehr groß ist.

In dem Tierschutzbericht wird Brachyzephalie als „großer runder Kopf mit kräftig entwickelter Backenpartie, kurzer, breiter Nase und ausgeprägtem Stop“ definiert (BMELV 2005). Die Veränderungen der Nase in Bezug auf die Kopfform wurden auch von anderen Autoren beschrieben (OPPEL 2002; NÖLLER 2006). OPPEL (2002) beschrieb, dass der Gesichtsschädel in seiner Breite bei runder und dreieckiger Schädelform annähernd gleich war und sich nur die dreieckige von der keilförmigen Schädelform unterschied. Ebenso wurden bei Tieren mit rundem Schädel signifikant kürzere Längenwerte erhoben als bei anderen Schädelformen. In der Arbeit von NÖLLER (2006) an 26 Perserkatzen mit unterschiedlicher Ausprägung der Brachyzephalie und 18 Hauskatzen konnte gezeigt werden, dass sich das Nasenbein bei brachyzephalen Katzen verkürzt und sich die weichen Anteile der Nase unter die knöchernen Strukturen schieben. Möglicherweise begünstigt diese anatomische Veränderung bei brachyzephalen Katzen den Anschein einer flachen Orbita, wohingegen die gut ausgebildete Nase bei dolichocephalen Katzen den Anschein einer tieferen Orbita bildet. In der Literatur finden sich nach Wissen des Autors keine Angaben zur Höhe, Breite und Tiefe der Orbita bei Katzen verschiedener Kopfformen, die mit den vorliegenden Messergebnissen verglichen werden können. Obwohl statistisch signifikante Unterschiede zwischen Katzen unterschiedlicher Kopfformen und unterschiedlicher Gewichtsklassen zu finden sind, sind diese Unterschiede doch eher von untergeordneter klinischer Relevanz. In einer Studie von WASOWICZ et al. (2009) an 50 Hauskatzen mit einem Gewicht von 1,35 kg bis 7,7 kg wurde der Schädel vermessen, um daraus einen Schädelindex zu berechnen. Es konnten keine deutlichen Unterschiede der Schädelindizes in Bezug auf das Körpergewicht nachgewiesen werden. Wie zuvor schon vermutet ist der Katzenschädel im Bereich der knöchernen Orbita unabhängig von Kopfform und Körpergröße anscheinend weniger variabel. Vielmehr betreffen die Schädelveränderungen den Gesichtsschädel, insbesondere die Knochen der Nase und scheinen damit keinen so starken Einfluss auf die Orbita selbst zu haben.

5.4 Vermessung der Orbita als Beitrag zur Entwicklung von Orbitaimplantaten

Ein ideales Implantat als Volumenersatz nach Eukleation wurde bisher nicht entwickelt. In der Literatur wurden schon verschiedenste Versuche an Hunden, Katzen, Kaninchen und Pferden mit Silikonimplantaten, Methyl-Methacrylat-Kugeln, formbaren Methyl-Methacrylat, Hydroxylapatit und nicht resorbierbaren Nahtmaterialien durchgeführt (NASISSE et al. 1988; BRYAN et al. 1992; HAMOR et al. 1992; HAMOR et al. 1993; HAMOR et al. 1994; TOTH, HOLLERRIEDER 1999; HAMOR 2002; TALIERI et al. 2004; YI et al. 2009; MILLER 2013). Immer wieder wird in den genannten Studien der Einfluss der Implantatgrößen betont, um eine Extrusion eines zu groß gewählten Implantates zu verhindern. Zudem treten aufgrund fehlender Befestigungsmöglichkeiten des Implantats innerhalb der Orbita Komplikationen auf. Einen Lösungsansatz bietet eine Studie von ORIA et al. (2015a) an 31 Hunden und 11 Katzen mit selbstentworfenen Implantaten aus Polymethyl-Methacrylat, die mit mehreren Tunneln versehen wurden, die zum einen zur Befestigung des Implantats über nicht resorbierbares Nahtmaterial in der Orbita dienen, zum anderen das Einwachsen von Bindegewebe in das Implantat ermöglichen. Die Implantatgrößen wurden durch Messung der horizontalen Achse des Auges zuzüglich 1-2 mm gewählt. An zwei entnommenen Implantaten konnte das Einwachsen von fibrösem Gewebe nachgewiesen werden. Die Langzeit-Ergebnisse waren sowohl klinisch als auch kosmetisch zufriedenstellend. Betrachtet man die verwendeten Implantat-Größen, so fällt auf, dass insbesondere bei adulten Hunden unter 10 kg Körpergewicht eine große Bandbreite an Implantaten verwendet wurde (12-24 mm Implantatdurchmesser). Bei Hunden über 10 kg KGW wurden Implantate mit einem Durchmesser von 16-22 mm verwendet und bei Tieren über 30 kg KGW ausschließlich Implantate mit einem Durchmesser von 24 mm eingesetzt. Zudem wurden bei zwei brachycephalen Hunden sehr große Implantate mit einem Durchmesser von 24 mm gewählt. In der Studie von ORIA et al. (2015a) spiegelt sich der Einfluss der Kopfform und vor allem des Körpergewichts auf die Ausdehnung der Orbita wieder, der in der eigenen Arbeit nachgewiesen werden konnte. In anderen Studien wurde die Implantatgröße unter Berücksichtigung der Größe des kontralateralen Bulbus ausgewählt (HAMOR et al. 1992; MICHAU, GILGER 2004; GELATT, WHITLEY 2011). Eine umfangreiche Übersicht über die in der Veterinärmedizin und Humanmedizin eingesetzten Implantate findet sich im Abschnitt 2.3: Orbitaimplantate. In einer humanmedizinischen Studie von TSE et al. (2007) wurde der „orbital Tissue Expander“ (OTE) entwickelt. Es handelt sich dabei um einen neuen integrierten fest fixierten orbitalen Gewebeexpander. TSE et al. (2007) entwickelten dieses Implantat für den Einsatz bei kongenital anophthalmischen Kindern, um das Orbitawachstum durch Druckeinwirkung zu stimulieren. Der OTE besteht aus einem Silikonball, der sich über einen zentralen Port mit Kochsalzlösung auffüllen und ausdehnen lässt und einem Titan-Arm

zur Fixierung des Implantats an der knöchernen Orbita. Im Tierversuch an Katzen zeigte sich, dass durch den OTE das Orbitawachstum annähernd symmetrisch zur kontralateralen Seite stimuliert werden konnte. Ebenso erwies sich die Fixierung über den Titansteg innerhalb der Orbita als stabil (TSE et al. 2007). Der OTE wurde erfolgreich bei neun anophthalmischen Patienten eingesetzt (TSE et al. 2011). Diese Form eines ausdehnbaren Implantats zum Einsatz in die Orbita bei Hunden und Katzen wäre eine mögliche Lösung für die zu erwartenden Komplikationen, die nach Enukleation mit Implantateinsatz auftreten. Durch eine stabile Befestigung kann das Implantat nicht rotieren oder extrudieren. Der tastbare Port ermöglicht zudem unter kurzzeitiger Sedation, womöglich sogar unter Lokalanästhesie, das Volumen des Implantats zu variieren, wenn es infolge von Vernarbungen und Fettgewebsatrophie zu einem nachträglichen Einsinken des Implantats innerhalb der Orbita kommt. Das OTE wäre ein möglicher Lösungsansatz für zukünftige Orbitaimplantate. Mit einem ausdehnbaren Implantat entfällt die Notwendigkeit, intraoperativ eine geeignete Implantatgröße auszuwählen. Ebenso könnten dadurch die Komplikationen wie Extrusion und Rotation und auch Drucknekrosen verringert, wenn nicht sogar gänzlich verhindert werden.

Um ein solches Implantat für Hunde und Katzen entwickeln zu können, sind die hier erhobenen Daten von großem Nutzen, denn für das ideale Implantat müssen die Ausmaße der Orbita bekannt sein.

6 Zusammenfassung

Unter allen in der tierärztlichen Praxis durchgeführten chirurgischen Eingriffen stellt die Enukleation eines oder beider Augen wohl eine der größten emotionalen Herausforderungen für den Tierbesitzer dar. Bei diesem Eingriff steht für Tierhalter oft der kosmetische Aspekt mehr im Vordergrund, als die häufig damit verbundene kurative Behandlung ihres Tieres. Aus diesem Grunde wurden in der Vergangenheit eine Vielzahl an adäquaten Ersatzmöglichkeiten zum Ausgleich des verlorengegangenen Bulbusvolumens gesucht und entwickelt. Die Suche nach dem perfekten Volumenersatz ist jedoch bis heute nicht abgeschlossen.

Diese Problemstellung war Ausgangspunkt für die Entwicklung von Messtrecken zur Bestimmung der Ausdehnung der Orbita bei Hunden und Katzen. Hierfür wurden nach Erarbeitung einer geeigneten Messmethode in mehreren Vorversuchen an 40 Hunden (Alter 1,4-16,6 Jahre, 36 verschiedene Rassen, 17 weiblich, 23 männlich, Gewicht 1,7-72,0 kg) und 40 Katzen (Alter 1-16 Jahre, 13 Rassen, 15 weiblich, 25 männlich, Gewicht 2,3-11,9 kg) computertomografische Aufnahmen (Siemens Light Speed QXi, GE Medical Systems, Milwaukee WI, USA) retrospektiv ausgewertet. Alle Hunde (13 brachyzephal, 22 mesozephal, 5 dolichocephal) und Katzen (9 brachyzephal, 26 mesozephal, 5 dolichocephal) wurden den unterschiedlichen Kopfformen zugeordnet.

In dieser Arbeit wurden erstmalig Messtrecken für die sinnvolle und reproduzierbare Vermessung der Orbita in ihrer Gesamtheit erarbeitet. Mit Hilfe des Programms Eclipse (Varian Medical Systems, Inc., Düsseldorf) wurden die orbitalen Strukturen definiert, Volumina berechnet und die Orbita in Höhe, Breite und Tiefe vermessen. Besonderes Augenmerk wurde in der Auswertung auf die Ausdehnung der Orbita in Bezug auf die Kopfform und Körpergröße gelegt.

Bei der Messung der Orbitahöhe wurde lediglich bei Hunden geringe kopfformspezifische Unterschiede gefunden ($p=0,160$). Bei Katzen wurde die Orbitahöhe nicht von der Kopfform beeinflusst ($p=0,707$), möglicherweise bedingt durch die an sich deutlich homogenere Population im Vergleich zu Hunden. Die Breite der Orbita zeigte signifikante Unterschiede bei Hunden mit brachyzephaler Kopfform ($p<0,001$) und ist maßgeblich durch den abgerundeten Proc. frontalis des Os zygomaticum beeinflusst. Ebenfalls konnten signifikante Unterschiede der Orbitabreite für die verschiedenen Schädeltypen bei Katzen identifiziert werden, wobei hier die Form des Schädels die Unterschiede bedingt ($p=0,008$). Die bisherige Vermutung, dass brachyzephalere Tiere eine flachere Orbita besitzen und dolichocephale eine tiefe Orbita konnte in der vorliegenden Arbeit nicht bestätigt werden. Die größte Gesamttiefe der Orbita findet sich bei brachyzephalen Tieren, die geringste Gesamttiefe bei

dolichocephalen Tieren (MW Hunde: 3,45 cm brachyzephal, 3,39 cm mesozephal, 3,22 cm dolichocephal; MW Katzen: 2,89 cm brachyzephal, 2,79 cm mesozephal, 2,55 cm dolichocephal). Vielmehr sind anatomische Besonderheiten bei Brachyzephalen für dieses Erscheinungsbild verantwortlich. So scheint bei brachyzephalen Hunden die Ausbildung des Proc. frontalis maßgebend für die Lage des Bulbus innerhalb der Orbita verantwortlich zu sein und bewirkt damit das Erscheinungsbild eines protrahierten Bulbus. Bei Katzen hingegen wird der Anschein einer flachen Orbita durch die Verkürzung der nasalen Knochenstrukturen begünstigt, steht jedoch nicht im Zusammenhang mit dem Orbitarium selbst. Es konnte aber ein maßgeblicher Einfluss des Körpergewichts auf die Ausdehnung der Orbita bei Hunden ($p < 0,001$) und Katzen ($p < 0,001$) nachgewiesen werden. Mit Zunahme des Körpergewichts nimmt auch die Größe des Orbitariums zu. Bei Hunden waren in den drei Gewichtsklassen hochsignifikante Unterschiede zu verzeichnen. Bei Katzen konnte der Größeneinfluss zwar statistisch signifikant nachgewiesen werden, war aber eher von untergeordneter klinischer Relevanz, da die orbitalen Schädelmaße über alle Körpergrößen im Vergleich zu Hunden relativ gleichförmig sind. Zudem konnte die weitläufig verbreitete Annahme, dass der Bulbus bei Katzen fast den gesamten Orbitarium einnimmt, widerlegt werden. Der Bulbus macht vielmehr etwa 50% des orbitalen Gesamtvolumens aus, wohingegen der Bulbus beim Hund knapp 30% des Orbitariumvolumens ausmacht.

Damit stellt diese Arbeit als Gesamtwerk eine umfassende und fundierte Grundlage für die Entwicklung geeigneter Orbitaimplantate dar. Erstmals stehen Messdaten für eine große Vielfalt an Hunde- und Katzenrassen zur Verfügung, die eine Optimierung und Weiterentwicklung der bisher verfügbaren Implantate ermöglichen. Möglicherweise stellt eine Eukleation mit Einsatz eines optimierten Implantats für Tierbesitzer dann kein kosmetisches Hindernis mehr dar.

7 Summary

Measurement of the orbital cavity of dogs and cats in order to allow calculation of intraorbital prosthesis for implantation after enucleation

To agree to enucleation of one or both eyes is one of the largest (emotional) challenges for the patient's owner in comparison to all surgeries done in small animal medicine. The owner often gives higher priority to the cosmetic aspect than to the curative treatment of his pet. For this reason various options for the replacement of the missing volume of the globe were analyzed and developed. Nevertheless a perfect orbital substitute is not yet found. This problem was the reason to determine the dimensions of the orbit in dogs and cats in this study. Therefore, after the development of a suitable measurement method in preliminary work, computer tomographic images (Siemens Light Speed QXi, GE Medical Systems, Milwaukee WI, USA) of 40 dogs (1.4 to 16.6 years, 36 different breeds, 17 female, 23 male, 1.7-72.0 kg) and 40 cats (1-16 years, 13 breeds, 15 female, 25 male, 2.3-11.9 kg) were retrospectively evaluated. All dogs (13 brachycephalic, 22 mesaticephalic, 3 dolichocephalic) and cats (9 brachycephalic, 26 mesaticephalic, 5 dolichocephalic) were graded according to their head conformation.

For the first time, sections of measurement for the reasonable and reproducible scales of the total bony orbit were elaborated. With the help of the program Eclipse (Varian Medical Systems, Inc., Düsseldorf) orbital structures were defined, volumes were calculated and the orbit was quantified in height, width and depth. Special attention was focused on the relation between the extension of the orbit and head shape respectively body height. Measuring the orbital height, only in dogs moderate differences were found concerning head conformation ($p=0.160$). In cats the orbital height is not influenced by the head conformation ($p=0.707$). There were significant differences in the width of the orbit in brachycephalic dogs ($p<0.001$) that are mainly influenced by a decreased Proc. frontalis of the Os zygomaticum. Moreover the orbital width of the different head conformations in cats showed significant differences ($p=0.008$). The results of the presented study did not confirm the previously suggested theory of brachycephalic animals possessing a flat orbit and dolichocephalic animals having a deep orbit (mean dogs: 3.45 cm brachycephalic, 3.39 cm mesaticephalic, 3.22 cm dolichocephalic; mean cats: 2.89 cm brachycephalic, 2.79 cm mesaticephalic, 2.55 cm dolichocephalic). Moreover anatomic characteristics in brachycephalic cats are the reason for this appearance. In brachycephalic dogs the formation of the Proc. frontalis is rather responsible for the position of the globe within the orbit and is providing the appearance of a protruding globe. In cats the appearance of a planar orbit is promoted through the shortening of the nasal bones, but does not stand in correlation to the orbital size. Nevertheless a significant

Summary

influence of the body weight onto the extension of the orbit in dogs ($p < 0.001$) and cats ($p < 0.001$) could be proven. With increasing body weight the size of the orbital space rises. The extension of the orbit is positively correlated with the size of the animal. In dogs there were highly significant differences in the three weight classes. In cats the influence of the size was also statistically significant, but is less clinically relevant, because the orbital sizes in relation to all body sizes are constant in comparison to the dogs. Moreover the assumption of the globe taking almost all of the size of the orbital space in cats was disproved; in fact the globe takes about 50% of the whole orbit, whereas the globe of dogs takes almost 30% of the orbital volume. Thus this thesis is a comprehensive and substantiated basis for the development of orbital implants. For the first time data for a huge variety of dogs and cats is provided, which enables an optimization and further development of currently available implants. Maybe in the future enucleation and consequent application of an optimized orbital implant will not mean a cosmetic challenge for the patient's owner any more.

8 Literaturverzeichnis

ALLEN, L., FERGUSON, E. C., BRALEY, A. E.; 1960

A quasi-integrated buried muscle cone implant with good motility and advantages for prosthetic fitting.

Trans Am Acad Ophthalmol Otolaryngol; 64;272-286

ALLGOEWER, I., NÖLLER, C., REESE, S.; 2006

Enucleation: Is ligation necessary?

Vet Ophthalmol; 9 (6);421

AMATO, M. M., BLAYDON, S. M., SCRIBBICK, F. W., JR., BELDEN, C. J., SHORE, J. W., NEUHAUS, R. W., KELLEY, P. S., HOLCK, D. E.; 2003

Use of bioglass for orbital volume augmentation in enophthalmos: a rabbit model (*Oryctolagus cuniculus*).

Ophthalm Plast Reconstr Surg; 19 (6);455-465

ANDERSON, R. L., THIESE, S. M., NERAD, J. A., JORDAN, D. R., TSE, D., ALLEN, L.; 1990

The universal orbital implant: indications and methods.

Adv Ophthalmic Plast Reconstr Surg; 8;88-99

BALLI, A.; 2004

Rhinomanometrische Parameter bei gesunden Hunden in Abhängigkeit vom radiologisch erfassten Brachycephaliegrad.

Zürich; Vetsuisse-Fakultät Universität Zürich; Dissertation

BEDFORD, P. G.; 1979

Orbital pneumatosis as an unusual complication to enucleation.

J Small Anim Pract; 20 (9);551-555

BLOCKER, T., HOFFMAN, A., SCHAEFFER, D. J., WALLIN, J. A.; 2007

Corneal sensitivity and aqueous tear production in dogs undergoing evisceration with intraocular prosthesis placement.

Vet Ophthalmol; 10 (3);147-154

BMELV; 2005

Gutachten zur Auslegung von § 11b des Tierschutzgesetzes (Verbot von Qualzuchtungen) vom 26.10.2005.

Abgerufen am: 10.02.2015 um 12.55Uhr;

<http://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Tier/Tierschutz/GutachtenLeitlinien/Qualzucht.html>

BOROFFKA, S. A. E. B., VOORHOUT, G.; 1999

Direct and reconstructed multiplanar computed tomography of the orbits of healthy dogs.

Am J Vet Res; 60 (12);1500-1507

BREHM, H., LOEFFLER, K., KOMEYLI, H.; 1985

Schädelformen beim Hund.

Anat Histol Embryol; 14 (4);324-331

- BRIGHTMAN, A. H., MAGRANE, W. G., HUFF, R. W., HELPER, L. C.; 1977
Intraocular prosthesis in dog.
J Am Anim Hosp Assoc; 13 (4);481-485
- BRYAN, G. M., ENDO, M., ERICKSON, K., CRAWLEY, G.; 1992
A conforming intraorbital implant in the horse.
Equine Pract; 14 (9);25-27
- BUDRAS, K. D. F., W.; RICHTER, R.; 2010
Atlas der Anatomie des Hundes - Lehrbuch für Tierärzte und Studierende; 8., überarbeitete Auflage
Hannover; Schlütersche Verlagsgesellschaft; 978-3-89993-039-9
- CHALASANI, R., POOLE-WARREN, L., CONWAY, R. M., BEN-NISSAN, B.; 2007
Porous orbital implants in enucleation: a systematic review.
Surv Ophthalmol; 52 (2);145-155
- CHAU, A., FUNG, K., PAK, K., YAP, M.; 2004
Is eye size related to orbit size in human subjects?
Ophthalmic Physiol Opt; 24 (1);35-40
- CHEN, Y. H., CUI, H. G.; 2006
High density porous polyethylene material (Medpor) as an unwrapped orbital implant.
J Zhejiang Univ Sci B; 7 (8);679-682
- CHO, J.; 2008
Surgery of the globe and orbit.
Top Companion Anim Med; 23 (1);23-37
- COLLINS, S. P., MATHESON, J. S., HAMOR, R. E., MITCHELL, M. A., LABELLE, A. L., O'BRIEN, R. T.; 2013
Comparison of the diagnostic quality of computed tomography images of normal ocular and orbital structures acquired with and without the use of general anesthesia in the cat.
Vet Ophthalmol; 16 (5);352-358
- CONSTANTINESCU, G. M., MC CLURE, R. C.; 1990
Anatomy of the orbital fasciae and the third eyelid in dogs.
Am J Vet Res; 51 (2);260-263
- COOK, C. S., PEIFFER, R. L.; 1985
Complications of ocular surgery.
Comp Cont Educ Pract; 7 (9);710-720
- COTTRILL, N. B., BANKS, W. J., PECHMAN, R. D.; 1989
Ultrasonographic and biometric evaluation of the eye and orbit of dogs.
Am J Vet Res; 50 (6);898-903
- CUSTER, P. L.; 2000
Enucleation: past, present, and future.
Ophthal Plast Reconstr Surg; 16 (5);316-321
- CUSTER, P. L., TRINKAUS, K. M.; 1999
Volumetric determination of enucleation implant size.
Am J Ophthalmol; 128 (4);489-494

D'AOUT, C., NISOLLE, J. F., NAVEZ, M., PERRIN, R., LAUNOIS, T., BROGNIEZ, L., CLEGG, P., HONTOIR, F., VANDEWEERD, J. M.; 2014
Computed Tomography and Magnetic Resonance Anatomy of the Normal Orbit and Eye of the Horse.
Anat Histol Embryol; Early View (Online Version of Record published before inclusion in an issue)

DONALDSON, D., RIERA, M. M., HOLLOWAY, A., BELTRAN, E., BARNETT, K. C.; 2014
Contralateral optic neuropathy and retinopathy associated with visual and afferent pupillomotor dysfunction following enucleation in six cats.
Vet Ophthalmol; 17 (5);373-384

DRESP, H. J.; 2009
Implantate in der Augenheilkunde.
In: WINTERMANTEL, E.; Medizintechnik – Life Science Engineering
Springer-Verlag Berlin Heidelberg; 978-3-540-93935-1; 1973-1985

DUPRÉ, G., FINDJI, L., OECHTERING, G.; 2013
Brachycephalic airway syndrome.
In: MONNET, E.; Small animal soft tissue surgery
Ames, Iowa; Wiley-Blackwell; 978-0-8138-0782-9; 167-183

DYCE, K. M., SACK, W. O., WENSING, C. J. G.; 2010
The head and ventral neck of the dog and cat.
In: DYCE, K. M., SACK, W. O., et al.; Textbook of veterinary anatomy
St. Louis, Mo.; Saunders/Elsevier; 978-1-416-06607-1; 374-379

EVANS, H., DE LAHUNTA, A.; 2013
The skeleton.
In: EVANS, H., DE LAHUNTA, A.; Miller's anatomy of the dog
St. Louis, Mo.; Elsevier Saunders; 978-1-4377-0812-7; 80-157

FAN, K., ANDREWS, B. T., TABIT, C. J., BRADLEY, J. P.; 2012
The Sarnat studies in craniofacial biology.
J Craniofac Surg; 23 (1);37-43

FERNANDES, A., BRADLEY, D. V., TIGGES, M., TIGGES, J., HERNDON, J. G.; 2003
Ocular measurements throughout the adult life span of rhesus monkeys.
Invest Ophthalmol Vis Sci; 44 (6);2373-2380

FIKE, J. R., LECOUTEUR, R. A., CANN, C. E.; 1984
Anatomy of the canine orbital region multiplanar imaging by CT.
Vet Radiol Ultrasound; 25 (1);32-36

FRITSCHKE, J., RUHLI, M., SPIESS, B., BOLLIGER, J.; 1996
Der Prolapsus bulbi beim Kleintier. Eine retrospektive Studie von 36 Fällen.
Tierarztl Prax; 24 (1);55-61

FROST, W. A.; 1887
What is the best method of dealing with a lost eye?
Br Med J; 1 (1378);1153-1154

- GELATT, K. N., WHITLEY, R. D.; 2011
Surgery of the orbit.
In: GELATT, K. N., GELATT, J. P.; Veterinary Ophthalmic Surgery
Edinburgh; W.B. Saunders; 978-0-7020-3429-9; 51-88
- GEORGE, T. F., SMALLWOOD, J. E.; 1992
Anatomic atlas for computed-tomography in the mesaticephalic dog - head and neck.
Vet Radiol Ultrasound; 33 (4);217-240
- GILGER, B. C., DAVIDSON, M. G., HOWARD, P. B.; 1998
Keratometry, ultrasonic biometry, and prediction of intraocular lens power in the feline eye.
Am J Vet Res; 59 (2);131-134
- GILGER, B. C., HAMILTON, H. L., WILKIE, D. A., WOERDT, A. V. D., MCLAUGHLIN, S. A., WHITELY, R. D.; 1995
Traumatic ocular proptoses in dogs and cats: 84 cases (1980-1993).
J Am Vet Med Assoc; 206 (8);1186-1190
- GONÇALVES, G. F., LEME, M. C., ROMAGNOLLI, P., EURIDES, D., PIPPI, N. L.; 2009
Two-dimensional real-time ultrasonic biometry of ocular globe of domestic cats.
Ciência Animal Brasileira; 10 (3);829-834
- GUTHOFF, H.; 1992
Das Postenuklienationssyndrom und seine Prophylaxe - Die Bedeutung des primären Orbitaimplantats.
Klin. Mbl. Augenheilk.; 201;61-62
- GUTHOFF, R., VICK, H.-P., SCHAUDIG, U.; 1995
Zur Prophylaxe des Postenuklienationssyndroms: Das Hydroxylapatitsilikonimplantat.
Experimentelle Vorarbeiten und erste klinische Erfahrungen.
Ophthalmologie; 92;198-205
- HAMIDZADA, W. A., OSUOBENI, E. P.; 1999
Agreement between A-mode and B-mode ultrasonography in the measurement of ocular distances.
Vet Radiol Ultrasound; 40 (5);502-507
- HAMOR, R. E.; 2002
Ocular surgeries in cats.
Vet Clin North Am Small Anim Pract; 32 (4);765-790
- HAMOR, R. E., ROBERTS, S. M., SEVERIN, G. A.; 1993
Use of orbital implants after enucleation in dogs, horses, and cats: 161 cases (1980-1990).
J Am Vet Med Assoc; 203 (5);701-706
- HAMOR, R. E., ROBERTS, S. M., SEVERIN, G. A., TRAWNIK, W. R., JOHNSON, W. J.; 1992
Ocular cosmetic and prosthetic devices.
Vet Clin North Am Equine Pract; 8 (3);637-654
- HAMOR, R. E., WHITLEY, R. D., MCLAUGHLIN, S. A., LINDLEY, D. M.; 1994
Intraocular Silicone Prostheses in Dogs - a Review of the Literature and 50 New Cases.
Journal of the American Animal Hospital Association; 30 (1);66-69

- HENDRICKS, J. C.; 1992
Brachycephalic airway syndrome.
Vet Clin North Am Small Anim Pract; 22 (5);1145-1153
- HENNET, P. R., HARVEY, C. E.; 1992
Craniofacial development and growth in the dog.
J Vet Dent; 9 (2);11-18
- HERNANDEZ-GUERRA, A. M., RODILLA, V., LOPEZ-MURCIA, M. M.; 2007
Ocular biometry in the adult anesthetized ferret (*Mustela putorius furo*).
Vet Ophthalmol; 10 (1);50-52
- JOHNSON, W. J.; 1990
Fitting the anophthalmic socket: achieving cosmesis with comfort.
Adv Ophthalmic Plast Reconstr Surg; 8;126-135
- JORDAN, D. R., ELLS, A., BROWNSTEIN, S., MUNRO, S. M., GRAHOVAC, S. Z.,
RAYMOND, F., GILBERG, S. M., ALLEN, L. H.; 1995
Vicryl-mesh wrap for the implantation of hydroxyapatite orbital implants: an animal model.
Can J Ophthalmol; 30 (5);241-246
- JORDAN, D. R., KLAPPER, S. R., GILBERG, S. M.; 2003
The use of vicryl mesh in 200 porous orbital implants: a technique with few exposures.
Ophthal Plast Reconstr Surg; 19 (1);53-61
- JORDAN, D. R., MAWN, L.; 2009
Enucleation, evisceration, and exenteration.
In: LANGER, J. P. D. A. P. D.; Basic Techniques of Ophthalmic Surgery
San Fransisco, Calif, USA; American Academy of Ophthalmology; 305–319
- KALTREIDER, S. A.; 2000
The ideal ocular prosthesis: analysis of prosthetic volume.
Ophthal Plast Reconstr Surg; 16 (5);388-392
- KALTREIDER, S. A., JACOBS, J. L., HUGHES, M. O.; 1999
Predicting the ideal implant size before enucleation.
Ophthal Plast Reconstr Surg; 15 (1);37-43
- KALTREIDER, S. A., NEWMAN, S. A.; 1996
Prevention and management of complications associated with the hydroxyapatite implant.
Ophthal Plast Reconstr Surg; 12 (1);18-31
- KARESH, J. W., DRESNER, S. C.; 1994
High-density porous polyethylene (Medpor) as a successful anophthalmic socket implant.
Ophthalmology; 101 (10);1688-1696
- KOCH, D. A., ARNOLD, S., HUBLER, M., MONTAVON, P. M.; 2003
Brachycephalic syndrome in dogs.
Comp Cont Educ Pract; 25 (1);50-54
- 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.
Schweiz Arch Tierheilkd; 154 (5);217-220

KOCH, S. A.; 1981

Intraocular prosthesis in the dog and cat: the failures.
J Am Vet Med Assoc; 179 (9);883-885

KOHLHAAS, M., WALTER, A., SCHULZ, D.; 1998

Primäre Orbitaimplantatluxation. Eine retrospektive Untersuchung.
Ophthalmologe; 95 (5);328-331

KOMEYLI, H.; 1984

Nasennebenhöhlen bei dolicho-, meso-, und brachycephalen Hunden unter besonderer Berücksichtigung der rassespezifischen Schädelformen.
Justus-Liebig-Universität, Giessen; Dissertation

KÖNIG, H. E., LIEBICH, H.-G.; 2015

Anatomie der Haussäugetiere Lehrbuch und Farbatlas für Studium und Praxis; 6., überarbeitete und erweiterte Auflage
Stuttgart; Schattauer; 978-3-7945-2984-1

KUNZEL, W., BREIT, S., OPPEL, M.; 2003

Morphometric investigations of breed-specific features in feline skulls and considerations on their functional implications.
Anat Histol Embryol; 32 (4);218-223

LABRUYERE, J., SCHWARZ, T.; 2013

CT and MRI in veterinary patients: an update on recent advances.
In Practice; 35 (10);546-563

LARSEN, J. S.; 1979

Axial length of the emmetropic eye and its relation to the head size.
Acta ophthalmologica; 57 (1);76-83

LETTOW, E.; 1987

Erfahrungen mit der intraokularen Silikonprothese als Alternative zur Bulbusexstirpation bei Hund und Katze.
Tierärztl Prax; 15 (2);205-211

LIN, C. T., HU, C. K., LIU, C. H., YEH, L. S.; 2007

Surgical outcome and ocular complications of evisceration and intraocular prosthesis implantation in dogs with end stage glaucoma: a review of 20 cases.
J Vet Med Sci; 69 (8);847-850

MARTIN, C. L.; 1971

Orbital emphysema: A complication of ocular enucleation in the dog.
Vet Med Small Anim Clin; 66 (10);986-989

MARTIN, C. L.; 2010

Orbit and globe.
In: MARTIN, C. L.; Ophthalmic disease in veterinary medicine
London; Manson; 978-1-8407-6118-4; 113-144

MAWN, L. A., JORDAN, D. R., GILBERG, S.; 1998

Scanning electron microscopic examination of porous orbital implants.
Can J Ophthalmol; 33 (4);203-209

- MCLAUGHLIN, S. A.; 1998
Evisceration and implantation of intrascleral prosthesis.
In: BOJRAB, M. J.; Current techniques in small animal surgery
Baltimore, Md.; Williams & Wilkins; 0-683-00890-0; 117-119
- MCNAB, A.; 1995
Hydroxyapatite orbital implants. Experience with 100 cases.
Aust N Z J Ophthalmol; 23 (2);117-123
- MEEK, L. A.; 1988
Intraocular silicone prosthesis in a horse.
J Am Vet Med Assoc; 193 (3);343-345
- MICHAU, T. M., GILGER, B. C.; 2004
Cosmetic globe surgery in the horse.
Vet Clin North Am Equine Pract; 20 (2);467-484
- MIHALJEVI, M., KRAMER, M., GOMERČIĆ, H.; 2009
CT- und MRT-Atlas, Transversalanatomie des Hundes.; Stuttgart; Parey; 978-3-8304-4183-0
- MILLER, P. E.; 2013
Orbit.
In: MAGGS, D. J. MILLER, P. E., et al.; Slatter's Fundamentals of Veterinary Ophthalmology
(Fifth Edition)
St. Louis, Mo.; W.B. Saunders; 978-1-4377-2367-0; 352-373
- MIRSHAHI, A., SHAFIGH, S. H., AZIZZADEH, M.; 2014
Ultrasonographic biometry of the normal eye of the Persian cat.
Aust Vet J; 92 (7);246-249
- MONNET, E.; 2011
Brachycephalic airway syndrome.
In: Brachycephalic airway syndrome.; Small animal and exotics. Proceedings of the North
American Veterinary Conference, Orlando, Florida, USA, 15-19 January 2011.
ISBN; 1431-1433
- MORGAN, R. V., DANIEL, G. B., DONNELL, R. L.; 1994
Magnetic-Resonance-Imaging of the normal eye and orbit of the dog and cat.
Vet Radiol Ultrasound; 35 (2);102-108
- MOULD, J. R. B.; 2002
The orbit and globe.
In: PETERSON-JONES, S. M., CRISPIN, S. M.; BSAVA Manual of Small Animal
Ophthalmology
Wiley; 9780905214542; 60-77
- MUGHANNAM, A. J., REINKE, J. D.; 1994
Two cosmetic techniques for enucleation using a periorbital flap.
J Am Anim Hosp Assoc; 30 (4);308-312
- MURPHY, C. J., SAMUELSON, D. A., POLLOCK, R. V. H.; 2013
The Eye.
In: EVANS, H. E., LAHUNTA, A. D.; Miller's anatomy of the dog
St. Louis, Mo.; Elsevier Saunders; 978-1-4377-0812-7; 746-767

- NARANJO, C., DUBIELZIG, R. R.; 2014
Histopathological study of the causes for failure of intrascleral prostheses in dogs and cats.
Vet Ophthalmol; 17 (5);343-350
- NASISSE, M. P., VAN EE, R. T., MUNGER, R. J., DAVIDSON, M. G.; 1988
Use of methyl methacrylate orbital prostheses in dogs and cats: 78 cases (1980-1986).
J Am Vet Med Assoc; 192 (4);539-542
- NICKEL, R., SEIFERLE, E., SCHUMMER, A.; 1992
Lehrbuch der Anatomie der Haustiere - Band 1.; Paul Parey; 3-489-58016-8
- NÖLLER, C.; 2006
Klinisch-funktionelle Anatomie und computertomographische Darstellung der Nase bei normo- und brachycephalen Katzen.
Berlin; Fachbereich Veterinärmedizin der Freien Universität Berlin; Dissertation
- NORDA, A. G., MEYER-RUSENBERG, H. W.; 2000
Langzeitresultate mit der Implantation von Hydroxylapatit als Bulbusersatz.
Ophthalmologe; 97 (2);91-99
- NORDA, A. G., MEYER-RUSENBERG, H. W.; 2003
Erfahrungen mit Orbitaimplantaten, insbesondere mit porösen Hydroxylapatitmaterialien.
Ophthalmologe; 100 (6);437-444
- NUNERY, W. R., HEINZ, G. W., BONNIN, J. M., MARTIN, R. T., CEPELA, M. A.; 1993
Exposure rate of hydroxyapatite spheres in the anophthalmic socket: histopathologic correlation and comparison with silicone sphere implants.
Ophthal Plast Reconstr Surg; 9 (2);96-104
- OECHTERING, G. U., KIEFER, I., NOELLER, C.; 2008
Brachycephalic airway syndrome, Part 1: A new understanding - it is an intranasal problem!
In: Brachycephalic airway syndrome, Part 1: A new understanding - it is an intranasal problem!; NAVC Conference; Gainesville; The North American Veterinary Conference
ISBN; 1450-1451
- OECHTERING, T. H., OECHTERING, G. U., NOLLER, C.; 2007
Strukturelle Besonderheiten der Nase brachycephaler Hunderassen in der Computertomographie.
Tierarztl Prax; 35 (3);177-187
- OPPEL, M.; 2002
Morphometrische und funktionell anatomische Untersuchungen am Kopf dolicho-, meso- und brachycephaler Rassekatzen.
Wien; Veterinärmedizinische Universität Wien; Dissertation
- ORIA, A. P., DE SOUZA, M. R., DOREA NETO, F. A., GOMES JUNIOR, D. C., ESTRELA-LIMA, A., MURAMOTO, C., COSTA NETO, J. M., OFRI, R.; 2015a
Polymethylmethacrylate orbital implants with interconnecting channels. A retrospective study following enucleation in dogs and cats.
Vet Ophthalmol Early View (Online Version of Record published before inclusion in an issue)

- ORIA, A. P., GOMES JUNIOR, D. C., OLIVEIRA, A. V., CURVELO, V. P., ESTRELA-LIMA, A., PINNA, M. H., MENESES, I. D., FILHO, E. F., OFRI, R.; 2015b
Selected ophthalmic diagnostic tests, bony orbit anatomy, and ocular histology in sambar deer (*Rusa unicolor*).
Vet Ophthalmol; 18 (1);125-131
- PEÑA, M. T., LUERA, M., GARCIA, F. A.; 1997
A new type of intraocular prosthesis for dogs.
Veterinary Record; 140 (3);67-68
- PENNINCK, D., DANIEL, G. B., BRAWER, R., TIDWELL, A. S.; 2001
Cross-sectional imaging techniques in veterinary ophthalmology.
Clin Tech Small Anim Pract; 16 (1);22-39
- PERRY, A. C.; 1990
Integrated orbital implants.
Adv Ophthalmic Plast Reconstr Surg; 8;75-81
- PRINCE, J. H.; 1960
Anatomy and histology of the eye and orbit in domestic animals.; Springfield, Ill.; Charles C. Thomas; 9780398015268
- PROVOST, P. J., ORTENBURGER, A. I., CARON, J. P.; 1989
Silicone ocular prosthesis in horses: 11 cases (1983-1987).
J Am Vet Med Assoc; 194 (12);1764-1766
- PSCHYREMBEL, W., BEARBEITET VON DER PSCHYREMBEL-REDAKTION DES
VERLAGES; 2014
Pschyrembel Klinisches Wörterbuch; 266., aktualisierte Auflage
Berlin, Boston; De Gruyter; 978-3-11-033997-0
- RAHAL, S. C., BRACARENSE, A. P. F. R. L., MIGLIATI, E. R., PADOVANI, C. F.,
IAMAGUTI, P.; 1996
Intraorbital implantation of acrylic resin or pericardium after transpalpebrale nucleation in rabbits.
Ciênc. Rural; 26 (2);229-233
- RAMSEY, D. T., FOX, D. B.; 1997
Surgery of the orbit.
Vet Clin North Am Small Anim Pract; 27 (5);1215-1264
- REMULLA, H. D., RUBIN, P. A., SHORE, J. W., SUTULA, F. C., TOWNSEND, D. J., WOOG,
J. J., JAHRLING, K. V.; 1995
Complications of porous spherical orbital implants.
Ophthalmology; 102 (4);586-593
- RIGGS, C., WHITLEY, R. D.; 1990
Intraocular silicone prostheses in a dog and a horse with corneal lacerations.
J Am Vet Med Assoc; 196 (4);617-619
- ROMKES, G., EULE, J. C.; 2012
Followup of a dog with an intraocular silicone prosthesis combined with an extraocular glass prosthesis.
Case Reports in Veterinary Medicine; 2012

- RUBIN, P. A., POPHAM, J., RUMELT, S., REMULLA, H., BILYK, J. R., HOLDS, J., MANNOR, G., MAUS, M., PATRINELY, J. R.; 1998
Enhancement of the cosmetic and functional outcome of enucleation with the conical orbital implant.
Ophthalmology; 105 (5);919-925
- RUOSS, E., SPIESS, B. M., RUHLI, M. B., BOLLIGER, J.; 1997
Intrasklerale Silikonprothesen beim Hund: eine retrospektive Studie von 22 Fällen.
Tierärztl Prax; 25 (2);164-169
- RUPP, A. M., MAYRHOFER, E., LOUPAL, G.; 1989
Röntgenologisch nachweisbare Verkalkungen und Verknöcherungen im Ligamentum orbitale des Hundes.
Kleintierpraxis; 34 (5);213-218
- SALGÜERO, R., JOHNSON, V., WILLIAMS, D., HARTLEY, C., HOLMES, M., DENNIS, R., HERRTAGE, M.; 2015
CT dimensions, volumes and densities of normal canine eyes.
Vet Rec; 176 (15);386
- SALOMON, F. V.; 2015
Anatomie für die Tiermedizin.; 3., aktualisierte und erweiterte Auflage
Stuttgart; Enke; 978-3-8304-1288-5
- SAMI, D., YOUNG, S., PETERSEN, R.; 2007
Perspective on orbital enucleation implants.
Surv Ophthalmol; 52 (3);244-265
- SAMUELSON, D. A.; 2013
Ophthalmic anatomy.
In: GELATT, K. N. GILGER, B. C., et al.; Veterinary ophthalmology
Oxford, UK; Wiley-Blackwell; 978-0-4709-6040-0; 39-170
- SARNAT, B. G.; 1970
The imprint method to determine orbital volume in the rabbit.
Ophthalmologica; 160 (3);142-151
- SARNAT, B. G.; 1981
The orbit and eye: experiments on volume in young and adult rabbits.
Acta ophthalmologica. Supplementum; 147;1-44
- SARNAT, B. G., SHANEDLING, P. D.; 1970
Orbital volume following evisceration, enucleation, and exenteration in rabbits.
Am J Ophthalmol; 70 (5);787-799
- SARNAT, B. G., SHANEDLING, P. D.; 1972
Orbital growth after evisceration or enucleation without and with implants.
Acta anatomica; 82 (4);497-511
- SCHEBITZ, H., ALEF, M.; 2007
Operationen am Kopf.
In: SCHEBITZ, H., ALEF, M.; Operationen an Hund und Katze
Stuttgart; Parey im MVS; 978-3-8304-4172-4; 131-194

- SCHIFFER, S. P., RANTANEN, N. W., LEARY, G. A., BRYAN, G. M.; 1982
Biometric study of the canine eye, using A-mode ultrasonography.
Am J Vet Res; 43 (5);826-830
- SEIFERLE, E.; 1992
Sehorgan, Organum visus.
In: NICKEL, R. SEIFERLE, E., et al.; Lehrbuch der Anatomie der Haustiere - Band 4
Berlin; Parey; 3-489-58216-0; 405-444
- SHIELDS, J. A., SHIELDS, C. L., DE POTTER, P.; 1993
Hydroxyapatite orbital implant after enucleation--experience with 200 cases.
Mayo Clin Proc; 68 (12);1191-1195
- SHOJAEI, B., VAJHI, A., ROSTAMI, A., DARIJANI, A.; 2003
Computed tomographic anatomy of the head region of the cat.
Indian Vet J; 80 (12);1273-1275
- SIMOENS, P., GILLE, U.; 2005
Sinnesorgane, Organa sensuum.
In: SALOMON, F. V. GEYER, H., et al.; Anatomie für die Tiermedizin
Stuttgart; Enke; 9783830411123; 578 - 621
- SLATTER, D. H., BASHER, T.; 2003
Orbit.
In: SLATTER, D. H.; Textbook of Small Animal Surgery
Philadelphia u.a.; Saunders; 978-0-7216-8607-3; 1430 - 1454
- SMIT, A. J. G. M.; 1991
The postenucleation socket syndrome.
Universiteit van Amsterdam; Dissertation
- SMIT, T. J., KOORNEEF, L.; 1990
Computered tomography in the assesment of the post-enucleation socket syndrome.
Ophthalmology; 97;1347-1351
- SMIT, T. J., KOORNNEEF, L., ZONNEVELD, F. W., GROET, E., OTTO, A. J.; 1991
Management of acquired anophthalmos: A historical review.
Orbit; 10 (2);63-76
- SOLL, D. B.; 1972
Enucleation surgery. A new technique.
Arch Ophthalmol; 87 (2);196-197
- SOLL, D. B.; 1982
The anophthalmic socket.
Ophthalmology; 89 (5);407-423
- SOLL, D. B.; 1986
Evolution and current concepts in the surgical treatment of the anophthalmic orbit.
Ophthal Plast Reconstr Surg; 2 (3);163-171
- SON, J. K., C. S.; YANG, J.; 2012
Comparison of experimental porous silicone implants and porous silicone implants.
Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol; 250 (6);879-885

- SPIESS, B. M., WALLIN-HAKANSON, N.; 1981
Diseases of the Canine Orbit.
In: GELATT, K. N.; Textbook of Veterinary Ophthalmology
Philadelphia, USA; Lea & Febiger.; 0-8121-0886-5; 511 - 533
- SQUARZONI, R., PERLMANN, E., ANTUNES, A., MILANELO, L., DE MORAES BARROS, P. S.; 2010
Ultrasonographic aspects and biometry of Striped owl's eyes (*Rhinoptynx clamator*).
Vet Ophthalmol; 13 Suppl;86-90
- TALIERI, I. C., BUQUERA, L. E. C., ORIÁ, A. P., BRUNELLI, A. T. J., ALMEIDA, D. E. D., LAUS, J. L.; 2004
Use of methyl methacrylate, moulded in its paste phase, to fill the orbital cavity of dogs, after exenteration in cases of ophthalmic neoplasias: a report of three cases.
Ciência Rural; 34;567-571
- THALLER, V. T.; 1997
Enucleation volume measurement.
Ophthal Plast Reconstr Surg; 13 (1);18-20
- TONI, M. C., MEIRELLES, A. E., GAVA, F. N., CAMACHO, A. A., LAUS, J. L., CANOLA, J. C.; 2010
Rabbits' eye globe sonographic biometry.
Vet Ophthalmol; 13 (6);384-386
- TOTH, J., HOLLERRIEDER, J.; 1999
Verwendung intraorbitaler Silikonprothesen nach Bulbusexstirpation.
Pferdeheilkunde; 15 (2);181-183
- TSE, D. T., ABDULHAFEZ, M., OROZCO, M. A., TSE, J. D., AZAB, A. O., PINCHUK, L.; 2011
Evaluation of an integrated orbital tissue expander in congenital anophthalmos: report of preliminary clinical experience.
Am J Ophthalmol; 151 (3);470-482
- TSE, D. T., PINCHUK, L., DAVIS, S., FALCONE, S. F., LEE, W., ACOSTA, A. C., HERNANDEZ, E., LEE, E., PAREL, J. M.; 2007
Evaluation of an integrated orbital tissue expander in an anophthalmic feline model.
Am J Ophthalmol; 143 (2);317-327
- TUNTIVANICH, N., PETERSEN-JONES, S. M., STEIBEL, J. P., JOHNSON, C., FORCIER, J. Q.; 2007
Postnatal development of canine axial globe length measured by B-scan ultrasonography.
Vet Ophthalmol; 10 (1);2-5
- TYERS, A. G., COLLINS, J. R.; 1982
Orbital implants and post enucleation socket syndrome.
Trans Am Ophthalmol Soc; 102;90-92
- VESTRE, W. A., BRIGHTMAN, A. H., HELPER, L. C.; 1978
Use of an intra-ocular prosthesis in cat.
Feline Pract; 8 (4);23-26

- WASOWICZ, M., KUPCZYNSKA, M., WIELADEK, A., BARSZCZ, K.; 2009
Morphometric analysis of occipital bone in the domestic cat in comparison with selected skull size parameters and with special regard to skull morphotype.
Pol J Vet Sci; 12 (2);251-258
- WELLS, T. S., HARRIS, G. J.; 2011
Direct fixation of extraocular muscles to a silicone sphere: a cost-sensitive, low-risk enucleation procedure.
Ophthal Plast Reconstr Surg; 27 (5);364-367
- WHITLEY, R. D., SHAFFER, K. W., ALBERT, R. A.; 1985
Implantation of intraocular silicone prostheses in dogs.
Comp Cont Educ Pract; 7 (10);802-811
- WILKIE, D. A., GILGER, B. C., VANDERWOERDT, A., GRANITZ, U.; 1994
Die Implantation von intraokulären Silikonprothesen.
Prakt Tierarzt; 75 (12);1097-1100
- WOLF, E. D.; 1990
Enucleation of the Globe.
In: BOJRAB, M. J.; Current techniques in small animal surgery
Philadelphia; Lea & Febiger; 0812111931; 119-123
- YI, N. Y., PARK, S., JEONG, M. B., KIM, W. T., KIM, S. E., KIM, J., CHAE, J. M., JANG, K., SEONG, J., SEO, K.; 2009
Comparison of orbital prosthesis motility following enucleation or evisceration with sclerotomy with or without a motility coupling post in dogs.
Vet Ophthalmol; 12 (3);139-151
- ZHOU, X., QU, J., XIE, R., WANG, R., JIANG, L., ZHAO, H., WEN, J., LU, F.; 2006
Normal development of refractive state and ocular dimensions in guinea pigs.
Vision Res; 46 (18);2815-2823

9 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Lagerung der Hundeschädel mit Bleimarken am Proc. frontalis und Proc. zygomaticus (roter Punkt).	28
Abbildung 2	Lagerung der Katzenschädel im CT mit rotem Laserkreuz.	28
Abbildung 3	CT-Schnittbild (Transversalebene) eines Hundeschädels mit angebrachten Bleimarken am Proc. zygomaticus (Pfeil).	28
Abbildung 4	CT-Schnittbild (Transversalebene) eines Katzenschädels.	28
Abbildung 5	3D Rekonstruktion der CT-Aufnahme eines Katzenschädels.	29
Abbildung 6	CT-Schnittbild (Transversalebene) eines Hundeschädels mit beidseits in den Orbitae eingezeichneten Messstrecken. Die Messstrecken verlaufen horizontal zwischen dem Proc. frontalis und der medialen Orbitawand.	30
Abbildung 7	CT-Schnittbild (Transversalebene) eines Hundeschädels mit beidseits am Proc. frontalis befestigten Bleimarken. In beiden Orbitae befinden sich die eingezeichneten Messstrecken, die horizontal zwischen dem Proc. frontalis und der medialen Orbitawand.	30
Abbildung 8	CT-Schnittbild (Transversalebene) eines Katzenschädels mit beidseits zwischen dem Proc. zygomaticus und dem dorsalen Maxillarrand vertikal verlaufenden Messstrecken.	30
Abbildung 9	CT-Schnittbild (Transversalebene) eines Katzenschädels mit beidseits in den Orbitae eingezeichneten Messstrecken. Die Messstrecken verlaufen horizontal zwischen dem Proc. frontalis und der medialen Orbitawand.	30
Abbildung 10	3D Rekonstruktion eines Katzenschädels zur Darstellung des knöchernen Orbitaraumes. Es wurden folgende Messstrecken eingezeichnet: Höhe der Orbita vom Ventralrand des Os frontalis zum Dorsalrand der Maxilla, Breite der Orbita vom Lateralrand des Os lacrimale zum Bereich des Lig. orbitale, Tiefe der Orbita vom Mittelpunkt der Orbita ausgehend bis zur knöchernen Begrenzung des Os praesphenoidale.	31
Abbildung 11	CT-Schnittbild mit Vermessung des Bulbus (Höhe und Breite) im Knochenfenster (Transversalschnitt).	34
Abbildung 12	CT-Schnittbild mit Vermessung des Bulbus (Höhe und Breite) im Weichteilfenster (Transversalschnitt).	34
Abbildung 13	CT-Schnittbild mit Vermessung des Bulbus (Tiefe) im Knochenfenster (Coronalschnitt).	34

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 14	CT-Schnittbild mit Messung der Orbitahöhe (Sagitalschnitt, Knochenfenster).	34
Abbildung 15	CT-Schnittbild mit Messung der Orbitahöhe (Transversalschnitt, Knochenfenster).	35
Abbildung 16	CT-Schnittbild mit Messung der Orbitabreite mit eingezeichneten Hilfslinien (Transversalschnitt, Knochenfenster).	35
Abbildung 17	CT-Schnittbild mit Messung der Orbitatiefe mit eingezeichneten Hilfslinien (Coronalschnitt, Weichteilfenster).	35
Abbildung 18	Lagerung eines Hundes im CT mit Laserkreuz, Nativaufnahme.	43
Abbildung 19	Lagerung eines Hundes im CT. Beide Augen sind enukleiert, die rechte Augenhöhle ist bereits mit einer Naht verschlossen, die Lider der linken Augenhöhle sind noch nicht vernäht.	43
Abbildung 20	Lagerung eines Hundes im CT. Das rechte Auge ist enukleiert und die Lider mit einer Naht verschlossen. Die linke Orbita wurde mit Modelliermasse aufgefüllt, die Lider sind noch nicht mit einer Naht verschlossen.	43
Abbildung 21	CT-Schnittbild (Transversalschnitt) eines Hundes nach Einsatz der Modelliermasse in die Orbita (links) bzw. eines Silikonimplantats (rechts).	43
Abbildung 22	CT-Schnittbild (Transversalschnitt) eines Hundes aus der Kadaverstudie mit Darstellung des knöchernen Engpasses zwischen dem Proc. frontalis und der lateralen Begrenzung der Crista pterygoidea. Die Modelliermasse wird in diesem Bereich deutlich erkennbar komprimiert.	44
Abbildung 23	CT-Schnittbild (Transversalschnitt) einer Katze aus der Kadaverstudie mit in der Orbita befindlichen Modelliermasse. Es ist kein knöcherner Engpass zwischen dem Proc. frontalis und der lateralen Begrenzung der Crista pterygoidea erkennbar.	44
Abbildung 24	CT-Schnittbild (Coronalschnitt) einer Katze aus der Kadaverstudie. Die in die Orbita eingesetzte Modelliermasse füllt den Orbitaraum vollständig aus. Die Modelliermasse ragt zudem weit nach dorsolateral aus der Orbita.	45
Abbildung 25	Darstellung der durchschnittlichen Differenz zwischen den Messungen 1-3 (Intra- und Interobserver-Tests) für alle untersuchten Messstrecken und jedes Tier (N=13 Hunde, n=26 Orbitae).	49

- Abbildung 26** CT-Schnittbild eines Hundes (Beagle, weiblich, 11,0 kg KGW, 4 Jahre) mit beidseits in den Orbitae eingezeichneten Messstrecken zur Messung der Orbitabreite, erstellt mit Hilfe des Programms Eclipse. Die Messstrecken verlaufen horizontal zwischen der dorsalen (bzw. lateralen) Randfläche des Proc. frontalis bis zum lateralen Rand des Os lacrimale sowie ventrale (bzw. mediale) Randfläche des Proc. frontalis bis zum lateralen Rand des Os lacrimale (Transversalschnitt). 54
- Abbildung 27** CT-Schnittbild eines Hundes (Beagle, weiblich, 11,0 kg KGW, 4 Jahre) mit beidseits in den Orbitae eingezeichneten Messstrecken zur Messung der Orbitahöhe, erstellt mit Hilfe des Programms Eclipse. Die Messstrecken verlaufen zwischen dem Os frontale auf Höhe des Sinus frontalis lateralis bis zum tiefsten Punkt noch vorhandenen retrobulbären Gewebes (Transversalschnitt). 54
- Abbildung 28** CT-Schnittbild eines Hundes (Beagle, weiblich, 11,0 kg KGW, 4 Jahre) mit beidseits in den Orbitae eingezeichneten Messstrecken zur Messung der orbitalen Gesamttiefe, erstellt mit Hilfe des Programms Eclipse. Die Messstrecken verlaufen von der rostralen Bulbusfläche bis zum kaudalsten Punkt des retrobulbären Gewebes (Coronalschnitt). 54
- Abbildung 29** CT-Schnittbild eines Hundes (Beagle, weiblich, 11,0 kg KGW, 4 Jahre) mit beidseits in den Orbitae eingezeichneten Messstrecken zur Messung der Orbitatiefe, erstellt mit Hilfe des Programms Eclipse. Die Messstrecken verlaufen vom kaudalen Bulbusrand bis zum kaudalsten Punkt des retrobulbären Gewebes (Coronalschnitt). 54
- Abbildung 30** CT-Schnittbild einer Katze (EKH, männlich-kastriert, 7,3 kg KGW, 3 Jahre) mit beidseits in den Orbitae eingezeichneten Messstrecken zur Messung der Orbitabreite, erstellt mit Hilfe des Programms Eclipse. Die Messstrecken verlaufen horizontal zwischen der dorsalen (bzw. lateralen) Randfläche des Proc. frontalis bis zum lateralen Rand des Os lacrimale sowie ventrale (bzw. mediale) Randfläche des Proc. frontalis bis zum lateralen Rand des Os lacrimale (Transversalschnitt). 55
- Abbildung 31** CT-Schnittbild einer Katze (EKH, männlich-kastriert, 7,3 kg KGW, 3 Jahre) mit beidseits in den Orbitae eingezeichneten Messstrecken zur Messung der Orbitahöhe, erstellt mit Hilfe des Programms Eclipse. Die Messstrecken verlaufen zwischen dem Os frontale auf Höhe des Sinus frontalis bis zum tiefsten Punkt noch vorhandenen retrobulbären Gewebes (Transversalschnitt). 55
- Abbildung 32** CT-Schnittbild einer Katze (EKH, männlich-kastriert, 7,3 kg KGW, 3 Jahre) mit beidseits in den Orbitae eingezeichneten Messstrecken zur Messung der orbitalen Gesamttiefe, erstellt mit Hilfe des Programms Eclipse. Die Messstrecken verlaufen von der rostralen Bulbusfläche bis zum kaudalsten Punkt des retrobulbären Gewebes (Coronalschnitt). 55

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 33	CT-Schnittbild einer Katze (EKH, männlich-kastriert, 7,3 kg KGW, 3 Jahre) mit beidseits in den Orbitae eingezeichneten Messstrecken zur Messung der Orbitatiefe erstellt mit Hilfe des Programms Eclipse. Die Messstrecken verlaufen vom kaudalen Bulbusrand bis zum kaudalsten Punkt des retrobulbären Gewebes (Coronalschnitt).	55
Abbildung 34	Darstellung der durchschnittlichen Differenz zwischen der Messung des linken und rechten Orbitavolumens bei den untersuchten Hunden aus der Hauptstudie(N=40 Hunde, n=80 Orbitae).	59
Abbildung 35	Vergleich des orbitalen Gesamtvolumens von Hunden in Bezug auf die verschiedenen Kopfformen im Boxplot (n=Anzahl Augen).	62
Abbildung 36	Vergleich der ventralen orbitalen Breitenmessung von Hunden in Bezug auf die verschiedenen Kopfformen im Boxplot (n=Anzahl Augen).	64
Abbildung 37	Vergleich des orbitalen Gesamtvolumens von Hunden in Bezug auf die verschiedenen Gewichtsgruppen im Boxplot (n=Anzahl Augen)	68
Abbildung 38	Vergleich der ventralen Breitenmessung der Orbita von Hunden in Bezug auf die verschiedenen Gewichtsgruppen im Boxplot (n=Anzahl Augen).	69
Abbildung 39	Orbitales Gesamtvolumen aller untersuchten Hunde (N=40 Tiere, n=80 Orbitae) in Bezug auf das Körpergewicht.	71
Abbildung 40	Darstellung der durchschnittlichen Differenz zwischen der Messung des linken und rechten Orbitavolumens bei den untersuchten Katzen aus der Hauptstudie (N=40 Katzen, n=80 Orbitae).	75
Abbildung 41	Vergleich des orbitalen Gesamtvolumens von Katzen in Bezug auf die verschiedenen Kopfformen im Boxplot (n=Anzahl Augen).	79
Abbildung 42	Vergleich der Orbitahöhe von Katzen in Bezug auf die verschiedenen Kopfformen im Boxplot (n=Anzahl Augen).	80
Abbildung 43	Vergleich des orbitalen Gesamtvolumens von Katzen in Bezug auf die verschiedenen Gewichtsgruppen im Boxplot (n=Anzahl Augen).	85
Abbildung 44	Vergleich der Höhe der Orbita von Katzen in Bezug auf die verschiedenen Gewichtsgruppen im Boxplot (n=Anzahl Augen)	86
Abbildung 45	Orbitales Gesamtvolumen aller untersuchten Katzen (N=40 Tiere, n=80 Orbitae) in Bezug auf das Körpergewicht.	88
Abbildung 46	Instrumente und Materialien, die zur Enukleation und dem anschließenden Auffüllen der Orbita bei den Hunden und Katzen der Kadaverstudie verwendet wurden.	133

10 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Darstellbarkeit des Proc. zygomaticus und des Proc. frontalis als Hilfspunkte zur Vermessung der Orbita in den CT-Untersuchungen der Hunde aus Vorversuch 2 (N=6 Hunde, n=12 Orbitae)	36
Tabelle 2	Deskriptive statistische Angaben zu der Vermessung der Orbita an Hunden mittels CT-Aufnahmen aus dem Vorversuch 2 (N=5 Hunde, n=10 Orbitae, Messstrecken in mm, Volumen in mm ³)	37
Tabelle 3	Korrelationsanalyse der wiederholten Vermessung der Orbita an Hunden mittels CT-Aufnahmen aus Vorversuch 2 mit Darstellung der Korrelation (r) und Signifikanz (p) aus dem Vergleich der Messung 1 und 2 (N=5 Hunde, n=10 Orbitae)	39
Tabelle 4	Deskriptive statistische Angaben zu der Vermessung der Orbita von Katzen mittels CT-Aufnahmen aus der Kadaverstudie (N=5 Katzen, n=10 Augen, Körpergewicht 3,5-4,9 kg)	45
Tabelle 5	Deskriptive statistische Angaben zu der Vermessung der Orbita von Hunden mittels CT-Aufnahmen aus der Kadaverstudie (N=5 Hunde, n=10 Augen, Körpergewicht 6,7-29,5 kg)	46
Tabelle 6	Deskriptive statistische Angaben zu der Vermessung der Orbita an Hunden mittels CT-Aufnahmen aus dem Vorversuch 4 mit Darstellung der Korrelation (r) und Signifikanz (p) aus dem Vergleich der Messung der linken und rechten Orbita (N=13 Hunde, n=26 Orbitae)	48
Tabelle 7	Übersicht über die in der Literatur beschriebenen Kopfformeinteilungen bei verschiedenen Hunderassen, die als Orientierung für die Kopfformeinteilung der Hunde aus der Hauptstudie diente	51
Tabelle 8	Deskriptive statistische Angaben zu der Vermessung der Orbita an Hunden mittels CT-Aufnahmen in dem Programm Eclipse aus der Hauptstudie mit Darstellung der Korrelation (r) und Signifikanz (p) aus dem Vergleich der Messergebnisse von linker und rechter Orbita (N=40 Hunde, n=80 Orbitae)	58
Tabelle 9	Deskriptive statistische Angaben zu der Vermessung der Orbita von Hunden mittels CT-Aufnahmen in dem Programm Eclipse unterteilt nach den Kopfformen aus der Hauptstudie mit Darstellung der Signifikanzwerte (p) aus dem Vergleich der einzelnen Kopfformen in Bezug auf die Ausdehnung der Orbita. (N=40 Hunde, n=80 Orbitae, davon N=13 brachyzephe Hunde (n=26 Orbitae), N=22 mesozephe Hunde (n= 44 Orbitae), N=5 dolichozepe Hunde (n=10 Orbitae))	60

Tabelle 10	Deskriptive statistische Angaben zu der Vermessung der Orbita von Hunden mittels CT-Aufnahmen in dem Programm Eclipse unterteilt nach Gewichtsklassen aus der Hauptstudie mit Darstellung der Signifikanzwerte (p) aus dem Vergleich der einzelnen Gewichtsklassen in Bezug auf die Ausdehnung der Orbita. (N=40 Hunde, n=80 Orbitae, davon Gewichtsklasse 1 (bis 15 kg, N=19, n=38 Orbitae), Gewichtsklasse 2 (16-44 kg, N=15, n=30 Orbitae), Gewichtsklasse 3 (>44 kg, N=6, n=12 Orbitae)	66
Tabelle 11	Deskriptive statistische Angaben zu der Vermessung der Orbita von Hunden bis 15 kg Körpergewicht mittels CT-Aufnahmen in dem Programm Eclipse unterteilt nach den Kopfformen aus der Hauptstudie mit Darstellung der Signifikanzwerte (p) aus dem Vergleich der einzelnen Kopfformen in Bezug auf die Ausdehnung der Orbita. (N=19 Hunde, n=38 Orbitae, davon N=8 brachyzepale Hunde (n=16 Orbitae), N=9 mesozepale Hunde (n=18 Orbitae), N=2 dolichocephale Hunde (n=4 Orbitae)	71
Tabelle 12	Deskriptive statistische Angaben zu der Vermessung der Orbita an Katzen mittels CT-Aufnahmen in dem Programm Eclipse aus der Hauptstudie mit Darstellung der Korrelation (r) und Signifikanz (p) aus dem Vergleich der Messergebnisse von linker und rechter Orbita (N=40 Katzen, n=80 Orbitae)	75
Tabelle 13	Deskriptive statistische Angaben zu der Vermessung der Orbita von Katzen mittels CT-Aufnahmen in dem Programm Eclipse unterteilt nach den Kopfformen aus der Hauptstudie mit Darstellung der Signifikanzwerte (p) aus dem Vergleich der einzelnen Kopfformen in Bezug auf die Ausdehnung der Orbita. (N=40 Katzen, n=80 Orbitae, davon N=9 brachyzepale Katzen (n=18 Orbitae), N=26 mesozepale Katzen (n= 52 Orbitae), N=5 dolichocephale Katzen (n=10 Orbitae)	77
Tabelle 14	Deskriptive statistische Angaben zu der Vermessung der Orbita von Katzen mittels CT-Aufnahmen in dem Programm Eclipse unterteilt nach Gewichtsklassen aus der Hauptstudie mit Darstellung der Signifikanzwerte (p) aus dem Vergleich der einzelnen Gewichtsklassen in Bezug auf die Ausdehnung der Orbita. (N=40 Katzen, n=80 Orbitae, davon Gewichtsklasse 1 (bis 3 kg, N=6, n=18 Orbitae), Gewichtsklasse 2 (3-6 kg, N=23, n=46 Orbitae), Gewichtsklasse 3 (>6 kg, N=11, n=22 Orbitae)	83
Tabelle 15	Signalement der untersuchten Hunde aus der Vermessung von computertomografischen Aufnahmen (N=6 Hunde)	131
Tabelle 16	Zusammenfassung der Korrelationsanalysen der Messergebnisse aus der Vermessung von computertomografischen Aufnahmen von Hunden aus dem Vorversuch (N=5 Hunde, n=10 Orbitae)	132
Tabelle 17	Signalement der untersuchten Hunde und Katzen aus der Kadaverstudie (N = 10 Tiere, davon 5 Hunde und 5 Katzen)	133

Tabellenverzeichnis

Tabelle 18	Korrelationsanalyse aus dem Vergleich der Messergebnisse von linker und rechter Orbita bei der Vermessung der Augenhöhle von Hunden und Katzen mittels CT-Aufnahmen aus der Kadaverstudie mit Darstellung der Korrelation (r) und Signifikanz (p) (N=10 Tiere, davon N=5 Hunde und N=5 Katzen, n=20 Orbitae)	134
Tabelle 19	Signalement der untersuchten Hunde aus der Vermessung von computertomografischen Aufnahmen in dem Programm Eclipse (N=13 Hunde)	134
Tabelle 20	Korrelationsanalyse zu der Vermessung der Orbita von Hunden mittels CT-Aufnahmen in dem Programm Eclipse aus dem Vergleich der Messung 1, 2 und 3 mit Darstellung der Korrelations- (r) und Signifikanzwerte (p) (N=13 Hunde, n=26 Orbitae)	135
Tabelle 21	Signalement der untersuchten Hunde aus der Hauptstudie (N=40)	135
Tabelle 22	Signalement der untersuchten Katzen aus der Hauptstudie (N=40)	136
Tabelle 23	Test auf Homogenität der Varianzen der durchgeführten Levene-Statistik für die Hauptstudie (N=40 Hunde, n=80 Augen; N=40 Katzen, n=80 Augen)	138
Tabelle 24	Darstellung der Verhältnisse von Orbitavolumen in Bezug auf das Bulbusvolumen, sowie dem Verhältnis der Ausmaße der Orbita von Höhe, Breite und Tiefe für die untersuchten Hunde und Katzen der Hauptstudie anhand der Mittelwerte in Bezug auf die Kopfform bzw. die Gewichtsklasse (N=40 Hunde, n=80 Orbitae, N=40 Katzen, n= 80 Orbitae)	138

11 Anhang

Vermessung von computertomografischen Aufnahmen von Hunden

Die Tabellen 15 und 16 beziehen sich auf die Vermessung von computertomografischen Aufnahmen von Hunden; das Signalement der untersuchten Tiere und Korrelationsanalysen dieses Vorversuchs sind angegeben.

Tabelle 15: Signalement der untersuchten Hunde aus der Vermessung von computertomografischen Aufnahmen (N=6 Hunde)

Nr.	Tierart	Rasse	Geschlecht	Alter (a)	KGW (kg)	Kopfform
1	Hund	Französische Bulldogge	wk	4,5	19,0	brachyzephal
2	Hund	Rhodesian Ridgeback	mk	7	46,0	dolichocephal
3	Hund	Berger des Pyrénées Mischling	m	3	9,0	mesozephal
4	Hund	Deutscher Schäferhund	wk	5	41,1	mesozephal
5	Hund	Shih Tzu	w	8	6,0	brachyzephal
6	Hund	Shih Tzu	m	7	5,0	brachyzephal

(w = weiblich, wk = weiblich kastriert, m = männlich, mk = männlich kastriert, KGW = Körpergewicht)

Anhang

Tabelle 16: Zusammenfassung der Korrelationsanalysen der Messergebnisse aus der Vermessung von computertomografischen Aufnahmen von Hunden aus dem Vorversuch (N=5 Hunde, n=10 Orbitae)

<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="3" style="text-align: center;">Korrelations- (r) und Signifikanzwerte (p) aus dem Vergleich der Messung des Bulbus im Weichteilfenster und Knochenfenster</th> </tr> <tr> <th style="width: 30%;">Variable</th> <th style="width: 35%;">r</th> <th style="width: 35%;">p</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Bulbus Höhe 1</td> <td style="text-align: center;">0,963</td> <td style="text-align: center;"><0,001</td> </tr> <tr> <td>Bulbus Breite 1</td> <td style="text-align: center;">0,975</td> <td style="text-align: center;"><0,001</td> </tr> <tr> <td>Bulbus Tiefe 1</td> <td style="text-align: center;">0,897</td> <td style="text-align: center;"><0,001</td> </tr> <tr> <td>Volumen Bulbus 1</td> <td style="text-align: center;">0,979</td> <td style="text-align: center;"><0,001</td> </tr> <tr> <td>Bulbus Höhe 2</td> <td style="text-align: center;">0,965</td> <td style="text-align: center;"><0,001</td> </tr> <tr> <td>Bulbus Breite 2</td> <td style="text-align: center;">0,952</td> <td style="text-align: center;"><0,001</td> </tr> <tr> <td>Bulbus Tiefe 2</td> <td style="text-align: center;">0,943</td> <td style="text-align: center;"><0,001</td> </tr> <tr> <td>Volumen Bulbus 2</td> <td style="text-align: center;">0,978</td> <td style="text-align: center;"><0,001</td> </tr> </tbody> </table>	Korrelations- (r) und Signifikanzwerte (p) aus dem Vergleich der Messung des Bulbus im Weichteilfenster und Knochenfenster			Variable	r	p	Bulbus Höhe 1	0,963	<0,001	Bulbus Breite 1	0,975	<0,001	Bulbus Tiefe 1	0,897	<0,001	Volumen Bulbus 1	0,979	<0,001	Bulbus Höhe 2	0,965	<0,001	Bulbus Breite 2	0,952	<0,001	Bulbus Tiefe 2	0,943	<0,001	Volumen Bulbus 2	0,978	<0,001	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="3" style="text-align: center;">Korrelations- (r) und Signifikanzwerte (p) aus dem Vergleich der Messung der Orbitahöhe mit und ohne Wurzelanteil des Molaren M2</th> </tr> <tr> <th style="width: 30%;">Variable</th> <th style="width: 35%;">r</th> <th style="width: 35%;">p</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Höhe sagittal innen</td> <td style="text-align: center;">0,980</td> <td style="text-align: center;"><0,001</td> </tr> <tr> <td>Höhe sagittal außen</td> <td style="text-align: center;">0,993</td> <td style="text-align: center;"><0,001</td> </tr> <tr> <td>Höhe transversal innen</td> <td style="text-align: center;">0,955</td> <td style="text-align: center;"><0,001</td> </tr> <tr> <td>Höhe transversal außen</td> <td style="text-align: center;">0,980</td> <td style="text-align: center;"><0,001</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="3" style="text-align: center;">Korrelations- (r) und Signifikanzwerte (p) aus dem Vergleich der Messung der Orbitahöhe in sagittaler und transversaler Schnittebene</th> </tr> <tr> <th style="width: 30%;">Variable</th> <th style="width: 35%;">r</th> <th style="width: 35%;">p</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Höhe innen 1*</td> <td style="text-align: center;">0,975</td> <td style="text-align: center;"><0,001</td> </tr> <tr> <td>Höhe außen 1*</td> <td style="text-align: center;">0,944</td> <td style="text-align: center;"><0,001</td> </tr> <tr> <td>Höhe innen 2#</td> <td style="text-align: center;">0,959</td> <td style="text-align: center;"><0,001</td> </tr> <tr> <td>Höhe außen 2#</td> <td style="text-align: center;">0,968</td> <td style="text-align: center;"><0,001</td> </tr> </tbody> </table>	Korrelations- (r) und Signifikanzwerte (p) aus dem Vergleich der Messung der Orbitahöhe mit und ohne Wurzelanteil des Molaren M2			Variable	r	p	Höhe sagittal innen	0,980	<0,001	Höhe sagittal außen	0,993	<0,001	Höhe transversal innen	0,955	<0,001	Höhe transversal außen	0,980	<0,001	Korrelations- (r) und Signifikanzwerte (p) aus dem Vergleich der Messung der Orbitahöhe in sagittaler und transversaler Schnittebene			Variable	r	p	Höhe innen 1*	0,975	<0,001	Höhe außen 1*	0,944	<0,001	Höhe innen 2#	0,959	<0,001	Höhe außen 2#	0,968	<0,001
Korrelations- (r) und Signifikanzwerte (p) aus dem Vergleich der Messung des Bulbus im Weichteilfenster und Knochenfenster																																																																			
Variable	r	p																																																																	
Bulbus Höhe 1	0,963	<0,001																																																																	
Bulbus Breite 1	0,975	<0,001																																																																	
Bulbus Tiefe 1	0,897	<0,001																																																																	
Volumen Bulbus 1	0,979	<0,001																																																																	
Bulbus Höhe 2	0,965	<0,001																																																																	
Bulbus Breite 2	0,952	<0,001																																																																	
Bulbus Tiefe 2	0,943	<0,001																																																																	
Volumen Bulbus 2	0,978	<0,001																																																																	
Korrelations- (r) und Signifikanzwerte (p) aus dem Vergleich der Messung der Orbitahöhe mit und ohne Wurzelanteil des Molaren M2																																																																			
Variable	r	p																																																																	
Höhe sagittal innen	0,980	<0,001																																																																	
Höhe sagittal außen	0,993	<0,001																																																																	
Höhe transversal innen	0,955	<0,001																																																																	
Höhe transversal außen	0,980	<0,001																																																																	
Korrelations- (r) und Signifikanzwerte (p) aus dem Vergleich der Messung der Orbitahöhe in sagittaler und transversaler Schnittebene																																																																			
Variable	r	p																																																																	
Höhe innen 1*	0,975	<0,001																																																																	
Höhe außen 1*	0,944	<0,001																																																																	
Höhe innen 2#	0,959	<0,001																																																																	
Höhe außen 2#	0,968	<0,001																																																																	

Für alle miteinander verglichenen Messmethoden waren die Messergebnisse statistisch nicht signifikant verschieden ($p < 0,05$).

(r = Korrelation , p = Signifikanz, 1 = erste Messung, 2 = zweite Messung, * = mit Wurzelanteil des M2, # ohne Wurzelanteil des M2)

Kadaverstudie

In Tabelle 17 ist das Signalement der Hunde und Katzen der Kadaverstudie angegeben. Tabelle 18 zeigt die Ergebnisse der Korrelationsanalyse dieses Vorversuchs.

Tabelle 17: Signalement der untersuchten Hunde und Katzen aus der Kadaverstudie (N=10 Tiere, davon 5 Hunde und 5 Katzen)

Nr.	Tierart	Rasse	Geschlecht	KGW (kg)	Schädeltyp
1	Hund	Golden Retriever	w	29,5	dolichocephal
2	Hund	Mischling	mk	29,2	mesozephal
3	Hund	Mischling	mk	6,7	mesozephal
4	Hund	Shetland Sheepdog Mischling	m	12,0	mesozephal
5	Hund	Labrador-Stafford-Mischling	m	27,5	mesozephal
6	Katze	EKH-Angora-Mix	mk	4,2	mesozephal
7	Katze	Perser	mk	3,5	brachycephal
8	Katze	Perser	mk	3,8	brachycephal
9	Katze	EKH	mk	3,5	mesozephal
10	Katze	EKH	mk	4,9	mesozephal

(w = weiblich, wk = weiblich kastriert, m = männlich, mk = männlich kastriert, KGW = Körpergewicht, EKH = Europäisch Kurzhaar)

Darstellung der Instrumente und Materialien, die zur E nukleation bei den Tieren aus der Kadaverstudie verwendet wurden:



Abbildung 46:

Instrumente und Materialien, die zur E nukleation und dem anschließenden Auffüllen der Orbita bei den Hunden und Katzen der Kadaverstudie verwendet wurden.

- kleine chirurgische Pinzette
- große chirurgische Pinzette
- kleine gebogene Augenschere
- Fadenschere
- Nadelhalter
- Nahtmaterial (Monocryl 2-0, 3-0)
- Lidsperrerr (Sperrelevator, BARRAQUER)
- Modelliermasse (Bastelbedarf)

Tabelle 18: Korrelationsanalyse aus dem Vergleich der Messergebnisse von linker und rechter Orbita bei der Vermessung der Augenhöhle von Hunden und Katzen mittels CT-Aufnahmen aus der Kadaverstudie mit Darstellung der Korrelation (r) und Signifikanz (p) (N=10 Tiere, davon N=5 Hunde und N=5 Katzen, n=20 Orbitae)

Variable	r	p
V _{Bulbus}	0,823	0,003
V _{retrGew}	0,974	<0,001
V _{GzygMptr}	0,996	<0,001
H	0,977	<0,001
B _{dorsal}	0,936	<0,001
B _{ventral}	0,802	0,005
T	0,921	<0,001

In der Tabelle sind die Korrelation (r) und Signifikanz (p) aller untersuchten Messstrecken zwischen rechter und linker Orbita angegeben. Alle Messergebnisse aus der Messung der linken und rechten Orbita korrelieren statistisch signifikant ($p < 0,05$).

(r = Korrelation, p = Signifikanz, V_{Bulbus} = Volumen Bulbus in cm³, V_{retrGew} = Volumen retrobulbäres Gewebe in cm³, V_{GzygMptr} = Volumen Gl. zygomatica und M. pterygoideus in cm³, H = Orbitahöhe in cm, B_{dorsal} = dorsale Orbitabreite in cm, B_{ventral} = ventrale Orbitabreite in cm, T = Tiefe der Orbita in cm)

Vermessung von computertomografischen Aufnahmen in dem Programm Eclipse

In den Tabellen 19 und 20 sind das Signalement und die Korrelationsanalysen der Hunde aus der Vermessung von computertomografischen Aufnahmen in dem Programm Eclipse angegeben.

Tabelle 19: Signalement der untersuchten Hunde aus der Vermessung von computertomografischen Aufnahmen in dem Programm Eclipse (N=13 Hunde)

Nr.	Tierart	Rasse	Geschlecht	Alter (a)	KGW (kg)	Schädeltyp
1	Hund	Golden Retriever	w	unbekannt	29,5	mesozephal
2	Hund	Mischling	mk	ca. 5	29,2	mesozephal
3	Hund	Mischling	mk	ca. 10	6,7	mesozephal
4	Hund	Shetland Sheepdog Mischling	m	ca. 8	12,0	mesozephal
5	Hund	Labrador-Mischling	m	ca. 6-8	27,5	mesozephal
6	Hund	Labrador	mk	12,5	43,0	mesozephal
7	Hund	Mops	m	6,5	11,6	brachyzephal
8	Hund	American Bulldog	m	6,5	38,0	brachyzephal
9	Hund	Englische Bulldogge	w	0,5	20,0	brachyzephal
10	Hund	American Staffordshire	wk	11,9	24,0	mesozephal
11	Hund	Yorkshire Terrier	m	2,0	1,7	brachyzephal
12	Hund	Riesenschnauzer	m	10,0	40,0	mesozephal
13	Hund	Neufundländer	m	9,0	60,0	mesozephal

(w = weiblich, wk = weiblich kastriert, m = männlich, mk = männlich kastriert, KGW = Körpergewicht)

Tabelle 20: Korrelationsanalyse zu der Vermessung der Orbita von Hunden mittels CT-Aufnahmen in dem Programm Eclipse aus dem Vergleich der Messung 1, 2 und 3 mit Darstellung der Korrelations- (r) und Signifikanzwerte (p) (N=13 Hunde, n=26 Orbitae)

Variable	r	p
H1/H2	0,84	<0,001
H1/H3	0,88	<0,001
H2/H3	0,87	<0,001
H _{retr} 1/ H _{retr} 2	0,70	<0,001
H _{retr} 1/ H _{retr} 3	0,85	<0,001
H _{retr} 2/ H _{retr} 3	0,76	<0,001
B _{dorsal} 1/ B _{dorsal} 2	0,82	<0,001
B _{dorsal} 1/ B _{dorsal} 3	0,86	<0,001
B _{dorsal} 2/ B _{dorsal} 3	0,88	<0,001
B _{ventral} 1/ B _{ventral} 2	0,77	<0,001
B _{ventral} 1/ B _{ventral} 3	0,77	<0,001
B _{ventral} 2/ B _{ventral} 3	0,72	<0,001
T1/T2	0,92	<0,001
T1/T3	0,97	<0,001
T2/T3	0,97	<0,001

Die durchgeführten intra- und inter observer variation Tests zeigen für alle Messtrecken eine statistisch hochsignifikante Korrelation (p<0,001).

(r = Korrelation, p = Signifikanz, H = Gesamthöhe der Orbita in cm, H_{retr} = Orbitahöhe einschließlich retrobulbären Gewebe in cm, B_{dorsal} = dorsale Orbitabreite in cm, B_{ventral} = ventrale Orbitabreite in cm, T = Tiefe der Orbita in cm, 1=Untersucher 1 erste Messung, 2= Untersucher 1 zweite Messung, 3 = Untersucher 2)

Hauptstudie

In den Tabellen 21 und 22 sind das Signalement der Hunde und Katzen aus der Hauptstudie, sowie die Zuordnung der einzelnen Kopfformtypen angegeben.

Tabelle 21: Signalement der untersuchten Hunde aus der Hauptstudie (N=40)

Nr.	Rasse	Geschlecht	Alter (a)	KGW (kg)	Schädeltyp
1	Yorkshire Terrier	m	1,5	1,7	brachyzephal
2	Chihuahua	w	8,5	2,0	brachyzephal
3	Langhaar-Teckel	wk	7,3	4,7	mesozephal
4	Zwerg-Pudel	w	16,6	5,1	mesozephal
5	Shih Tzu	w	8,9	6,0	brachyzephal
6	Yorkshire Terrier	mk	4,0	6,5	brachyzephal
7	Rauhaardackel	wk	1,4	7,5	mesozephal
8	Zwergrauhaardackel	mk	5,5	8,1	mesozephal
9	Mops	m	8,5	8,5	brachyzephal
10	Mops	w	4,5	8,6	brachyzephal
11	WHWT	wk	13,5	8,6	mesozephal
12	Lhasa Apso	wk	12,5	9,5	brachyzephal
13	Beagle	w	4,9	10,7	mesozephal
14	Langhaar-Teckel	m	6,4	11,0	mesozephal
15	Shetland Sheepdog	m	4,0	11,3	dolichocephal

Fortsetzung Tabelle 21

16	Französische Bulldogge	m	3,1	11,5	brachyzephal
17	Scottish Terrier	w	6,9	12,0	dolichocephal
18	Lagotto Romagnolo	w	5,0	12,5	mesozephal
19	Cocker Spaniel	m	12,5	15,0	mesozephal
20	Dalmatiner	m	5,6	25,0	mesozephal
21	Shar Pei	mk	4,5	24,0	mesozephal
22	American Staffordshire	wk	11,9	24,0	brachyzephal
23	Englische Bulldogge	m	1,7	25,0	brachyzephal
24	kleiner Münsterländer	wk	10,7	25,4	mesozephal
25	Deutsch Drahthaar	wk	4,5	29,0	mesozephal
26	Boxer	m	2,9	30,5	brachyzephal
27	DSH	w	5,8	31,0	mesozephal
28	Golden Retriever	m	6,6	32,0	mesozephal
29	Riesenschnauzer	mk	11,8	35,0	mesozephal
30	American Bulldog	m	7,0	35,5	brachyzephal
31	Collie	m	8,5	35,6	dolichocephal
32	Riesenschnauzer	m	9,7	40,0	mesozephal
33	Berner Sennenhund	w	9,4	42,5	mesozephal
34	Gordon Setter	wk	8,9	44,0	mesozephal
35	Rottweiler	m	6,5	49,0	mesozephal
36	Bordeaux Dogge	m	7,4	56,0	brachyzephal
37	Neufundländer	m	9,3	60,0	mesozephal
38	Irischer Wolfshund	m	1,8	65,0	dolichocephal
39	Barsoi	mk	7,3	66,0	dolichocephal
40	Podhalaner	m	5,0	72,0	mesozephal

(w = weiblich, wk = weiblich kastriert, m = männlich, mk = männlich kastriert, KGW = Körpergewicht, WHWT = West Highland White Terrier, DSH = Deutscher Schäferhund)

Tabelle 22: Signalement der untersuchten Katzen aus der Hauptstudie (N=40)

Nr.	Rasse	Geschlecht	Alter (a)	KGW (kg)	Schädeltyp
1	Kartäuser	mk	4,2	3,00	dreieckig
2	EKH	w	7,1	2,93	rund
3	Devon Rex	wk	12,5	2,86	dreieckig
4	Tonkanese	wk	5,8	2,99	keilförmig
5	Siam	wk	2,4	2,30	keilförmig
6	Kartäuser	mk	9,6	3,90	rund
7	Norwegische Waldkatze	mk	9,5	5,50	dreieckig

Anhang

Fortsetzung Tabelle 22

8	EKH	mk	12,2	3,50	dreieckig
9	EKH	mk	1,3	3,70	dreieckig
10	EKH	mk	10,5	4,00	dreieckig
11	EKH	mk	15,3	4,20	dreieckig
12	EKH	mk	1,0	4,30	dreieckig
13	EKH	mk	3,0	4,50	dreieckig
14	EKH	mk	10,3	4,50	dreieckig
15	EKH	mk	12,8	4,60	dreieckig
16	EKH	mk	6,4	5,17	dreieckig
17	EKH	mk	6,7	5,80	dreieckig
18	BKH	w	15,6	4,40	rund
19	EKH	w	15,0	4,70	dreieckig
20	BKH	wk	9,9	3,35	rund
21	Maine Coon	wk	15,1	4,66	dreieckig
22	EKH	wk	16,0	4,25	dreieckig
23	EKH	wk	4,2	5,00	dreieckig
24	Thaikatze	wk	2,5	4,20	keilförmig
25	British Bleu	mk	9,2	6,72	rund
26	Maine Coon	mk	5,5	6,20	dreieckig
27	Türkisch Angora	mk	9,0	6,25	dreieckig
28	EKH	mk	9,0	6,00	dreieckig
29	EKH	mk	3,5	7,30	keilförmig
30	EKH	mk	14,7	9,20	dreieckig
31	BKH	wk	3,5	7,00	rund
32	Kartäuser	wk	12,1	6,50	rund
33	EKH	mk	11,3	6,00	dreieckig
34	Maine Coon	mk	7,6	11,90	dreieckig
35	Siam	w	10,9	2,90	keilförmig
36	EKH	mk	8,1	5,10	dreieckig
37	EKH	mk	8,0	7,00	dreieckig
38	EKH	mk	10,8	4,70	dreieckig
39	Exotic Shorthair	w	1,5	2,90	rund
40	Perser	mk	5,5	3,8	rund

(w = weiblich, wk = weiblich kastriert, m = männlich, mk = männlich kastriert, KGW = Körpergewicht, EKH = Europäisch Kurzhaar, BKH = British Kurzhaar, rund = brachyzephal, dreieckig = mesozephal, keilförmig = dolichocephal)

Anhang

In Tabelle 23 sind die Ergebnisse des Tests auf Homogenität der Varianzen der Levenestatistik für die Hauptstudie unterteilt nach Hunden und Katzen und in Bezug auf die Kopfform und die Gewichtsklasse angegeben. In Tabelle 24 wurden zum einen das Verhältnis von Orbitavolumen zum Bulbusvolumen für die untersuchten Hunde und Katzen berechnet, zum anderen das Verhältnis aus Höhe, Breite und Tiefe der Orbita für die untersuchten Hunde und Katzen der Hauptstudie. Die Verhältnisse sind in Bezug auf die verschiedenen Kopfformen und die Gewichtsklassen angegeben.

Tabelle 23: Test auf Homogenität der Varianzen der durchgeführten Levene-Statistik für die Hauptstudie (N=40 Hunde, n=80 Augen; N=40 Katzen, n=80 Augen).

Variable	Hunde		Katzen	
	Kopfform	Gewichtsgruppe	Kopfform	Gewichtsgruppe
V _{Bulbus}	2,654	4,605	1,677	0,982
V _{retrGew}	2,739	4,368	1,431	1,037
V _{Orbita}	2,751	2,624	1,124	1,311
V _{GzygMptr}	0,150	19,312	0,363	9,016
H	5,475	1,839	5,863	5,141
B _{dorsal}	0,929	13,068	0,822	0,072
B _{ventral}	0,385	18,088	1,556	0,101
T _{gesamt}	3,139	3,032	4,427	1,582
T	0,961	2,809	0,102	1,157

Tabelle 24: Darstellung der Verhältnisse von Orbitavolumen in Bezug auf das Bulbusvolumen, sowie dem Verhältnis der Ausmaße der Orbita von Höhe, Breite und Tiefe für die untersuchten Hunde und Katzen der Hauptstudie anhand der Mittelwerte in Bezug auf die Kopfform bzw. die Gewichtsklasse (N=40 Hunde, n=80 Orbitae, N=40 Katzen, n= 80 Orbitae).

Variable	Hunde			Katzen		
	n	V _{Orbita} / V _{Bulbus}	H/ B _{dorsal} / T _{gesamt}	n	V _{Orbita} / V _{Bulbus}	H/ B _{dorsal} / T _{gesamt}
brachyzephal	26	1 : 2,70	1 : 1,18 : 0,90	18	1 : 1,90	1 : 1,17 : 0,94
mesozephal	44	1 : 2,82	1 : 1,38 : 1,01	52	1 : 1,93	1 : 1,23 : 0,99
dolichocephal	10	1 : 2,77	1 : 1,55 : 1,12	10	1 : 1,79	1 : 1,23 : 1,07
Gewichtsguppe 1	38	1 : 2,10	1 : 1,17 : 0,93	18	1 : 1,72	1 : 1,30 : 1
Gewichtsguppe 2	30	1 : 3,07	1 : 1,42 : 1,04	46	1 : 1,89	1 : 1,25 : 0,99
Gewichtsguppe 2	12	1 : 3,48	1 : 1,51 : 0,97	22	1 : 2,03	1 : 1,13 : 0,97

Veröffentlichungsverzeichnis

Falk, A.; 2012

Vermessung der Orbita von Hunden und Katzen als Grundlage für die Berechnung Intraorbitaler Prothesen zur Implantation nach Eukleation.

7. Doktorandensymposium des Fachbereich Veterinärmedizin der Freien Universität Berlin (13.07.2012)

Programm & Abstracts, Berlin, Mensch und Buch Verlag, 978-3-86387-153-6

Falk, A., Eule, J. C.; 2014

Dimensions of the bony orbit in dogs and cats.

Veterinary Ophthalmology; 17 (6); E24

Falk, A., Wergin, M., Eule, J. C.

Dimensions of the bony orbit in dogs and cats.

(Veterinary Ophthalmology in Vorbereitung)

Danksagung

Mein Dank gilt zunächst Frau Prof. Dr. Corinna Eule für die Überlassung des Themas und die herzliche und intensive Unterstützung bei der Durchführung dieser Arbeit. Danke für die vielen lehrreichen und anregenden Gespräche!

Des Weiteren möchte ich mich bei PhD Dr. Melanie Wergin für die Unterstützung bei der Umsetzung dieser Arbeit bedanken. Die Zeit in der Radioonkologie hat mir viel Freude bereitet!

Ein großes Dankeschön geht an Rüdiger Obst für die vielen wohlthuenden Gespräche und die großartige Unterstützung bei technischen Fragen!

Nicht zuletzt möchte ich mich bei meiner Familie und meinen Freunden bedanken.

Danke Papa für dein immer offenes Ohr, ich freue mich, dass du dich mit mir durch diese Arbeit gekämpft hast und mich all die Jahre unterstützt hast!

Liebe Tine, auch an dich ein riesen Dankeschön für all die angenehmen Stunden und deine Hilfe bei der Fertigstellung dieser Arbeit!

Conny auch dir möchte ich für die akribische Korrektur und deinen Blick fürs Detail danken.

Lieber Hans, ich danke dir für die technische Umsetzung der CD!

Alex, ich weiß, du wolltest nicht genannt werden, aber dennoch: Danke, dass du die letzten Jahre immer für mich da warst!

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit bestätige ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig angefertigt habe. Ich versichere, dass ich ausschließlich die angegebenen Quellen und Hilfen in Anspruch genommen habe.

Berlin, den 24.07.2014

Anika Falk