

SYLKE GRALLA

**Vergleich der kornealen Sensibilität von
brachyzephalen und mesozephalen Katzen
unter besonderer Berücksichtigung des
Brachyzephaliegrades**



INAUGURAL-DISSERTATION zur Erlangung des Grades eines **Dr. med. vet.**
beim Fachbereich Veterinärmedizin der Justus-Liebig-Universität Gießen



édition scientifique
VVB LAUFERSWEILER VERLAG

Das Werk ist in allen seinen Teilen urheberrechtlich geschützt.

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

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

1. Auflage 2014

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

1st Edition 2014

© 2014 by VVB LAUFERSWEILER VERLAG, Giessen
Printed in Germany



édition scientifique
VVB LAUFERSWEILER VERLAG

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

www.doktorverlag.de

Aus dem Klinikum Veterinärmedizin
Klinik für Kleintiere - Chirurgie
der Justus-Liebig-Universität Gießen

Betreuer: Dr. Dr. h.c. Martin Kramer

**Vergleich der kornealen Sensibilität von
brachyzephalen und mesozephalen Katzen
unter besonderer Berücksichtigung
des Brachyzephaliegrades**

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung des Grades eines

Dr. med. vet.

beim Fachbereich Veterinärmedizin
der Justus-Liebig-Universität Gießen

eingereicht von

Sylke Gralla

Tierärztin aus Freiberg

Gießen 2014

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

Dekan: Prof. Dr. Dr. h.c. Martin Kramer

1. Gutachter: Prof. Dr. Dr. h.c. Martin Kramer
2. Gutachter: Prof. Dr. Eberhard Burkhardt

Tag der Disputation: 04.02.2014

meinen Eltern

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Ziele	5
2	Literaturübersicht	7
2.1	Bulbus oculi	7
2.2	Hornhaut	9
2.2.1	Anatomie	9
2.2.2	Histologie	10
2.2.3	Sensible Innervation	13
2.2.4	Physiologie	16
2.2.5	Funktion der Kornea	17
2.3	Korneale Sensibilität	19
2.3.1	Bedeutung	19
2.3.2	Ästhesiometrie	20
2.3.3	Einflüsse auf die Hornhautsensibilität	27
2.3.4	Hornhautsensibilitätsmessung bei der Katze	32
2.4	Brachyzehalie bei der Katze	33
2.4.1	Gradeinteilung der felines Brachyzehalie	35
2.4.2	Rasseprädisposition für bestimmte Augenerkrankungen bei brachyzehaligen Katzen	36
2.5	Messung der Tränenproduktion	37
3	Material und Methoden	39
3.1	Studienaufbau	39
3.2	Patientengut	39
3.3	Signalement und Anamnese	40
3.4	Allgemeine klinische Untersuchung und Gruppenzuordnung	40
3.5	Spezielle Untersuchung der Augen und deren Anhangsorgane	43
3.5.1	Ästhesiometrische Augenuntersuchung	43
3.5.2	Schirmer-Tränen-Test I	44
3.5.3	Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit	45
3.6	Nachsorge	45
3.7	Statistische Auswertung	45

4	Ergebnisse	47
4.1	Patientendaten	47
4.1.1	Geschlecht	47
4.1.2	Alter	47
4.1.3	Rassen	48
4.1.4	Brachyzephaliegrad	49
4.1.5	Irisfarbe	50
4.1.6	Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit	50
4.2	Messergebnisse	51
4.2.1	Ästhesiometrie	51
4.2.2	Schirmer-Tränen-Test I	62
4.2.3	Fluoreszeintest	67
5	Diskussion	68
5.1	Diskussion der Methode	68
5.2	Diskussion der Ergebnisse	72
5.2.1	Hornhautsensibilität	72
5.2.2	Schirmer-Tränen-Test I	80
5.3	Klinische Schlussfolgerung	84
6	Zusammenfassung	86
7	Summary	88
8	Literaturverzeichnis	90
A	Anhang	102
A.1	Studienprotokoll	102
A.2	Messdaten	104
B	Abbildungsverzeichnis	110
C	Tabellenverzeichnis	112
D	Abkürzungsverzeichnis	113

1 Einleitung und Ziele

Brachycephale Rassen, sowohl Hunde- als auch Katzenrassen, haben aufgrund ihres verkürzten Gesichtsschädels häufig nicht nur vermehrt Probleme mit der Atmung, sondern zeigen im Vergleich zu anderen Rassen eine erhöhte Prädisposition gegenüber bestimmten Augenerkrankungen (BARNETT und CRISPIN, 1998, STADES et al., 1998, CULLEN et al., 2005b, DUBIELZIG et al., 2010). Beim Hund werden bestimmte Erkrankungen der Lider, Bindehäute und Hornhaut, die im Zusammenhang mit der brachycephalen Kopfform stehen, unter dem Begriff des okulären Brachycephalen-Syndroms zusammengefasst. Dazu gehören das nasale Entropium des Unterlides, flache Orbitae und der dadurch bedingte rassetypische Exophthalmus, das Makroblepharon, der Lagophthalmus, die Nasenfalten-trichiasis, die Keratitis superficialis pigmentosa sowie Epiphora (MAGGS, 2008c). Dabei stellt sich die Frage, ob diese erhöhte Prädisposition auch bei Katzen im Zusammenhang mit der Brachycephalie steht. Dies erscheint von Relevanz, da unter den 10 beliebtesten Katzenrassen nach wie vor brachycephale Katzenrassen auf den vorderen Plätzen vertreten sind.

So kommen Erkrankungen wie z.B. Abflussstörungen der Tränenflüssigkeit durch den Tränennasenkanal deutlich häufiger bei brachycephalen als bei mesozephalen Katzenrassen vor (MAGGS, 2008c, PETERSON-JONES und STANLEY, 2009). Eine besondere Prädisposition für die Keratoconjunktivitis sicca und Korneasequester haben vor allem Perserkatzen (BARNETT und CRISPIN, 1998). Als mögliche Ursache wird in der Literatur unter anderem eine herabgesetzte Hornhautsensibilität genannt (WAGNER, 2002).

In verschiedenen Studien werden Untersuchungen bezüglich der kornealen Sensibilität und Innervation der Hornhaut bei mesozephalen Katzen und Hunden durchgeführt (CHAN-LING, 1989, BLOCKER und VAN DER WOERDT, 2001, WAGNER, 2002, KAFARNIK, 2003, KAFARNIK et al., 2007, KAFARNIK et al., 2008). Zum Teil werden auch brachycephale und mesozepale Katzen bzw. Hunde miteinander verglichen, dies allerdings mit der Einschränkung, dass in keiner Studie der Grad der Brachycephalie der untersuchten Tiere beschrieben wird (BLOCKER und VAN DER WOERDT, 2001, WAGNER, 2002, KAFARNIK, 2003). In einer Studie ist zudem ein zu niedriges Ergebnis des Schirmer-Tränen-Tests I (STT I) (< 5 mm/min) ein Ausschlusskriterium (BLOCKER und VAN DER WOERDT, 2001), obwohl bei der Katze ein STT I-Ergebnis von weniger als 5 mm pro Minute ohne klinische Symptome als physiologisch beschrieben wird (BARNETT und CRISPIN, 1998, MAGGS, 2008a).

In der vorliegenden Arbeit soll die korneale Sensibilität von mesozephalen Katzenrassen im Vergleich zu brachycephalen Katzenrassen in Abhängigkeit vom Brachycephaliegrad bestimmt werden. Es soll untersucht werden, ob brachycephale Katzen im Vergleich zu

mesozephalen Katzen eine geringere Sensibilität der Kornea haben. Des Weiteren soll festgestellt werden, ob diese mit steigendem Brachycephaliegrad abnimmt. Als Nebenfragestellung soll geklärt werden, ob auch Faktoren wie Reiztränenproduktionsrate, Rasse, Alter, Geschlecht oder Irisfarbe einen Einfluss auf die korneale Sensibilität der Katze haben. In humanmedizinischen Studien konnte gezeigt werden, dass es beim chronisch trockenen Auge zu einer Abnahme der kornealen Sensibilität kommt. (BOURCIER et al., 2005, TOKER und ASFUROGLU, 2010). WIESER und Mitarbeiter (2012) können keine sichere Korrelation zwischen der kornealen Sensibilität und der Differenz von Reiztränensekretion und basaler Tränensekretion (STT I - STT II) feststellen.

2 Literaturübersicht

2.1 Bulbus oculi

Der Augapfel (Bulbus oculi), der bei der Katze eine Größe von ca. 21 mm hat und annähernd kugelförmig ist (FRIEDE, 1933, SAMUELSON, 2007), befindet sich in der knöchernen Orbita, und stellt das Rezeptororgan der Sinneswahrnehmung des Sehens dar. Die Katze ist das Haustier mit dem zum Körpergewicht relativ größten Augapfel (CLERC und KRÄHENMANN, 1990).

Der Sehnerv (Nervus opticus) verbindet den Augapfel mit den zentralen Sehbahnen und den Sehzentren (Area optica) im Gehirn (KÖNIG und LIEBICH, 2002, SIMOENS und GILLE, 2005). Der Bulbus oculi hat eine dreischichtige Wand: die äußere fibröse Augenhaut, die sich aus der weißen Lederhaut (Sklera) und der durchsichtigen Hornhaut (Kornea) zusammensetzt, die mittlere nährnde Aderhaut (Choroidea) und die innere nervale Netzhaut (Retina) (CLERC und KRÄHENMANN, 1990, KÖNIG und LIEBICH, 2002, SIMOENS und GILLE, 2005, SAMUELSON, 2007) (siehe Abb. 1). Der Innenraum des Bulbus oculi wird unterteilt in die vordere Augenkammer (Camera anterior bulbi), die sich zwischen Kornea und Vorderseite der Iris befindet, die hintere Augenkammer (Camera posterior bulbi), die sich zwischen der Rückseite der Iris, dem Ziliarkörper, den Zonulafasern und der Linse befindet und dem Glaskörperraum (Camera vitrea bulbi), welcher sich von der Hinterfläche der Linse, der Zonulafasern und des Ziliarkörpers bis zur Netzhaut erstreckt (KÖNIG und LIEBICH, 2002, SIMOENS und GILLE, 2005).

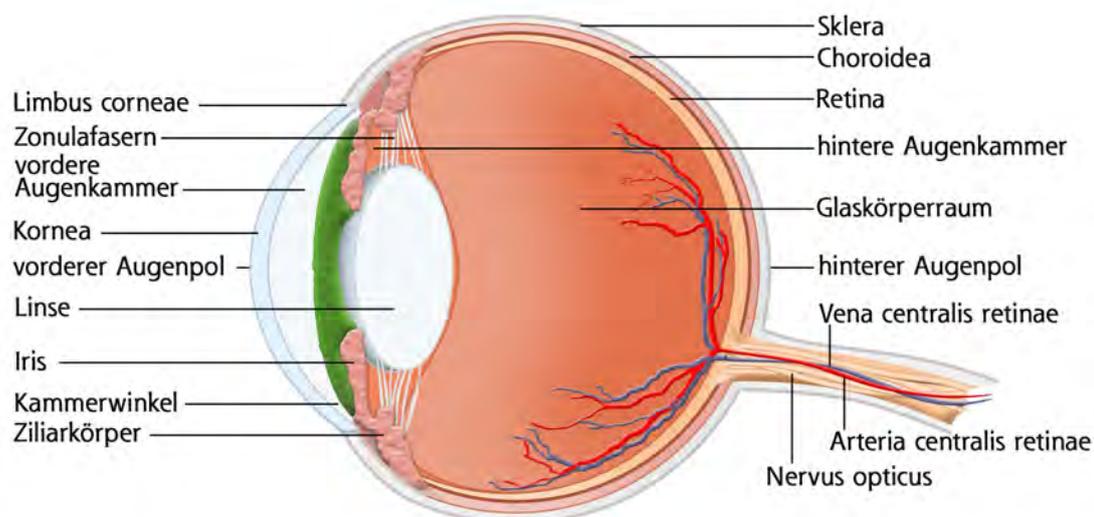


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Anatomie des Bulbus oculi im Sagittalschnitt durch den vertikalen Meridian mit Beschriftung der inneren Augenstrukturen.

Zu den Hilfs- und Nebenorganen des Auges zählen die Lider (Palpebrae), die Lidbindehaut (Tunica conjunctiva), die Nickhaut (Membrana nictitans) und der Tränenapparat (Apparatus lacrimalis). Ebenso gehören die äußeren Augenmuskeln (Musculi bulbi) mit ihren Faszien, Gefäßen, Nerven und dem orbitalen Fettgewebe, die sich zusammen mit dem Bulbus oculi in der knöchernen Orbita befinden, dazu (CLERC und KRÄHENMANN, 1990, KÖNIG und LIEBICH, 2002, SIMOENS und GILLE, 2005, SAMUELSON, 2007).

Zur genauen Orientierung am Bulbus werden verschiedene Lage- und Richtungsbezeichnungen angewendet. Der Scheitelpunkt der Kornea bildet den vorderen bzw. distalen Augenpol (Polus anterior bulbi oculi). Der proximale bzw. hintere Augenpol (Polus posterior) befindet sich auf der Hinterseite des Bulbus (KÖNIG und LIEBICH, 2002, SIMOENS und GILLE, 2005, SAMUELSON, 2007, MILLER, 2008a). Als Meridiane werden Verbindungslinien zwischen dem vorderen und hinteren Augenpol bezeichnet (KÖNIG und LIEBICH, 2002). Das Auge kann durch den vertikalen und horizontalen Hauptmeridian in vier Quadranten unterteilt werden (KÖNIG und LIEBICH, 2002, SAMUELSON, 2007, MILLER, 2008a). Daraus ergibt sich auch die Einteilung der Hornhautoberfläche in vier Quadranten (siehe Abb. 2), die nach ihrer Lage wie folgend benannt sind: dorso-nasal, dorso-temporal, ventro-temporal und ventro-nasal (NICKEL et al., 2004).

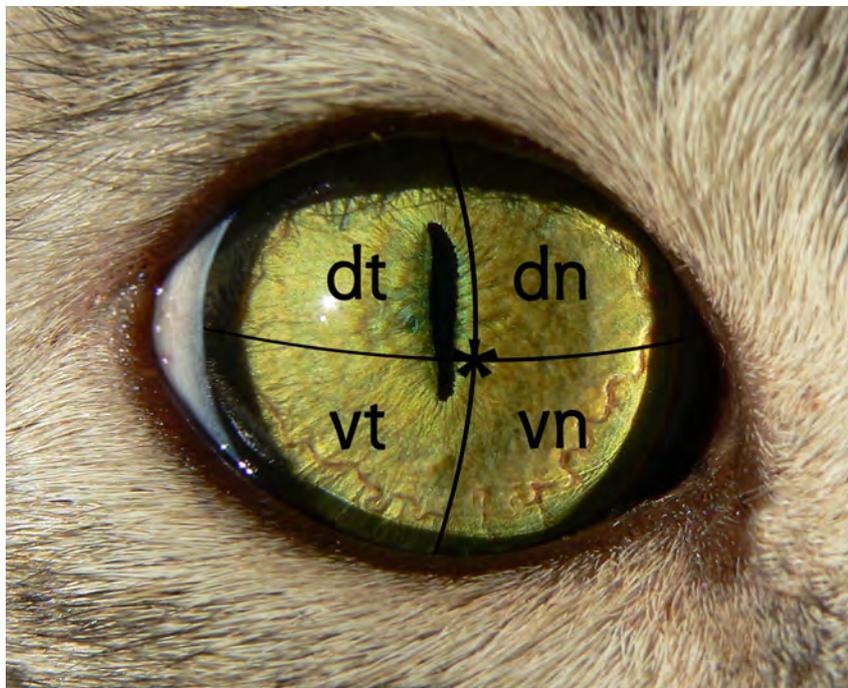


Abbildung 2: Einteilung einer Katzenkornea in vier Quadranten: dorso-temporal (dt), dorso-nasal (dn), ventrotemporal (vt) und ventro-nasal (vn).

Als optische Achse (*Axis opticus*) wird die gedachte Verbindungslinie durch die Mittelpunkte der verschiedenen lichtbrechenden Medien (Kornea, Kammerwasser, Linse und Glaskörper) bezeichnet, die durch die Pupille und anschließend auf die Mitte der Netzhaut trifft (KÖNIG und LIEBICH, 2002, SIMOENS und GILLE, 2005).

2.2 Hornhaut

2.2.1 Anatomie

Im Bereich des vorderen Augenpols ist die äußere Augenhaut stärker gewölbt und transparent. Dieser Anteil entspricht der Kornea und macht bei der Katze mit einer ungefähren Fläche von 316 mm^2 (NAGY et al., 2007) etwa zwei Fünftel der Fläche des Augapfels aus (CLERC und KRÄHENMANN, 1990). Der mittlere horizontale Durchmesser der Kornea beträgt bei der Katze 17 mm, der vertikale 16 mm (FRIEDE, 1933). Ihr Zentrum, welches gleichzeitig den vorderen Augenpol darstellt und damit der Punkt mit maximaler Vorwölbung ist, wird auch als *Vertex corneae* bezeichnet (KÖNIG und LIEBICH, 2002, SIMOENS und GILLE, 2005). Die Kornea der Katze weist nach MOODIE und Mitarbeitern (2001) mit einem Alter von 1-3 Jahren eine Brechkraft von ca. 39 Dioptrien (dpt) auf, womit die Hornhaut der Katze erheblich flacher als die des Menschen ist. Die Brechkraft ergibt sich aus dem Brechungsindex der Kornea und deren Krümmungsradius.

Die periphere Umrandung der Kornea wird als *Limbus corneae* bezeichnet, der beim Fleischfresser und Menschen nahezu kreisförmig verläuft (KÖNIG und LIEBICH, 2002, SIMOENS und GILLE, 2005). An diesem Übergang von Sklera zu Kornea ist außen eine seichte Rinne erkennbar, der Kornealfalz (*Sulcus sclerae*) (SIMOENS und GILLE, 2005). Im vorderen Randbezirk der Sklera ist diese besonders beim Fleischfresser zu einem Skleralwulst verdickt (bis 1,5 mm Dicke bei der Katze). Innenseitig liegt diesem ein bindegewebig-elastischer Grenzring (*Anulus sclerae*) an, auf dem der *M. ciliaris* verankert ist (KÖNIG und LIEBICH, 2002, SIMOENS und GILLE, 2005).

Die Kornea ist frei von Lymph- und Blutgefäßen. Lediglich im Limbusbereich befindet sich ein zartes Gefäßnetz. Über dieses sowie aus der Tränenflüssigkeit, dem Kammerwasser der vorderen Augenkammer, der palpebralen Konjunktiva und der Atmosphäre erfolgt die Ernährung der Kornea mittels Diffusion (KÖNIG und LIEBICH, 2002, SIMOENS und GILLE, 2005). Als berührungsempfindliches Organ ist die Kornea reich an sensiblen Schmerzrezeptoren der *Nn. ciliares longi*, die Äste des *N. ophthalmicus* sind, der aus dem *N. trigeminus* entspringt (CHAN-LING, 1989, SALOMON, 2005, SAMUELSON, 2007).

Angaben zur Dicke der adulten Katzenhornhaut schwanken zwischen 0,5 mm und 1,0 mm (FRIEDE, 1933, SIMOENS und GILLE, 2005, SAMUELSON, 2007), wobei sich zusätzlich die Dicke im Zentrum und in der Peripherie unterscheidet (siehe Tab. 1)

(SCHOSTER et al., 1995, SAMUELSON, 2007). MOODIE und Mitarbeiter (2001) ermitteln eine durchschnittliche Dicke der zentralen Hornhaut zwischen 0,37 mm für 9 Wochen alte Katzen und 0,56 mm für 67 Wochen alte Katzen. KAFARNIK und Mitarbeiter (2007) bestimmen mit einem anderen Messverfahren, der konfokalen Mikroskopie (in vivo), einen Wert von $0,565 \text{ mm} \pm 95 \text{ }\mu\text{m}$ im Bereich der zentralen Kornea bei Katzen mit einem Alter von weniger als 12 Monaten, sowie $0,598 \text{ mm} \pm 35 \text{ }\mu\text{m}$ bei Katzen mit einem Alter von über einem Jahr. SCHOSTER und Mitarbeiter (1995) zeigen mittels Ultraschall-Pachymetrie, dass die Hornhautdicke bei der Katze nicht uniform ist, sondern je nach Hornhautlokalisierung zwischen 0,523 mm bis 0,559 mm variiert. Die verschiedenen Hornhautdicken sind in Tab. 1 ersichtlich.

Tabelle 1: Mittels Ultraschall-Pachymetrie gemessene Hornhautdicken der Katze (SCHOSTER et al., 1995).

Hornhautlokalisierung	Hornhautdicke in mm
Dorsal-peripher	$0,538 \pm 0,039$
Dorso-nasal-peripher	$0,523 \pm 0,041$
Nasal-peripher	$0,530 \pm 0,042$
Ventro-nasal-peripher	$0,538 \pm 0,042$
Ventral-peripher	$0,539 \pm 0,037$
Ventro-temporal-peripher	$0,548 \pm 0,040$
Temporal-peripher	$0,559 \pm 0,043$
Dorso-temporal-peripher	$0,558 \pm 0,037$
Zentral	$0,546 \pm 0,048$

2.2.2 Histologie

Die Kornea weist bei der mikroskopischen Betrachtung eine Schichtung mit 5 verschiedenen Abschnitten auf (siehe Abb. 3). Die äußerste Schicht der Hornhaut ist das vordere Hornhautepithel (Epithelium anterius) und besteht aus einem mehrschichtigen, unverhornten Plattenepithel (SIMOENS & GILLE, 2005, SAMUELSON, 2007). Das vordere Hornhautepithel ist bei domestizierten Karnivoren zwischen 25 und 40 μm dick (SAMUELSON, 2007). Das Plattenepithel des vorderen Hornhautepithels besteht bei Katze, Hund und Vogel im Gegensatz zu anderen Tierarten aus lediglich einer säulenförmigen Zellschicht von Basalzellen, die der Basalmembran anliegen, nach anterior angrenzend aus zwei bis drei Schichten polyedrischer Zellen, die das Stratum spinosum bilden, und anterior aus zwei

bis drei Schichten unverhornter Epithelzellen (Stratum superficiale) (SAMUELSON, 2007). Vor allem im zentralen Anteil der Kornea weist das vordere Hornhautepithel, unter anderem aufgrund der von Epithelzellen ausgebildeten Mikrovilli und Mikroplicae, eine rauere Oberfläche auf. Dies ist einer der Mechanismen, durch den der präokulare Tränenfilm konstant auf der kornealen Oberfläche gehalten wird (SAMUELSON, 2007).

Die Basalmembran des vorderen Hornhautepithels wird als vordere Grenzmembran (Lamina limitans anterior) oder auch als Bowman-Membran bezeichnet (SIMOENS und GILLE, 2005). Diese ist ca. 30 bis 50 nm dick und besteht aus Kollagenfaserfibrillen vom Typ I, III, V und VI sowie aus verschiedenen Glykoproteinen (GORDON et al., 1994, SAMUELSON, 2007).

Auf die Lamina limitans anterior folgt nach posterior die Hauptschicht der Hornhaut, das Hornhautstroma (Substantia propria corneae) (SIMOENS und GILLE, 2005), das etwa 90 % der Gesamtdicke der Hornhaut ausmacht (SAMUELSON, 2007). Das Stroma besteht aus strukturlosen, oberflächenparallel verlaufenden Lamellen von Kollagenfaserbündeln, die über den gesamten Durchmesser der Kornea ziehen (GUM et al., 2007, SAMUELSON, 2007). Innerhalb einer Lamelle sind sämtliche Kollagenfibrillen parallel angeordnet, die Verlaufsrichtung der verschiedenen Lamellen zueinander unterscheidet sich hingegen stark (GUM et al., 2007, SAMUELSON, 2007). Innerhalb des anterior liegenden Drittels des Stromas sind die einzelnen Lamellen schmaler und dünner im Vergleich zu den posterior liegenden $2/3$ des Stromas (DAWSON et al., 2011). Während die verschiedenen Lamellen innerhalb des anterior liegenden Drittels ungeordnet, verflochten und in verschiedenen Winkeln zueinander liegen, sind die Lamellen in den posterior liegenden zwei Dritteln fast orthogonal und unverflochten zueinander angeordnet (DAWSON et al., 2011). Diese Lamellenanordnung gewährleistet eine maximale räumliche Steifigkeit und Elastizität (DAWSON et al., 2011). Zwischen den Lamellen befinden sich ortsfeste Fibrozyten, welche auch als Keratozyten bezeichnet werden (SAMUELSON, 2007). Keratozyten sind durch einen schmalen Kern, undefinierte Zellgrenzen und zarte Zellmembranen gekennzeichnet. Bei tiefen Verletzungen der Kornea sind diese in der Lage, sich in Fibroblasten umzuwandeln und nicht transparentes Narbengewebe zu bilden (SAMUELSON, 2007). Neben den ortsfestigen Zellen befinden sich im Stroma auch nicht ortsfeste Zellen, bei denen es sich in der Regel um Leukozyten handelt, die vom Limbus aus eingewandert sind (SAMUELSON, 2007).

Auf die Substantia propria corneae folgt die hintere Grenzmembran (Lamina limitans posterior), die Descemet-Membran genannt wird (SIMOENS und GILLE, 2005, SAMUELSON, 2007). Sie ist genau genommen eine übermäßig verdickte Basalmembran des hinteren Hornhautepithels und somit eine homogene, azelluläre Membran, welche die innere protektive Grenzschicht der Kornea bildet (SAMUELSON, 2007). Das Kollagen der Descemet-

Membran besteht aus zahlreichen Kollagenfasertypen, den Typen I, III, IV, V, VI und VIII (SAMUELSON, 2007). Im Laufe des Alters nimmt die Schichtdicke der Descemet-Membran weiter zu, da die Endothelzellen kontinuierlich und lebenslang Kollagen sezernieren (SAMUELSON, 2007, MAGGS, 2008b). Aufgrund ihrer extremen Dehnfähigkeit zieht sie sich bei Verletzung zusammen und bildet feste Knäule (SAMUELSON, 2007, MAGGS, 2008b).

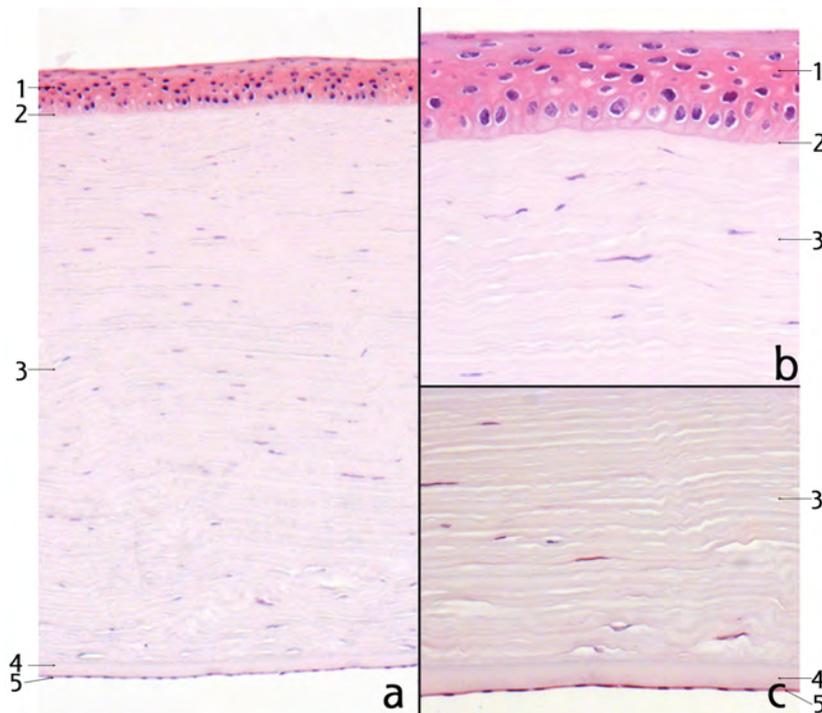


Abbildung 3: Histologischer Schnitt (H/E-Färbung) der Katzenkornea in 5-facher Mikroskopvergrößerung bei 1,25-facher Optovarvergrößerung (a), sowie der vorderen (b) und hinteren (c) Hornhautanteile in 20-facher Mikroskopvergrößerung bei 1,25-facher Optovarvergrößerung [1: vorderes Hornhautepithel (Epithelium anterius), 2: vordere Grenzmembran (Lamina limitans anterior/Bowman-Membran), 3: Substantia propria corneae, 4: hintere Grenzmembran (Descemet-Membran), 5: Hornhautendothel (Epithelium posterius)].

Die Descemet-Membran verbindet die Substantia propria corneae mit dem einschichtigen Hornhautendothel (Epithelium posterius), welches in Kontakt mit dem Kammerwasser kommt und die vordere Grenze der Vorderkammer bildet (SIMOENS und GILLE, 2005, SAMUELSON, 2007). Die Zellen weisen in der Regel eine hexagonale Form auf, die jedoch besonders bei Jungtieren nicht immer deutlich ausgeprägt ist. Die Zellen greifen fingerförmig ineinander und auf ihrer Oberfläche sind mittels Rasterelektronenmikroskop Mikrovilli und Poren erkennbar (SAMUELSON, 2007). Bei jungen Hunden beträgt die

Endothelzelldichte durchschnittlich bis zu 3000 Zellen/mm² (KINDLER, 1995, SAMUELSON, 2007). Die Anzahl der Zellen nimmt am stärksten innerhalb des ersten Lebensjahres ab und nähert sich nach etwa vier Jahren einem Wert von 2298 Zellen/mm² (KINDLER, 1995). Im Laufe des Lebens nimmt die Endothelzelldichte um ca. 50 % ab (SAMUELSON, 2007).

2.2.3 Sensible Innervation

Die sensible Innervation der Kornea erfolgt durch die sensiblen Fasern des N. ophthalmicus, der einer der drei Hauptnervenäste des N. trigeminus ist (SIMOENS und GILLE, 2005, GUM et al., 2007, MILLER, 2008a). Innerhalb der Schädelhöhle bilden die sensorischen Anteile des N. trigeminus das Ganglion trigeminale, welchem neben dem N. ophthalmicus auch noch der N. maxillaris und N. mandibularis entspringen (SALOMON, 2005, MILLER, 2008a). Der N. zygomaticus, welcher aus dem N. maxillaris hervorgeht, innerviert die Haut des unteren Augenlides über den Ramus zygomaticofacialis sowie die Haut des temporalen Lidwinkels und das laterale Oberlid über den Ramus zygomaticotemporalis (SALOMON, 2005). Die sensible Innervation der restlichen Augenstrukturen erfolgt vollständig über den N. ophthalmicus, dessen weitere Aufzweigung in Abb. 4 verdeutlicht werden soll. Durch die Fissura orbitalis verlässt der N. ophthalmicus die Schädelhöhle und teilt sich innerhalb der Orbita in den N. frontalis, den N. lacrimalis und den N. nasociliaris (SALOMON, 2005, MILLER, 2008a). Über den N. supraorbitalis und den N. supratrochlearis des N. frontalis erfolgt die sensible Innervation der Stirnhaut und der Haut des oberen Augenlides sowie dessen Konjunktiva (SALOMON, 2005, SIMOENS und GILLE, 2005). Zusätzlich wird das temporale obere Augenlid auch von Endaufzweigungen des N. lacrimalis versorgt (SALOMON, 2005, SIMOENS und GILLE, 2005). Aus dem stärksten Ast, dem N. nasociliaris gehen der N. ethmoidalis, der N. infratrochlearis sowie die Nn. ciliares longi ab (SALOMON, 2005). Der N. ethmoidalis ist für die sensible Versorgung der Nasenschleimhaut verantwortlich. Durch Äste des N. infratrochlearis werden der nasale Augenwinkel, die nasalen Bereiche des oberen Augenlides, die Nickhaut, der Tränensack sowie die Tränenkanälchen sensibel innerviert (SALOMON, 2005). Die sensible Versorgung der Choroidea, des Ziliarkörpers, der Iris, der bulbären Konjunktiva sowie der Kornea erfolgt über die Äste der Nn. ciliares longi, welche nahe dem N. opticus in den Bulbus eintreten (SALOMON, 2005, MILLER, 2008a). Außerdem bilden die Nn. ciliares longi variable Verbindungsweige zu den Nn. ciliares breves und dem Ganglion ciliare des N. oculomotorius (SALOMON, 2005).

CHAN-LING (1989) untersucht histologisch die Nerven aufzweigungen innerhalb der Kornea von 25 Hauskatzen mittels Goldchlorid-Imprägnierung. Dabei stellt er fest, dass die Hornhaut der Katze durchschnittlich von 19 Hauptnervenästen (16-20) innerviert ist, die vom hinteren Teil des mittleren Stromas radial von peripher in die Hornhaut eintreten

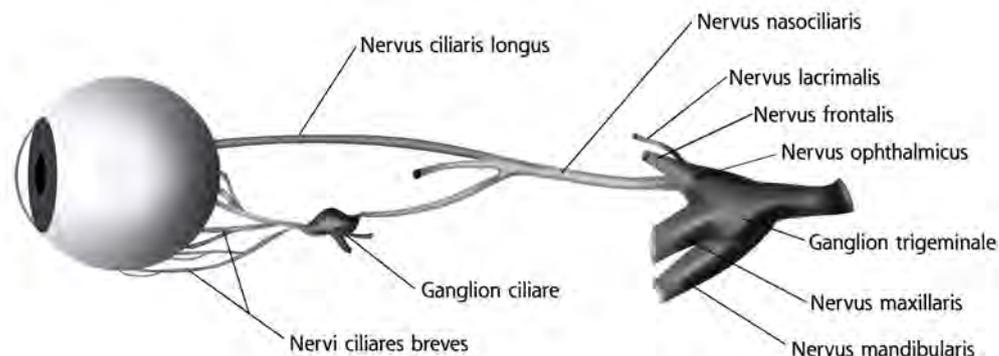


Abbildung 4: Schematische Darstellung der sensiblen Innervation des Bulbus oculi ab dem Ganglion trigeminale (modifiziert nach EBERWEIN, 2006).

und sich dann innerhalb der Kornea in die vorderen und zentralen Anteile des Stroma verzweigen und den vorderen stromalen Plexus bilden (siehe Abb. 5) (CHAN-LING, 1989, MARFURT et al., 2001). Jeder dieser peripheren Hauptnervenäste besteht aus etwa 30 bis 40 Axonen, die sich immer wieder zweiteilen, um schließlich die gesamte Kornea zu innervieren (MARFURT et al., 2001, GUM et al., 2007). Durch das radiale Eintreten der Nerven kommt es im zentralen Anteil der Kornea zum umfangreichen Überlappen von Nervenästen verschiedener Seiten, so dass es bei Stimulation dieser Region zur Erregung zahlreicher afferenter Fasern kommt (GUM et al., 2007). In den peripheren Anteilen der Hornhaut sind die Nervenfasern zum Großteil noch myelinisiert. Diese Myelinisierung geht aber zunehmend verloren, je weiter die Nervenfasern Richtung zentral ziehen (GUM et al., 2007).

Feine nach anterior ziehende Fasern bilden den anterioren stromalen Plexus, aber auch einen subepithelialen Plexus (CHAN-LING, 1989, MARFURT et al., 2001, KAFARNIK, 2003). Im zentralen Anteil der Hornhaut treten auch stromale Nervenfasern in das Epithel über und verlaufen innerhalb der epithelialen Basalzellschicht vorwiegend in Richtung zentral (CHAN-LING, 1989). Von diesen basalepithelialen Ästen gehen zahlreiche Endaufzweigungen ab, die weiter nach intraepithelial ziehen (CHAN-LING, 1989, MARFURT et al., 2001, KAFARNIK et al., 2008). Im hinteren Drittel des Hornhautstromas kann CHAN-LING (1989) bei Katzen keinerlei Nerven nachweisen. KAFARNIK (2003) kann im Gegensatz dazu auch tiefstromal bis hin zur Descemet-Membran eine nervale Innervation dokumentieren. Die Nervendichte in diesem Bereich ist jedoch gering (KAFARNIK, 2003).

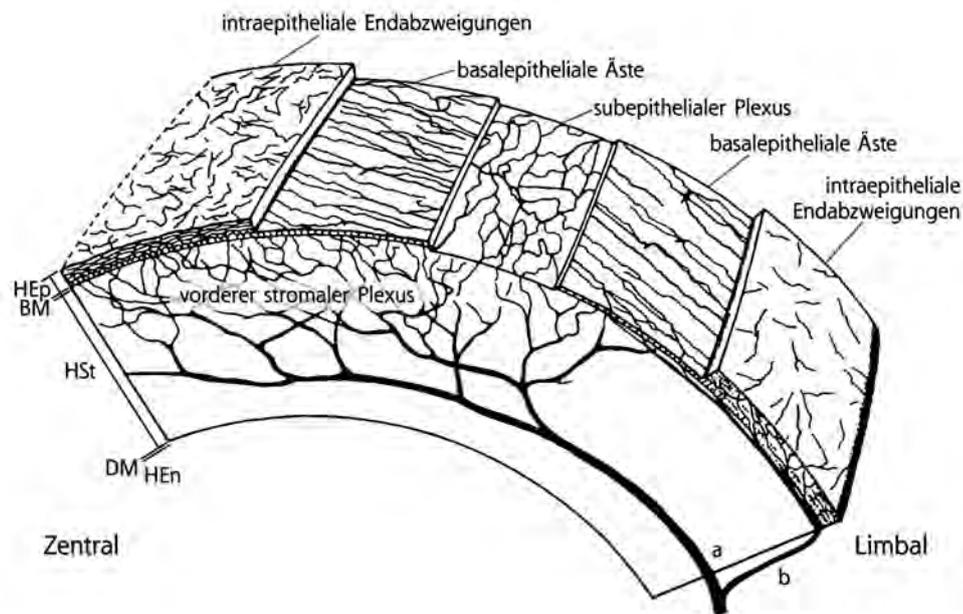


Abbildung 5: Schematische Darstellung der kornealen Innervation einer adulten Katze (modifiziert nach CHAN-LING, 1989). Die Hornhaut wird in ihrem Grundaufbau in das Hornhautepithel (HEp), die Bowman-Membran (BM), das Hornhautstroma (HSt), die Descemet-Membran (DM) und das Hornhautendothel (HEn) unterteilt. Es wird die Verzweigung eines von limbal in das hintere mittlere Stroma eintretenden Hauptnerven (a) dargestellt, der die zentrale Kornea innerviert. Diese Hauptnerven bilden den vorderen stromalen Plexus, sowie einen subepithelialen Plexus. Die Fasern des subepithelialen Plexus treten in das Hornhautepithel ein und stellen dort die basalepitheliale Äste sowie die intraepithelialen Endaufzweigungen dar. Die Innervation der peripheren Anteile der Kornea erfolgt durch einen von subepithelial und anterior stromal eintretenden Konjunktivalnerven (b).

KAFARNIK und Mitarbeiter (2008) bestimmen die Nervenfaserdichte von insgesamt 31 Tieren mittels konfokaler Mikroskopie (in vivo). Sie untersuchen dabei mesozephe und brachyzepehe Hunde und Katzen. Anzumerken ist, dass KAFARNIK und Mitarbeiter (2007, 2008) die von anderen Autoren als basalepithelial bezeichneten Nervenäste als subbasalen Nervenplexus benennen. Die Arbeitsgruppe kann eine Nervenfaserdichte von $12,39 \pm 5,25 \text{ mm/mm}^2$ im subepithelialen Nervenplexus und $14,87 \pm 3,08 \text{ mm/mm}^2$ im subbasalen Nervenplexus für mesozephe Hunde sowie eine Nervenfaserdichte von $15,49 \pm 2,7 \text{ mm/mm}^2$ und $18,4 \pm 3,84 \text{ mm/mm}^2$ für Hauskatzen bestimmen. Es besteht kein signifikanter Unterschied zwischen der subepithelialen Nervenfaserdichte von meso-

zephalen Katzen und Hunden, die subbasale (bzw. basalepitheliale) Nervenfaserdichte hingegen ist bei der Katze signifikant größer. Außerdem stellen KAFARNIK und Mitarbeiter (2008) sowohl subepithelial als auch subbasal eine signifikant geringere Nervenfaserdichte bei Perserkatzen im Vergleich zu Hauskatzen fest. Bei Katzen scheint hierdurch eine Abhängigkeit des Corneal Touch Threshold (CTT) und damit der Hornhautsensibilität zur Nervenfaserdichte im subbasalen Nervenplexus zu bestehen (KAFARNIK et al., 2008). Zwischen brachyzephalen und mesozephalen Hunden ist dagegen kein signifikanter Unterschied sowohl in Bezug auf die Nervenfaserdichte des subepithelialen als auch in Bezug auf die des subbasalen Nervenplexus vorhanden (KAFARNIK et al., 2008).

2.2.4 Physiologie

Die Kornea weist einen Zustand der relativen Dehydrierung auf, welche die Transparenz des kornealen Stromas gewährleistet (POTTS, 1962, GUM et al., 2007, MAGGS, 2008b). Um diesen Zustand zu wahren sind eine hohe metabolische Aktivität der Hornhaut und damit eine große Menge an Adenosintriphosphat (ATP) notwendig (POTTS, 1962, GUM et al., 2007).

Da die Hornhaut selbst gefäßfrei ist, erfolgt die Versorgung mit Nährstoffen und Sauerstoff über das Kammerwasser, den präokularen Tränenfilm, die Atmosphäre, die limbalen Gefäße sowie über die Gefäße der bulbären und palpebralen Konjunktiva (GUM et al., 2007, MAGGS, 2008b). Die Bildung von ATP erfolgt durch die Spaltung von Glukose, welche zum Großteil aus dem Kammerwasser zur Verfügung gestellt wird. Im Hornhautepithel steht sie auch über den Tränenfilm zur Verfügung (GUM et al., 2007, MAGGS, 2008b). Innerhalb der Kornea kann die Glukose auch als ihre Speicherform, dem Glykogen, vorliegen (GUM et al., 2007).

Die Spaltung der Glukose und die Bildung von ATP erfolgt am Hornhautepithel vor allem durch aerobe Glykolyse. Da für diesen Prozess Sauerstoff nötig ist, geschieht dies nur bei geöffneten Lidern (GUM et al., 2007). Die Glukose stammt vor allem aus dem Stroma. Im Rahmen der Glykolyse wird Glukose zu Pyruvat metabolisiert, welches dann entweder in Laktat umgewandelt wird oder über den Citratzyklus zur ATP-Bildung beiträgt. Zusätzlich kann am Hornhautepithel die Spaltung der Glukose auch über den Pentose-Phosphat-Weg verlaufen. Es kommt zur Bildung von reduziertem Nicotinsäureamid-Adenin-Dinukleotid-Phosphat (NADPH), Ribose-5-Phosphat und reduzierten Triphosphat-Pyridinen (GUM et al., 2007). Ribose-5-Phosphat ist zur Desoxyribonukleinsäure (DNA)- und Ribonukleinsäure (RNA)-Synthese notwendig. Aus reduzierten Triphosphat-Pyridinen werden Lipide synthetisiert (GUM et al., 2007). Das gebildete NADPH dient als Reduktionsmittel für reduktive Biosynthesen und liefert Elektronen und Protonen (LÖFFLER, 2005).

Die Keratozyten des Stromas haben im Vergleich zum Hornhautepithel und -endothel

eine relativ geringe metabolische Aktivität. Energie in Form von ATP ist vor allem zur Synthese von Kollagenfibrillen und Glykosaminoglykanen notwendig (GUM et al., 2007). Die Kationen-Konzentration der Kornea und die daraus resultierende relative Dehydrierung wird durch die Natrium-Kalium-ATPase in Epithel und Endothel gewährleistet (GUM et al., 2007, MAGGS, 2008b). Dieser Kationen-Pumpmechanismus ist im Hornhautendothel deutlich höher als im Epithel, woraus ein etwa fünfmal höherer Energiebedarf im Vergleich zum Korneaepithel resultiert (GUM et al., 2007). Hier erfolgt die Deckung des Energiebedarfs durch anaerobe Glykolyse und darauf folgendem Pentose-Phosphat-Weg und Citratzyklus (GUM et al., 2007).

Für die Aufrechterhaltung der relativen Dehydrierung ist allerdings nicht nur die Kationen-Konzentration von Relevanz, sondern auch die physikalische Barrierefunktion des Epithels und Endothels, der Tränenfilm, der intraokulare Druck und die Glykosaminoglykane. Diese sind in der Lage, Anionen, Kationen und Wasser zu binden, welche für eine regelmäßige Anordnung der Kollagenfibrillen verantwortlich sind (GUM et al., 2007, MILLER, 2008b, MILLER, 2008c, DAWSON et al., 2011). Trocknet der präokulare Tränenfilm, kommt es am Hornhautepithel zur Hypertonie und zum Austritt von Wasser aus der Kornea in den Tränenfilm (GUM et al., 2007). Auch die osmotischen Kräfte zwischen Tränenfilm, Stroma und Kammerwasser haben wahrscheinlich einen Einfluss auf die relative Dehydrierung, der genaue Mechanismus ist allerdings noch unbekannt (GUM et al., 2007).

2.2.5 Funktion der Kornea

2.2.5.1 Lichtdurchlässigkeit

Die gesunde Kornea ist in der Regel glatt, glänzend, feucht, transparent und frei von jeglichen Auflagerungen. Die Transparenz der Kornea wird durch verschiedene anatomische und physiologische Gegebenheiten gewährleistet, u.a. aufgrund fehlender Blutgefäße und Pigmente. Das unverhornte Plattenepithel der Hornhautvorderseite wird vom präokularen Tränenfilm versorgt und bildet so eine glatte Oberfläche. Der Status der relativen Dehydrierung, die Länge und regelmäßige Anordnung der stromalen Kollagenfibrillen tragen ihren Teil dazu bei, diese Transparenz aufrechtzuerhalten (SIMOENS und GILLE, 2005, SAMUELSON, 2007, MAGGS, 2008b). Die verschiedenen Zellschichten der Kornea resorbieren lediglich einen geringen Teil des kurzwelligen Lichtes, während der größte Anteil des Lichtes im sichtbaren Spektrum die Kornea passiert (GUM et al., 2007). Im normalen, gesunden Hornhautgewebe tragen die Fibroblasten des Stromas zur Transparenz durch Bildung fast vollständig transparenter, kristallinartiger Proteine bei (GUM et al., 2007). Im Falle von Hornhautverletzungen kommt es zum massiven Abfall der Proteinsynthese,

welche dann häufig über Wochen niedrig bleibt (GUM et al., 2007).

Die korneale Gesundheit wird vor allem durch den präokularen Tränenfilm, das Kammerwasser, den intraokularen Druck (IOD) und die Augenlider bestimmt. Jegliche Änderungen einer dieser Faktoren können eine Erkrankung der Kornea verursachen, die zum Verlust der Transparenz und damit auch zum Verlust oder zur Einschränkung der Sehkraft führen kann (GUM et al., 2007).

Pathophysiologische Reaktionen der Kornea, die mit einem Verlust der Transparenz einhergehen können, sind z.B. ein Ödem, eine Fibrose, eine Melanose, Vaskularisation, die Infiltration des Stromas mit Leukozyten, die Akkumulation abnormaler Substanzen innerhalb des Kornea (z.B. Lipide oder Minerale) oder die stromale Malazie (MAGGS, 2008b).

Die große Kornea der Katze ermöglicht einen optimalen Lichteinfall in das innere Auge. Gemeinsam mit anderen Adaptationsmechanismen des Katzenauges kann sie so auch nachts extrem gut sehen (MILLER, 2008a).

2.2.5.2 Lichtbrechung

Brechung beschreibt die Änderung der Ausbreitungsrichtung einer Welle (z.B. Licht) beim Übergang von einem transparenten Medium in ein anderes aufgrund unterschiedlicher Materialeigenschaften (z.B. Dichte) und damit verbundener unterschiedlicher Phasengeschwindigkeit. Die Brechkraft eines optischen Systems wird von den Brechungsindices und der Krümmung der Grenzflächen bestimmt. Wie viel Brechung ein Lichtstrahl beim Übergang von einem Medium in das andere erfährt, wird durch das Snelliussche Brechungsgesetz beschrieben. Je größer die Differenz der Brechungsindices ist, desto stärker ist die Brechung. Die Brechkraft einer Linse wird in Dioptrien (dpt) angegeben (MESCHÉDE, 2006).

Trifft ein Lichtstrahl auf das Auge, wird er durch die verschiedenen okularen Strukturen gebrochen. Zuerst trifft der Lichtstrahl auf den präokularen Tränenfilm, der beim Menschen einen Brechungsindex von 1,336 hat (MONTES-MICO et al., 2004). Die größte Differenz der Brechungsindices befindet sich am Übergang von Luft zum Tränenfilm, wodurch hier die stärkste Brechung stattfindet. Die nächste posterior liegende Struktur, die das Licht passiert, ist die Kornea. Bei vielen Säugetieren macht sie etwa 70-80 % der gesamten Brechkraft des Auges aus (MOODIE et al., 2001). Beim Menschen hat diese einen Brechungsindex von 1,376 die daraus resultierende Brechkraft entspricht 42,3 dpt (DUKE-ELDER, 1970). Die Brechkraft ist aber nicht nur abhängig vom Brechungsindex, sondern auch vom Krümmungsradius, wodurch die Kornea wie eine konvexe Linse funktioniert. Die Krümmung der Vorderfläche der Kornea kann mit einem Keratometer gemessen werden.

Die Krümmungsradien der Hornhaut variieren bei den verschiedenen Tierarten sehr stark und können auch innerhalb einer Art sehr variabel sein. Vor allem beim Hund besteht eine große Varianz bei den Angaben bezüglich der Brechkraft der Kornea. Hierbei werden Werte von 37,8 - 43,2 dpt angegeben (OFRI, 2007). Die Kornea der Katze weist je nach Autor im Alter von 1-3 Jahren eine Brechkraft von ca. 39 dpt (MOODIE et al., 2001) bzw. 43 dpt (HABIB et al., 1995) auf. Allgemein gilt, dass größere Augen in der Regel eine flachere Kornea und somit eine geringere Brechkraft haben (OFRI, 2007). Dementsprechend hat die Kornea einer Ratte eine größere Brechkraft im Vergleich zu der einer Katze oder eines Pferdes (OFRI, 2007).

Im weiteren Verlauf bricht sich der Lichtstrahl beim Übergang von der Kornea in das Kammerwasser der vorderen Augenkammer. Das Kammerwasser besitzt beim Menschen denselben Brechungsindex wie die Tränenflüssigkeit (1,336) (DUKE-ELDER, 1970), trägt aber nur geringfügig zur Brechung des Lichtes innerhalb des Auges bei (OFRI, 2007).

Ein weiterer signifikanter Beitrag zur Brechung des Lichtes wird durch die Linse gewährleistet. Wie bei der Kornea ist ihre Brechkraft abhängig vom Brechungsindex und Krümmungsradius der Linse. Beim Menschen hat die Linse einen Brechungsindex von 1,41 und eine Brechkraft von 19,11 dpt (DUKE-ELDER, 1970). Die Linse der Katze weist einen Brechungsindex von 1,554 und eine Brechkraft von 52,9 dpt auf (HUGHES, 1977), die Linse des Hundes hat eine Brechkraft von 41,5 dpt (DAVIDSON et al., 1993).

2.3 Korneale Sensibilität

2.3.1 Bedeutung

Die hauptsächliche Bedeutung der kornealen Sensibilität liegt in der Beteiligung am Kornealreflex und stellt damit eine wichtige Funktion zum Schutz des Auges dar. Wird ein bestimmter Schwellenwert bei Berührung oder Reizung der Hornhaut überschritten, kommt es zum raschen Zwinkern, zur Retraktion des Bulbus und zum Vorfall der Membrana tertiae (GUM et al., 2007, OLLIVIER et al., 2007, MILLER, 2008a).

Erfolgt eine Reizung der Hornhaut, wird das Signal afferent über die Nn. ciliares longi des N. ophthalmicus zum Ganglion trigeminale weitergeleitet, wo sich die Perikaryen der sensiblen Fasern befinden. Von hier aus erfolgt eine Weiterleitung zum Kerngebiet des N. trigeminus. Im Nucleus tractus spinalis nervi trigemini kommt es zur Umschaltung und Weiterleitung des Reizes zur Formatio reticularis, von wo aus der Reiz zum Nucleus nervi facialis geleitet wird. Über den efferenten Schenkel erfolgt die Reizantwort: diese beginnt über viszeromotorische Fasern aus dem Nucleus nervi facialis, welche dann den M. orbicularis oculi innervieren und damit den Lidschluss auslösen (SALOMON, 2005).

Eine Störung dieses Reflexbogens, wie dies zum Beispiel unter Lokalanästhesie, einer Paralyse des N. facialis oder N. trigeminus der Fall ist, kann zu schwerwiegenden okularen, insbesondere kornealen, Schäden führen (MILLER, 2008a).

Durch eine Störung im sensorischen Reflexbogen zwischen Kornea und Tränendrüsen kann es zu Abweichungen in der Zusammensetzung der Tränenflüssigkeit bis hin zu Symptomen eines trockenen Auges kommen (TERVO und MOILANEN, 2003). Von Menschen mit reduzierter kornealer Sensibilität ist bekannt, dass deren Kornea ein verändertes Heilungsvermögen zeigt (MÜLLER et al., 2003, TERVO und MOILANEN, 2003), so dass z.B. Hornhautulzera langsamer abheilen oder es zu einer verminderten Hornhauttransparenz kommen kann (BELMONTE et al., 2011). Neuropeptide und Neurotransmitter aus den kornealen Nervenendigungen sollen zudem einen großen Einfluss auf die Aufrechterhaltung der physiologischen Zellerneuerung durch Stimulation kornealer Epithelzellen haben (MÜLLER et al., 2003).

2.3.2 Ästhesiometrie

2.3.2.1 Definition

Die Ästhesiometrie bezeichnet die Messung der Sensibilität verschiedener Körperoberflächen. Die Innervation des Korneaepithels ist im Vergleich zu anderen Oberflächenepithelien am dichtesten (OLLIVIER et al., 2007). In der Humanmedizin ist die Ästhesiometrie bei kornealen Infektionen, unklaren Hornhauterkrankungen, nutritiven Hornhautstörungen und neuroophthalmologischen Fragestellungen von Bedeutung (BURK und BURK, 2005, EBERWEIN, 2006, GOLEBIEWSKI et al., 2011, TENSÓN et al., 2012).

2.3.2.2 Messverfahren

Eine einfache Art, die Sensibilität der Kornea auch ohne spezielles Instrumentarium nachzuweisen, ist die vorsichtige Berührung mit einem ausgezogenen Wattebausch (BURK und BURK, 2005, EBERWEIN, 2006). Dabei wird die Spitze des Wattebausches von der Seite herangeführt, um ein Auslösen der Drohreaktion zu vermeiden, und vorsichtig auf die Kornea aufgesetzt. Ist die Reizschwelle überschritten, wird der Kornealreflex ausgelöst (BURK und BURK, 2005, OLLIVIER et al., 2007). Es kommt zur Retraktion des Bulbus oculi, zum Vorfall der Nickhaut sowie zum Schließen der Augenlider (OLLIVIER et al., 2007). Bei diesem Reflex werden der N. trigeminus (V. Gehirnnerv), der N. abducens (VI. Gehirnnerv) sowie der N. facialis (VII. Gehirnnerv) getestet (GUM et al., 2007, OLLIVIER et al., 2007, MILLER, 2008a). Diese Testdurchführung kann allerdings keine quantitative Aussage über die Hornhautsensibilität geben.

Um eine quantitative Aussage über die Sensibilität der Kornea geben zu können, ist die Ästhesiometrie mittels Hornhaut-Ästhesiometer notwendig. Dabei wird der Hornhautsensibilitätsschwellenwert (CTT [Corneal Touch Threshold]) bestimmt (OLLIVIER et al., 2007). Wird dieser Schwellenwert überschritten, kommt es zum Auslösen des Kornealreflexes. Wird der CTT in Gramm pro Quadratmillimeter (g/mm^2) oder Milligramm pro Fläche des Fadenquerschnittes (mg/A_Q) angegeben, so ist dieser Wert umgekehrt proportional zur Hornhautsensibilität (OLLIVIER et al., 2007). Je geringer also der CTT ist, desto sensibler ist die Hornhaut und umgekehrt.

Mittels Ästhesiometrie ist es zudem gut möglich, die Sensibilität der verschiedenen Hornhautregionen zu bestimmen (CHAN-LING, 1989, BROOKS et al., 2000, OLLIVIER et al., 2007).

2.3.2.3 Geschichte der Ästhesiometrie

Eine erste quantitative Messung der kornealen Sensibilität erfolgt 1894 durch VON FREY. In seinen Studien beschäftigt er sich vor allem mit den sensiblen Wahrnehmungen der Haut, wobei aber ein großer Teil seiner Arbeit auch der Sensibilität am Auge, insbesondere an der Kornea, gewidmet ist (VON FREY, 1894). Zur Sensibilitätsmessung nutzt er an Holzstäbchen befestigte Haare unterschiedlicher Dicke und Länge. Den Durchmesser des Haares bestimmt er mittels Mikroskop, den dadurch ausgeübten Druck mit Hilfe einer Waagschale und entsprechenden Gegengewichten (VON FREY, 1894). Dies ermöglicht ihm, den ausgeübten Druck pro Haarquerschnitt in g/mm^2 zu errechnen (VON FREY, 1894). LELE und WEDDELL (1956) modifizieren diese Untersuchungsmethode und ersetzen die Haare durch Fadenmaterial aus Nylon unterschiedlicher Dicke. Des Weiteren untersuchen sie weitere Reizmodalitäten, um die Sensibilität der Kornea zu testen: dazu werden beispielsweise ein temperierter Kupfer-Zylinder, welcher vollständig der zentralen Kornea aufliegt, Luftstöße unterschiedlicher Temperatur sowie Infrarotlicht mit einer Wellenlänge zwischen 1 und 3 μm verwendet.

Auf VON FREYs (1894) Grundprinzipien basieren die Ästhesiometer nach BOBERGANS (1956) und COCHET und BONNET (1961). Bei beiden Ästhesiometern erfolgt die Änderung des auf die Oberfläche ausgeübten Druckes über die Verkürzung eines Nylonfadens definierter Stärke. Aufgrund der physikalisch-chemischen Eigenschaften des Nylonfadens lässt sich so der pro Fadenquerschnittsfläche ausgeübte Druck errechnen. SCHIRMER (1963) modifiziert diesen Aufbau, indem er am Ende des Nylonfadens eine Plastikplatte zur Vergrößerung der Berührungsfläche befestigt. Soll die Sensibilität eines bestimmten Hornhautareals bestimmt werden, so kann diese Platte durch eine Plastikspitze ersetzt werden.

Da die Messergebnisse aller bisher beschriebenen Ästhesiometer von der untersuchenden Person abhängig sind, entwickelt DREAGER 1967 ein optisch-mechanisches Handästhesiometer, bei dem die Berührung der Kornea optisch genau dargestellt wird und die Messeinheit mechanisch auf die Kornea geführt wird (MAMMEN, 2001). Auch LARSON und MILLODOT entwickeln 1968 ein neues Ästhesiometer, um den Einfluss des Untersuchers zu minimieren. Bei diesem Instrument wird ein durch eine Flamme sterilisierbarer Platin-Draht mit immer derselben Kraft automatisch auf die Hornhaut geführt.

Da die Verwendung von Kontakt-Ästhesiometern besonders bei hypoästhesischer Kornea als problematisch zu erachten ist, da sie zu mikroskopischen Schäden am Hornhautepithel führen kann (BELMONTE et al., 1999), kommt es ebenfalls zur Entwicklung von Ästhesiometern ohne direkten Kontakt zur Hornhautoberfläche. Erstmals wird bereits 1898 durch NAGEL versucht, eine korneale Reaktion mittels Luftstrom zu provozieren (BOBERG-ANS, 1956). Moderne Geräte, die eine quantitative Hornhautsensibilitätsmessung mittels Luftstößen möglich machen, werden von MURPHY et al. (1996) und BELMONTE et al. (1999) entwickelt. Das von BELMONTE und Mitarbeitern (1999) entwickelte Ästhesiometer macht neben der Bestimmung der kornealen Sensibilität mittels mechanischen Reizen auch eine chemische Stimulation mittels variierbarer CO₂-Konzentration möglich. Zusätzlich ist auch die Temperatur der zur Stimulation verwendeten Luft einstellbar (BELMONTE et al., 1999).

Eine Vergleichbarkeit der Messergebnisse zwischen Kontakt- und kontaktlosen Ästhesiometern ist bisher allerdings nicht gegeben (MURPHY et al., 1998, BELMONTE et al., 1999, GOLEBIEWSKI et al., 2011). In der Humanmedizin wird die Messung der kornealen Sensibilität mittels kontaktloser Ästhesiometer, wie dem CRCERT-Belmonte Ästhesiometer aufgrund seiner geringeren Invasivität und der Möglichkeit der Messung verschiedener Reizmodalitäten als Goldstandard angesehen (GOLEBIEWSKI et al., 2011, TENSÓN et al., 2012). Die Sensibilitätsbeurteilung einzelner Hornhautabschnitte ist allerdings mit einem Kontaktästhesiometer besser durchführbar (EBERWEIN, 2006).

2.3.2.4 Ästhesiometer nach COCHET und BONNET

Das Ästhesiometer nach COCHET und BONNET hat in der Tiermedizin aufgrund der leichten Handhabbarkeit sowie Transportierbarkeit die größte Bedeutung zur Messung der Hornhautsensibilität behalten. Kontaktlose Ästhesiometer, die mittels Luftströmen arbeiten, haben in der Veterinärmedizin keine Bedeutung. Dies liegt zum einen an deren Größe und zum anderen am Aufbau der benötigten Apparatur, bei dem der Abstand der Hornhaut zur Luftdüse exakt eingehalten werden muss. Dies wird in der Humanmedizin durch eine Kinnauflage und Stirnstütze gewährleistet, die den Kopf des Patienten in richtiger

Position halten (BOBERG-ANS, 1956, KOHLHAAS et al., 1994, GOLEBIEWSKI et al., 2011). Eine Anwendung am Tier ist aufgrund mangelnder Kooperation sowie der Kopfform und Position der Augen innerhalb des Schädels schwierig.

Das COCHET-BONNET-Ästhesiometer besteht aus einem Nylonfaden definierter Dicke, welcher innerhalb eines Metallrohres von etwa 0,5 mm Durchmesser geführt wird. Dieses ist umgeben von einem weiteren Metallrohr eines größeren Kalibers, welches beidseits über einen Schraubmechanismus verschlossen wird. Dies verleiht dem Ästhesiometer ein stiftartiges Aussehen (siehe Abb. 6. und Abb. 7) und bietet dem Messfilament größtmöglichen Schutz. Über die Schraubmechanismen kann das Ästhesiometer geöffnet und vollständig zerlegt werden, wodurch ein Fadenwechsel möglich ist. Über einen Schiebemechanismus kann die Fadenzahl anhand einer Skala stufenlos von 5 mm bis 60 mm eingestellt werden. Mittels eines Gummirings kann diese Einstellung fixiert werden.



Abbildung 6: Ästhesiometer nach COCHET und BONNET der Firma Luneau mit Fadeneinstellung auf null.



Abbildung 7: Nahaufnahme der Spitze des COCHET-BONNET-Ästhesiometers mit herausragendem Nylonfaden

Zur Messung der kornealen Sensibilität wird das Ästhesiometer beginnend mit langer Fadenzahl von vorne auf die Kornea geführt (siehe Abb. 8). Dabei sitzt der Untersucher etwas seitlich des zu untersuchenden Tieres, um den Kontakt des Filamentes mit der Hornhaut gut beurteilen zu können (WAGNER, 2002). Die Untersuchung sollte in ruhiger Umgebung erfolgen. Lider und Kopf des Tieres sollten dabei nur so wenig wie nötig fixiert

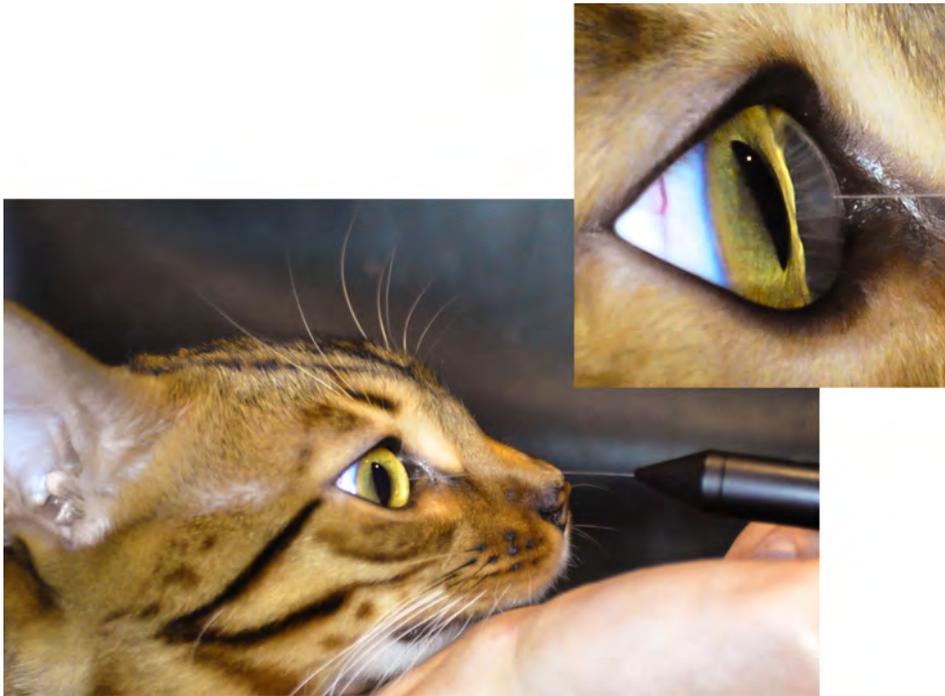


Abbildung 8: Anwendung des Ästhesiometers nach COCHET-BONNET zur Messung der Hornhautsensibilität einer Bengalkatze, aus seitlicher Perspektive. Die Vergrößerung verdeutlicht das Auftreffen des Messfilamentes auf die Kornea.

werden (BROOKS et al., 2000). Es muss darauf geachtet werden, dass das Filament langsam in Richtung Hornhaut geführt wird und die Kornea lotgerecht und nicht tangential getroffen wird (EBERWEIN, 2006). Dabei soll der Faden eine 4 %ige Biegung aufweisen, was bereits einer minimal sichtbaren Biegung entspricht, da mit einer stärkeren Biegung auch der auf die Hornhaut ausgeübte Druck ansteigt und es dann zu Abweichungen zu der entsprechenden Umrechnungsskala kommt (LUNEAU, 2000, EBERWEIN, 2006). Wird der Hornhautsensibilitätsschwellenwert überschritten, kommt es zu einer Reflexantwort in Form von Lidschluss, Retraktion des Bulbus und Vorfall der Nickhaut (OLLIVIER et al., 2007). In der Humanmedizin orientiert man sich auch an einer verbalen Antwort des Patienten. Erfolgt keine Reflexantwort, so wird der Faden jeweils um 5 mm verkürzt bis eine Reflexantwort erfolgt. Anhand der Konvertierungstabelle kann dann die entsprechende Fadenlänge in den ausgeübten Druck (in Milligramm pro Fadenquerschnittsfläche bzw. in Gramm pro Quadratmillimeter) umgewandelt werden (siehe Tab. 2). Kürzere Fadenlängen korrelieren mit einem stärkeren auf die Hornhautoberfläche ausgeübten Druck (siehe Tab. 2 sowie Abb. 9 und Abb. 10). Die Auslösung des Reflexes mit einem langen Faden und somit einem geringen mittleren Druck signalisiert eine hohe Sensibilität (MURPHY et al., 1998).

Tabelle 2: Konvertierungstabelle für das Ästhesiometer nach COCHET und BONNET (1960) nach Angaben der Firma Luneau (2000) - Tabellarische Darstellung der eingestellten Fadenlängen in Millimetern (mm) und der damit ausgeübten mittleren Druckwerte in Milligramm (mg) pro Fadenquerschnittsfläche A_Q ($A_Q = 0,0113 \text{ mm}^2$ bei $\varnothing 12/100 \text{ mm}$) bzw. in Gramm pro Quadratmillimeter (g/mm^2).

Fadenlänge in mm	60	55	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5
Mittlerer Druck in mg/ A_Q	5	5,5	6	8	9,5	11,5	15,5	20,5	31,5	58	116	180
Mittlerer Druck in g/mm^2	0,4	0,5	0,55	0,7	0,8	1	1,4	1,8	2,8	5,1	10,3	15,9

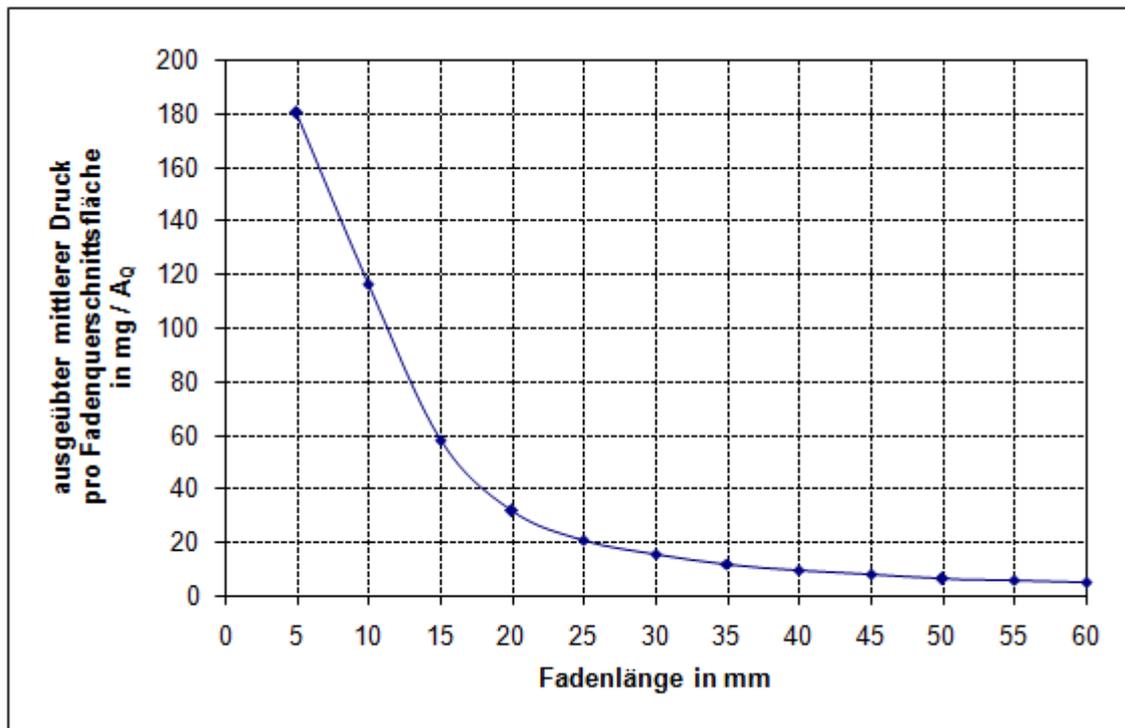


Abbildung 9: Kalibrierungskurve des COCHET-BONNET-Ästhesiometers (12/100 mm Filament) zur Darstellung des Zusammenhangs der Fadenlänge in Millimetern und dem ausgeübten mittleren Druck in Milligramm pro Fadenquerschnittsfläche ($A_Q = 0,0113 \text{ mm}^2$).

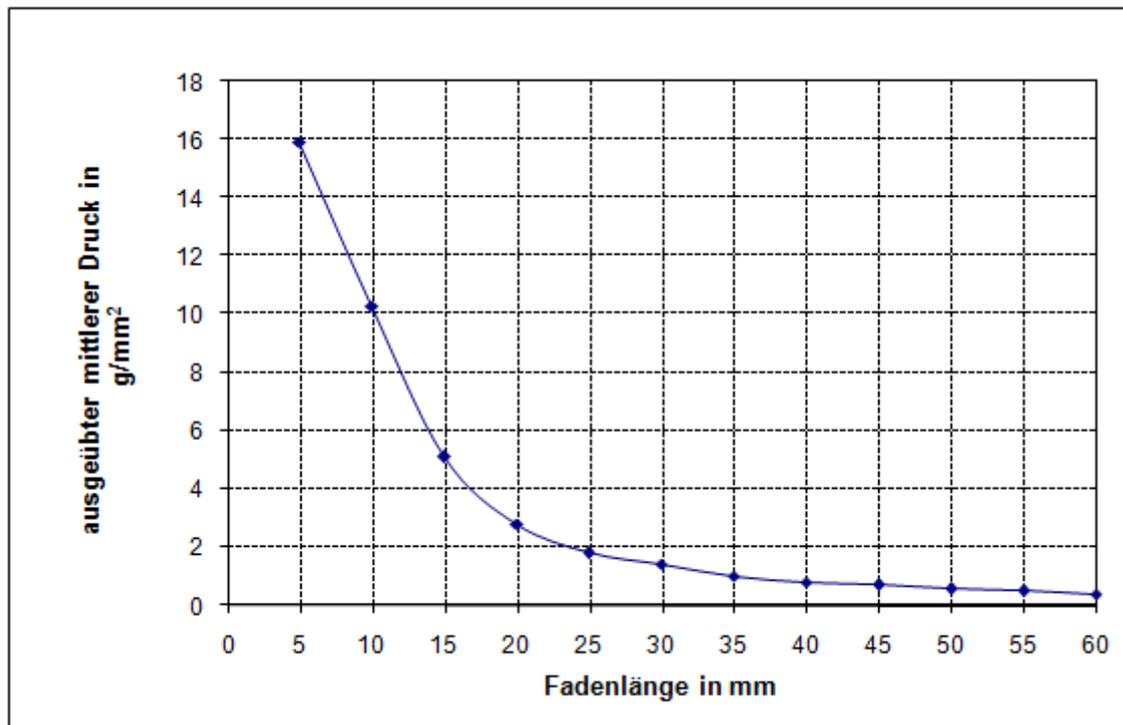


Abbildung 10: Kalibrierungskurve des COCHET-BONNET-Ästhesiometers (12/100 mm Filament) zur Darstellung des Zusammenhangs der Fadenlänge in Millimetern und dem ausgeübten mittleren Druck in Gramm pro Quadratmillimeter.

Obwohl in der Veterinärmedizin am häufigsten eingesetzt, weist das Ästhesiometer nach COCHET und BONNET zahlreiche Nachteile auf: die Kalibrierung des Fadens erfolgt auf einer Messbank unter durchschnittlichen mitteleuropäischen Bedingungen, d.h. einer Temperatur von 21°C und 55 % Luftfeuchtigkeit. Es besteht demnach eine Abhängigkeit der Messergebnisse von Raumtemperatur und Luftfeuchtigkeit (LUNEAU, 2000). Eine eindeutige Abgrenzung zwischen einem reflektorischen und willkürlichen Lidschluss kann schwierig sein (EBERWEIN, 2006). Außerdem können Berührungen der Augenumgebung oder der wimpernähnlichen Haare zu einem Lidschluss führen (EBERWEIN, 2006). Die Berührung der Kornea mittels Messfilament und die Biegung des Fadens sind unter Umständen schwierig zu beurteilen, wodurch es zu zusätzlichen Messungenauigkeiten kommen kann (LARSON, 1970). Die Spitze des Fadens muss immer lotgerecht aufgesetzt werden, da bereits eine geringgradige Abweichung zur Änderung des ausgeübten Druckes auf das Korneaepithel führt (LARSON, 1970, EBERWEIN, 2006). Eine Messung dieses Winkels ist allerdings für den Untersucher nicht möglich, was eine exakte Aussage über ausgeübte Kräfte nicht möglich macht (LARSON, 1970). Besonders bei langer Fadeneinstellung biegt sich der Faden bereits aufgrund seines Eigengewichtes. Damit die Faden-

spitze lotgerecht auf die Kornea aufgesetzt werden kann, muss das Handstück mit dem vorderen Ende etwas nach oben gerichtet gehalten werden (LARSON, 1970). Durch ein zu schnelles Aufsetzen des Filamentes auf die Kornea oder eine zu schnelle Steigerung der Intensität kann es zu Verfälschungen der Messergebnisse kommen (EBERWEIN, 2006). Die Fadenspitze des Messfilamentes wird mittels scharfer Skalpellklinge auf die entsprechende Länge gekürzt, dadurch ist jedoch die Form der Fadenspitze nicht reproduzierbar. Daraus resultierend ist die exakte Form der Druckübertragung auf die Hornhaut nicht bekannt (LARSON, 1970). Der Nylonfaden selbst ist nur schwer zu desinfizieren (LARSON, 1970), zusätzlich ist die Elastizität des Fadens auch abhängig von der vorangegangenen Desinfektion (EBERWEIN, 2006).

Bedingt durch die mechanische Belastung während der Messung durch Berührung der Kornea mit der Fadenspitze sollte dieses Messverfahren bei bestimmten Indikationen wie kornealen Erosionen oder gestörter kornealer Epithelheilung nicht angewendet werden, obwohl die Ästhesiometrie bei diesen Indikationen durchaus Bedeutung hätte (MURPHY et al., 1996). Weiterhin können bereits geringgradige Schäden am Korneaepithel eine fehlerhafte Erhöhung der Hornhautsensibilität zur Folge haben und eine tatsächlich hypoästhetische Kornea maskieren (MURPHY et al., 1996).

Ein Großteil der beschriebenen Nachteile des COCHET-BONNET-Ästhesiometers ist unumgänglich. Um aber zumindest den Einfluss des Untersuchers auf die Messergebnisse innerhalb einer Studie gering zu halten und die Homogenität der Messergebnisse zu gewährleisten, wird empfohlen, den Untersucher innerhalb einer Studie nicht zu wechseln (BROOKS et al., 2000, BLOCKER und VAN DER WOERDT, 2001).

2.3.3 Einflüsse auf die Hornhautsensibilität

2.3.3.1 Einfluss der Körperseite auf die Hornhautsensibilität

CHAN-LING (1989) sowie KAFARNIK (2003) können keinen statistisch signifikanten Unterschied der Hornhautsensibilität zwischen dem linken und rechten Auge von Hauskatzen nachweisen. Dies wird auch für adulte, augengesunde Pferde (KAPS et al., 2003), Hunde (CULLEN et al., 2005a, RANKIN et al., 2012) und Chinchillas (MÜLLER et al., 2010) gezeigt.

2.3.3.2 Einfluss der Messstelle auf die Hornhautsensibilität

Die zentrale Kornea kann im Vergleich zu den peripheren Anteilen bei unterschiedlichen Tierarten als empfindlichste Region der Hornhaut nachgewiesen werden (CHAN-LING, 1989, BROOKS et al., 2000, BLOCKER und VAN DER WOERDT, 2001, WAGNER, 2002, KAFARNIK, 2003, KAPS et al., 2003, RANKIN et al., 2012). Dies hängt wahr-

scheinlich mit der überlappenden Hornhautinnervation im zentralen Bereich zusammen. Zudem erscheint es sinnvoll, dass die peripheren Areale, insbesondere ventral und dorsal, weniger empfindlich sind, da sie eher dem Druck der Lider ausgesetzt sind (CHAN-LING, 1989, GUM et al., 2007, KAFARNIK et al., 2008). Im Gegensatz dazu kann bei Greifvögeln gezeigt werden, dass kein signifikanter Unterschied bezüglich der Sensibilität zwischen den verschiedenen Hornhautregionen besteht (LACERDA et al., 2013).

2.3.3.3 Einfluss des Alters auf die Hornhautsensibilität

Ein Einfluss des Alters auf die Hornhautsensibilität weist WAGNER (2002) bei augengesunden Europäisch Kurzhaar Katzen sowie bei augengesunden Perserkatzen nach. KAFARNIK (2003) kann dies allerdings weder für Katzen noch für Hunde bestätigen. Ein Zusammenhang zwischen Alter und kornealer Sensibilität scheint auch bei Pferden (BROOKS et al., 2000, KAPS et al., 2003), bei Alpakas (RANKIN et al., 2012, WELIHOZKIY et al., 2011) und Greifvögeln (LACERDA et al., 2013) vorhanden zu sein. Generell kann gesagt werden, dass die korneale Sensibilität mit steigendem Alter abnimmt (BROOKS et al., 2000, WAGNER, 2002, KAPS et al., 2003, RANKIN et al., 2012, LACERDA et al., 2013). Lediglich WELIHOZKIY und Mitarbeiter (2011) dokumentieren eine geringere korneale Sensibilität bei Jungtieren im Vergleich zu adulten Alpakas.

MÜLLER und Mitarbeiter (2010) können bei der Untersuchung von 61 Chinchillas keine Korrelation zwischen Alter und kornealer Sensibilität feststellen.

2.3.3.4 Einfluss des Geschlechts auf die Hornhautsensibilität

Bezüglich des Zusammenhangs zwischen Geschlecht und Hornhautsensibilität bei Tieren kommen die Autoren diverser Studien zu unterschiedlichen Ergebnissen.

WAGNER (2002) kann keine eindeutigen Unterschiede der Hornhautsensibilität zwischen den Geschlechtern feststellen: so ist für das rechte Auge bei augengesunden Europäisch Kurzhaar Katzen ein signifikanter Unterschied in 3 der 5 Messregionen zwischen weiblichen und männlichen Tieren nachvollziehbar, allerdings nicht für das linke Auge. Beim Vergleich von augengesunden männlichen und weiblichen Perserkatzen ergibt sich in keiner Messstelle ein signifikanter Unterschied zwischen den Geschlechtern (WAGNER, 2002). KAFARNIK (2003) kann keinen Einfluss des Geschlechtes auf die Hornhautsensibilität von Katzen und Hunden nachweisen. Bei Pferden (KAPS et al., 2003), Alpakas (WELIHOZKIY et al., 2011) und Chinchillas (MÜLLER et al., 2010) wird kein statistisch signifikanter Unterschied der Hornhautsensibilität zwischen den Geschlechtern gefunden.

2.3.3.5 Einfluss der Kopfform auf die Hornhautsensibilität

Sowohl BLOCKER und VAN DER WOERDT (2001) als auch WAGNER (2002) können einen signifikanten Unterschied der Hornhautsensibilität der zentralen Kornea zwischen augengesunden Europäischen Hauskatzen und Perserkatzen nachweisen. KAFARNIK (2003) zeigt an einer relativ kleinen Tierzahl eine signifikant niedrigere Hornhautsensibilität bei brachycephalen Hunden und Katzen im Vergleich zu mesozephalen Tieren. Einbezogen werden 2 Perserkatzen sowie ein Perser-Mischling als brachycephale sowie 24 mesozepitale Katzen, die Gruppe der brachycephalen Hunde besteht aus 9 Tieren, deren Rasseverteilung nicht klar nachzuvollziehen ist (KAFARNIK, 2003).

2.3.3.6 Einfluss der Tierart auf die Hornhautsensibilität

Der Mensch hat im Vergleich zu den Haustieren mit einem Wert von $0,965 \text{ g/mm}^2 \pm 0,02 \text{ g/mm}^2$ bis $0,988 \text{ g/mm}^2 \pm 0,05 \text{ g/mm}^2$ die größte korneale Sensibilität im Bereich der zentralen Kornea (dies entspricht bei dem in dieser Studie verwendeten COCHET-BONNET-Ästhesiometer einer Fadenlänge zwischen 60 mm und 55 mm) (ROSZKOWSKA et al., 2004). Abhängig von den Studien haben auch Pferde eine extrem sensible Kornea mit Werten von $55,4 \text{ mm} \pm 5,7 \text{ mm}$ an der zentralen Kornea (BROOKS et al., 2000). Nach der Studie von KAPS und Mitarbeitern (2003) haben Pferde lediglich einen CTT von $21,15 \text{ mm} \pm 6,23 \text{ mm}$ an der zentralen Kornea. Dieser Wert lässt schlussfolgern, dass die Kornea eines Pferdes sehr viel weniger sensibel als die eines Hundes oder die einer Katze ist. Die Sensibilität der Katze wird mit einem Wert von $36 \text{ mm} \pm 6 \text{ mm}$ (WAGNER, 2002) bzw. $1,79 \text{ g/mm}^2 \pm 2,33 \text{ g/mm}^2$ am rechten Auge (OD) und $1,74 \text{ g/mm}^2 \pm 1,65 \text{ g/mm}^2$ am linken Auge (OS) angegeben (BLOCKER und VAN DER WOERDT, 2001). Weniger sensibel erscheint die Hornhaut des Hundes mit Werten von $21 \text{ mm} \pm 6,6 \text{ mm}$ bzw. $6,6 \text{ g/mm}^2 \pm 2,4 \text{ g/mm}^2$ (MacRAE et al., 1982). Nach CULLEN und Mitarbeitern (2005a) hat der Hund mit einem Wert von ca. $43,5 \text{ mm}$ eine deutlich sensiblere Hornhaut. Bezogen auf die Messwerte von WAGNER (2002) liegt das Alpaka mit $34,5 \text{ mm} \pm 7,05 \text{ mm}$ (WELIHOZKIY et al., 2011) in einem ähnlichen Sensibilitätsbereich wie die Katze. Nach RANKIN und Mitarbeitern (2012) hat das Alpaka allerdings mit einem zentralen CTT von 20 mm eine deutlich geringere gemessene Hornhautsensibilität. Chinchillas haben mit einem Wert von $31,2 \text{ mm} \pm 7 \text{ mm}$ (MÜLLER et al., 2010) eine geringere korneale Sensibilität als viele andere Haustiere, wobei Meerschweinchen noch geringere Sensibilitäten aufweisen ($20 \text{ mm} \pm 6 \text{ mm}$) (TROST et al., 2007). Die an Greifvögeln ermittelten mittleren Hornhautsensibilitäten liegen bei $48 \text{ mm} \pm 17 \text{ mm}$ für nachtaktive Arten und $47 \text{ mm} \pm 17 \text{ mm}$ für tagaktive Arten (LACERDA et al., 2013). Mit dem von LACERDA und Mitarbeitern (2013) angewendeten Messfilament liegen die entsprechenden Druckäquivalente etwa

zwischen $0,55 \text{ g/mm}^2$ und $0,7 \text{ g/mm}^2$, damit scheint die Hornhaut von Greifvögeln sensibler als die der meisten Haussäugetiere.

Die direkte Vergleichbarkeit der vorhandenen Studien ist zum Teil sehr schwierig, da unterschiedliche Einheiten, Fadenstärken oder Ästhesiometer verwendet werden.

2.3.3.7 Einfluss von Erkrankungen auf die Hornhautsensibilität

Immer mehr tiermedizinische Studien widmen sich dem Einfluss sowohl lokaler ophthalmologischer als auch systemischer Erkrankungen auf die korneale Sensibilität. Folgend sollen einige dieser Studien beispielhaft aufgeführt werden.

TULLO und Mitarbeiter (1983) können einen rapiden Abfall der kornealen Sensibilität nach Herpes-simplex-Keratitis im Mäuseexperiment zeigen.

Bei an Hornhautsequester erkrankten Europäisch Kurzhaar Katzen wird eine signifikant geringere korneale Sensibilität im Vergleich zu augengesunden Europäisch Kurzhaar Katzen dokumentiert (WAGNER, 2002). Diesen Unterschied weist WAGNER (2002) auch im Vergleich von augengesunden und an Hornhautsequester erkrankten Perserkatzen nach.

Eine signifikant geringere Sensibilität kann bei an Diabetes mellitus erkrankten Hunden gezeigt werden (MacRAE et al., 1982, CULLEN et al., 2005a, WILLIAMS et al., 2007). MacRAE und Mitarbeiter (1982) zeigen sogar eine Abhängigkeit der kornealen Sensibilität vom Stoffwechsellzustand und damit einen Unterschied zwischen gut eingestellten und schlecht eingestellten diabetischen Hunden auf.

BROOKS und Mitarbeiter (2000) vergleichen den Einfluss von schwerwiegenden systemischen Erkrankungen auf die korneale Sensibilität neonataler Fohlen (jünger als 7 Tage). Sie stellen eine deutlich verringerte Sensibilität bei den erkrankten Fohlen im Vergleich zu gesunden Fohlen und adulten Pferden fest.

2.3.3.8 Einflüsse auf die Hornhautsensibilität des Menschen

In humanmedizinischen Studien sind verschiedene Einflüsse auf die korneale Sensibilität beschrieben. Dabei spielen vor allem das Alter (MILLODOT, 1977a, ROSZKOWSKA et al., 2004, ACOSTA et al., 2006), das Geschlecht (ROSZKOWSKA et al., 2004, BOURCIER et al., 2005, ACOSTA et al., 2006), die Irisfarbe (ACOSTA et al., 2006), der Zyklusstand (MILLODOT und LAMONT, 1974), Schwangerschaft (MILLODOT, 1977b), tageszeitliche Schwankungen (MILLODOT, 1972), das Tragen von Kontaktlinsen (MILLODOT, 1972) sowie diverse sowohl ophthalmologische als auch systemische Erkrankungen eine Rolle (BINDER und RISS, 1981, ROSENBERG et al., 2000, BOURCIER et al., 2005, TAVAKOLI et al., 2007, TOKER und ASFUROGLU, 2010).

Beim Menschen nimmt die Sensibilität der Hornhaut mit steigendem Alter ab (MILLODOT, 1977a, MILLODOT und OWENS, 1984, MURPHY et al., 2004, BOURCIER et al., 2005, ACOSTA et al., 2006). Dies wird besonders deutlich ab dem 40. bis 50. Lebensjahr (MILLODOT, 1977a, MILLODOT und OWENS, 1984). Das Abnehmen der Sensibilität beginnt peripher und schreitet dann nach zentral voran (ROSZKOWSKA et al., 2004).

DE PAIVA und PFLUGFELDER (2004), ROSZKOWSKA und Mitarbeiter (2004) sowie BOURCIER und Mitarbeiter (2005) können keinen signifikanten Unterschied zwischen der Hornhautsensibilität von Frauen und Männern feststellen. ACOSTA und Mitarbeiter (2006) hingegen stellen eine höhere Sensibilität gegenüber mechanischen und chemischen Stimuli bei Frauen vor den Wechseljahren im Vergleich zu gleichaltrigen Männern fest, wobei dieser Unterschied nicht signifikant ist. Die höhere Sensibilität der Hornhaut auf chemische Reize bei Frauen im Vergleich zu Männern können TENSÓN und Mitarbeiter (2012) ebenfalls bestätigen.

Auch tageszeitliche Schwankungen werden nachgewiesen: so nimmt die Sensibilität der Hornhaut im Laufe des Tages zu und ist am Abend am höchsten, unabhängig vom individuellen Tagesrhythmus (MILLODOT, 1972).

Es werden zyklusabhängige Schwankungen der Hornhautsensibilität (MILLODOT und LAMONT, 1974) sowie eine geringere Sensibilität während der Schwangerschaft beschrieben (MILLODOT, 1977b).

Der Effekt diverser Erkrankungen und deren Therapien auf die korneale Sensibilität wird in zahlreichen Studien untersucht. Folgend sollen nur einige Studien beispielhaft genannt werden. Die korneale Sensibilität ist bei chronisch trockenem Auge signifikant erniedrigt (BOURCIER et al., 2005, TOKER und ASFUROGLU, 2010). Gleichzeitig steigt diese bei Gabe von Tränenersatzpräparaten nicht signifikant an, allerdings bei Therapie mittels cyclosporinhaltiger Augensalbe (TOKER und ASFUROGLU, 2010). BINDER und RISS (1981) stellen fest, dass es nach Netzhautoperationen aufgrund einer Ablatio retinae zu einem deutlichen Anstieg des CTT in bestimmten Hornhautarealen kommt, aber dies sehr von der durchgeführten Operationstechnik und dem Ausmaß der Retinaablösung abhängig ist. Andere Studien beschäftigen sich mit dem Zusammenhang der kornealen Sensibilität mit systemischen Erkrankungen. Insbesondere die Veränderung der Hornhautsensibilität bei Diabetes mellitus Typ 1, abhängig vom Erkrankungsgrad und eventuell bereits vorliegender Neuropathien, sind von Interesse. ROSENBERG und Mitarbeiter (2000) können lediglich eine Abnahme der kornealen Sensibilität bei hochgradiger Neuropathie nachweisen. In einer anderen Studie kann gezeigt werden, dass die Abnahme der Hornhautsensibilität mit der Dauer der Diabeteserkrankung sowie dem Neuropathiegrad korreliert (TAVAKOLI et al., 2007).

2.3.4 Hornhautsensibilitätsmessung bei der Katze

Eine vielfach zitierte Veröffentlichung zu diesem Thema stammt von CHAN-LING (1989), der an 25 Hauskatzen die korneale Sensibilität augengesunder Katzen untersucht. In dieser Studie wird die korneale Sensibilität zentral, dorsal und ventral mittels COCHET-BONNET-Ästhesiometer (Fadendurchmesser = 0,13 mm) bestimmt. Der mittlere Hornhautsensibilitätsschwellenwert beträgt nach CHAN-LING (1989) 43 mg \pm 9 mg im zentralen, 100 mg \pm 32 mg im dorsalen und 93 mg \pm 33 mg im ventralen Bereich der Kornea. Die Sensibilität der Katzenkornea ist also zentral am höchsten (CHAN-LING, 1989). Dieses Ergebnis wird durch BLOCKER und VAN DER WOERDT (2001) und WAGNER (2002) bekräftigt. Beide Studien zeigen außerdem einen signifikant höheren CTT und damit eine verringerte korneale Sensibilität bei brachycephalen Katzen im Vergleich zu Hauskatzen. Die Gruppe der Brachycephalen besteht dabei jeweils hauptsächlich aus Perserkatzen und Himalaya-Katzen. BLOCKER und VAN DER WOERDT (2001) bestimmen einen mittleren zentralen CTT für Hauskatzen von 1,79 g/mm² \pm 2,33 g/mm² am rechten und 1,74 g/mm² \pm 1,65 g/mm² am linken Auge sowie einen mittleren peripheren CTT von 5,01 g/mm² \pm 5,07 g/mm² am rechten und 5,02 g/mm² \pm 4,55 g/mm² am linken Auge. Der mittlere zentrale CTT für brachycephale Katzen beträgt rechts 4,09 g/mm² \pm 5,29 g/mm² und links 3,18 g/mm² \pm 3,75 g/mm², der periphere CTT rechts 6,18 g/mm² \pm 5,95 g/mm² und links 7,66 g/mm² \pm 6,24 g/mm².

WAGNER (2002) bestimmt mittels Ästhesiometer nach COCHET und BONNET (Fadendurchmesser = 0,12 mm) einen CTT der zentralen Kornea von 36 mm \pm 6 mm für Europäische Hauskatzen, 30 mm \pm 6 mm für Perserkatzen und 20 mm \pm 5 mm für Katzen mit Korneasequester. Die jeweiligen CTT-Werte der peripheren Hornhautregionen sind Tab. 3 zu entnehmen. An diesen Messwerten wird deutlich, dass Perserkatzen eine signifikant geringere korneale Sensibilität gegenüber Europäischen Hauskatzen haben. Außerdem kann WAGNER (2002) nachweisen, dass Katzen mit Korneasequester unabhängig von ihrer Rasse eine signifikant niedrigere Sensibilität der Hornhaut haben (siehe Tab. 3).

Tabelle 3: Ästhesiometrische Messergebnisse der Hornhaut im Mittelwert (\bar{X}) und der zugehörigen Standardabweichung (SD) in Millimetern (mm) der verschiedenen Hornhautregionen nach Unterteilung in die 3 Gruppen: Europäische Hauskatzen (n=60), Perserkatzen (n=40) und an Korneasequester erkrankte Katzen (n=48) (WAGNER, 2002).

Messpunkt der Kornea	Europäische Hauskatze	Perserkatzen	Katzen mit Korneasequester
	$\bar{X} \pm SD$ in mm	$\bar{X} \pm SD$ in mm	$\bar{X} \pm SD$ in mm
Zentral	36 \pm 6	30 \pm 6	20 \pm 5
Nasal	22 \pm 6	21 \pm 4	15 \pm 4
Dorsal	15 \pm 5	18 \pm 5	16 \pm 5
Temporal	20 \pm 6	18 \pm 4	13 \pm 5
Ventral	14 \pm 6	16 \pm 0,5	14 \pm 5

2.4 Brachycephalie bei der Katze

Der Begriff Brachycephalie leitet sich aus den griechischen Wörtern brachýs (kurz) und kephalē (Kopf) ab und bedeutet soviel wie „Kurzköpfigkeit“. Dabei handelt es sich um eine erbliche Deformation des Schädels, die mit Verkürzung der Kiefer- und Nasenknochen und breiter, runder Ausformung des Schädels einhergeht (HERZOG, 2001). Um den Grad der Brachycephalie zu bestimmen, sind verschiedene Herangehensweisen beschrieben. In Studien am lebenden Tier werden dafür 3D-Rekonstruktionen von computertomographischen Bildern verwendet und verschiedene Längen am Schädel ins Verhältnis zueinander gesetzt (SCHLUTER et al., 2009).

Nach BREHM et al. (1985) und ELLIS et al. (2009) kann die Schädelform beim Hund anhand des Verhältnisses der Länge des Gesichtsschädels zur Gesamtschädellänge bestimmt werden. Eine Zuordnung in die jeweilige Schädelform ist auch über das Verhältnis von Schädellänge zu -breite beschrieben (BREHM et al., 1985, McGREEVY et al., 2004, ELLIS et al., 2009).

KÜNZEL und Mitarbeiter (2003) untersuchen die Schädelformen verschiedener Katzenrassen und unterteilen diese in 3 Gruppen: die rundliche, die dreieckige und die keilförmige Kopfform. Die rundliche Form des Schädels wird vor allem der Verkürzung des Gesichtsschädels, aber auch zum Teil der Verkürzung des Hirnschädels zugeschrieben (KÜNZEL et al., 2003). Die Autoren stellen fest, dass Tiere mit einem hohen Brachycephaliegrad zusätzlich einen niedrigen Längen-Höhen-Index aufweisen. Dieser wird berechnet,

in dem der Abstand vom ventralen Punkt des Foramen magnum zum Alveolar-Rand des Os incisivum durch die maximale Höhe der Schädelhöhle auf Höhe der Fossa hypophysialis geteilt wird (siehe Abb. 11). Des Weiteren weisen diese Katzen einen Längen-Breiten-Index von $0,99 \pm 0,07$ auf. Den Längen-Breiten-Index erhält man, indem der Abstand vom ventralen Punkt des Foramen magnum zum Alveolar-Rand des Os incisivum (siehe Abb. 11) durch den maximalen Abstand zwischen den Arcus zygomatici (siehe Abb. 12) geteilt wird (KÜNZEL et al., 2003).

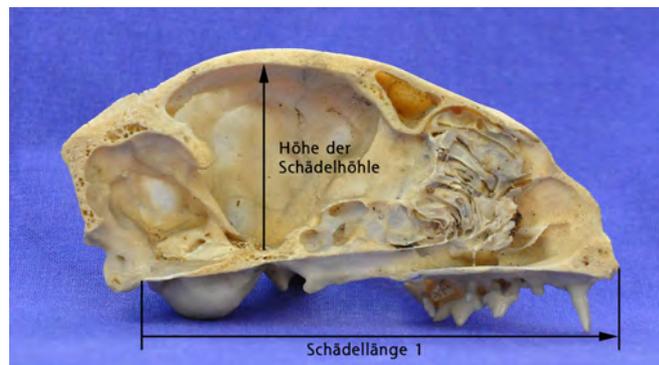


Abbildung 11: Fotografie eines Sagittalschnittes durch einen Katzenschädel in medialer Ansicht. Die Messstrecken der Schädellänge und Höhe der Schädelhöhle nach KÜNZEL et al. (2003) sind eingezeichnet.



Abbildung 12: Fotografie eines Katzenschädels in dorsaler Ansicht mit Darstellung der Breitenmessung nach KÜNZEL et al. (2003).

2.4.1 Gradeinteilung der felines Brachyzephalie

Im Rahmen der Studie von SCHLÜTER und Mitarbeitern (2009) wird anhand von computertomographischen 3D-Rekonstruktionen, mazerierten Schädeln und dem klinischen Bild eine Einteilung brachyzephaler Katzen in 4 verschiedene Brachyzephaliegrade vorgenommen. Als wichtigstes Kriterium für die Einteilung in die verschiedenen Grade wird die Ausrichtung der Oberkiefer-Canini und die damit verbundene Rotation des Oberkiefers nach dorsal angesehen, die somit auch eine klinische Einteilung der Tiere ohne Narkose und zusätzliche Untersuchungsmethoden möglich macht (SCHLÜTER et al., 2009). Weitere Kriterien sind die Ausprägung der Gesichtsknochen, die Form des „Stops“ (Krümmung an der Verbindung zwischen Os nasale und Os frontale) und die Gestalt des Neurocraniums (SCHLÜTER et al., 2009).

Die vier Brachyzephaliegrade sind:

Brachyzephaliegrad 1, geringgradig brachyzephal:

Eine geringgradig ausgeprägte Brachyzephalie ist durch fast senkrecht stehende Oberkiefer-Canini ohne Rotation des Oberkiefers nach dorsal charakterisiert. Die Krümmung am Übergang von Os nasale und Os frontale („Stop“) ist geringgradig ausgeprägt, während Gesichts- und Hirnschädel deutlich vorhanden sind.

Brachyzephaliegrad 2, mittelgradig brachyzephal:

Die mittelgradige Brachyzephalie ist durch eine beginnende Dorsalrotation des Oberkiefers und der Oberkiefer-Canini gekennzeichnet. Die Tiere weisen einen deutlichen „Stop“ auf, haben reduzierte Nasenknochen (Os nasale, Os maxillare, Os incisivum und Os frontale) und ein abgerundetes bis apfelförmiges Neurocranium. Die Oberkante der Nase befindet sich auf einem niedrigeren Niveau als das untere Augenlid. Ab diesem Brachyzephaliegrad zeigen die Tiere häufig Epiphora aufgrund des mangelnden Abflusses der Tränenflüssigkeit über die Tränennasenkanäle.

Brachyzephaliegrad 3, hochgradig brachyzephal:

Tiere mit hochgradiger Brachyzephalie zeigen eine ausgeprägte Rotation des Oberkiefers und der Oberkiefer-Canini nach dorsal. Diese Tiere weisen einen ausgeprägten „Stop“ mit reduzierten nasalen und neurocranialen Knochen auf. Bedingt durch die Rotation des Oberkiefers nach dorsal befindet sich die Oberkante der Nase auf einem höheren Niveau als das untere Augenlid.

Brachycephaliegrad 4, höchstgradig brachycephal:

Die höchstgradige Ausprägung der Brachycephalie der Katze ist durch eine noch extremere Ausprägung der in Grad 3 dargestellten Befunde gekennzeichnet. Der Oberkiefer zeigt eine hochgradige Dorsalrotation mit fast horizontal stehenden Oberkiefer-Canini. Diese Katzen haben einen überdeutlich ausgeprägten „Stop“, einen unterentwickelten Gesichtsschädel und ein rundes Neurocranium.

2.4.2 Rasseprädisposition für bestimmte Augenerkrankungen bei brachycephalen Katzen

Brachycephale Katzenrassen leiden im Vergleich zu anderen Katzenrassen häufiger an Augenerkrankungen, die durch ihre Kopfform bedingt sind (MAGGS, 2008b, MAGGS, 2008c, MILLER, 2008b, TOWNSEND et al., 2009). Eine der häufigsten Beobachtungen bei brachycephalen Katzen ist Epiphora, ein Symptom für Abflussstörungen der Tränenflüssigkeit (BARNETT und CRISPIN, 1998, STADES et al., 1998). Ein Grund hierfür ist die Anatomie des brachycephalen Kopfes. Dieser ist gekennzeichnet durch schlecht abgegrenzte, flache, offene Orbitae (KÜNZEL et al., 2003) mit daraus resultierendem Exophthalmus, das nahe Anliegen der Lider am Auge sowie das Abknicken der Tränennasenkanäle (BARNETT und CRISPIN, 1998, TOWNSEND et al., 2009). Aufgrund des dicht anliegenden Lides und der prominenten Bulbi kann sich auf dem Lidrand weniger Tränenflüssigkeit sammeln, weshalb brachycephale Katzen einen flacheren Tränensee haben (BARNETT und CRISPIN, 1998.). Des Weiteren weisen die Tränenpunkte bei brachycephalen Katzen häufiger Funktionsstörungen auf. Dies hängt mit ihrer Atresie, Hypoplasie oder fehlerhaften Lage (zu weit im nasalen Kanthus) bzw. mit dem Vorliegen eines nasalen Entropiums zusammen (BARNETT und CRISPIN, 1998, TOWNSEND et al., 2009). Abflussstörungen der Tränenflüssigkeit können zudem auch durch eine Atresie oder Hypoplasie der sich anschließenden Tränennasenkanäle hervorgerufen werden, wofür Perserkatzen eine besondere Prädisposition besitzen (BARNETT und CRISPIN, 1998).

Unter den Rassekatzen zeigen Perserkatzen am häufigsten ein nasales Entropium des Unterlides (BARNETT und CRISPIN, 1998). Dies wird in der Studie von WILLIAMS und KIM (2009) bestätigt, in der 31 % der betroffenen Rassekatzen Perserkatzen sind. Dabei ist zu berücksichtigen, dass 81,3 % der betroffenen Rassekatzen zu dem brachycephalen Typ gehören. Werden auch mesozephe Hauskatzen berücksichtigt, sind im Verhältnis dazu Perserkatzen zu 10 % (WILLIAMS und KIM, 2009), brachycephale Rassen insgesamt zu 19 % (READ und BROUN, 2007) bzw. 26 % (WILLIAMS und KIM, 2009) der Katzen betroffen. Allerdings muss bei diesen Zahlen berücksichtigt werden, dass Hauskatzen auf-

grund ihrer Häufigkeit im Vergleich zu Rassekatzen insgesamt auch wesentlich häufiger in der Praxis vorgestellt werden.

Eine weitere, vor allem brachycephale Katzen betreffende Erkrankung der Augen, ist der Korneasequester. Er wird auch als Cornea nigra oder feline Hornhautnekrose bezeichnet. Eine Rasseprädisposition für Korneasequester weisen Perserkatzen (STADES et al., 1998, FEATHERSTONE und SANSOM, 2004, DUBIELZIG et al., 2010), Colourpoint-, Siam-, Birma-, Burma- und Himalaya-Katzen auf (BARNETT und CRISPIN, 1998, CULLEN et al., 2005b). Die genaue Genese ist bisher ungeklärt, diskutiert werden aber Zusammenhänge mit Vorerkrankungen wie ulzerativer Keratitis, Herpes-Virus-Keratitis und Keratoconjunktivitis sicca (STILES et al., 1997, FEATHERSTONE und SANSOM, 2004, CULLEN et al., 2005b). Auch Anomalien der Augenlider, die Trichiasis am nasalen Kanthus, ein nasales Entropium des Unterlides (BARNETT und CRISPIN, 1998, FEATHERSTONE und SANSOM, 2004), eine verkürzte Aufreißzeit des Tränenfilms im zentralen Teil der Kornea (STADES et al., 1998) oder eine herabgesetzte korneale Sensibilität sollen bei der Entstehung eines Korneasequester eine Rolle spielen (WAGNER, 2002). WAGNER (2002) beschreibt eine niedrigere Hornhautsensibilität bei Perserkatzen im Vergleich zu Europäischen Hauskatzen. Des Weiteren kann er eine herabgesetzte korneale Sensibilität bei Katzen mit Korneasequester im Vergleich zu augengesunden Katzen nachweisen, wobei kein Unterschied zwischen Hauskatzen und brachycephalen Katze zu finden ist.

2.5 Messung der Tränenproduktion

Die Tränenproduktion kann mittels Schirmer-Tränen-Test gemessen werden. Dabei handelt es sich um ein semiquantitatives Messverfahren, bei dem der wässrige Anteil des präkornealen Tränenfilms ermittelt wird (MAGGS, 2008a).

Zur Durchführung des Schirmer-Tränen-Tests werden standardisierte, sterilisierte 5 x 35 mm große Streifen saugfähigen Papiers verwendet (MAGGS, 2008a, INTERVET, 2010). Es wird zwischen dem Schirmer-Tränen-Test (STT) I und II unterschieden (OLLIVIER et al., 2007, MAGGS, 2008a, INTERVET, 2010). Mittels STT I wird die Reiztränenproduktion bestimmt, durch den STT II die basale Tränenproduktion unter Lokalanästhesie (OLLIVIER et al., 2007, MAGGS, 2008a). Zur Durchführung wird ein Teststreifen im temporalen Liddritzel zwischen Kornea und Konjunktiva des Unterlides eingelegt. Die Augen des Tieres können während der Messung sowohl geschlossen gehalten werden als auch offen bleiben (INTERVET, 2010). Die Teststreifen verbleiben 60 Sekunden im Auge und werden dann unmittelbar abgelesen (OLLIVIER et al., 2007, MAGGS, 2008a, INTERVET, 2010). Beim STT I erfolgt dies nur nach vorheriger Reinigung des Auges und der Augenumgebung mittels trockenen Gazetupfers. Im Unterschied dazu erfolgt die

Messung des STT II nach Gabe von lokalanästhetischen Augentropfen, um eine Reflex-tränensekretion zu unterdrücken (MAGGS, 2008a). Die Messung erfolgt erst einige Zeit nach Gabe der Lokalanästhesie, um eine Verfälschung des Messergebnisses zu vermeiden (MAGGS, 2008a).

In der Literatur sind für den STT I der Katze verschiedene Normalwerte angegeben. INTERVET (2010) gibt für die Katze einen Wert von $16,9 \text{ mm/min} \pm 5,7 \text{ mm/min}$, MAGGS (2008a) dagegen einen Referenzbereich von 3 - 32 mm/min mit einem Mittel von 17 mm/min an. Bei klinisch unauffälligen Katzen kann es aufgrund von Stress unter klinischen Bedingungen zu kurzfristigen Änderungen der Tränenproduktion kommen. Daher müssen niedrige Testresultate immer im Zusammenhang mit klinischen Symptomen gesehen werden (MAGGS, 2008a). Auch von DAVIS und TOWNSEND (2011) wird ein STT I-Wert von $16,24 \text{ mm/min} \pm 6,2 \text{ mm/min}$ mit einem Wertebereich von 7 - 35 mm/min angegeben.

3 Material und Methoden

3.1 Studienaufbau

Bei der vorliegenden Studie handelt es sich um eine prospektive Studie. Sämtliche Untersuchungen und Messungen erfolgen durch die Autorin. Entsprechend der Korrespondenz vom 20. Dezember 2011 mit dem Regierungspräsidium Gießen handelt es sich bei der vorliegenden Arbeit nicht um einen genehmigungspflichtigen Tierversuch.

3.2 Patientengut

Bei den untersuchten Katzen handelt es sich um Tiere, die zur ophthalmologischen Untersuchung in der Klinik für Kleintiere, Chirurgie der Justus-Liebig-Universität Gießen vorgestellt werden sowie um Katzen, die von Züchtern und aus privater Haltung zur ophthalmologischen Untersuchung und Ästhesiometrie zur Verfügung gestellt werden. Untersucht werden gesunde mesozephele und brachyzephele Katzen, die älter als 12 Monate und frei von systemischen Erkrankungen sind. Ophthalmologisch müssen die Augen reizfrei und krankheitsfrei sein, wobei innerhalb der Gruppe der brachyzephalen Katzen ein nasales Entropium des Unterlides und Epiphora in rassetypischer Ausprägung kein Ausschlusskriterium darstellen, sofern die betroffenen Katzen diesbezüglich kein auffälliges Verhalten zeigen, wie z.B. Blepharospasmus.

In die Gruppe der mesozephalen Katzen fallen Europäische Hauskatzen (EHK), Bengalkatzen, Maine Coon, Ragdoll, Türkisch Angora, Domestic Shorthair- und Thai-Katzen. Perserkatzen (dazu zählen sowohl die regulären Perserkatzen, als auch Colourpoint und Non Pointed Himalayan), Britisch Kurzhaar und Langhaar, Selkirk-Rex sowie Exotic Shorthair Katzen werden der Gruppe der brachyzephalen Katzen zugeordnet. Innerhalb der Gruppe der Brachyzephalen erfolgt weiterhin eine Unterteilung entsprechend des Brachyzephaliegrades (wird unter 3.4 genauer beschrieben).

Mittels Besitzergespräch über die Umgänglichkeit und Kooperativität der Katze wird eingeschätzt, ob sie für die Studie geeignet erscheint. Die letztendliche Entscheidung, ob das Tier in die Studie aufgenommen wird, hängt von der klinischen Untersuchung der studienleitenden Person ab.

Die Einschätzung des Gesundheitszustandes erfolgt durch die allgemeine klinische Untersuchung und die Besitzerbefragung bezüglich des Allgemeinbefindens und des Medikamentenbedarfes. Liegt aufgrund dieser Erhebungen der begründete Verdacht auf eine Erkrankung vor, muss diesem zunächst nachgegangen werden. Erst nach Ausschluss einer Krankheit durch weitere diagnostische Verfahren kann die Katze in die Studie aufgenommen werden. Die entsprechend notwendigen Gruppengrößen werden mittels statistischer Verfahren ermittelt.

3.3 Signalement und Anamnese

Es erfolgt die Besitzerbefragung zur Anamnese bezüglich des Alters, der Rasse, des Geschlechts, des Gesundheitsstatus und ophthalmologischer Vorerkrankungen (siehe Anhang 9.1 - Studienprotokoll).

3.4 Allgemeine klinische Untersuchung und Gruppenzuordnung

Es wird eine allgemeine klinische Untersuchung zum Ausschluss von Allgemeinerkrankungen durchgeführt. Atem-, Pulsfrequenz, Schleimhautfarbe, Körpertemperatur und kapilläre Rückfüllzeit werden dokumentiert.

Der Brachyzephaliegrad wird in Anlehnung an SCHLÜTER und Mitarbeiter (2009) anhand des klinischen Bildes des Patienten bestimmt und fotodokumentarisch festgehalten. Die Patienten werden entsprechend ihrer Kopfform in 5 verschiedene Gruppen eingeteilt. Es wird zwischen der Gruppe der mesozephalen und brachyzephalen Katzen unterschieden. Mesozephalie Katzen weisen einen deutlich ausgeprägten Gesichts- sowie Hirnschädel auf. Der Schädel ist deutlich länger als breit. Innerhalb der Gruppe der Brachyzephalen wird zwischen 4 verschiedenen Brachyzephaliegraden unterschieden. Die Einteilung erfolgt anhand der Nasenlänge, der Ausprägung des Überganges vom Os nasale zum Os frontale („Stop“) und der Stellung des Nasenspiegels zu den Augen. Hierzu werden die Katzenköpfe von frontal und lateral betrachtet sowie der Nasenrücken palpiert. Insbesondere wird die Position des Nasenspiegels in Bezug auf Lider und Augen beurteilt. Die Ausrichtung der Oberkiefer-Canini wird untersucht, jedoch nicht zur Einteilung in die verschiedenen Brachyzephaliegrade herangezogen.

Tiere, die als geringgradig brachyzephal eingestuft werden und damit dem Brachyzephaliegrad 1 entsprechen, weisen eine geringgradige Verkürzung des Gesichtsschädels auf. Der „Stop“ ist nur gering ausgeprägt. Der Nasenspiegel befindet sich bei geöffneten Augen deutlich unterhalb des unteren Augenlides (siehe Abb. 13).



Abbildung 13: Britisch Kurzhaar Katze mit Brachyzephaliegrad 1 aus seitlicher (links) und frontaler Ansicht (rechts).

Bei mittelgradig brachyzephalen Katzen, die damit dem Brachyzephaliegrad 2 entsprechen, ist der „Stop“ deutlich ausgeprägt, der Nasenspiegel befindet sich bei geöffneten Augen noch unterhalb des Unterlides. Katzen mit einem Brachyzephaliegrad 2 bis 4 weisen häufig Epiphora und ein nasales Entropium des Unterlides auf (siehe Abb. 14).



Abbildung 14: Perser-Mischling mit Brachyzephaliegrad 2 aus seitlicher (links) und frontaler Ansicht (rechts).

Zur Gruppe der hochgradig Brachyzephalen (Brachyzephaliegrad 3) zählen Tiere mit deutlichem „Stop“. Die Nase ist hochgradig verkürzt und aus lateraler Sicht nur geringgradig anterior des vorderen Augenpols der Bulbi oculi gelegen. Der Nasenspiegel befindet sich auf gleicher Höhe oder höher gelegen als der zentrale Lidrand des Unterlides (siehe Abb. 15).



Abbildung 15: Exotic Shorthair Katze mit Brachyzephaliegrad 3 aus seitlicher (links) und frontaler Ansicht (rechts).

Höchstgradig brachyzephale Katzen (Brachyzephaliegrad 4), weisen ähnliche klinische Befunde wie Katzen mit Brachyzephaliegrad 3 auf, nur in noch deutlicherer Ausprägung. Sie zeigen einen überdeutlichen Übergang von Os nasale zum Os frontale auf und ihr Nasenspiegel liegt deutlich höher als der zentrale Lidrand des unteren Augenlides. Aus lateraler Sicht befindet sich der Nasenspiegel kaudaler oder auf gleicher Höhe wie die Bulbi oculi (siehe Abb. 16).



Abbildung 16: Perserkatze mit Brachyzephaliegrad 4 aus seitlicher (links) und frontaler Ansicht (rechts).

Des Weiteren wird die Irisfarbe notiert sowie die Umgebungstemperatur und Luftfeuchtigkeit erfasst.

3.5 Spezielle Untersuchung der Augen und deren Anhangsorgane

Es folgt die makroskopische Adspektion der Augen und der Augenlider sowie eine mikroskopische Untersuchung mittels ophthalmologischer Untersuchungsleuchte¹ oder Handspaltlampe². Die Irisfarbe wird dokumentiert. Es erfolgt eine subjektive Unterteilung in die Farben: Grün, Grüngelb, Gelb und Blau. Anschließend erfolgt die Untersuchung der kornealen Sensibilität beider Auges mittels Haarästhesiometer nach COCHET und BONNET³.

Mit einem Abstand von mindestens 10 Minuten nach der Ästhesiometrie erfolgt die Untersuchung der Tränenproduktion beider Augen mittels Schirmer-Tränen-Test I⁴. Folgend wird im Speziellen auf die korneale Ästhesiometrie und den Schirmer-Tränen-Test I eingegangen.

3.5.1 Ästhesiometrische Augenuntersuchung

Die korneale Sensibilität wird mittels Haarästhesiometer nach COCHET und BONNET der Firma Luneau gemessen. Dabei wird die Kornea am zentralen Messpunkt (Kreuzungspunkt des horizontalen und vertikalen Meridian) gemessen. Die Untersuchung findet in ruhiger Umgebung und in einem gut beleuchteten Raum statt. Dies geschieht entweder in der Augenabteilung der Klinik für Kleintiere, Chirurgie, oder in gewohnter Umgebung des Studienpatienten.

Die Messung wird mit der maximalen Fadenlänge von 60 mm begonnen, da der auf die Hornhaut ausgeübte Druck pro mm^2 bei maximaler Fadeneinstellung am geringsten ist. Mit Verkürzen der Fadenlänge steigt der Druck an. Die Fadenlänge wird so lange um jeweils 5 mm verkürzt bis der Kornealreflex (Lidschlag, Retraktion des Bulbus oculi, Bewegung des Kopfes) ausgelöst wird. Um das Auftreffen des Messfilamentes auf die Kornea besser beurteilen zu können, wird eine seitliche Position des Untersuchers zum Patienten bevorzugt. Während der Untersuchung wird auf eine ruhige Handhabung und ein langsames Heranführen des Ästhesiometers geachtet. Die Biegung des Filamentes soll bei etwa 4 % liegen, was eine minimal sichtbare Biegung des Fadens darstellt. Das Ergebnis wird in mm (CTT1) für jedes Auge getrennt notiert.

Um ein willkürliches Zwinkern vom Kornealreflex abgrenzen zu können, müssen diese Beobachtungen bei mindestens zwei von drei bis vier gesetzten Impulsen eindeutig gemacht werden können. Anschließend werden die entsprechenden Umrechnungswerte CTT2 in mg/A_Q und CTT3 in g/mm^2 angegeben.

¹ Ophthalmoskop Heine Beta 200, Heine, Herrsching, Deutschland.

² Handspaltlampe Kowa SL-15, Kowa, Japan.

³ Ästhesiometer der Firma Luneau, Frankreich.

⁴ Schirmer-Tränen-Teststreifen, Firma Intervet, Unterschleißheim, Deutschland.

Die Reinigung des Messfilamentes erfolgt nach jeder zusammengehörigen, untersuchten Katzengruppe mittels Sekusept® Plus⁵ (4 %). Hierzu wird der Nylonfaden über 15 Minuten eingelegt, dann mit sterilem Wasser abgespült und anschließend an der Luft getrocknet.

3.5.2 Schirmer-Tränen-Test I

Mindestens zehn Minuten nach Abschluss der kornealen Ästhesiometrie erfolgt die Messung der Tränenflüssigkeit mittels Schirmer-Tränen-Test I (STT I). Der STT I gibt die von den Tränenrüsen unter Reizung gebildete Menge an Tränenflüssigkeit in einer Minute an.

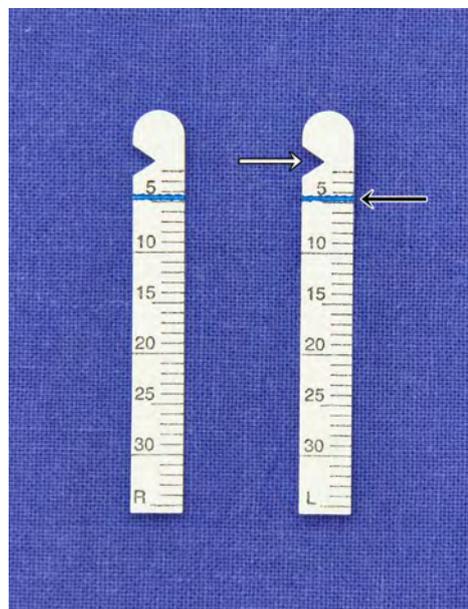


Abbildung 17: Zwei Schirmer-Tränen-Teststreifen mit Millimeterskala (bis 35 mm) und Indikatorstreifen bei 5 mm (schwarzer Pfeil). Der am vorderen Ende vorhandene Keil (weißer Pfeil) stellt die Knickstelle, zum besseren Einlegen der Teststreifen in den Konjunktivalsack sowie die Nullmarke dar.

Zur Durchführung wird in jedes Auge ein spezieller Filterpapierstreifen (siehe Abb. 17) mit dem abgerundeten Ende in den unteren Konjunktivalsack im lateralen Drittel zwischen Hornhaut und Unterlid eingelegt. Um einen besseren Halt der Teststreifen im Konjunktivalsack zu gewährleisten, werden diese an der vorgesehenen Knickstelle vor dem Einlegen gefaltet. Die Lider der Katze werden nach Einlegen des Papiers sanft geschlossen, um ein Herausrutschen der Streifen durch Zwinkern zu vermeiden. Nach 60 Sekunden werden die Papierstreifen entfernt und die Werte der erreichten Flüssigkeitsmenge in Millimetern pro Minute sofort abgelesen und notiert. Je nach Verhalten der Katze wird die Tränenproduktion beider Augen gleichzeitig oder auch nacheinander erfasst. Es wird jeweils

⁵ Sekusept® Plus, Ecolab Deutschland GmbH, Monheim am Rhein, Deutschland.

die beginnende Körperseite sowie der zeitliche Abstand notiert. Der zeitliche Abstand wird dann später in „kurz“, d.h. weniger als 15 Sekunden, oder „lang“, d.h. bis zu 2 Minuten, zusammengefasst.

3.5.3 Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit

Die Dokumentation von Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit erfolgt kurz nach den ästhesiometrischen Untersuchungen. Die Messung wird mittels einer handelsüblichen Wetterstation der Firma Hama (Modell EWS-800) durchgeführt.

3.6 Nachsorge

Nach Abschluss der Untersuchungen werden die Augen erneut mittels ophthalmologischer Untersuchungsleuchte bzw. Handspaltlampe untersucht und mittels Fluoreszein⁶ angefärbt, um eine Verletzung der Kornea auszuschließen.

Abschließend wird nach der Untersuchung Corneregel®⁷, ein Tränenersatzgel zum Schutz der Hornhaut, in beide Lidspalten eingegeben. Das Tränenersatzpräparat enthält als Wirkstoff 50 mg Dexpanthenol pro 1 g Augengel. Weitere Bestandteile sind: Cetrimid, Carbomer, Natriumedetat, Natriumhydroxid und Wasser für Injektionszwecke.

3.7 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgt durch die Arbeitsgruppe Biomathematik und Datenverarbeitung des Fachbereiches Veterinärmedizin der Justus-Liebig-Universität Gießen. Dabei wird das Statistikprogrammpaket BMDP/Dynamic, Release 8.1, (DIXON, 1993) verwendet.

Jedes Auge wird zu Beginn der statistischen Auswertung als eine statistische Einheit gesehen. Nach Überprüfung des Seiteneinflusses werden verschiedene Merkmale von rechtem und linkem Auge gemittelt. Die Sensibilitätsäquivalente CTT1, CTT2 und CTT3 werden statistisch gesondert ausgewertet.

Zur allgemeinen Datenbeschreibung werden bei den annähernd normalverteilten Merkmalen arithmetische Mittelwerte (\bar{X}), Standardabweichungen (SD), Minimal- und Maximalwerte berechnet und wiedergegeben. Dazu zählen Geschlecht, Alter, Brachycephaliegrad, Rasse, Irisfarbe, CTT1, STT I sowie Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit. In Bezug auf das Geschlecht wird der Kastrationszustand aufgrund der ungleichmäßigen Verteilung im Hinblick auf Alter und Rassen vernachlässigt.

⁶ Fluoreszein Papier, Firma Haag-Streit AG, Köniz, Schweiz.

⁷ Corneregel®, Firma Dr. Mann Pharma und Bausch & Lomb GmbH, Berlin, Deutschland.

Bei rechtsschiefen Verteilungen positiver, quantitativer Merkmale (CTT2 und CTT3) wird eine Logarithmierung der Daten vorgenommen. Die Datenbeschreibung erfolgt mit Hilfe von geometrischen Mittelwerten (\bar{X}_g) und Streufaktoren (SF), dargestellt in Form von Intervallen $[\bar{X}_g * SF^{\pm 1}]$

Die Überprüfung eines quantitativen Merkmals auf eine annähernde Normalverteilung erfolgt durch Berechnung der Residuen unter Zugrundelegung des entsprechenden linearen Modells mit dem Programm BMDP1R mit Hilfe des Wahrscheinlichkeitsplots (Q-Q-Plot). Beim Nichtvorliegen einer Normalverteilung, wie im Falle von CTT2 und CTT3, werden die Originaldaten logarithmiert und die Prozedur mit transformierten Daten wiederholt, um die am besten geeignete Datentransformation zu finden.

Die statistische Auswertung des Einflusses der verschiedenen Variablen auf die Sensibilitätsäquivalente CTT1, lgCTT2 und lgCTT3 bzw. auf die Tränenproduktion erfolgt durch einen Mittelwertvergleich mit mehrfaktorieller Kovarianzanalyse mit Messwiederholung bezüglich der Seite. Diese wird mit dem Programm BMDP2V durchgeführt.

Beim Vergleich der Sensibilitätsäquivalente CTT1, lgCTT2 und lgCTT3 zwischen mesozephalen und brachyzephalen Katzen kommt der Wilcoxon-Mann-Whitney-Test unter Verwendung des Programms BMDP3D zum Einsatz.

Für die Untersuchung des Zusammenhanges zwischen den verschiedenen Brachyzephaliegraden und den Sensibilitätsäquivalenten CTT1, lgCTT2 und lgCTT3 wird der Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman (r_s) unter Verwendung des Programms BMDP3D herangezogen.

Bei der Bewertung der statistischen Prüfungen wird grundsätzlich ein Signifikanzniveau von $\alpha = 0,05$ zu Grunde gelegt, d.h. Ergebnisse mit $p \leq 0,05$ werden als statistisch signifikant angesehen.

4 Ergebnisse

4.1 Patientendaten

Es werden 140 Katzen im Zeitraum von März 2012 bis Oktober 2012 im Rahmen der vorliegenden Arbeit untersucht.

4.1.1 Geschlecht

Von 140 Katzen wurden 82 weibliche und 58 männliche Tiere untersucht. 48 der 82 weiblichen Tiere sind unkastriert, 34 sind kastriert. Von den 58 männlichen Katzen sind 18 unkastriert und 40 kastriert. Es besteht ein annähernd ausgeglichenes Verhältnis zwischen den Geschlechtern mit 58,6% zu 41,4% zwischen weiblichen und männlichen Tieren (siehe Abb. 18).

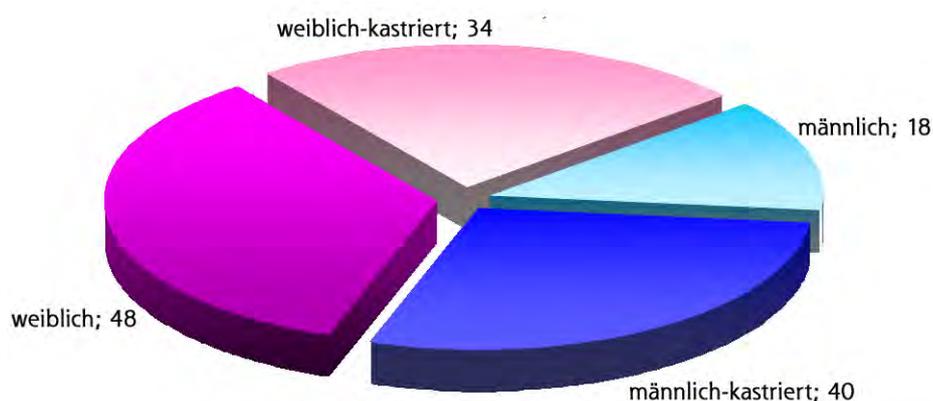


Abbildung 18: Absolute Häufigkeit der Geschlechterverteilung der untersuchten Katzen (n=140).

4.1.2 Alter

Das Alter der untersuchten Katzen reicht von 1 Jahr bis zu 15 Jahren, mit einem mittlerem Alter (\bar{X}) von 4,7 Jahren. Die Altersverteilung unter den männlichen und weiblichen Tieren ist ähnlich (siehe Tab. 4). \bar{X} der verschiedenen Brachyzephaliegrade variiert mit Werten zwischen 3,4 und 5,6 Jahren etwas stärker (siehe Tab. 5).

Tabelle 4: Altersverteilung der untersuchten Katzen in Bezug auf das Geschlecht (n = 140) unter Angabe des Minimal-, Maximal- und Mittelwertes (\bar{X}) (n = untersuchte Tierzahl).

Geschlecht		Alter in Jahren		
		Minimum	Maximum	\bar{X}
Katzen	(n = 82)	1	13	4,6
Kater	(n = 58)	1	15	4,8
Gesamt	(n = 140)	1	15	4,7

Tabelle 5: Altersverteilung der untersuchten Katzen in Bezug auf die Kopfform (n = 140) unter Angabe des Minimal-, Maximal- und Mittelwertes (\bar{X}) (n = untersuchte Tierzahl).

Geschlecht		Alter in Jahren		
		Minimum	Maximum	\bar{X}
Mesozephal	(n = 78)	1	11	4,6
Brachyzephaliegrad 1	(n = 18)	1	15	5,6
Brachyzephaliegrad 2	(n = 18)	1	13	5,3
Brachyzephaliegrad 3	(n = 17)	1,5	11	3,9
Brachyzephaliegrad 4	(n = 9)	1	7	3,4
Gesamt	(n = 140)	1	15	4,7

4.1.3 Rassen

Die am häufigsten in der Studie vertretende Katzenrasse ist die Perserkatze (n = 34), die zweithäufigste die Europäische Hauskatze (EHK) (n = 29). Weitere häufig vertretene Rassen sind die Britisch Kurzhaar (BKH) (n = 24), die Maine Coon (n = 21) und die Bengalkatze (n = 18). Selten vertretene Rassen sind die Exotic Shorthair (n = 3), Selkirk Rex (n = 2), Thai Katze (n = 2), Kartäuser (n = 1), Ragdoll (n = 1), Türkisch Angora (n = 1) und Domestic Shorthair (DSH) (n = 1). Außerdem sind 3 Mischlinge vertreten. Seltene Rassen mit weniger als 3 Tieren sowie Mischlinge werden unter der Gruppe „Andere“ zusammengefasst (siehe Abb. 19).

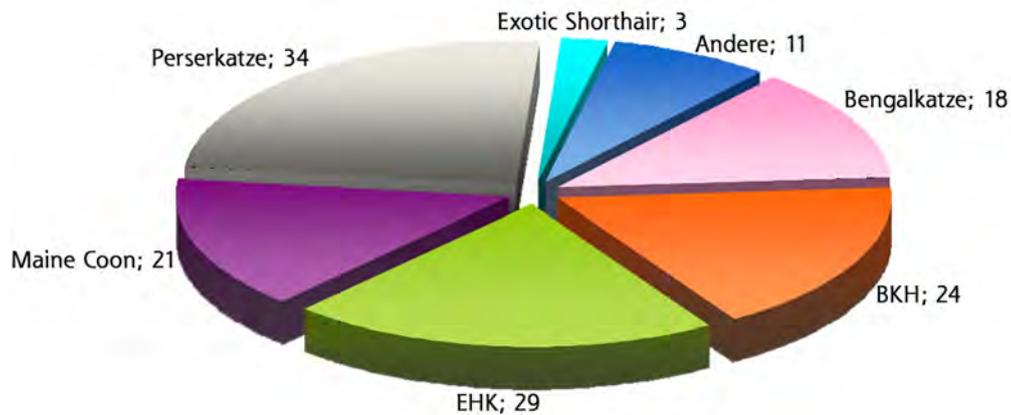


Abbildung 19: Absolute Häufigkeit der vertretenen Rassen. Unter „Andere“ sind selten vertretene Rassen mit weniger als 3 Tieren sowie Mischlinge zusammengefasst. (EHK - Europäische Hauskatze; BKH - Britisch Kurzhaar Katze).

4.1.4 Brachyzephaliegrad

Gemäß den Studienbedingungen (siehe Kapitel 3.4) besitzen 78 Katzen eine mesozephal und 62 eine brachyzephal Kopfform. Nach Einteilung in die verschiedenen Brachyzephaliegrade haben die meisten Katzen Brachyzephaliegrad 1 und 2 mit je 18 Tieren. Eine ähnlich hohe Anzahl von Katzen fällt in die Gruppe mit Brachyzephaliegrad 3 ($n = 17$). Insgesamt haben die wenigsten Katzen einen Brachyzephaliegrad 4 ($n = 9$) (siehe Abb. 20).

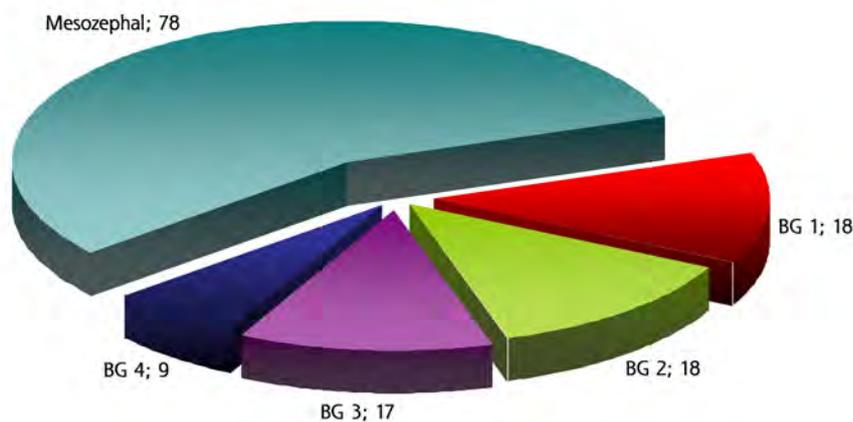


Abbildung 20: Absolute Häufigkeiten der Katzen mit Brachyzephaliegrad (BG) 1 bis 4 sowie mit mesozephaler Kopfform.

Alle untersuchten Europäischen Hauskatzen, Maine Coons und Bengalkatzen gelten als mesozephal. Außerdem werden 8 (von 11) Katzen der unter „Andere“ zusammengefassten Gruppe (siehe auch 4.1.3) und zwei Britisch Kurzhaar Katzen (BKH) der Gruppe „Meso-

zephäl“ zugeordnet. 16 BKH sowie zwei Katzen der unter „Andere“ zusammengefassten Gruppe zählen zum Brachyzephaliegrad 1. Dem Brachyzephaliegrad 2 werden 10 Perserkatzen, 6 BKH, eine Exotic Shorthair und eine Katze der unter „Andere“ zusammengefassten Gruppe zugeordnet. 15 Perserkatzen sowie zwei Exotic Shorthair Katzen entsprechen dem Brachyzephaliegrad 3. 9 Perserkatzen bilden die Gruppe mit Brachyzephaliegrad 4 (siehe Abb. 21).

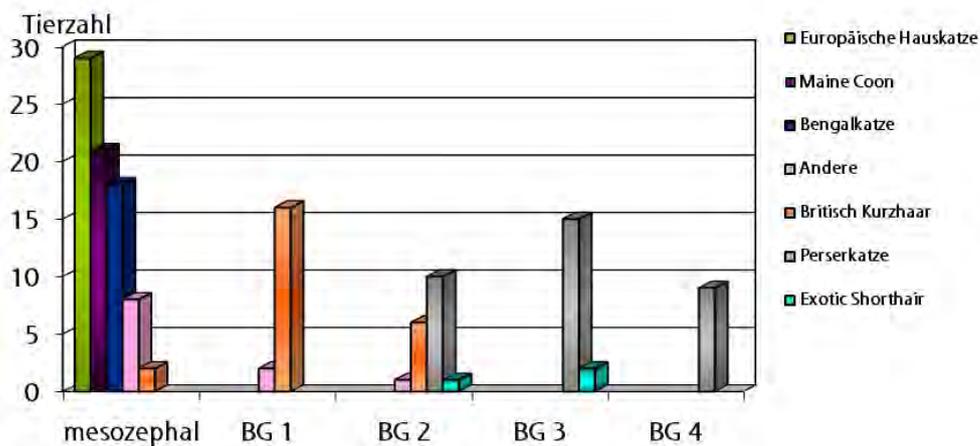


Abbildung 21: Absolute Häufigkeiten der verschiedenen Rassen gestaffelt nach Brachyzephaliegrad (BG).

4.1.5 Irisfarbe

116 der 280 untersuchten Augen weisen eine grüne Irisfarbe auf. 60 Augen waren grüngelb, 73 gelb und 31 Augen waren blau.

4.1.6 Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit

Zur Berücksichtigung möglicher Einflüsse auf die Messungen werden Umgebungstemperatur und Luftfeuchtigkeit bei 134 der 140 untersuchten Katzen erfasst. Die Umgebungstemperatur variiert von 18,8°C bis 30,1°C und die Luftfeuchtigkeit von 20,0 % bis 68 %. Der arithmetische Mittelwert der Lufttemperatur (\bar{X}_{LT}) der Umgebungstemperatur liegt bei 23,6°C ($\pm 1,9$). Der arithmetische Mittelwert der Luftfeuchtigkeit (\bar{X}_{LF}) ergibt 54,2 % ($\pm 7,2\%$).

4.2 Messergebnisse

4.2.1 Ästhesiometrie

Die Sensibilität der Hornhaut wird bei allen 140 untersuchten Katzen an der zentralen Messstelle bestimmt. Das rechte und linke Auge wird zunächst gesondert ausgewertet, um mögliche Seiteneinflüsse ausschließen zu können. Hierauf wird später im Text ausführlicher eingegangen.

Die Sensibilitätsäquivalente CTT1 (Fadenlänge in mm), CTT2 (ausgeübter Druck in mg/A_Q) und CTT3 (ausgeübter Druck in g/mm²) gehen gesondert in die statistische Auswertung ein. Die Messwerte für CTT2 und CTT3 ergeben sich dabei aus der dem Ästhesiometer beiliegenden Konvertierungstabelle. Aufgrund der sich daraus ergebenden rechtsschiefen Verteilung für CTT2 und CTT3 erfolgt eine Logarithmierung der Messwerte.

Es werden Sensibilitätsäquivalente zwischen 5 und 55 mm für CTT1 gemessen. Mittels Wilcoxon-Mann-Whitney-Test und T-Test werden Mesozephalen (n = 78) und Brachyzephalen (n = 62) für die gemittelten Messwerte beider Augen von CTT1, lgCTT2 und lgCTT3 auf Signifikanz überprüft. Ein hochsignifikanter Unterschied ergibt sich dabei zwischen mesozephalen und brachyzephalen Katzen mit einem p-Wert von < 0,0001 für CTT1, lgCTT2 und lgCTT3. Es handelt sich um eine signifikant niedrigere Hornhautsensibilität bei brachyzephalen Katzen im Vergleich zu mesozephalen. Es ergibt sich ein arithmetischer Mittelwert von 33,2 mm (± 8,7 mm) Fadenlänge für mesozephalen und 25,4 mm (± 9,0 mm) für brachyzephalen Katzen für CTT1 bzw. ein geometrischer Mittelwert von 13,69 mg/A_Q (* 1,63^{±1}) und 23,72 mg/A_Q (* 2,07^{±1}) für CTT2 sowie von 1,21 g/mm² (* 1,63^{±1}) und 2,09 g/mm² (* 2,08^{±1}) für CTT3.

Mittelwerte und Standardabweichungen bzw. Streufaktoren für die verschiedenen Sensibilitätsäquivalente, aufgeschlüsselt auf das Geschlechter bei Mesozephalen bzw. Brachyzephalen, sind in den folgenden Diagrammen detailliert dargestellt (siehe Abb. 22, Abb. 23, Abb. 24).

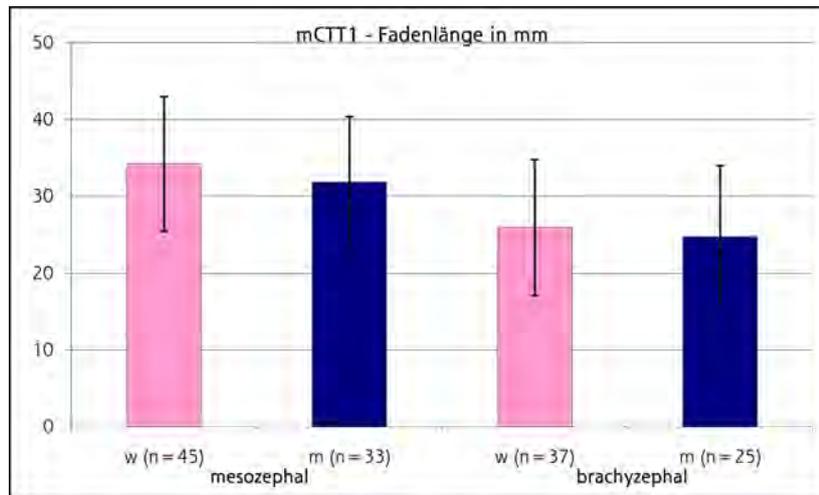


Abbildung 22: Säulendiagramm für die Sensibilitätsäquivalente mCTT1 in Millimeter (mm). Dargestellt werden arithmetische Mittelwerte sowie Standardabweichungen für jeweils weibliche (w) und männliche (m) mesozephele ($34,2 \pm 8,8$; $31,8 \pm 8,6$) und brachyzepehele ($25,9 \pm 8,8$; $24,7 \pm 9,3$) Katzen (n = untersuchte Tierzahl).

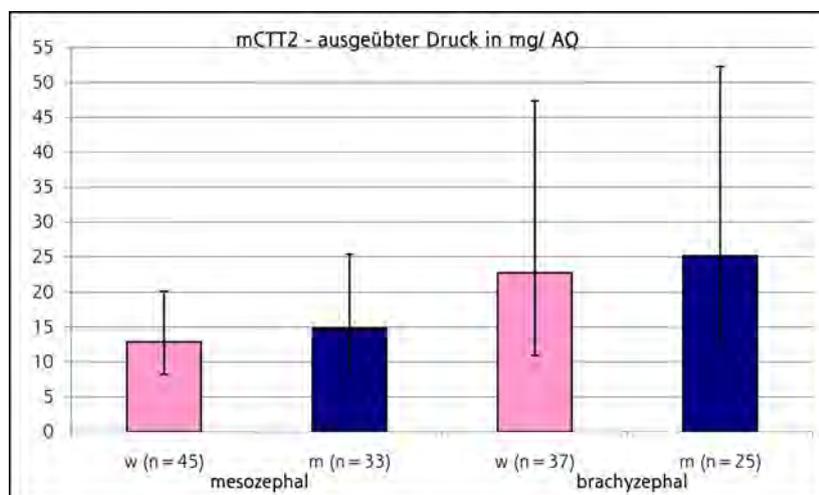


Abbildung 23: Säulendiagramm für die Sensibilitätsäquivalente mCTT2 in Milligramm pro Fadenquerschnitt (mg/A_Q). Dargestellt werden geometrische Mittelwerte sowie Streufaktoren für jeweils weibliche (w) und männliche (m) mesozephele ($12,88 * 1,56^{\pm 1}$; $14,87 * 1,71^{\pm 1}$) und brachyzepehele ($22,80 * 2,08^{\pm 1}$; $25,16 * 2,08^{\pm 1}$) Katzen (n = untersuchte Tierzahl).

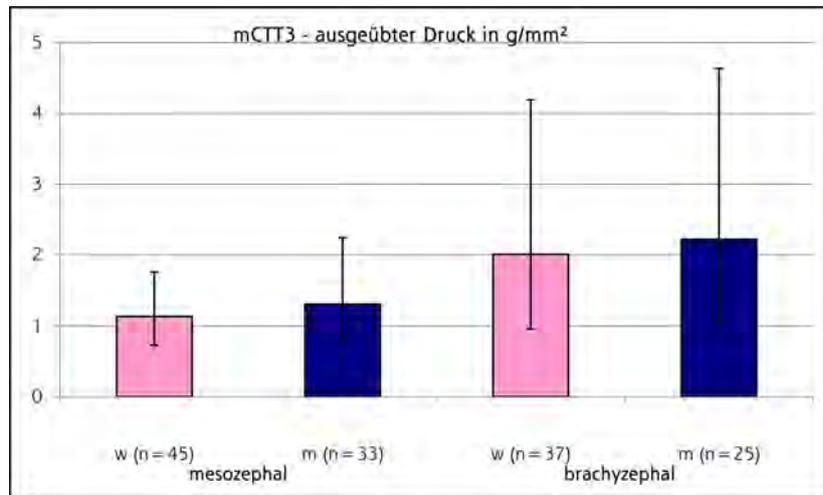


Abbildung 24: Säulendiagramm für die Sensibilitätsäquivalente mCTT3 in Gramm pro Quadratmillimeter (g/mm²). Dargestellt werden geometrische Mittelwerte sowie Streufaktoren für jeweils weibliche (w) und männliche (m) mesozephele (1,14 *1,56^{±1}; 1,31 *1,71^{±1}) und brachyzepehele (2,01 *2,09^{±1}; 2,22 *2,09^{±1}) Katzen (n = untersuchte Tierzahl).

Des Weiteren wird der Zusammenhang zwischen dem Brachyzepehaliegrad und den zwischen den Augen gemittelten Sensibilitätsäquivalenten mCTT1, mlgCTT2 und mlgCTT3 mittels Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman (r_s) sowie multifaktorieller Kovarianzanalyse überprüft. In die Auswertung des Rangkorrelationskoeffizienten nach Spearman (r_s) fließen alle 140 untersuchten Katzen ein. In die multifaktorielle Kovarianzanalyse gehen lediglich die Katzen mit vollständigen Daten (n = 139) bzw. Tiere einer Rasse mit über 5 untersuchten Tieren (n = 125) in die Auswertung ein. Es resultiert ein p-Wert von <0,0001 für mCTT1, mlgCTT2 und mlgCTT3. Damit besteht ein hochsignifikanter Zusammenhang zwischen dem Brachyzepehaliegrad und der Hornhautsensibilität. Die Korrelationskoeffizienten für mCTT1 (-0,4264), für mlgCTT2 (0,4305) und für mlgCTT3 (0,4304) werden ermittelt. Mit zunehmendem Brachyzepehaliegrad nimmt die Hornhautsensibilität signifikant ab. Entsprechende Mittelwerte und Standardabweichungen der verschiedenen Brachyzepehaliegrade und Sensibilitätsäquivalente können der nachfolgenden Tabelle entnommen werden (siehe Tab. 6).

Tabelle 6: Angabe der minimalen und maximalen Sensibilitätsäquivalente sowie des Mittelwertes (\bar{X} bzw. \bar{X}_g) und der Standardabweichung (SD) bzw. des Streufaktors (SF) für die Sensibilitätsäquivalente mCTT1 in Millimeter (mm), mCTT2 in Milligramm pro Fadenquerschnittsfläche (mg/A_Q) und mCTT3 in Gramm pro Quadratmillimeter (g/mm^2) aufgeschlüsselt in die verschiedenen Brachyzephaliegrade. Es wird jeweils ein gemittelter Wert der Messdaten beider Augen angegeben. (n = untersuchte Tierzahl).

		Minimum	Maximum	\bar{X} (\pm SD)
<i>mCTT1</i>		<i>in mm</i>	<i>in mm</i>	<i>in mm</i>
Mesozephal	(n = 78)	10	55	33,2 (\pm 8,7)
Brachyzephaliegrad 1	(n = 18)	12,5	40	27,4 (\pm 7,5)
Brachyzephaliegrad 2	(n = 18)	17,5	45	29,0 (\pm 8,2)
Brachyzephaliegrad 3	(n = 17)	10	40	23,5 (\pm 9,7)
Brachyzephaliegrad 4	(n = 9)	5	25	18,1 (\pm 7,3)
		Minimum	Maximum	\bar{X}_g (*SF $^{\pm 1}$)
<i>mCTT2</i>		<i>mg/A_Q</i>	<i>mg/A_Q</i>	<i>mg/A_Q</i>
Mesozephal	(n = 78)	5,50	116,01	13,69 (*1,63 $^{\pm 1}$)
Brachyzephaliegrad 1	(n = 18)	9,50	82,02	19,75 (*1,75 $^{\pm 1}$)
Brachyzephaliegrad 2	(n = 18)	8,00	48,76	17,82 (*1,71 $^{\pm 1}$)
Brachyzephaliegrad 3	(n = 17)	9,50	116,01	28,52 (*2,29 $^{\pm 1}$)
Brachyzephaliegrad 4	(n = 9)	20,51	180,01	42,83 (*2,25 $^{\pm 1}$)
		<i>g/mm²</i>	<i>g/mm²</i>	<i>g/mm²</i>
<i>mCTT3</i>				
Mesozephal	(n = 78)	0,50	10,30	1,21 (*1,63 $^{\pm 1}$)
Brachyzephaliegrad 1	(n = 18)	0,80	7,25	1,74 (*1,77 $^{\pm 1}$)
Brachyzephaliegrad 2	(n = 18)	0,70	4,31	1,57 (*1,73 $^{\pm 1}$)
Brachyzephaliegrad 3	(n = 17)	0,80	10,30	2,51 (*2,30 $^{\pm 1}$)
Brachyzephaliegrad 4	(n = 9)	1,80	15,90	3,78 (*2,25 $^{\pm 1}$)

4.2.1.1 Einfluss der Kovariablen

Wechselwirkungen zwischen den Kovariablen (Rasse, Alter, Geschlecht, Körperseite, Irisfarbe, Tränenproduktion, Umgebungstemperatur und Luftfeuchtigkeit) können sowohl in

der 3-faktoriellen Kovarianzanalyse unter Einbezug von 139 der 140 untersuchten Katzen als auch in der 4-faktoriellen Kovarianzanalyse unter Ausschluss von Rassen mit weniger als 5 vertretenen Tieren ($n = 125$) nicht nachgewiesen werden. Ein Tier entfällt, da hier der Schirmer-Tränen-Test I aufgrund von Unkooperativität nur an einem Auge möglich ist.

Rasse

Mittels 4-faktorieller Kovarianzanalyse unter Einbeziehung der Rassen mit einer Tierzahl von über 5 Tieren ($n = 125$) ist ein signifikanter Einfluss der Rasse auf die Hornhautsensibilität mit einem p-Wert von 0,0032 für CTT1, 0,0325 für lgCTT2 und 0,0368 für lgCTT3 nachzuweisen. Aus der nachfolgenden Tab. 7 sind die Mittelwerte und Standardabweichungen bzw. Streufaktoren für mCTT1, mCTT2 und mCTT3 bezogen auf die verschiedenen Rassen, zu entnehmen (siehe zusätzlich Abb. 25).

Tabelle 7: Angabe der minimalen und maximalen Sensibilitätsäquivalente sowie des Mittelwertes (\bar{X} bzw. \bar{X}_g) und der Standardabweichung (SD) bzw. des Streufaktors (SF) für die Sensibilitätsäquivalente mCTT1 in Millimeter (mm), mCTT2 in Milligramm pro Fadenquerschnittsfläche (mg/A_Q) und mCTT3 in Gramm pro Quadratmillimeter (g/mm^2) aufgeschlüsselt in die verschiedenen Brachycephaliegrade. Es wird jeweils ein gemittelter Wert der Messdaten beider Augen angegeben. ($n =$ untersuchte Tierzahl; EHK - Europäische Hauskatze; BKH - Britisch Kurzhaar).

Rasse		mCTT1	mCTT2	mCTT3
		$\bar{X} (\pm \text{SD})$ in mm	$\bar{X}_g (* \text{SF}^{\pm 1})$ in mg/A_Q	$\bar{X}_g (* \text{SF}^{\pm 1})$ in g/mm^2
Perserkatze	($n = 34$)	23,5 ($\pm 9,7$)	28,21 ($* 2,26^{\pm 1}$)	2,49 ($* 2,27^{\pm 1}$)
EHK	($n = 29$)	29,7 ($\pm 6,9$)	16,49 ($* 1,64^{\pm 1}$)	1,44 ($* 1,66^{\pm 1}$)
BHK	($n = 24$)	27,3 ($\pm 7,8$)	20,01 ($* 1,77^{\pm 1}$)	1,76 ($* 1,79^{\pm 1}$)
Maine Coon	($n = 21$)	38,6 ($\pm 7,8$)	10,35 ($* 1,42^{\pm 1}$)	0,90 ($* 1,42^{\pm 1}$)
Bengalkatze	($n = 18$)	36,4 ($\pm 9,3$)	11,44 ($* 1,57^{\pm 1}$)	1,03 ($* 1,54^{\pm 1}$)

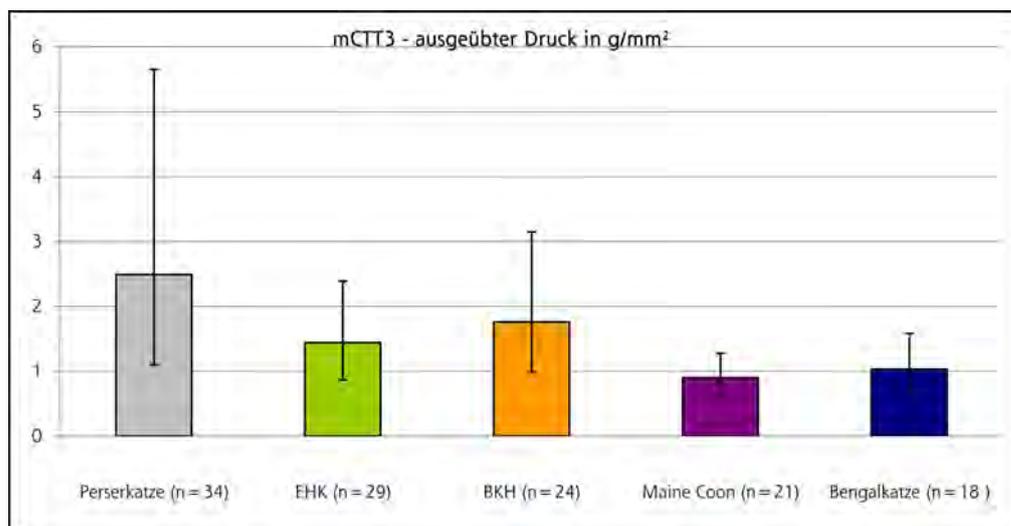


Abbildung 25: Säulendiagramm für die Sensibilitätsäquivalente mCTT3 in Gramm pro Quadratmillimeter (g/mm^2). Dargestellt werden geometrische Mittelwerte sowie Streufaktoren für die verschiedenen Katzenrassen (Perserkatze - $2,49 * 2,27^{\pm 1}$; Europäische Hauskatze (EHK) - $1,44 * 1,66^{\pm 1}$; Britisch Kurzhaar (BKH) - $1,76 * 1,79^{\pm 1}$; Maine Coon - $0,90 * 1,42^{\pm 1}$; Bengalkatze - $1,03 * 1,54^{\pm 1}$) (n = untersuchte Tierzahl).

Alter

Die 3-faktorielle Kovarianzanalyse mit Messwiederholung bezüglich der Seite unter Einbezug von 139 untersuchten Katzen zeigt einen signifikanten Zusammenhang zwischen dem Alter und den Sensibilitätsäquivalenten CTT1, lgCTT2 und lgCTT3 (siehe Tab. 8).

Tabelle 8: Analyse der Auswirkung der Kovariable - *Alter* - mittels 3-faktorieller Kovarianzanalyse mit Messwiederholung bezüglich der Körperseite auf die Sensibilitätsäquivalente CTT1, lgCTT2 und lgCTT3 sowie Angabe der entsprechenden Regressionskoeffizienten ($n = 139$) (n = untersuchte Tierzahl).

Abhängige Variable	p-Wert	Statistische Signifikanz	Regressionskoeffizient
CTT1	0,0021	hoch signifikant	-0,7093
lgCTT2	0,0101	signifikant	0,0176
lgCTT3	0,0108	signifikant	0,0175

Mit zunehmendem Alter sinkt die Hornhautsensibilität. Dies wird beispielhaft mittels Grafiken an den Sensibilitätsäquivalenten mCTT1 (siehe Abb. 26 und Abb. 27) sowie

an mlgCTT3 grafisch dargestellt (siehe Abb. 28 und Abb. 29). Zur besseren Verdeutlichung wird an dieser Stelle der logarithmierte Mittelwert lgmCTT3 , statt des Mittelwertes mCTT3 gewählt.

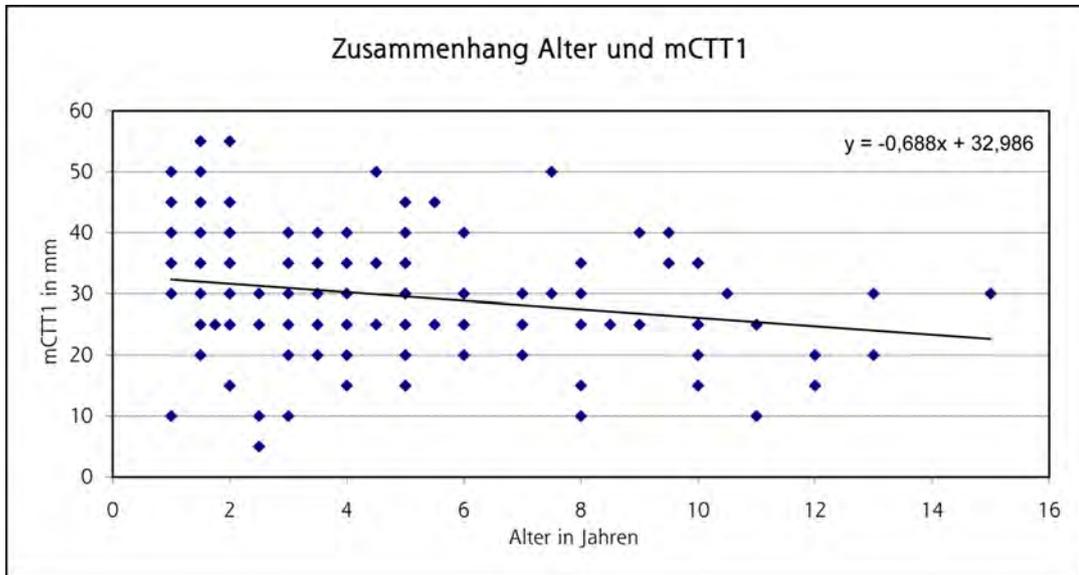


Abbildung 26: Grafische Darstellung der Beziehung zwischen Alter (in Jahren) und Sensibilitätsäquivalent mCTT1 (in Millimeter - mm) unter Einbeziehung aller untersuchten Tiere ($n=140$) ohne den Einfluss der anderen Kovariablen ($n =$ untersuchte Tierzahl).

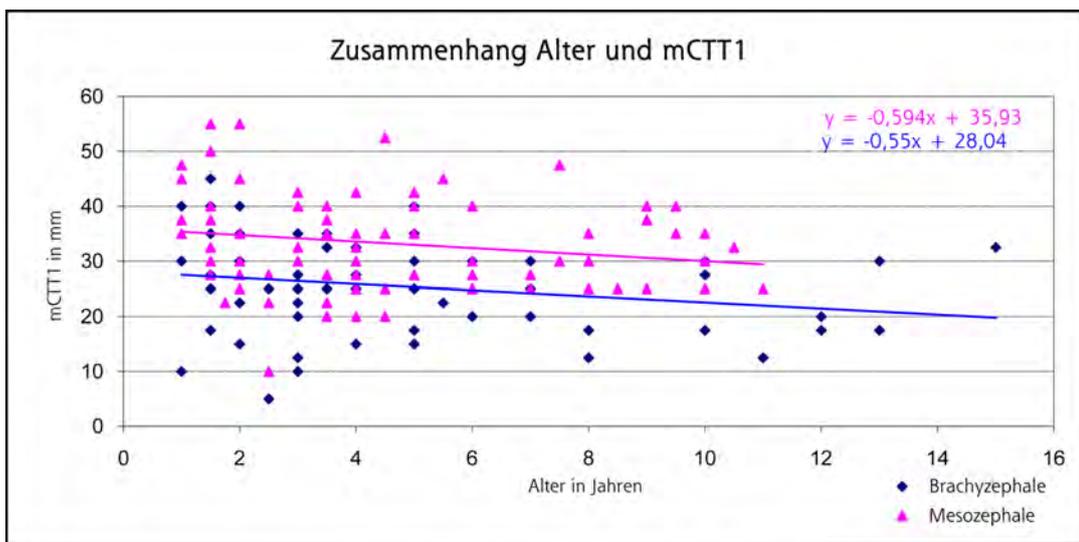


Abbildung 27: Grafische Darstellung der Beziehung zwischen Alter (in Jahren) und Sensibilitätsäquivalent mCTT1 (in Millimeter - mm) bei brachycephalen ($n = 62$) und mesocephalen Katzen ($n = 78$) ohne den Einfluss der anderen Kovariablen ($n =$ untersuchte Tierzahl).

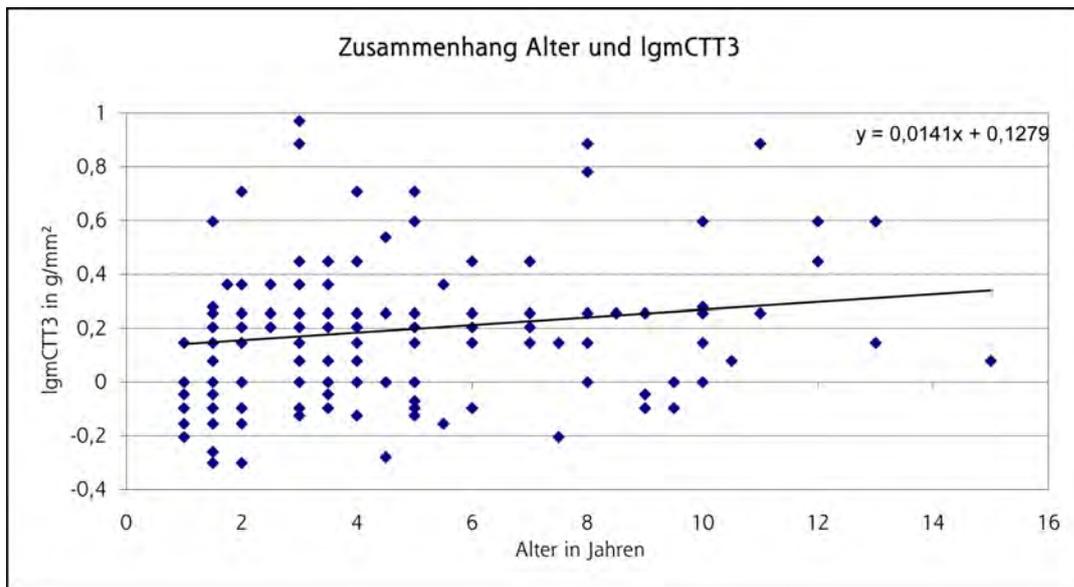


Abbildung 28: Grafische Darstellung der Beziehung zwischen Alter (in Jahren) und Sensibilitätsäquivalent lgmCTT3 (in g/mm²) unter Einbeziehung aller untersuchten Tiere (n = 140) ohne den Einfluss der anderen Kovariablen (n = untersuchte Tierzahl).

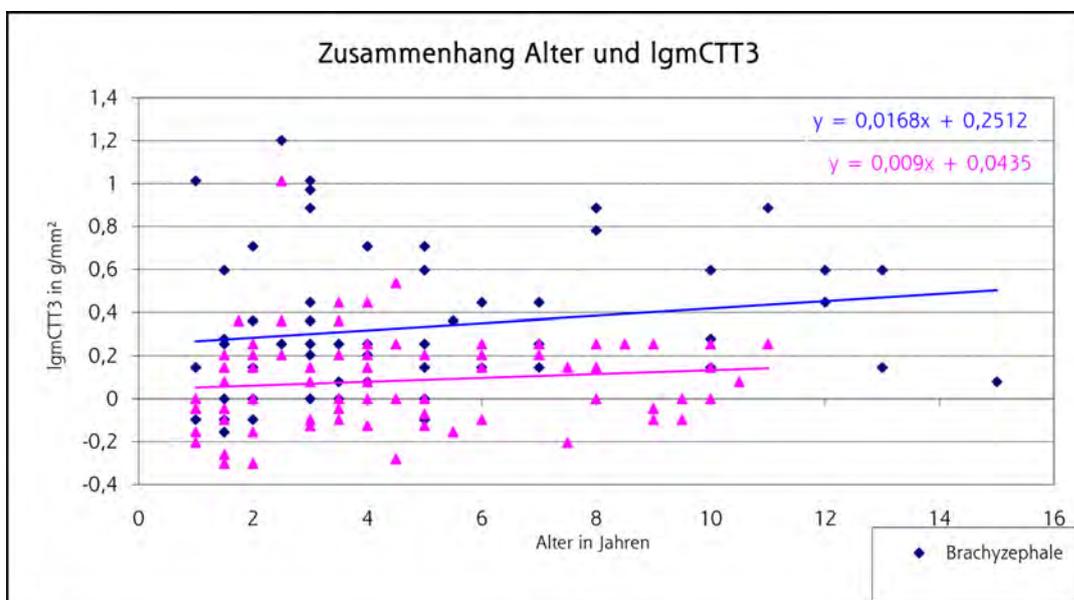


Abbildung 29: Grafische Darstellung der Beziehung zwischen Alter (in Jahren) und Sensibilitätsäquivalent lgmCTT3 (in g/mm²) bei brachycephalen (n = 62) und mesocephalen Katzen (n = 78) ohne den Einfluss der anderen Kovariablen (n = untersuchte Tierzahl).

Geschlecht

Der für beide Augen gemittelte arithmetische Mittelwert für CTT1 (mCTT1) unter Einbeziehung aller 140 untersuchten Tiere ergibt 30,5 mm ($\pm 9,7$ mm) für weibliche ($n = 82$) und 28,8 mm ($\pm 9,5$ mm) für männliche Katzen ($n = 58$). Der geometrische Mittelwert des für beide Augen gemittelten Sensibilitätsäquivalentes mCTT2 bzw. mCTT3 ergibt 16,67 mg/A_Q (*1,92^{±1}) bzw. 1,47 g/mm² (*1,92^{±1}) für Katzen sowie 18,65 mg/A_Q (*1,96^{±1}) bzw. 1,64 g/mm² (*1,97^{±1}) für Kater. Die grafische Darstellung erfolgt exemplarisch für mCTT3 in g/mm² (siehe Abb. 30).

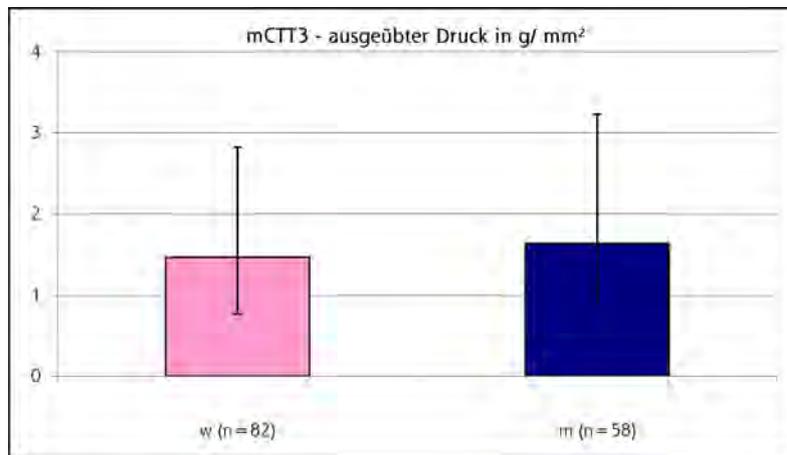


Abbildung 30: Säulendiagramm für die Sensibilitätsäquivalente mCTT3 in Gramm pro Quadratmillimeter (in g/mm²). Dargestellt werden geometrische Mittelwerte sowie Streufaktoren für jeweils weibliche (w) (1,47 *1,92^{±1}) und männliche (m) (1,64 *1,97^{±1}) Katzen ($n =$ untersuchte Tierzahl).

Sowohl in der multifaktoriellen Kovarianzanalyse unter Einbeziehung von 139 untersuchten Tieren als auch unter Ausschluss der seltenen Rassen (< 5 Tiere) ($n = 125$) kann kein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Geschlecht und den Sensibilitätsäquivalenten CTT1, lgCTT2 und lgCTT3 festgestellt werden (siehe Tab. 9).

Tabelle 9: Analyse der Auswirkung der Kovariable - *Geschlecht* - auf die Sensibilitätsäquivalente CTT1, lgCTT2 und lgCTT3. Angabe der p-Werte nach 3-faktorieller Kovarianzanalyse mit Messwiederholung bezüglich der Körperseite für $n = 139$ sowie nach 4-faktorieller Kovarianzanalyse mit Messwiederholung bezüglich der Seite für $n = 125$ (Ausschluss der Rassen mit einer Gruppengröße von weniger als 5 Tieren) ($n =$ untersuchte Tierzahl).

Abhängige Variable	p-Wert ($n = 139$)	Statistische Signifikanz	p-Wert ($n = 125$)	Statistische Signifikanz
CTT1	0,2258	nicht signifikant	0,5491	nicht signifikant
lgCTT2	0,2434	nicht signifikant	0,5095	nicht signifikant
lgCTT3	0,2485	nicht signifikant	0,5042	nicht signifikant

Körperseite

Die 3-faktorielle Kovarianzanalyse ($n = 139$) mit Messwiederholung bezüglich der Körperseite zeigt keinen signifikanten Unterschied zwischen dem rechten und dem linken Auge im Hinblick auf die Sensibilitätsäquivalente CTT1, lgCTT2 und lgCTT3 (siehe Tab. 10).

Tabelle 10: Analyse der Auswirkung der Kovariable - *Körperseite* - auf die Sensibilitätsäquivalente CTT1, lgCTT2 und lgCTT3 unter Angabe der p-Werte ($n = 139$) ($n =$ untersuchte Tierzahl).

Abhängige Variable	p-Wert	Statistische Signifikanz
CTT1	0,9109	nicht signifikant
lgCTT2	0,7356	nicht signifikant
lgCTT3	0,7967	nicht signifikant

Irisfarbe

Sowohl in der 3-faktoriellen Kovarianzanalyse ($n = 139$) als auch in der 4-faktoriellen Kovarianzanalyse ($n = 125$) kann kein signifikanter Einfluss der Irisfarbe auf die Sensibilitätsäquivalente CTT1, lgCTT2 und lgCTT3 festgestellt werden (siehe Tab. 11).

Tabelle 11: Analyse der Auswirkung der Kovariable - *Irisfarbe* - auf die Sensibilitätsäquivalente CTT1, lgCTT2 und lgCTT3. Angabe der p-Werte nach 3-faktorieller Kovarianzanalyse mit Messwiederholung bezüglich der Körperseite (n = 139) sowie nach 4-faktorieller Kovarianzanalyse mit Messwiederholung bezüglich der Körperseite (n = 125) (Ausschluss Rassen < 5 Tiere) (n = untersuchte Tierzahl).

Abhängige Variable	p-Wert (n = 139)	Statistische Signifikanz	p-Wert (n = 125)	Statistische Signifikanz
CTT1	0,0756	nicht signifikant	0,5211	nicht signifikant
lgCTT2	0,0906	nicht signifikant	0,4375	nicht signifikant
lgCTT3	0,0862	nicht signifikant	0,4364	nicht signifikant

Tränenproduktion

Die Tränenproduktion (Schirmer-Tränen-Test I) hat weder in der 3-faktoriellen Kovarianzanalyse (n = 139) noch in der 4-faktoriellen Kovarianzanalyse (n = 126), jeweils mit Messwiederholung bezüglich der Körperseite, einen signifikanten Einfluss auf die Sensibilitätsäquivalente CTT1, lgCTT2 und lgCTT3 (siehe Tab. 12).

Tabelle 12: Analyse der Auswirkung der Kovariable - *Tränenproduktion* (STT I) - auf die Sensibilitätsäquivalente CTT1, lgCTT2 und lgCTT3. Angabe der p-Werte nach 3-faktorieller Kovarianzanalyse (n = 139) sowie nach 4-faktorieller Kovarianzanalyse (n = 125) (Ausschluss Rassen < 5 Tiere) mit Messwiederholung bezüglich der Körperseite (n= untersuchte Tierzahl).

Abhängige Variable	p-Wert (n = 139)	Statistische Signifikanz	p-Wert (n = 125)	Statistische Signifikanz
CTT1	0,2996	nicht signifikant	0,6181	nicht signifikant
lgCTT2	0,5328	nicht signifikant	0,9509	nicht signifikant
lgCTT3	0,5441	nicht signifikant	0,9414	nicht signifikant

Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit

Der Einfluss von Umgebungstemperatur und Luftfeuchtigkeit auf die Messungen der Hornhautsensibilität wird mittels 3-faktorieller ($n = 133$) und 4-faktorieller ($n = 120$) Kovarianzanalyse ermittelt. Es kann kein signifikanter Einfluss durch Temperatur oder Luftfeuchtigkeit auf die Messungen nachgewiesen werden (siehe Tab. 13 und Tab. 14).

Tabelle 13: Analyse der Auswirkung der Kovariable - *Lufttemperatur* - auf die Messungen der Sensibilitätsäquivalente CTT1, lgCTT2 und lgCTT3. Angabe der p-Werte nach 3-faktorieller Kovarianzanalyse ($n = 133$) sowie nach 4-faktorieller Kovarianzanalyse ($n = 120$) (Ausschluss Rassen < 5 Tiere) mit Messwiederholung bezüglich der Körperseite ($n =$ untersuchte Tierzahl).

Abhängige Variable	p-Wert (n = 133)	Statistische Signifikanz	p-Wert (n = 120)	Statistische Signifikanz
CTT1	0,3248	nicht signifikant	0,8433	nicht signifikant
lgCTT2	0,1942	nicht signifikant	0,6423	nicht signifikant
lgCTT3	0,1877	nicht signifikant	0,6312	nicht signifikant

Tabelle 14: Analyse der Auswirkung der Kovariable - *Luftfeuchtigkeit* - auf die Messungen der Sensibilitätsäquivalente CTT1, lgCTT2 und lgCTT3. Angabe der p-Werte nach 3-faktorieller Kovarianzanalyse ($n = 133$) sowie nach 4-faktorieller Kovarianzanalyse ($n = 120$) (Ausschluss Rassen < 5 Tiere) mit Messwiederholung bezüglich der Körperseite ($n =$ untersuchte Tierzahl).

Abhängige Variable	p-Wert (n = 133)	Statistische Signifikanz	p-Wert (n = 120)	Statistische Signifikanz
CTT1	0,2132	nicht signifikant	0,3167	nicht signifikant
lgCTT2	0,3995	nicht signifikant	0,4967	nicht signifikant
lgCTT3	0,4251	nicht signifikant	0,5038	nicht signifikant

4.2.2 Schirmer-Tränen-Test I

Die Tränenproduktion wird bei 139 der insgesamt 140 untersuchten Katzen mittels Schirmer-Tränen-Test I gemessen. Bei einer Katze wird die Messung der Tränenproduktion aufgrund von Unkooperativität abgebrochen.

Der arithmetische Mittelwert der jeweils gemittelten Untersuchungsergebnisse beider Augen ($mSTT = (STTR + STTL)/2$) ergibt einen Wert von 19,1 mm/min ($\pm 5,1$ mm/min). Bei 133 der untersuchten Katzen wird dokumentiert mit welchem Auge die Messung des STT I begonnen wurde. Bei 93 der Katzen ist die zuerst gemessene Körperseite links, lediglich bei 30 Katzen wird die Messung des STT I am rechten Auge begonnen. Mittels 4-faktorieller Kovarianzanalyse mit Messwiederholung bezüglich der Körperseite werden die möglichen Einflüsse auf die Tränenproduktion überprüft. In Bezug auf die möglichen Einflüsse durch die Rasse werden lediglich die Rassegruppen einbezogen, bei denen mehr als 5 Tiere vorhanden sind ($n = 125$). Daraus ergibt sich ein statistisch signifikanter Einfluss der Rasse sowie der untersuchten Körperseite auf die Tränenproduktion, entsprechende p-Werte sind Tab. 15 zu entnehmen. Es ergibt sich eine durchschnittliche Tränenproduktion von 18,6 mm/min ($\pm 5,7$ mm/min) für das rechte Auge und 19,9 mm/min ($\pm 5,5$ mm/min) für das linke Auge ($n = 125$).

Tabelle 15: Analyse der Auswirkung der Kovariablen (Rasse, Geschlecht, Irisfarbe, Brachycephaliegrad, Alter, lgCTT 3, Seite) auf den Schirmer-Tränen-Test I unter Einbeziehung aller Rassen mit mehr als 5 Tieren ($n = 125$). ($n =$ untersuchte Tierzahl).

Kovariable	p-Wert	Statistische Signifikanz
Rasse (R)	0,0063	hoch signifikant
Geschlecht (G)	0,6979	nicht signifikant
Irisfarbe (IF)	0,3927	nicht signifikant
Brachycephaliegrad (BG)	0,4875	nicht signifikant
Alter	0,7683	nicht signifikant
lgCTT 3	0,9414	nicht signifikant
Seite (S)	0,0090	hoch signifikant
Wechselwirkung S x R	0,5105	nicht signifikant
Wechselwirkung S x G	0,0611	nicht signifikant
Wechselwirkung S x IF	0,8565	nicht signifikant
Wechselwirkung S x lgCTT 3	0,2533	nicht signifikant

Die Messwerte aller untersuchten Tiere ($n = 139$) werden zusätzlich einer 3-faktoriellen Kovarianzanalyse unterzogen, wobei hier der Einflussfaktor der Rasse entfällt. Da eine Wechselwirkung zwischen der Rasse und dem Brachyzephaliegrad allein aufgrund des vorhandenen Rassestandards besteht, wird die Rasse in der folgenden Auswertung vernachlässigt (siehe Tab. 16). Dabei ergibt sich der statistisch signifikante Einfluss des Brachyzephaliegrades auf den STT I. Der Messwert des STT I steigt mit zunehmendem Brachyzephaliegrad (siehe Abb. 31). Alle weiteren Variablen haben keinen statistisch signifikanten Einfluss auf die Tränenproduktion. Die entsprechenden Schirmer-Tränen-Test I Werte bezogen auf Geschlecht und Rasse können Tab. 18 und Tab. 19 entnommen werden.

Tabelle 16: Analyse der Auswirkung der Kovariablen (Geschlecht, Irisfarbe, Brachyzephaliegrad, Alter, lgCTT 3, Seite) auf den Schirmer-Tränen-Test I ($n = 139$) ($n =$ untersuchte Tierzahl).

Kovariable	p-Wert	Statistische Signifikanz
Geschlecht (G)	0,8450	nicht signifikant
Irisfarbe (IF)	0,3726	nicht signifikant
Brachyzephaliegrad (BG)	0,0204	signifikant
Alter	0,8721	nicht signifikant
lgCTT 3	0,5441	nicht signifikant
Seite (S)	0,0924	hoch signifikant
Wechselwirkung S x G	0,1025	nicht signifikant
Wechselwirkung S x IF	0,9123	nicht signifikant
Wechselwirkung S x lgCTT 3	0,3867	nicht signifikant

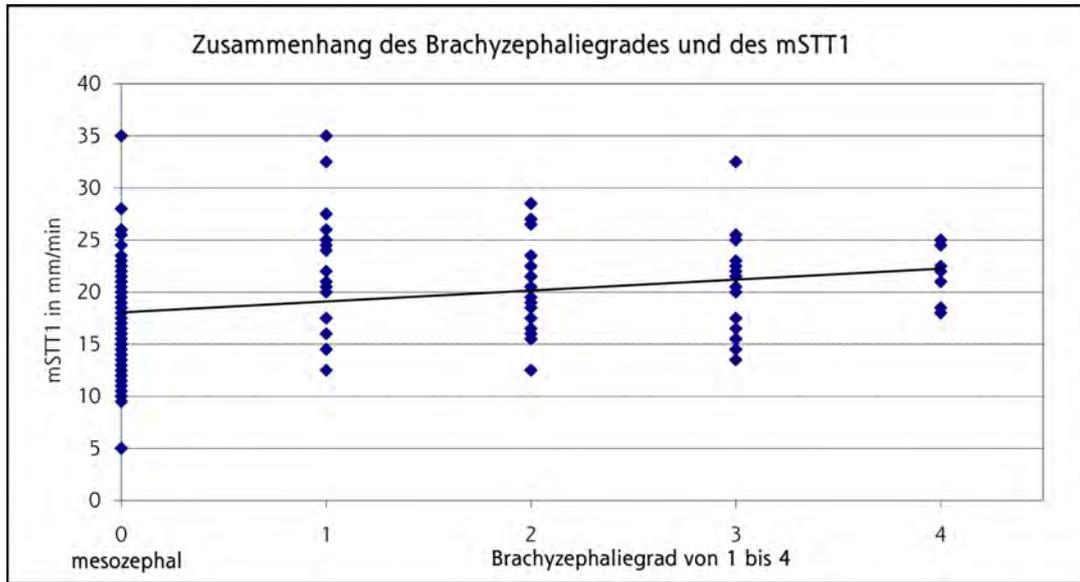


Abbildung 31: Grafische Darstellung der Beziehung von Brachyzephaliegrad von 0 (mesozephal) bis 4 und der Reiztränenproduktion mSTT I (in Millimeter pro Minute - mm/min) unter Einbeziehung aller untersuchten Tiere (n = 139). Die Messwerte des rechten und linken Auges wurden gemittelt (n = untersuchte Tierzahl).

Für 121 der untersuchten Tiere werden das zuerst gemessene Auge sowie der zeitliche Abstand der STT-Messung notiert. Dies erfolgte nicht bei den ersten Studientieren, da erst im Zuge der Messungen der Eindruck entstand, dass die zuerst gemessene Seite eine etwas höhere Tränenproduktion zu haben scheint. Mittels 5-faktorieller bzw. 6-faktorieller Kovarianzanalyse (mit und ohne Einbeziehung der Rasse als möglicher Einflussfaktor) mit Messwiederholung bezüglich der Körperseite kann kein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen Tränenproduktion der zuerst gemessenen Seite und dem zeitlichen Abstand zwischen den Messungen der beiden Augen festgestellt werden (siehe Tab. 17).

Tabelle 17: Ergebnis der Analyse des Einflusses der Kovariablen, beginnende Messseite und zeitlicher Abstand zwischen den Messungen, auf den Schirmer-Tränen-Test I mittels 5-faktorieller Kovarianzanalyse (n = 121) bzw. 6-faktorieller Kovarianzanalyse unter Einbeziehung des Rasseinflusses (n = 108) (n = untersuchte Tierzahl).

Kovariable	p-Wert	Statistische Signifikanz
Beginnende Messseite (n = 121)	0,3069	nicht signifikant
Zeitlicher Abstand (n = 121)	0,7103	nicht signifikant
Beginnende Messseite (n = 108)	0,2821	nicht signifikant
Zeitlicher Abstand (n = 108)	0,5283	nicht signifikant

Tabelle 18: Angabe der minimal und maximalen Messwerte sowie des arithmetischen Mittelwertes (\bar{X}) und der Standardabweichung (SD) für den Schirmer-Tränen-Test I in Millimeter pro Minute (mm/min). Es wird jeweils ein gemittelter Wert beider Augen für die Geschlechter angegeben (n = untersuchte Tierzahl).

Schirmer-Tränen-Test I				
	Minimum	Maximum	\bar{X} (\pm SD)	
	in mm/min	in mm/min	in mm/min	
Katzen (n = 81)	10	35	19,1 (\pm 5,0)	
Kater (n = 58)	5	35	19,1 (\pm 5,3)	

Tabelle 19: Angabe der minimal und maximalen Messwerte sowie des arithmetischen Mittelwertes (\bar{X}) und der Standardabweichung (SD) für den Schirmer-Tränen-Test I in Millimeter pro Minute (mm/min). Es wird jeweils ein gemittelter Wert beider Augen für die verschiedenen Rassen angegeben (n = untersuchte Tierzahl).

		Schirmer-Tränen-Test I		
		Minimum	Maximum	\bar{X} (\pm SD)
		in mm/min	in mm/min	in mm/min
Perserkatze	(n = 34)	13,5	32,5	20,9 (\pm 4,3)
EHK	(n = 29)	5	26	16,3 (\pm 4,5)
BHK	(n = 23)	12,5	35	21,5 (\pm 5,6)
Maine Coon	(n = 21)	11,5	28	17,3 (\pm 4,3)
Bengalkatze	(n = 18)	14,5	35	20,2 (\pm 5,1)

4.2.3 Fluoreszeintest

Die Anfärbung der Hornhaut mittels Fluoreszein zur Diagnostik von epithelialen Läsionen nach den Untersuchungen ist bei allen untersuchten Katzen negativ.

5 Diskussion

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es herauszufinden, ob der Ausprägungsgrad der Brachycephalie bei Katzen einen Einfluss auf ihre korneale Sensibilität hat. Andere Studien stellen fest, dass brachycephale Hunde und Katzen im Vergleich zu mesozephalen Tieren eine signifikant niedrigere Hornhautsensibilität haben (BLOCKER und VAN DER WOERDT, 2001, WAGNER, 2002, KAFARNIK, 2003).

Es liegen bereits zahlreiche Messwerte der Hornhautsensibilität von augengesunden mesozephalen Katzen (CHAN-LING, 1989, BLOCKER und VAN DER WOERDT, 2001, WAGNER, 2002, KAFARNIK, 2003, WIESER et al., 2012) und von Perserkatzen bzw. brachycephalen Katzen vor (BLOCKER und VAN DER WOERDT, 2001, WAGNER, 2002, KAFARNIK, 2003). Es ist hierzu anzumerken, dass lediglich Kurz- (Exotic Shorthair) und Langhaarperserkatzen zur Ermittlung entsprechender Werte herangezogen werden. Die in ihrer Ausprägung weniger stark aber dennoch brachycephalen Britisch Kurzhaar Katzen oder Mischlinge bleiben dabei unberücksichtigt. In keiner der erwähnten Studien wird der Grad der Brachycephalie beschrieben.

In der vorliegenden Untersuchung wird die Hornhautsensibilität bei verschiedenen brachycephalen und mesozephalen Katzenrassen unter Berücksichtigung des Brachycephaliegrades gemessen. Mit den gewonnenen Messwerten sollen zusätzliche mögliche Einflüsse von Rasse, Alter, Geschlecht, Irisfarbe und Tränenproduktion auf die Hornhautsensibilität ermittelt werden. Es soll geklärt werden, ob rassetypische Augenerkrankungen, die mit verminderter Hornhautsensibilität einhergehen sollen, der zum Teil hochgradigen Brachycephalie geschuldet sind (BARNETT und CRISPIN, 1998, STADES et al., 1998, WAGNER, 2002) oder ob tatsächlich eher eine Rasseprädisposition vorliegt, der züchterisch nicht durch die Selektion auf die Kopfform entgegengewirkt werden kann.

5.1 Diskussion der Methode

Zur Messung der Hornhautsensibilität wird das Ästhesiometer nach COCHET und BONNET verwendet. Es stellt ein in der Tiermedizin bewährtes und vielfach verwendetes Messinstrumentarium dar (MacRAE et al., 1982, CHAN-LING, 1989, BROOKS et al., 2000, BLOCKER und VAN DER WOERDT, 2001, WAGNER, 2002, KAPS et al., 2003, CULLEN et al., 2005a). Die in der Humanmedizin häufig verwendeten und objektiveren kontaktlosen Ästhesiometer sind in der Veterinärmedizin aufgrund ihrer Anwendungsart und der variierenden Kopfform unserer Haustiere nicht verwendbar.

Der verwendete Nylonfaden des COCHET-BONNET-Ästhesiometers der Firma Luneau ist auf die durchschnittlichen mitteleuropäischen Bedingungen geeicht, d.h. einer Umgebungstemperatur von 21°C und Luftfeuchtigkeit von 55 % (LUNEAU, 2000). Da es

nicht immer möglich ist, Messungen unter diesen genormten Bedingungen vorzunehmen, werden zur späteren Einschätzung des möglichen Fehlers durch die Umgebungstemperatur und Luftfeuchtigkeit diese während der Untersuchung dokumentiert. Die durchgeführte 3- und 4-faktorielle Kovarianzanalyse zeigt keinen signifikanten Einfluss der Temperatur und Luftfeuchtigkeit auf die Messwerte. Der Einfluss der variierenden Umgebungsverhältnisse bei den Messungen dieser Arbeit ist demnach zu vernachlässigen.

Das Ästhesiometer nach COCHET und BONNET kann stufenlos eingestellt werden, es besteht jedoch nur eine Skalierung im Abstand von 5 mm. Es erfolgt keine Arretierung auf eine exakt gewünschte Skaleneinheit, sondern es verhindert ein Zurückschieben des Fadens durch einen Gummiring. Eine tatsächlich exakte Einstellung und Justierung ist nur schlecht möglich. Durch Verkürzung des Fadens kommt es zur exponentiellen Steigerung des auf die Hornhaut ausgeübten Druckes. Schon kleinste Abweichungen der Einstellungen am Messinstrument führen daher zu stärkeren Messungenauigkeiten bei kurzen Fadenlängen. Dieses Problem ist bei dieser Art von Ästhesiometer allerdings unumgänglich.

Eine lotgerechte Berührung der zentralen Hornhautmessstelle ist problemlos bei ausreichender Beleuchtung und seitlichem Sitz zum Patienten möglich. Allerdings ist das tatsächliche Auftreffen des Fadenendes auf die Hornhaut nur durch die Biegung des Fadens sichtbar (LARSON, 1970, MURPHY et al., 1996). Dadurch kann allerdings auch bei langsamem Heranführen des Messfilamentes nicht immer die gleiche Geschwindigkeit des Nylonfadens beim Hornhautkontakt gewährleistet werden. Dies kann theoretisch zu einer Verfälschung der Ergebnisse führen (EBERWEIN, 2006), die aber durch die mehrfache Messung mit jeder Fadenlänge minimiert werden kann. Ein größeres Problem stellt die Einschätzung des Grades der Fadenbiegung dar. Ab einer Biegung des Fadens von 4° muss der Druck auf die Hornhaut nachgelassen werden, da es sonst zu verfälschten Werten kommt (LARSON, 1970, MURPHY et al., 1996, EBERWEIN, 2006). Oft ist es für den Untersucher schwierig, den Moment der ersten Biegung abzutun und das Ästhesiometer sofort wieder zurückzuziehen. Eine exakte Messung des Biegewinkels ist nicht möglich (LARSON, 1970, MURPHY et al., 1996).

Hauptproblem hierbei ist jedoch, dass mit Verkürzung des Fadens sich auch der hierdurch entstehenden Messfehler deutlich vervielfacht, da, wie bereits vorher beschrieben, der auf die Hornhaut ausgeübte Druck exponentiell ansteigt (LARSON, 1970). Da nur ein Untersucher die Messungen in der vorliegenden Arbeit durchgeführt hat, ist dies lediglich als systematischer Fehler zu werten und sollte innerhalb der gesamten Untersuchungen keinen Einfluss auf die Ergebnisse haben. Natürlich kann es im Vergleich mit den Ergebnissen anderer Arbeiten dadurch unter Umständen zu Abweichungen kommen.

In der Humanmedizin ist bei Messungen der Hornhautsensibilität mittels COCHET-BONNET-Ästhesiometer beschrieben, dass der Patient gut auf die Untersuchung vorbe-

reitet werden muss, da es unter Umständen sonst bereits bei Heranführen des Messinstrumentes zum reflektorischen Lidschluss kommen kann (MURPHY et al., 1996, EBERWEIN, 2006). Da eine Instruktion der Patienten in der Veterinärmedizin nicht möglich ist, sollte das Haltepersonal auf mögliche Reaktionen des Tieres vorbereitet werden. Es wird im Rahmen dieser Arbeit beobachtet, dass manche Katzen bereits beim Anblick des Messinstrumentes verängstigt reagieren und teilweise frühzeitig, noch vor Kontakt des Messfilamentes, zwinkern. Diese Reaktionen während der Untersuchung können vermindert werden, wenn den Katzen vorab Zeit gegeben wird, das Messinstrument zu inspizieren.

In dieser Arbeit wird lediglich die zentrale Messstelle untersucht, da andere Studien bereits gezeigt haben, welche Schwierigkeiten bei der Lokalisation und Messung peripherer Hornhautregionen entstehen (BLOCKER und VAN DER WOERDT, 2001, WAGNER, 2002). Die genaue Lokalisation der zentralen Messstelle stellt in dieser Untersuchung, besonders bei guten Lichtverhältnissen und enger Pupille, subjektiv keine Schwierigkeit dar. Außerdem zeigen zahlreiche Studien, dass die zentrale Messstelle deutlich sensibler als die peripheren Hornhautregionen ist (BLOCKER und VAN DER WOERDT, 2001, WAGNER, 2002, KAFARNIK, 2003). Für die vorliegende Arbeit hätten zusätzliche Messdaten der peripheren Hornhautbereiche wahrscheinlich keine neuen Erkenntnisse gebracht, daher wurde im Sinne der Verkürzung der Messdauer für den Patienten lediglich die zentrale Hornhautsensibilität bestimmt.

Obwohl bekannt ist, dass die Tageszeit einen Einfluss auf die Hornhautsensibilität beim Menschen hat (MILLODOT, 1972), wird dies nicht im Rahmen dieser Arbeit berücksichtigt. Da sich ein Großteil der Untersuchungen nach dem Zeitplan der Patientenbesitzer richtet, finden die meisten Messungen zwischen 12 und 19 Uhr statt. Aus der Humanmedizin ist bekannt, dass die Hornhautsensibilität am Morgen am geringsten ist und im Laufe des Tages zunimmt, mit einem Maximum am Abend (MILLODOT, 1972). Es ist anzunehmen, dass es ähnliche Schwankungen im Laufe eines Tages bei unseren Haussäugetieren gibt, fraglich ist jedoch aufgrund der zum Teil dämmerungs- oder nachtaktiven Verhaltensweise, wie sich diese verhalten. Veterinärmedizinische Studien liegen nach Wissen der Autorin diesbezüglich bisher nicht vor.

In den verschiedenen Studien zur Hornhautsensibilität variieren die Einheiten, in denen der Corneal Touch Threshold angegeben wird, sehr stark. Hierdurch resultierend sind die verschiedenen Angaben zum Teil nur schlecht bis gar nicht vergleichbar. Insbesondere in veterinärmedizinischen Studien werden die Messergebnisse häufig nur in Zentimetern oder Millimetern Fadenlänge des Messfilamentes angegeben (BROOKS et al., 2000, WAGNER, 2002, KAPS et al., 2003, CULLEN et al., 2005a, GOECK, 2010). Ebenfalls problematisch

für die Vergleichbarkeit der Messergebnisse ist die zum Teil unterschiedliche Biegefestigkeit des Fadens bei den verschiedenen Studien. In einigen Fällen ist nachvollziehbar, dass es sich um einen anderen als der in dieser Untersuchung verwendete handelt und damit keine Vergleichbarkeit der Messwerte besteht (MacRAE et al., 1982, CHAN-LING, 1989, BROOKS et al., 2000, WAGNER, 2002). In anderen Studien ist vollkommen unklar, welche Art des Nylonfilamentes sich im Messinstrument befindet bzw. es ist nur anhand der verschiedenen Messwerte zu erahnen (BLOCKER und VAN DER WOERDT, 2001, TROST et al., 2007, MÜLLER et al., 2010). In zahlreichen humanmedizinischen und einigen veterinärmedizinischen Studien werden die Messwerte in Milligramm oder Gramm pro Quadratmillimeter angegeben. Dies schafft gute Voraussetzungen für eine Vergleichbarkeit auch unter Verwendung unterschiedlicher Messfilamente bzw. Messinstrumente (MILLODOT und LAMONT, 1974, MILLODOT, 1977a, MILLODOT, 1977b, ROSZKOWSKA et al., 2004, TROST et al., 2007, MÜLLER et al., 2010, RANKIN et al., 2011). Aufgrund dieser Schwierigkeiten werden in dieser Arbeit die Messwerte jeweils in Millimeter Fadenlänge des Messfilamentes, sowie in Milligramm pro Fadenquerschnittsfläche und Gramm pro Quadratmillimeter angegeben. Da jedoch unterschiedliche Verteilungsfunktionen der Messwerte abhängig von deren Einheit vorliegen, werden diese unabhängig voneinander statistisch ausgewertet und nicht einfach ineinander umgerechnet.

Die Einteilung des Brachycephaliegrades erfolgt subjektiv anhand bestimmter makroskopischer Parameter. Zum Teil ist es nicht möglich, Tiere eindeutig einem bestimmten Brachycephaliegrad zuzuordnen. Von der Stellung des Nasenspiegels im Bezug auf das untere Augenlid kann nicht in jedem Fall ein passender Rückschluss auf die Nasenlänge getroffen werden. Zur besseren klinischen Einschätzung des Brachycephaliegrades wird nach SCHLÜTER et al. (2009) die Stellung der Oberkiefer-Canini in die Einteilung einbezogen. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit kommt es jedoch zu keiner nachvollziehbaren Rotation der Canini mit steigendem Brachycephaliegrad welche daher nicht näher berücksichtigt wird.

Entgegen anderer Studien (BLOCKER und VAN DER WOERDT, 2001, WAGNER, 2002, KAPS et al., 2003, TROST et al., 2007, MÜLLER et al., 2010, RANKIN et al., 2011) erfolgt die Messung der Reiztränensekretion erst nach den ästhesiometrischen Messungen. Es ist bekannt, dass eine Überstimulation von Schmerzrezeptoren der Hornhaut zu unbeabsichtigtem Zwinkern bis hin zum Blepharospasmus führen kann (BROOKS et al., 2000). Um keine Reizung der Hornhaut und damit eine mögliche Sensibilisierung vor den ästhesiometrischen Messungen zu provozieren, erfolgt die Messung der Reiztränensekretion erst nach der Ästhesiometrie. Da allerdings auch bekannt ist, dass der Schirmer-Tränen-Test I durch vorherige Manipulation ebenfalls beeinflusst werden kann (MAGGS, 2008a), wird die Messung

frühestens 10-15 Minuten nach jeglicher Manipulation am Auge durchgeführt. Werden mehrere Katzen eines Haushaltes untersucht, erfolgt die Messung der Tränenproduktion erst nach Untersuchung aller Katzen. Damit liegen zum Teil 1-2 Stunden zwischen der letzten Manipulation am Auge und dem Schirmer-Tränen-Test I. Da bekanntermaßen auch Stress zur Reduktion der Reiztränensekretion bei der Katze führen kann (MAGGS, 2008a), soll sich auch die zum Teil lange Wartezeit zwischen den zwei Untersuchungsschritten positiv auf die Ergebnisse des Schirmer-Tränen-Tests I ausgewirkt haben. In der Studie von GOECK (2010) wird zur Überprüfung der Tränenproduktion ein Abstand von mindestens 3 Tagen zur Ästhesiometrie gewählt, was sicherlich jede gegenseitige Beeinflussung ausschließt. Aufgrund der dann notwendigen erneuten Vorstellung der Katzen wird in der vorliegenden Studie auf die getrennte Durchführung von Ästhesiometrie und Schirmer-Tränen-Test I verzichtet.

5.2 Diskussion der Ergebnisse

5.2.1 Hornhautsensibilität

Verschiedene Studien zeigen, dass augengesunde brachyzephe Katzen und Hunde im Vergleich zu mesozephalen eine geringere Hornhautsensibilität aufweisen (BLOCKER und VAN DER WOERDT, 2001, WAGNER, 2002, KAFARNIK, 2003). Bei Katzen konnte eine verringerte korneale Sensibilität bei an Hornhautsequestern erkrankten Tieren bereits nachgewiesen werden (WAGNER, 2002). Perserkatzen werden in der Literatur als besonders häufig von Hornhautsequestern betroffene Katzenrasse benannt (WAGNER, 2002, MAGGS, 2008b, TOWNSEND et al., 2009). Die tatsächliche Ursache für die Entstehung ist nach wie vor unbekannt, neben verschiedenen anderen Faktoren werden aber eine verminderte Hornhautsensibilität sowie ein bestehender rassetypischer Lagophthalmus diskutiert (WAGNER, 2002, TOWNSEND et al., 2009).

Aufgrund der zum Teil unterschiedlichen Fadenstärken der verwendeten Ästhesiometer sowie der Messdatenangabe in verschiedenen Einheiten ist die Vergleichbarkeit zu anderen Studien nur eingeschränkt möglich. Zusätzlich können arithmetische Mittelwerte und Standardabweichungen nicht direkt mit geometrischen Mittelwerten und Streufaktoren bei rechtsschiefen Verteilungen miteinander verglichen werden.

Die vorliegende Arbeit bestätigt die Untersuchungen von BLOCKER und VAN DER WOERDT (2001), WAGNER (2002) und KAFARNIK (2003), dass brachyzephe Katzen im Vergleich zu mesozephalen zentral eine verminderte Hornhautsensibilität aufweisen.

BLOCKER und VAN DER WOERDT (2001) nutzen zur Auswertung ihrer Daten ebenfalls eine multifaktorielle Kovarianzanalyse. Im Gegensatz zu der vorliegenden Arbeit liegt aber bei BLOCKER und VAN DER WOERDT (2001) keine rechtsschiefe Verteilung

der Daten vor, oder sie wird nicht weiter in der statistischen Auswertung berücksichtigt. Aus diesem Grund werden arithmetische Mittelwerte und Standardabweichungen angegeben, die nicht direkt mit dem in der vorliegenden Arbeit errechneten geometrischen Mittelwert und dem Streufaktor für CTT2 und CTT3 verglichen werden können. Um trotzdem eine gewisse Vergleichbarkeit der Ergebnisse schaffen zu können, wird in der vorliegenden Arbeit aus den erhobenen Daten zusätzlich ein arithmetischer Mittelwert und Standardabweichung für CTT2 und CTT3 ermittelt. An dieser Stelle sei jedoch darauf hingewiesen, dass die statistisch richtigen Ergebnisse der vorliegenden Arbeit aufgrund der rechtsschiefen Verteilung nur als geometrischer Mittelwert und Streufaktor angegeben werden. Die entsprechend BLOCKER und VAN DER WOERDT (2001) neu errechneten arithmetischen Mittelwerte und Standardabweichungen für mCTT3 mit Vernachlässigung der rechtsschiefen Verteilung ergeben $1,41 \text{ g/mm}^2 (\pm 1,17 \text{ g/mm}^2)$ für mesozephal (n = 78) und $2,96 \text{ g/mm}^2 (\pm 2,91 \text{ g/mm}^2)$ für brachyzephal Katzen (n = 62), bzw. $1,75 \text{ g/mm}^2 (\pm 1,72 \text{ g/mm}^2)$ für Europäische Hauskatzen (n = 29) und $3,65 \text{ g/mm}^2 (\pm 3,52 \text{ g/mm}^2)$ für Perserkatzen (n = 34). BLOCKER und VAN DER WOERDT (2001) ermitteln einen arithmetischen Mittelwert und Standardabweichung von $1,79 \text{ g/mm}^2 (\pm 2,33 \text{ g/mm}^2)$ (OD) und $1,74 \text{ g/mm}^2 (\pm 1,65 \text{ g/mm}^2)$ (OS) für die zentrale Messstelle bei Domestic Shorthair Katzen und $4,09 \text{ g/mm}^2 (\pm 5,29 \text{ g/mm}^2)$ (OD) und $3,18 \text{ g/mm}^2 (\pm 3,75 \text{ g/mm}^2)$ (OS) für brachyzephal Katzen (zur besseren Veranschaulichung siehe Tab. 20). Vergleicht man die neu berechneten Ergebnisse der vorliegenden Arbeit mit der Studie von BLOCKER und VAN DER WOERDT (2001) so fällt auf, dass die ermittelten Sensibilitätsäquivalente der EHK und DSH sehr ähnlich sind. Die niedrigeren Ergebnisse und damit einer vergleichsweise höheren Sensibilität im Vergleich der Gruppe der mesozephal Katzen zu BLOCKER und VAN DER WOERDT (2001) ergeben sich wahrscheinlich am ehesten durch den Einfluss anderer Katzenrassen in der vorliegenden Arbeit. Die zum Teil sehr unterschiedlichen Ergebnisse der brachyzephal Katzen können zum einen damit begründet werden, dass bei BLOCKER und VAN DER WOERDT (2001) ausschließlich Perserkatzen die Gruppe der Brachyzephal bilden. Im Gegensatz dazu fließen in der vorliegenden Untersuchung diverse andere Katzenrassen sowie Mischlinge mit ein. Zum anderen kann die geringere Sensibilität der brachyzephal Katzen bei BLOCKER und VAN DER WOERDT (2001) im Vergleich zu der vorliegenden Arbeit an einem insgesamt höheren Anteil an extrem brachyzephal Tieren liegen. Diese Vermutung basiert darauf, dass unter den untersuchten Perserkatzen die Brachyzephaliegrade 3 und 4 am häufigsten vorkommen und BLOCKER und VAN DER WOERDT (2001) lediglich Perserkatzen untersucht haben. Zur Ausprägung der Brachyzephalie wird von den Autoren keine Aussage getroffen. Die Mittelwerte und Standardabweichungen für Perserkatzen ähneln sich in beiden Untersuchungen sehr, so dass eine geringere Sensibilität bei Brachyzephalen insgesamt durch die vorliegende Arbeit

als bestätigt gelten darf. Allerdings ist besonders aufgrund der insgesamt ähnlichen Ergebnisse der neu berechneten Werte dieser Arbeit davon auszugehen, dass eine rechtsschiefe Verteilung der Messdaten in der statistischen Auswertung bei BLOCKER und VAN DER WOERDT (2001) nicht beachtet wurde.

Tabelle 20: Vergleich der Ergebnisse von BLOCKER und VAN DER WOERDT (2001) mit den eigenen Daten (mit Vernachlässigung der rechtsschiefen Verteilung von mCTT3) unter Angabe der arithmetischen Mittelwerte (\bar{X}) und Standardabweichungen (SD) in Gramm pro Quadratmillimeter (g/mm^2) für das linke (OS) und das rechte Auge (OD) bzw. beide Augen (OU). Es wird darauf hingewiesen, dass die statistisch richtigen Ergebnisse dieser Arbeit für CTT3 aufgrund der rechtsschiefen Verteilung nur als geometrischer Mittelwert und Streufaktor angegeben werden. Eine Angabe des arithmetischen Mittelwertes und einer Standardabweichung erfolgt lediglich zu Vergleichszwecken mit anderen Untersuchungen (n = untersuchte Tierzahl).

Eigene Ergebnisse		BLOCKER und VAN DER WOERDT		
\bar{X} (\pm SD) von CTT3 in g/mm^2		\bar{X} (\pm SD) von CTT3 in g/mm^2		
Rasse/ Kopfform	OU	Rasse/ Kopfform	OS	OD
Mesozephal ($n = 78$)	1,41 ($\pm 1,17$)	Mesozephal/ DSH	1,74	1,79
EHK ($n = 29$)	1,75 ($\pm 1,72$)	($n = 50$)	($\pm 1,65$)	($\pm 2,33$)
Brachyzephal ($n = 62$)	2,96 ($\pm 2,91$)	Brachyzephal/	3,18	4,09
Perserkatze ($n = 34$)	3,65 ($\pm 3,52$)	Perserkatze ($n = 20$)	($\pm 3,75$)	($\pm 5,29$)

WAGNER (2002) gibt in seiner Untersuchung die Messwerte lediglich in Zentimetern Fadenlänge an. Da allerdings ein anderes als in der vorliegenden Arbeit verwendetes Messfilament genutzt wird, sind die Messwerte nicht direkt miteinander vergleichbar. KAFARNIK (2003) ermittelt in ihren Untersuchungen deutlich niedrigere korneale Schwellenwerte für brachyzephal und mesozephal Katzen. Es wird angegeben, dass geometrische Mittelwerte und Streufaktoren ermittelt werden, die entsprechenden Ergebnisse werden aber nur unzureichend dokumentiert. Lediglich Medianwerte, sowie Minimum und Maximum sind für die verschiedenen Messstellen für mesozephal und brachyzephal Tiere in der Arbeit nachzulesen. Da die angegebenen Medianwerte zum Teil keine vom Messgerät gemessenen Werte sein können, kann es sich hier gegebenenfalls um einen Fehler der Begrifflichkeit

handeln und mit dem Median tatsächlich der geometrische Mittelwert gemeint sein. KAFARNIK (2003) ermittelt mediane Sensibilitätsschwellenwerte von $8,75 \text{ mg/A}_Q$ an der zentralen Messstelle für mesozephal Katzen ($n = 24$) und $11,5 \text{ mg/A}_Q$ für brachyzephal Katzen ($n = 3$). Der in der vorliegenden Arbeit ermittelte geometrische Mittelwerte von $13,69 \text{ mg/A}_Q$ ($* 1,63 \pm 1$) für mesozephal Katzen ($n = 78$) an der zentralen Messregion liegt bereits deutlich über dem von KAFARNIK (2003) angegebenen Wert, wobei sich dieser noch innerhalb des Streubereiches befindet. Gleiches gilt für den in der vorliegenden Arbeit errechneten geometrischen Mittelwert von $23,72 \text{ mg/A}_Q$ ($* 2,07 \pm 1$) für brachyzephal Katzen ($n = 62$). Der Streubereich ist gerade bei den brachyzephal Tieren relativ groß, was dem unproportional hohen Druckanstieg bei kurzer Fadenlänge geschuldet ist (siehe Abb. 9). Abweichungen in den Messergebnissen zu KAFARNIK (2003) können auch durch die sich deutlich unterscheidende Tierzahl begründet sein. In der vorliegenden Arbeit werden mehr als dreimal so viele mesozephal Katzen und mehr als zwanzigmal so viele brachyzephal Katzen untersucht als in der Arbeit von KAFARNIK (2003).

2003 kann KAFARNIK keinen signifikanten Unterschied im subbasalen und subepithelialen Plexus bei Perserkatzen und Hauskatzen feststellen, dies gelingt jedoch 2008 an einer höheren Anzahl untersuchter Tiere. Eine signifikant niedrigere Nervenfaserdichte in beiden Plexus kann zwischen Perserkatzen im Vergleich zu Hauskatzen nachgewiesen werden (KAFARNIK et al., 2008). Für Hunde können diese Untersuchungsergebnisse allerdings nicht bestätigt werden (KAFARNIK et al., 2008), weshalb unklar bleibt, ob bei Brachyzephalen allgemein eine verminderte Nervenfaserdichte in den Plexus als tatsächliche Ursache einer verminderten Hornhautsensibilität zu sehen ist.

5.2.1.1 Einfluss des Brachyzephaliegrades

Der Einfluss des Brachyzephaliegrades auf die Hornhautsensibilität bei der Katze wurde bisher nicht näher untersucht, da die Unterteilung der untersuchten Tiere in anderen Studien entweder nur nach mesozephal bzw. brachyzephal oder nach Rasse erfolgt. Die vorliegende Arbeit zeigt, dass der Brachyzephaliegrad einen signifikanten Einfluss auf die Hornhautsensibilität hat. Mit steigendem Brachyzephaliegrad nimmt die Hornhautsensibilität ab.

Ebenfalls nimmt mit steigendem Brachyzephaliegrad durch die flacher werdenden Orbitae der „rassetypische“ Exophthalmus in seiner Ausprägung zu, wodurch die Bulbi oculi prominenter wirken und die Hornhäute stärker exponiert werden (MAGGS, 2008c, TOWNSEND et al., 2009). Zusätzlich treten bei stärker brachyzephal Tieren deutlich häufiger nasale Entropien auf, die zu einer Reizung der Hornhautoberfläche führen (MAGGS, 2008c). Es ist daher ebenfalls denkbar, dass prominentere Bulbi oculi durch

die ständige Exponierung der Hornhaut und damit ständigen Reizung eine Abnahme der Hornhautsensibilität aufweisen.

KAFARNIK (2003) vermutet pathophysiologische Abweichungen der nervalen Leitungsstrukturen des Kornealreflexes bei brachycephalen Hunden und Katzen. Ist dies der Fall, kann es möglich sein, dass derartige Defekte auch vom Ausprägungsgrad der Brachycephalie abhängig sind. Ob brachycephale Katzen tatsächlich bereits von Geburt an eine geringere Sensibilität der Hornhaut im Vergleich zu mesozephalen Katzen aufweisen, oder ob es zu einer im Laufe des Lebens deutlich stärkeren Abnahme der kornealen Sensibilität durch ständige Reizung kommt, kann durch die vorliegende Arbeit nicht geklärt werden, da nur Tiere ab einem Alter von einem Jahr berücksichtigt werden. Hierzu sind weitere Untersuchungen notwendig. Sinnvoll erscheint in diesem Zuge auch die Untersuchung einiger Katzen über einen längeren Zeitraum hinweg, idealerweise beginnend unmittelbar nach dem Öffnen der Augen.

Als grundsätzliche Schwierigkeit in der Auswertung des Einflusses der Kopfform ist zu sehen, dass der Brachycephaliegrad nie vollkommen unabhängig von der Rasse betrachtet werden kann. Bisher gibt es keine Untersuchungen, die sich mit der Verteilung der einzelnen Katzenrassen auf die verschiedenen Brachycephaliegrade befassen. In der vorliegenden Arbeit sind in den Gruppen mit Brachycephaliegrad 3 und 4 ausschließlich Perserkatzen vertreten, wohingegen dazu in den Gruppen mit niedrigen Ausprägungsgraden auch andere Katzenrassen wie Britisch Kurzhaar vertreten sind. Um den Rasseeinfluss vollkommen auszuschließen, müssten die verschiedenen Brachycephaliegrade mit Vertretern einer einzigen Katzenrasse oder einer gleichmäßigen Rasseverteilung bestimmt werden. Aufgrund bestehender enger Rassestandards ist allerdings nur eine relativ kleine Vielfalt unter den Kopfformen der einzelnen Katzenrassen zu finden.

Erstmals sind in der vorliegenden Arbeit auch andere brachycephale Katzen in ästhesiometrische Messungen einbezogen worden, womit der Rassefaktor Perserkatze reduziert werden kann.

5.2.1.2 Einfluss der Kovariablen (Rasse, Alter, Geschlecht, Körperseite, Irisfarbe, Tränenproduktion) auf die korneale Sensibilität

Rasse

Es ist bereits aus anderen Studien bekannt, dass Perserkatzen im Vergleich zu europäischen Hauskatzen bzw. Domestic Shorthair Katzen eine verminderte Hornhautsensibilität haben (BLOCKER und VAN DER WOERDT, 2001, WAGNER, 2002). Dies kann auch im Rahmen dieser Arbeit bestätigt werden. Zusätzlich werden auch weitere beliebte und weitverbreitete sowohl mesozepitale als auch brachycephale Katzenrassen untersucht. Derzeit

sind in der Literatur keine Angaben zu verschiedenen Katzenrassen, außer den oben beschriebenen, zu finden. In der vorliegenden Arbeit wird ein signifikanter Unterschied zwischen den Sensibilitätsäquivalenten der verschiedenen Katzenrassen aufgezeigt. So haben Maine Coon Katzen im Rassevergleich die höchste korneale Sensibilität von $0,90 (* 1,42^{\pm 1})$ g/mm², gefolgt von Bengalkatzen mit $1,03 (* 1,54^{\pm 1})$ g/mm². Europäischen Hauskatzen haben im Vergleich eine mittlere Sensibilität von $1,44 (* 1,66^{\pm 1})$ g/mm². Britisch Kurzhaar Katzen als brachycephale Rasse haben im Vergleich dazu eine verminderte Sensibilität von $1,76 (* 1,79^{\pm 1})$ g/mm². Am wenigsten sensibel sind Perserkatzen mit $2,49 (* 2,27^{\pm 1})$ g/mm². Die geringeren kornealen Sensibilitäten der Perserkatzen und Britisch Kurzhaar Katzen sind wahrscheinlich durch die im Rassestandard festgelegte "typische,, brachycephale Kopfform bzw. Brachycephalie und der damit verbundenen stärkeren Exponierung der Hornhaut begründet. Maine Coon Katzen haben im Vergleich zu Hauskatzen einen deutlich größeren Schädel und tiefer liegende Augen. Insgesamt scheinen die Augen damit etwas geschützter vor äußeren Einflüssen zu liegen und sind damit einer geringeren Reizung ausgesetzt. Aus der Human- und Veterinärmedizin ist bekannt, dass die peripheren, insbesondere die ventrale Messstelle weniger sensibel sind (CHAN-LING, 1989, GUM et al., 2007, WAGNER, 2002, KAFARNIK, 2003, KAFARNIK et al., 2008). Dies wird insbesondere durch den permanenten Druck, den die Lider ausüben, begründet (CHAN-LING, 1989, GUM et al., 2007, KAFARNIK et al., 2008). Beim Menschen ist auch bekannt, dass langjähriges Kontaktlinsentragen durch den ausgeübten Reiz zu einer Senkung der Sensibilität der Hornhaut führt (MILLODOT, 1972). Im Gegenzug kann angenommen werden, dass eine besser geschützte Hornhaut, wie es anatomisch bei Maine Coons der Fall ist, zu einer höheren Hornhautsensibilität führt. Bengalkatzen nehmen unter den domestizierten Katzenrassen eine Sonderstellung ein. Bengalkatzen sind als Hybridrasse eine Kreuzung zwischen domestizierten Katzenrassen und der Wildkatze *Prionailurus bengalensis* (asiatische Leopardkatze). Kopfform sowie Lidstellung sind weitestgehend mit der Europäischen Hauskatze vergleichbar, daher ist die höhere Hornhautsensibilität wahrscheinlich durch andere Faktoren beeinflusst. KAFARNIK (2003) stellt die These auf, dass Katzen aufgrund ihres Jagdverhaltens und ihrer Größe, im Gegensatz zu anderen größeren Tieren, ein höheres Risiko für okuläre Verletzungen aufweisen und damit die Wichtigkeit des Kornealreflexes an Bedeutung gewinnt (KAFARNIK, 2003). Geht man von diesem Ansatzpunkt aus, ist es grundsätzlich denkbar, dass Wildtiere im Vergleich zu domestizierten Haustieren eine höhere Hornhautsensibilität haben. Möglicherweise haben Bengalkatzen eine im Vergleich zu Hauskatzen sensiblere Hornhaut durch die nähere Verwandtschaft zur Wildkatze oder in Folge anderer unbekannter Faktoren. Vergleichswerte zur Hornhautsensibilität bei Wildkatzenarten liegen nicht vor. Aufgrund des zurzeit genutzten Messverfahrens sind diese wahrscheinlich auch nicht zu erheben. Interessant wäre aber sicherlich die korneale

Ästhesiometrie weiterer Hybridrassen wie beispielsweise der Savannahkatze.

Alter

Sowohl bei brachycephalen als auch bei den mesozephalen Katzen kann eine Abnahme der Hornhautsensibilität mit steigendem Alter beobachtet werden. Dabei ist eine ähnlich starke Abnahme in beiden Gruppen sichtbar. Ähnliche Ergebnisse erzielt WAGNER (2002), wenngleich die Daten aus oben genannten Gründen nicht direkt miteinander vergleichbar sind. Weitere Studien können ebenfalls eine Abnahme der Hornhautsensibilität mit steigendem Alter bei Menschen und verschiedenen Tierarten aufzeigen (MILLODOT, 1977a, BROOKS et al., 2000, WAGNER, 2002, KAPS et al., 2003, ROSZKOWSKA et al., 2004, ACOSTA et al., 2006, RANKIN et al., 2012). Beim Menschen wird bereits gezeigt, dass im Laufe des Lebens die Hornhautsensibilität abnimmt, beginnend in den peripheren Hornhautregionen und erst ab einem Lebensalter von 60 Jahren auch im Bereich der zentralen Messstelle (ROSZKOWSKA et al., 2004). Ursächlich vermutet werden ein abnehmender Wassergehalt der Hornhaut, die Atrophie der Nervenfasern bzw. eine Zunahme der fibrösen Anteile der Kornea (MILLODOT, 1977a). Forschungen zur Nervenfasertextur der Kornea des Menschen zeigen, dass es zur Abnahme der Nervenfaserdichte im Alter kommt, insbesondere der zentralen epithelialen Abzweigungen, dies wird besonders deutlich ab einem Alter von 70 Jahren (HE et al., 2010). Zusätzlich kommt es außerdem zu einem vermehrten Auftreten irregulärer Nervenfaseranomalien in den peripheren Bereichen, die zu einer Schädigung der weiterführenden Nervenfaserbündel führen (HE et al., 2010).

Im Gegensatz dazu kann in anderen Untersuchungen kein Zusammenhang zwischen dem Alter und der Hornhautsensibilität bei Katzen, Hunden und Chinchillas ermittelt werden (BLOCKER und VAN DER WOERDT, 2001, KAFARNIK, 2003, MÜLLER et al., 2010).

Geschlecht

Entsprechend anderer Studien kann auch in der vorliegenden Untersuchung kein signifikanter Unterschied der Hornhautsensibilität zwischen den Geschlechtern nachgewiesen werden (WAGNER, 2002, KAFARNIK, 2003, KAPS et al., 2003, ACOSTA et al., 2006, MÜLLER et al., 2010, WELIHOZKIY et al., 2011). In der Humanmedizin kann eine nicht signifikante Tendenz zu einer höheren kornealen Sensibilität bei Frauen im Vergleich zu Männern dargestellt werden (MILLODOT, 1975, ACOSTA et al., 2006). Auch die Untersuchungsergebnisse der vorliegenden Arbeit zeigen eine Tendenz zur höheren kornealen Sensibilität von weiblichen im Vergleich zu männlichen Katzen, die jedoch nicht signifikant ist. Obwohl MILLODOT und Mitarbeiter (1974, 1977b) beim Menschen verschiedene hormonelle Einflussfaktoren auf die Hornhautsensibilität benennen, wird in der vorlie-

genden Arbeit der Kastrationsstatus der untersuchten Tiere nicht berücksichtigt, da der Altersdurchschnitt der kastrierten deutlich über dem der intakten Tiere ist. Dies führt zu einer Wechselbeeinflussung durch den Faktor Alter und muss dementsprechend entfallen.

Körperseite

Ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen dem rechten und dem linken Auge kann nicht gezeigt werden, daher wird in der weiteren statistischen Auswertung, sofern dies möglich ist, ein Mittelwert aus den Messwerten beider Augen gebildet. Diese Beobachtung geht konform mit der vorhandenen Literatur (CHAN-LING, 1989, KAFARNIK, 2003, KAPS et al., 2003, CULLEN et al., 2005a, ACOSTA et al., 2006, MÜLLER et al., 2010, RANKIN et al., 2012).

Irisfarbe

In der Humanmedizin sind unterschiedliche Untersuchungen zum Einfluss der kornealen Sensibilität und der Irisfarbe zu finden. Bisher gibt es keine veterinärmedizinischen Untersuchungen, die die Irisfarbe berücksichtigen. Obwohl die Augenfarben der untersuchten Katzen meist sehr mit der Katzenrasse korrelieren, kann in der vorliegenden Arbeit kein Zusammenhang zwischen Irisfarbe und Hornhautsensibilität festgestellt werden. Bezogen auf die vorliegende Studie sind blaue und gelbe Augen vor allem bei Perserkatzen und Britisch Kurzhaar Katzen vertreten, wohingegen europäische Hauskatzen, Bengalkatzen und Maine Coon Katzen fast ausschließlich grüne oder grüngelbe Augen aufweisen. MILLODOT (1975) kann bei blauäugigen Menschen einen geringeren Sensibilitätsschwellenwert auf mechanische Reize im Vergleich zu grünen und braunen Augen verzeichnen. ACOSTA und Mitarbeiter (2006) können dies lediglich im Bezug auf chemische Stimuli für blaue Augen bestätigen. Andere Untersuchungen können diese Beobachtung in Bezug auf mechanische Stimuli allerdings nicht machen (MILLODOT, 1976, HENDERSON et al., 2005). Aufgrund der unterschiedlichen Ergebnisse in der Humanmedizin ist es fraglich, ob unter Umständen eher die Ethnologie oder andere unbekanntere Faktoren einen Einfluss auf die Hornhautsensibilität haben. In der Veterinärmedizin spielt wohl wahrscheinlich eher die Rasse als die Irisfarbe eine Rolle, aber auch das ist eine Spekulation.

Tränenproduktion

Bisher ist unklar, ob die Tränenproduktion einen Einfluss auf die Hornhautsensibilität bei Tieren hat. In den meisten Studien werden Tiere mit niedrigen Schirmer-Tränen-Test I Ergebnissen aus der Studie ausgeschlossen oder die Tränenproduktion wird nicht dokumentiert (CHAN-LING, 1989, BLOCKER und VAN DER WOERDT, 2001, WAGNER, 2002, KAFARNIK, 2003, RANKING et al., 2010). WIESER und Mitarbeiter (2012) können

für Katzen, Hunde, Rinder, Pferde, Ziegen, Schafe, Kaninchen und Meerschweinchen keinen eindeutig signifikanten Zusammenhang zwischen Hornhautsensibilität und der Reiztränensekretion abzüglich der basalen Tränensekretion (STT I - STT II) nachweisen. Aus der Humanmedizin ist bekannt, dass sowohl der mechanische als auch der chemische und thermische Sensibilitätsschwellenwert der Hornhaut beim Symptomkomplex des trockenen Auges signifikant erhöht sind (BOURCIER et al., 2005, TOKER und ASFUROGLU, 2010).

In der vorliegenden Studie kann kein signifikanter Zusammenhang der Tränenproduktion mit der Hornhautsensibilität festgestellt werden. Alle untersuchten Tiere sind klinisch gesund und zeigen keinerlei Anzeichen einer trockenen Hornhaut bzw. des Symptomkomplexes eines trockenen Auges. Interessant für weiterführende Untersuchungen ist es, ob an Keratokonjunktivitis sicca erkrankte Hunde eine verminderte Hornhautsensibilität im Vergleich zu gesunden Hunden aufweisen. Zusätzlich wäre es von Interesse, ob diese sich dann wie in der Humanmedizin, ebenfalls wieder unter Ciclosporin-Gabe und Normalisierung der Tränenproduktion verbessert (TOKER und ASFUROGLU, 2010). Hierzu gibt es derzeit noch keine veterinärmedizinischen Studien.

Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit

Da das verwendete Ästhesiometer nach COCHET und BONNET zur Bestimmung der Hornhautsensibilität eine Kalibrierung unter normalen mitteleuropäischen Bedingungen, d.h. einer Umgebungstemperatur von 21°C und einer Luftfeuchtigkeit von 55 % erhält, besteht demnach bei Abweichungen von diesen Normwerten die Gefahr der Messwertverfälschung (LUNEAU, 2000). Aus diesem Grund wird die jeweilige Umgebungstemperatur und Luftfeuchtigkeit während der Messungen dokumentiert, um den resultierenden Fehler besser abschätzen zu können. Eine Messung bei gleichbleibender oder ähnlicher Temperatur und Luftfeuchtigkeit ist allein aufgrund von Jahreszeitenwechseln und der Länge des Untersuchungszeitraumes nicht möglich. Die statistische Auswertung ergibt jedoch keinen signifikanten Einfluss auf die Messdaten, weshalb der möglicherweise entstandene Messfehler zu vernachlässigen ist. Zudem liegt die mittlere Raumtemperatur während der Messungen bei 23,6°C ($\pm 1,9^\circ\text{C}$) und die mittlere Luftfeuchtigkeit bei 54,2 % ($\pm 7,2\%$), d.h. die Mehrzahl der Messungen fand ohnehin unter annähernd „normalen mitteleuropäischen Bedingungen“ statt.

5.2.2 Schirmer-Tränen-Test I

Mit einer durchschnittlichen Reiztränensekretion von 19,1 ($\pm 5,1$) Millimeter pro Minute (mm/min) liegt diese etwas höher als die für Katzen in der Literatur angegebenen Werte. In der Regel werden mittlere STT I-Werte von 16,24 bis 17,0 mm/min für die Katze angegeben (MAGGS, 2008a, INTERVET, 2010, DAVIS und TOWNSEND, 2011). Aller-

dings wird grundsätzlich von einer bei der Katze größeren Messspanne gesprochen, da es unter klinischen Bedingungen stressbedingt durchaus zu einem drastischen Abfall der Tränenproduktion kommen kann (MAGGS, 2008a). Der in der vorliegenden Untersuchung ermittelte Wert entspricht weitestgehend dem für den Hund angegebenen physiologischen Wert von 15-25 mm/min (COOK et al., 2009). Grundsätzlich werden in der vorliegenden Arbeit die meisten untersuchten Tiere in ihrer gewohnten Umgebung und nicht unter klinischen Bedingungen untersucht. Eventuell erklärt dies die höheren als in der Literatur angegebenen Ergebnisse, da der Einflussfaktor Stress deutlich reduziert wird. Außerdem wurde der Schirmer-Tränen-Test I erst nach anderen Untersuchungen, wenn auch mit großem zeitlichen Abstand durchgeführt. Dies kann ebenfalls die vorliegenden Abweichungen von der Literatur erklären. Grundsätzlich sollte der Schirmer-Tränen-Test I vor allen anderen Untersuchungen erfolgen, da bereits helles Licht und andere Reizungen zu einem Anstieg der gemessenen Werte führen können (MAGGS, 2008a, ROSOLEN et al., 2009). In der vorliegenden Arbeit wurde der Schirmer-Tränen-Test I allerdings nach anderen Untersuchungen durchgeführt, da es sich hierbei nicht um die Hauptfragestellung handelt und eine Beeinflussung der Ästhesiometrie vermieden werden sollte. Denkbar ist daher eine Erhöhung und damit Verfälschung des Schirmer-Tränen-Test I.

5.2.2.1 Einfluss des Brachyzephaliegrades

Wird der Einfluss der Rasse in die statistische Auswertung mit einbezogen, liegt keine statistische Signifikanz zwischen dem Brachyzephaliegrad und der Reiztränensekretion vor. Wird der Einflussfaktor Rasse jedoch vernachlässigt und alle gemessenen Tiere in die Auswertung einbezogen, so hat der Brachyzephaliegrad einen statistisch signifikanten Einfluss auf die Tränenproduktion. Mit steigendem Brachyzephaliegrad kommt es zu einer vermehrten Tränensekretion. Bisher gibt es keine der Autorin bekannte Literatur, die diesen Sachverhalt bei Katzen beschreibt. Bei Hunden ist von einem umgekehrten Verhalten auszugehen, da vor allem brachyzephal Hunderassen, neben einigen anderen, als gefährdet gelten, eine Keratokonjunktivitis sicca zu entwickeln (MILLER, 2008b). Anfangs war dies auch meine Erwartungshaltung. Es stellt sich die Frage, ob die Tränenproduktion mit steigendem Brachyzephaliegrad ansteigt, oder ob im Vergleich zu anderen Kopfformen lediglich ein verminderter Abfluss besteht, jedoch die Reiztränenproduktion gleich bleibt. Grundsätzlich zeigen alle untersuchten Perserkatzen auffälliges Schmatzen und einen zunehmend feuchteren Nasenspiegel während des Schirmer-Tränen-Testes. Dies spricht für einen vorhandenen Abfluss der Tränenflüssigkeit über den Tränennasenkanal. Es kann jedoch nicht beurteilt werden, ob dies im gleichen Umfang wie bei einer gesunden mesozeptalen Katze geschieht, da die tatsächlich abfließende Menge nicht messbar ist. Lediglich

eine vollständige Obstruktion der ableitenden Tränenwege ist bei den untersuchten Tieren auszuschließen. Aufgrund der stärkeren Abknickung des Tränennasenkanals bei zunehmendem Brachycephaliegrad (SCHLÜTER et al., 2009) ist zumindest von einem verminderten Abfluss auszugehen. Im Zuge des zunehmenden Exophthalmus und damit verbundener zunehmender Exponierung der Hornhaut sowie dem Vorliegen von geringgradigen Entropien und Trichiasis mit steigendem Brachycephaliegrad besteht unter Umständen auch eine vermehrte Reizung der Hornhaut und eine daraus resultierende gesteigerte Tränensekretion. Veterinärmedizinische Studien, die einen Zusammenhang zwischen verminderter Nervenfaserdichte und Tränensekretion gezeigt haben, gibt es bisher nicht. Aus der Humanmedizin ist nach Hornhautoperationen mit Schädigung der Innervation bekannt, dass es postoperativ keine Korrelation zwischen der Länge und der Nervenfaserdichte des subbasalen Plexus und der Reiztränensekretion bzw. der Tränenfilmaufreißzeit gibt (DARWISH et al., 2007).

5.2.2.2 Einfluss der Kovariablen (Rasse, Alter, Geschlecht, Körperseite, Irisfarbe, CTT) auf die Tränenproduktion

Der Einfluss der Rasse korreliert stark mit der Kopfform, da vorgegebene Rassestandards unweigerlich dazu führen, dass Tiere einer Rasse eine ähnliche Kopfform haben. Auffällig ist auch hier, dass Perserkatzen und Britisch Kurzhaar Katzen beide zum Typus der brachycephalen Kopfformen zählen und beide Rassen auffällig höhere Ergebnisse im Schirmer-Tränen-Test I liefern. Mögliche Ursachen hierfür werden bereits im Absatz 5.2.2.1 diskutiert. Europäische Hauskatzen sowie Maine Coon Katzen entsprechen mit STT I-Werten von 16,3 (\pm 4,5) mm/min bzw. 17,3 (\pm 4,3) mm/min den in der Literatur angegebenen Werten für Katzen (MAGGS, 2008a, INTERVET, 2010, DAVIS und TOWNSEND, 2011). Bengalkatzen liegen mit 20,2 (\pm 5,1) mm/min etwas über den angegebenen Normwerten. Möglicherweise hat dies mit der als Hybridrasse näheren Verwandtschaft zur Wildkatze zu tun.

In der vorliegenden Untersuchung kann kein Zusammenhang zwischen steigendem Alter und der Tränenproduktion nachgewiesen werden. Bei der Katze liegen bisher keine entsprechenden Studien vor. Vom Hund ist bekannt, dass mit steigendem Alter aufgrund einer senilen Atrophie der Tränendrüsen das Risiko, an einer Keratokonjunktivitis sicca zu erkranken, ab einem Alter von 10 Jahren steigt (HARTLEY et al., 2006, MAGGS, 2008c). Andere Autoren können allerdings auch beim Hund keine Altersabhängigkeit nachweisen (HAMOR et al., 2000). Beim Menschen kommt es mit steigendem Alter häufiger im Zuge einer Dysfunktion der Meibomschen Drüsen und damit einer Instabilität des Tränenfilms zu einer quantitativen Keratokonjunktivitis sicca, der Schirmer-Tränen-Test I ist in diesen Fällen normal (DING und SULLIVAN, 2012, MALET et al., 2013). Ein Mangel

der wässrigen Phase des Tränenfilms ist in der Humanmedizin eher mit der Autoimmunerkrankung Sjögren's Syndrom assoziiert, welche durch lymphozytäre Akkumulation zur Dysfunktion bis hin zur Destruktion der Glandula lacrimalis führt (DING und SULLIVAN, 2012).

Innerhalb der vorliegenden Untersuchung konnte des Weiteren kein Einfluss des Geschlechtes oder der Irisfarbe auf die Reiztränensekretion bei der Katze festgestellt werden. Bisher gibt es keine veterinärmedizinischen Studien, die den Zusammenhang von Irisfarbe und Tränensekretion untersucht haben. Bei Hunden kann bisher ebenfalls keine Korrelation zwischen Geschlecht und Tränensekretion nachgewiesen werden (HARTLEY et al., 2006). Da es beim Menschen eher zur qualitativen Keratokonjunktivitis sicca kommt, kann der Geschlechtseinfluss nicht direkt zum Schirmer-Tränen-Test I gesehen werden. Bekannt ist jedoch, dass ältere Frauen häufiger als Männer an der qualitativen Keratokonjunktivitis sicca leiden (MALET et al., 2013). So weit bekannt ist, gibt es keine Studie in der Veterinär- oder Humanmedizin, die die Ergebnisse des Schirmer-Tränen-Test I in Zusammenhang zur Irisfarbe setzt. Die vorliegende Arbeit zeigt, dass es bei Katzen keinen Zusammenhang zwischen Irisfarbe und Reiztränensekretion gibt, allerdings erfolgte eine rein subjektive Einteilung der verschiedenen Irisfarben in die einzelnen Gruppen.

Ob die Reiztränensekretion beider Augen gleich ist, kann durch die vorliegende Untersuchung nicht eindeutig gesagt werden. Prinzipiell ist von einer gleich hohen Tränensekretion auf beiden Augen auszugehen, sofern beide Augen ophthalmologisch gesund sind (HARTLEY et al., 2006, MITCHELL, 2006, MAGGS, 2008a, DAVIS und TOWNSEND, 2011). Bereits nach wenigen untersuchten Tieren fällt auf, dass die zweite gemessene Körperseite, insbesondere bei nervösen Tieren einen auffallend niedrigeren Schirmer-Tränen-Test I Wert als die erste erbrachte. Dies ist grundsätzlich allein aufgrund des bestehenden Stresses während der Untersuchung erklärbar, obwohl die Teststreifen nur wenig zeitlich versetzt in beide Lidspalten eingelegt werden (MAGGS, 2008a). Ab diesem Zeitpunkt wurde innerhalb der Untersuchungen versucht, die jeweils beginnende Körperseite zu wechseln und die Messung der Tränenproduktion beider Augen nur in einem Abstand von 10 Sekunden vorzunehmen. Für Rechtshänder ist es deutlich einfacher auf der linken Körperseite mit dem Einlegen der Teststreifen zu beginnen, da dann nicht die Gefahr besteht, beim Einlegen des zweiten Streifens den ersten herauszuschieben. Bei nervöseren Tieren ist daher häufig die beginnende Seite links. Insgesamt wird innerhalb der Untersuchungen die linke Körperseite auffallend häufiger als erstes gemessen, was wahrscheinlich zu Verfälschungen führt. Da aber auch der zeitliche Abstand der Messungen, d.h. ob gleichzeitig oder direkt nacheinander gemessen wurde, keinen eindeutig signifikanten Einfluss auf die Reiztränensekretion hat, ist es bei nervösen Tieren zu empfehlen, die Seiten nacheinander zu messen.

Einen statistisch signifikanten Einfluss der kornealen Sensibilität auf die Differenz aus

Reiztränensekretion und basaler Tränensekretion (STT I - STT II) können WIESER und Mitarbeiter (2012) für Katzen, Hunde, Rinder, Pferde, Ziegen, Schafe, Kaninchen und Meerschweinchen ebenfalls nicht eindeutig nachweisen. Eine geringe statistische Signifikanz konnte zwar nachvollzogen werden, allerdings ist das Bestimmtheitsmaß (r^2 -Wert) so klein, dass die Autoren andere Einflüsse wie Stress und Angst als Ursache für erniedrigte Schirmer-Tränen-Test-Werte nicht ausschließen können (WIESER et al., 2012).

5.3 Klinische Schlussfolgerung

Mit der vorliegenden Arbeit gelingt es, eine deutliche Graduierung der zentralen Hornhautsensibilität bei verschiedenen Brachycephaliegraden der Katze herauszuarbeiten. Es kann gezeigt werden, dass brachycephale Katzen per se eine erniedrigte korneale Sensibilität haben, aber auch ein Unterschied in der Hornhautsensibilität zwischen den Rassen und den Kopfformen gesehen werden kann. Eine geringe korneale Sensibilität kann zu einer erhöhten Anfälligkeit für Keratitiden, Ulzerationen und Sequesterbildung führen (WAGNER, 2002, TOWNSEND et al., 2011). Aus der Humanmedizin ist bekannt, dass die Hornhautsensibilität für die physiologische Zellerneuerung und für die Abheilung von Hornhautdefekten von entscheidender Bedeutung ist (MÜLLER et al., 2003, TERVO und MOILANEN, 2003, BELMONTE et al., 2011). Eine geringere korneale Sensibilität mit steigendem Brachycephaliegrad führt demnach zu einer Steigerung des Risikos gegenüber kornealen Erkrankungen.

WAGNER (2002) kann bereits eine signifikant niedrigere Hornhautsensibilität bei an Hornhautsequestern erkrankten Katzen nachweisen. Es ist anzunehmen, dass das Risiko des Entstehens eines Hornhautsequesters mit sinkender Hornhautsensibilität und damit mit steigendem Brachycephaliegrad erhöht ist. Natürlich sind weitere prädisponierende Faktoren bekannt, die ebenfalls einen Einfluss auf das Erkrankungsrisiko haben. Aus den eigenen klinischen Erfahrungen scheinen allerdings vorwiegend hoch- und höchstgradig brachycephale Katzen Hornhautsequester zu entwickeln. Grundsätzlich sollte daher im Hinblick auf die ophthalmologische Gesundheit der Katzen von der Zucht mit hoch- und höchstgradig brachycephalen Katzen abgesehen werden. Dies bedeutet, dass die Rassestandards bei Perserkatzen und Britisch Kurzhaar Katzen aus tiermedizinischer Sicht wieder hin zu längeren Gesichtsschädeln gehen sollten.

In der Literatur fehlen bisher Werte für den Schirmer-Tränen-Test I in Abhängigkeit von Kopfform oder Rasse bei Katzen. Entgegen der vielfachen Annahme, dass brachycephale Katzenrassen häufiger als mesozephe Katzen an einer Keratokonjunktivitis sicca erkranken, ergibt die Messung des Schirmer-Tränen-Tests I sogar überdurchschnittlich hohe Werte, welche mit steigendem Brachycephaliegrad zudem tendenziell steigen. Lediglich wenige brachycephale Tiere zeigen in der vorliegenden Untersuchung grenzwertig niedrige

und damit Keratokonjunktivitis sicca-verdächtige STT I Werte. Eine ähnliche Anzahl mesozephaler Katzen weist ebenso grenzwertig niedrige STT I-Werte auf. Alle untersuchten Katzen sind klinisch unauffällig, so dass die erniedrigten Werte entweder wie in der Literatur beschrieben eine physiologische stressbedingte Reduktion der Tränensekretion oder den tatsächlichen Beginn der KCS noch ohne klinische Symptome darstellen. Zudem sei angemerkt, dass der STT I nur eine quantitative Keratokonjunktivitis sicca ausschließt. Die Tear Break-up Time kann jedoch trotz normalem Schirmer-Tränen-Test I verkürzt sein, welches dann zu einer qualitativen Keratokonjunktivitis sicca führt. Daher sollte grundsätzlich bei klinisch bestehendem Verdacht zum Schirmer-Tränen-Test I immer auch die Tear Break-up Time mitbestimmt werden.

6 Zusammenfassung

Die Hornhautsensibilität ist von entscheidender Bedeutung für die Gesundheit des Auges. Sie schützt das Auge zum einen durch das Auslösen des Lidschlussreflexes und ist zum anderen auch für die Heilungsvorgänge an der Hornhaut und die Zusammensetzung des Tränenfilms verantwortlich. Brachycephale Hunde und Katzen weisen im Vergleich zu mesozephalen eine herabgesetzte korneale Sensibilität auf. Mit der vorliegenden prospektiven Untersuchung soll gezeigt werden, ob auch der Ausprägungsgrad der Brachycephalie einen Einfluss auf die Hornhautsensibilität hat. Es werden insgesamt 140 ophthalmologisch und systemisch gesunde Katzen verschiedener mesozephaler und brachycephaler Katzenrassen untersucht. Zum Ausschluss ophthalmologischer Erkrankungen werden alle Tiere einer Augenuntersuchung unterzogen. Die Messung der kornealen Sensibilität erfolgt mittels Ästhesiometer nach COCHET und BONNET an der zentralen Messstelle. Zusätzlich wird die Tränensekretion mittels Schirmer-Tränen-Test I bestimmt. Es werden erstmals Normalwerte für die Hornhautsensibilität und Tränenproduktion (STT I) bei verschiedenen Katzenrassen definiert.

Entsprechend der aktuellen Literatur wird auch in der vorliegenden Untersuchung eine signifikant niedrigere Hornhautsensibilität bei brachycephalen im Vergleich zu mesozephalen Katzen dokumentiert. Außerdem zeigt diese Arbeit, dass es zu einer signifikanten Abnahme der kornealen Sensibilität mit steigendem Brachycephaliegrad (Gradeinteilung 0-4; 0 = mesozephal, 1 = geringgradig, 2 = mittelgradig, 3 = hochgradig, 4 = höchstgradig) kommt. Die Einteilung in die verschiedenen Brachycephaliegrade wird anhand makroskopischer Parameter vorgenommen. Ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Rasse und der kornealen Sensibilität kann ebenfalls nachgewiesen werden. Katzen der Rasse Maine Coon ($n = 21$) haben mit $0,90 (* 1,42^{\pm 1})$ g/mm² unter den untersuchten Katzenrassen die sensibelste Hornhaut, gefolgt von Bengalkatzen ($n = 18$) mit $1,03 (* 1,54^{\pm 1})$ g/mm². Im Rassevergleich haben Europäische Hauskatzen ($n = 29$) eine mittlere Sensibilität von $1,44 (* 1,66^{\pm 1})$ g/mm². Eine vergleichsweise niedrige Hornhautsensibilität von $1,76 (* 1,79^{\pm 1})$ g/mm² zeigen Britisch Kurzhaar ($n = 24$) und Perserkatzen ($n = 34$) mit einem Wert von $2,49 (* 2,27^{\pm 1})$ g/mm². Mit zunehmendem Alter kommt es zu einer sinkenden Hornhautsensibilität. Dies gilt gleichermaßen für brachycephale als auch mesozephe Katzen. Eine Beeinflussung der ästhesiometrischen Messwerte durch Geschlecht, Tränenproduktion (STT I) oder Irisfarbe kann nicht belegt werden.

Je nach einbezogener Tierzahl wird ein signifikanter Zusammenhang zwischen Rasse ($n = 125$) bzw. Brachycephaliegrad ($n = 139$) und der Tränensekretion (STT I) hergestellt. Eine Wechselwirkung zwischen Brachycephaliegrad und Rasse kann aufgrund von bestehenden Rassestandards und entsprechend ähnlichem Typus innerhalb einer Rasse nicht

ausgeschlossen werden. Perserkatzen ($n = 34$) haben mit $20,9 \text{ mm/min}$ ($\pm 4,3 \text{ mm/min}$) unter den untersuchten Katzenrassen die höchste Reiztränensekretion, gefolgt von Britisch Kurzhaar Katzen ($n = 23$) mit $21,5 \text{ mm/min}$ ($\pm 5,6 \text{ mm/min}$) und Bengalkatzen ($n = 18$) mit $20,2 \text{ mm/min}$ ($\pm 5,1 \text{ mm/min}$). Eine geringere Reiztränensekretion besitzen im Rassevergleich Maine Coon Katzen ($n = 21$) mit einem Wert von $17,3 \text{ mm/min}$ ($\pm 4,3 \text{ mm/min}$) und Europäische Hauskatzen ($n = 29$) mit $16,3 \text{ mm/min}$ ($\pm 4,5 \text{ mm/min}$). Eine signifikante Auswirkung von Geschlecht, Alter oder Irisfarbe auf die Tränenproduktion (STT I) wird hingegen nicht beobachtet.

7 Summary

The corneal sensitivity is crucial for the health of the eye. It protects the eye by triggering the blink reflex, as well as being responsible for the healing of the cornea and the composition of the tear film. Brachycephalic dogs and cats have a decreased corneal sensitivity compared to mesocephalic ones. This prospective study is to show whether the severity of brachycephaly has an effect on the corneal sensitivity as well. A total of 140 ophthalmologic and systemic healthy cats of various mesocephalic and brachycephalic breeds are studied. To exclude any ophthalmological diseases all the animals are subjected to an eye examination. The measurement of corneal sensitivity is carried out by means of aesthesiometer according to COCHET and BONNET at the central measuring point. In addition, the tear secretion is determined by means of Schirmer tear test. For the first time standard values of corneal sensitivity and reflex tear secretion (STT I) are defined for various cat breeds.

Correlating to current literature, a significantly lower corneal sensitivity in brachycephalic cats compared to mesocephalic cats is demonstrated in the present investigation. It can also be shown that a significant decrease in corneal sensitivity correlates with increasing degree of brachycephaly (degree classification: 0-4; 0 = mesocephal, 1 = minimally, 2 = moderate, 3 = highly, 4 = maximum). A division into different degrees of brachycephaly is done based on macroscopic parameters. A significant correlation between race and corneal sensitivity can also be established. Of the studied breeds, Maine Coon cats ($n = 21$) have the most sensitive cornea with $0.90 (* 1.42^{\pm 1})$ g/mm², followed by Bengal cats ($n = 18$) with $1.03 (* 1.54^{\pm 1})$ g/mm². Within the comparison of breeds, European Domestic cats ($n = 29$) have a moderate sensitivity of $1.44 (* 1.66^{\pm 1})$ g/mm². A comparatively low corneal sensitivity of $1.76 (* 1.79^{\pm 1})$ g/mm² is shown by British Shorthair cats ($n = 24$) and Persian cats ($n = 34$) with a value of $2.49 (* 2.27^{\pm 1})$ g/mm². In all breeds, brachycephalic and mesozephalic, the corneal sensitivity declines with increasing age. An influence on the aesthesiometric measured values through gender, tear production (STT I) or iris color could not be proven.

Depending on the number of included animals, a significant connection between breed ($n = 125$), and accordingly degree of brachycephaly ($n = 139$), and tear production (STT I) can be drawn. An interaction between degree of brachycephaly and race can not be ruled out, due to existing breed standards and accordingly to similar types within a breed. Amount the studied breeds, Persian cats ($n = 34$) have the highest secretion of reflex tearing with 20.9 mm/min (± 4.3 mm/min), followed by British Shorthair cats ($n = 23$) with 21.5 mm/min (± 5.6 mm/min) and Bengal cats ($n = 18$) with 20.2 mm/min (± 5.1 mm/min). In comparison to this, Maine Coon cats ($n = 21$) have a lower reflex tear

secretion with a value of 17.3 mm/min (\pm 4.3 mm/min). The same is true for European Domestic cats (n = 29) with a value of 16.3 mm/min (\pm 4.5 mm/min). However, a significant effect of gender, age or iris color on the tear production (STT I) can not be observed.

8 Literaturverzeichnis

ACOSTA, M.C., ALFARO, M.L., BORRÁS, F., BELMONTE, C., GALLAR, J. (2006), Influence of age, gender and iris color on mechanical and chemical sensitivity of the cornea and conjunctiva. *Experimental Eye Research* 83, 4, 932-938.

BARNETT, K.C., CRISPIN, S.M. (1998), *Feline Ophthalmology: An Atlas & Text*, Saunders, Elsevier, 48, 61-67, 95-99, 104-105, 112-115.

BELMONTE, C., ACOSTA, M.C., SCHMELZ, M., GALLAR, J. (1999), Measurement of corneal sensitivity to mechanical and chemical stimulation with a CO₂ Esthesiometer. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 40, 2, 513-519.

BELMONTE, C., TERVO, T.T., GALLAR, J. (2011), Sensory innervation of the eye. In: LEVIN, L.A., NILSSON, S.F.E., VER HOEVE, J., WU, S.M., KAUFMANN, P.L., ALM, A., *Adler's Physiology of the eye*. 11. Auflage, Elsevier, Saunders, 363-384.

BINDER, S., RISS, B. (1981), Die Hornhautsensibilität nach Ablatiooperation. *Albrecht von Graefes Archiv für klinische und experimentelle Ophthalmologie* 217, 149-154.

BLOCKER, T., VAN DER WOERDT, A. (2001), A comparison of corneal sensitivity between brachycephalic and Domestic Short-haired cats. *Veterinary Ophthalmology* 4, 2, 127-130.

BOBERG-ANS, J. (1956), On the corneal sensitivity. *Acta Ophthalmologica*, Vol. 34 III, 149-162.

BOURCIER, T., ACOSTA, M.C., BORDERIE, V., BORRÁS, F., GALLAR, J., BURY, T., LAROCHE, L., BELMONTE, C. (2005), Decreased corneal sensitivity in patients with dry eye. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 46, 7, 2341-2345.

BREHM, H., LOEFFLER, K., KOMEYLI, H. (1985), Schädelformen beim Hund. *Zentralblatt für Veterinärmedizin, Reihe C, Anatomia, Histologia, Embryologia*. 14, 324- 331.

BROOKS, D.E., CLARK, C.A., LESTER, G.D. (2000), Cochet-Bonnet aesthesiometer - determined corneal sensitivity in neonatal foals and adult horses. *Veterinary Ophthalmology*, 3, 2-3, 133-137.

BURK, A, BURK, R. (2005), Checkliste Augenheilkunde. 4. Auflage, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 29.

CHAN-LING, T. (1989), Sensitivity and Neural Organisation of the Cat Cornea. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 30, 6, 1075-1082.

CLERC, B., KRÄHENMANN, A. (1990), *Augenheilkunde Hund und Katze*. Verlag Paul Parey, Berlin und Hamburg, 12-14.

COCHET, P., BONNET, R. (1961), Corneal esthesiometry. Performance and practical importance. *Bulletin des societes d'ophthalmologie de France*, 6, 541-550.

COOK, C.S., PFEIFFER, R.L., LANDIS, M.L. (2009), Abnormal Appearance. In: G., PFEIFFER, R.L., PETERSEN-JONES, S. (2009), *Small animal ophthalmology: a problem-oriented approach*, 4. Auflage Saunders, Elsevier, 67-115.

CULLEN, C.L., IHLE, S.L., WEBB, A.A., McCARVILLE, C. (2005a), Keratoconjunctival effects of diabetes mellitus in dogs. *Veterinary Ophthalmology* 8, 4, 215-224.

CULLEN, C.L., WADOWSKA, D.W., SINGH, A., MELEKHOVETS, Y. (2005b), Ultrastructural findings in feline corneal sequestra. *Veterinary ophthalmology* 8, 5, 295- 303.

DARWISH, T., BRAHMA, A., EFRON, N., O'DONNELL, C. (2007), Subbasal nerve regeneration after LASEK measured by confocal microscopy. *Journal of Refractive Surgery* 23, 7, 709-715.

DAVIDSON, M.G., MURPHY, C.J., NASISSE, M.P., HELLKAMP, A.S., OLIVERO, D.K., BRINKMANN, M.C., CAMPBELL, L.H. (1993), Refractive state of aphakic and pseudophakic eyes of dogs. *American Journal of Veterinary Research.*, 54, 1, 174-177.

DAVIS, K., TOWNSEND, W. (2011), Tear-film osmolarity in normal cats and cats with conjunctivitis. *Veterinary Ophthalmology*, 14, Supplement 1, 54-59.

DAWSON, D.G., UBELS, J.L., EDELHAUSER, H.F. (2011), Cornea and Sclera. In: LEVIN, L.A., NILSSON, S.F.E., VER HOEVE, J., WU, S.M., KAUFMANN, P.L., ALM, A., *Adler's Physiology of the eye*, 11. Auflage, Elsevier, Saunders, 71-130.

DE PAIVA, C.S., PFLUGFELDER, S.C. (2004), Corneal epitheliopathy of dry eye induces hyperesthesia to mechanical air jet stimulation. *American Journal of Ophthalmology*, 137, 1, 109-115.

DING, J., SULLIVAN, D.A. (2012), Aging and dry eye disease. *Experimental Gerontology*, 47, 483-490.

DIXON, W. J., 1993. *BMDP Statistical Software Manual*. Volume 1 and 2, University of California Press, Berkeley, Los Angeles, London.

DUBIELZIG, R.R., KETRING, K.L., McLELLAN, G.J., ALBERT, D.M. (2010), *Veterinary Ocular Pathology: A Comparative Review*, Saunders, Elsevier, 95-96, 144-145, 153, 217-218.

DUKE-ELDER, S. (1970), The dioptric imagery of the eye. In: *System of Ophthalmology*. Vol. 5 *Ophthalmic Optics and Refraction*. London: Henry Kimpton, 93-152.

EBERWEIN, P. (2006), Ästhesiometrie der Hornhaut: Verfahren und klinischer Einsatz [Vortrag]. *Universitätsklinikum Freiburg, Augenklinik, Freiburg*.

ELLIS, J.L., THOMASON, J., KEBREAB, E., ZUBAIR, K., FRANCE, J. (2009), Cranial dimensions and forces of biting in the domestic dog. *Journal of Anatomy*. 214, 362-373.

FEATHERSTONE, H.J., SANSOM, J (2004), Feline corneal sequestra: a review of 64 cases (80 eyes) from 1993 to 2000, *Veterinary Ophthalmology*, 7, 4, 213-227.

FRIEDE, R. (1933), Vergleichende Studien zur Größe der tierischen und menschlichen Hornhaut mit besonderer Berücksichtigung der menschlichen Megalocornea. *Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*, 131, Number 1.

GOECK, D.V. (2010), Vergleich der anästhesiologischen Wirkungen und Nebenwirkungen von Proxymetacain und Oxybuprocain bei der Anwendung an der Hornhaut ophthalmologisch gesunder Hunde [Dissertation]. *Fachbereich Veterinärmedizin der Justus-Liebig-Universität Gießen, Gießen*.

GOLEBIEWSKI, B., PAPAS, E., STAPLETON, F. (2011), Assessing the sensory function of the ocular surface: Implications of the use of a non-contact air jet aesthesiometer versus the Cochet-Bonnet aesthesiometer. *Experimental Eye Research*, 92, 408-413.

GORDON, M.K., FOLEY, J.W., BIRK, D.E., FITCH, J.M., LINSERMAYER, T.F. (1994), Type V collagen and Bowman's membrane. Quantitation of mRNA in corneal epithelium and stroma. *Journal of Biological Chemistry*, 269, 40, 24959-24966.

GUM, G.G., GELATT, K.N., ESSON, D.W. (2007), Physiology of the Eye. In: GELATT, K.N., *Veterinary Ophthalmology*, 4. Auflage, Blackwell Publishing, 149-182.

HABIB, M.S., SPEAKER, M.G., KAISER, R., JUHASZ, T. (1995), Myopic intrastromal photorefractive keratectomy with the neodymium-yttrium lithium fluoride picosecond laser in the cat cornea. *Archives of Ophthalmology*, 4, 499-505.

HAMOR, R.E., ROBERTS, S.M., SEVERIN, G.A., CHAVKIN, M.J. (2000), Evaluation of results for Schirmer tear tests conducted with and without application of a topical anesthetic in clinically normal dogs of 5 breeds. *American Journal of Veterinary Research*, 61, 11, 1422-1425.

HARTLEY, C., WILLIAMS, D.L., ADAMS, V.J. (2006), Effect of age, gender, weight, and time of day on tear production in normal dogs. *Veterinary Ophthalmology*, 9, 1, 53-57.

HE, J., BAZAN, N.G., BAZAN, H.E.P. (2010), Mapping the entire human corneal nerve architecture. *Experimental Eye Research*, 91, 513-523.

HENDERSON, L., BOND, D., SIMPSON, T. (2005), The association between eye color and corneal sensitivity measured using a Belmonte esthesiometer. *Optometry and vision science*, 82, 7, 629-632.

HERZOG, A. (2001), Pareys Lexikon der Syndrome: Erb- und Zuchtkrankheiten der Haus- und Nutztiere, Parey, 68-70.

HUGHES, A. (1977), The topography of vision in mammals of contrasting life style: Comparative optics and retinal organization. In: CRESCITELLI, F. *The Visual System in Vertebrates - Handbook of Sensory Physiology VII*, Berlin: Springer-Verlag, 613-756.

INTERVET Inc. (2010), "Schirmer-Tear-Test., Packungsbeilage. Intervet Inc., Roseland, NJ.

KAFARNIK, C. (2003), Mikroskopische, morphometrische und ästhesiometrische Untersuchungen zur Innervation und Sensibilität der Kornea von Hund und Katze [Dissertation]. Ludwig-Maximilians-Universität München, Institut für Tieranatomie, München.

KAFARNIK, C., FRITSCHKE, J., REESE, S. (2007), In vivo confocal microscopy in the normal corneas of cats, dogs and birds. *Veterinary Ophthalmology* 10, 4, 222-230.

KAFARNIK, C., FRITSCHKE, J., REESE, S. (2008), Corneal Innervation in mesocephalic and brachycephalic dogs and cats: assessment using in vivo confocal microscopy. *Veterinary Ophthalmology* 11, 6, 363-367.

KAPS, S., RICHTER, M., SPIESS, B.M. (2003), Corneal esthesiometry in the healthy horse. *Veterinary Ophthalmology* 6, 2, 151-155.

KINDLER, S. (1995), Hornhautendothelmikroskopie beim Hund [Dissertation]. Chirurgische Veterinärklinik der Justus-Liebig-Universität Gießen, Gießen.

KÖNIG, H.E., LIEBICH, H.-G. (2002), Anatomie der Haussäugetiere: Lehrbuch und Farbatlas für Studium und Praxis - Organe, Kreislauf- und Nervensystem, 2. Auflage, Schattauer GmbH, 287-308.

KOHLHAAS, M., DRAEGER, J., SCHMITZ, N., BÖHM, A., BOSSE, I., HECHLER, B. (1994), Physikalische und aerodynamische Strömungsverhältnisse des Luftstrahls beim Mikro-Air Aesthesiometer. *Klinisches Monatsblatt Augenheilkunde*, 205, 218-225.

KÜNZEL, W., BREIT, S., OPPEL, M. (2003), Morphometric Investigations of Breed-Specific Features in Feline Skulls and Considerations on their Functional Implications. *Anatomia, Histologia, Embryologia*, 32, 218-223.

LACERDA, R.P., OBÓN, E., PENA, M.T., COSTA, D., RÍOS, J., LEIVA, M. (2013), A comparative study of corneal sensitivity in birds of prey. *Veterinary Ophthalmology*, 1-5.

LARSON, W.L. (1970), Electro-mechanical corneal aesthesiometer. *British Journal of Ophthalmology*, 54, 342-347.

LELE, P.P., WEDDELL, G. (1956), The relationship between neurohistology and corneal sensibility, *Brain*, 79, 1, 119-154.

LÖFFLER, G. (2005), *Basiswissen Biochemie mit Pathobiochemie*, 6. Auflage, Springer Medizin Verlag, 86-145.

LUNEAU, O. (2000), Anwendung und Pflege des Cochet-Bonnet-Ästhesiometers. Produktanleitung, Luneau Ophthalmologie, Chartres Cedex.

MacRAE, S.M., ENGERMANN, R.L., HATCHELL, D.L., HYNDIUK, R.A. (1982), Corneal Sensitivity and control of Diabetes. *Cornea* 1, 223-226.

MAGGS, D.J. (2008a), Basic Diagnostic Techniques. In: MAGGS, D.J., MILLER, P.E., OFRI, R., Slatter's Fundamentals of Veterinary Ophthalmology, 4. Auflage, Saunders, Elsevier, 81-106.

MAGGS, D.J. (2008b), Cornea and Sclera. In: MAGGS, D.J., MILLER, P.E., OFRI, R., Slatter's Fundamentals of Veterinary Ophthalmology, 4. Auflage, Saunders, Elsevier, 175-202.

MAGGS, D.J. (2008c), Eyelids. In: MAGGS, D.J., MILLER, P.E., OFRI, R., Slatter's Fundamentals of Veterinary Ophthalmology, 4. Auflage, Saunders, Elsevier, 107-134.

MALET, F., LE GOFF, M., COLIN, J., SCHWEITZER, C., ILE DELYFER, M.-N., KOROBELENIK, J.-F., ROUGIER, M.-B., RADEAU, T., DARTIGUES, J.-F., DELCOURT, C. (2013), Dry eye disease in french elderly subjects: the Alienor study, *Acta ophthalmologica*, 1-8.

MAMMEN, A.-S. (2001), Hornhautsensibilitätsveränderung nach topischer Applikation von Dorzolamid, Apraclonidin und Metipranolol [Dissertation]. Klinik und Poliklinik für Augenheilkunde des Universitätsklinikums Hamburg Eppendorf, Hamburg, 21-27.

MARFURT, C., MURPHY, C.J., FLORCZAK, J.L. (2001), Morphology and Neurochemistry of Canine Corneal Innervation. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 42, 10, 2242-2251.

McGREEVY, P., GRASSI, T.D., HARMAN, A.M. (2004), A strong Correlation Exists between the Distribution of Retinal Ganglion Cells and Nose Length in the Dog. *Brain, Behavior and Evolution*, 63, 13-22.

MESCHEDÉ, D. (2006), *Gerthsen Physik*. 23. Auflage, Springer Berlin Heidelberg New York, 487.

MILLER, P.E. (2008a), Structure and Function of the Eye. In: MAGGS, D.J., MILLER, P.E., OFRI, R., *Slatter's Fundamentals of Veterinary Ophthalmology*, 4. Auflage, Saunders, Elsevier, 1-19.

MILLER, P.E. (2008b), Lacrimal System. In: MAGGS, D.J., MILLER, P.E., OFRI, R., *Slatter's Fundamentals of Veterinary Ophthalmology*, 4. Auflage, Saunders, Elsevier, 157-174.

MILLER, P.E. (2008c), The Glaukomas. In: MAGGS, D.J., MILLER, P.E., OFRI, R., *Slatter's Fundamentals of Veterinary Ophthalmology*, 4. Auflage, Saunders, Elsevier, 230-257.

MILLODOT, M. (1972), Diurnal variation of corneal sensitivity. *British Journal of Ophthalmology*, 56, 11, 844-847.

MILLODOT, M., LAMONT, A. (1974), Influence of menstruation on corneal sensitivity. *British Journal of Ophthalmology*, 58, 8, 752-756.

MILLODOT, M. (1975), Do blue-eyed people have more sensitive corneas than brown-eyed people? *Nature*, 255, 151-152.

MILLODOT, M. (1976), Corneal sensitivity in people with the same and with different iris color. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 15, 10, 861-862.

MILLODOT, M. (1977a), The influence of age on the sensitivity of the cornea. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 16, 3, 240-242.

MILLODOT, M. (1977b), The influence of pregnancy on the sensitivity of the cornea. *British Journal of Ophthalmology*, 61, 10, 646-649.

MILLODOT, M., OWENS, H. (1984), The influence of age on the fragility of the cornea. *Acta ophthalmologica* (Copenhagen), 62, 5, 819-824.

MITCHELL, N. (2006), Feline Ophthalmology Part 1: Examination of the eye. *Irish Veterinary Journal*, 59, 3, 164-168.

MONTES-MICO, R., ALIO, J.L., MUNOZ, G., PEREZ-SANTONJA, J.J., CHARMAN, W.N. (2004), Postblink changes in total and corneal ocular aberrations. *Ophthalmology*, 4, 758-767.

MOODIE, K.L., HASHIZUME, N., HOUSTON, D.L., HOOPEES, P.J., DEMIDENKO, E., TREMBLY, B.S., DAVIDSON, M.G. (2001), Postnatal development of corneal curvature and thickness in the cat. *Veterinary Ophthalmology*, 4, 4, 267-272.

MÜLLER, K., MAULER, D.A., EULE, C.J. (2010), Reference values for selected ophthalmic diagnostic tests and clinical characteristics of chinchilla eyes (*Chinchilla lanigera*). *Veterinary Ophthalmology*, 13, Supplement 1, 29-34.

MÜLLER, L.J., MARFURT, C.F., KRUSE, F., TERVO, T.M.T. (2003), Corneal nerves: structure, contents and function. *Experimental Eye Research*, 76, 521-542.

MURPHY, P.J., PATEL, S., MARSHALL, J. (1996), A new non-contact corneal aesthesiometer (NCCA). *Ophthalmic & Physiological Optics*, 16, 2, 101-107.

MURPHY, P.J., LAWRENSON, J.G., PATEL, S., MARSHALL, J. (1998), Reliability of the Non-Contact Corneal Aesthesiometer and its comparison with Cochet-Bonnet aesthesiometer. *Ophthalmic & Physiological Optics*, 18, 6, 532-539.

MURPHY, P.J., PATEL, S., KONG, N., RYDER, R.E.J., MARSHALL, J. (2004), Noninvasive Assessment of Corneal Sensitivity in Young and Elderly Diabetic and Nondiabetic Subjects. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 45, 6, 1737-1742.

NAGY, L.J., MacRAE, S., YOON, G., WYBLE, M., WANG, J., COX, I., HUXLIN, K.R. (2007), Photorefractive keratectomy in the cat eye: Biological and optical outcomes. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 33, 1051-1064.

NICKEL, R., SCHUMMER, A., SEIFERLE, E. (2004), Lehrbuch der Anatomie der Haustiere, Band 4, Nervensystem, Sinnesorgane, Endokrine Drüsen, 4. Auflage, Parey Verlag Stuttgart, 412.

OFRI, R. (2007), Optics and Physiology of Vision. In: GELATT, K.N., Veterinary Ophthalmology, 4. Auflage, Blackwell Publishing, 183-219.

OLLIVIER, F.J., PLUMMER, C.E., BARRIE, K.P. (2007), Ophthalmic Examination and Diagnostics - Part 1: The Eye Examination and Diagnostic Procedures. In: GELATT, K.N., Veterinary Ophthalmology, 4. Auflage, Blackwell Publishing, 438-483.

PETERSON-JONES, S., STANLEY, R. (2009), Ocular Discharge. In: G., PFEIFFER, R.L., PETERSEN-JONES, S. (2009), Small animal ophthalmology: a problem-oriented approach, 4. Auflage Saunders, Elsevier, 253-293.

POTTS, A.M. (1962), Some aspects of the interrelation between corneal hydration and corneal transparency. Investigative Ophthalmology, 1, 2, 163-169.

RANKIN, A.J., HOSKING, K.G., ROUSH, J.K. (2012), Corneal sensitivity in healthy, immature, and adult alpacas. Veterinary Ophthalmology, 15, 1, 31-55.

READ, R.A., BROUN, H.C. (2007), Entropion correction in dogs and cats using a combination Hotz-Celsus and lateral eyelid wedge resection: results in 311 eyes. Veterinary Ophthalmology, 10, 1, 6-11.

ROSENBERG, M.E., TERVO, T.M.T., IMMONEM, I.J., MÜLLER, L.J., GRÖNBAGEN-RISKA, VESALUOMA, M.H. (2000), Corneal structure and sensitivity in type 1 diabetes mellitus. Investigative Ophthalmology & Visual, 41, 10, 2915-2921.

ROSOLEN, S.G., MULTARI, D., WOODS, M., JONGH, O. (2009), Diagnostics. In: G., PFEIFFER, R.L., PETERSEN-JONES, S. (2009), Small animal ophthalmology: a problem-oriented approach, 4. Auflage Saunders, Elsevier, 14-49.

ROSZKOWSKA, A.M., COLOSI, P., FERRERI, F.M.B., GALOSSO, S. (2004), Age-Related Modifications of Corneal Sensitivity. Ophthalmologica, 218, 5, 350-355.

SALOMON, F.-V. (2005), Nervensystem, Systema nervosum. In: SALOMON, F.-V., GEYER, H., GILLE, U. (2005), Anatomie für die Tiermedizin. Enke Verlag, 565-571.

SAMUELSON, D.A. (2007), Ophthalmic Anatomy. In: GELATT, K.N., Veterinary Ophthalmology, 4. Auflage, Blackwell Publishing, 37-148

SCHIRMER, K.E. (1963), Assessment of corneal Sensitivity. British Journal of Ophthalmology 47, 488-492

SCHLÜTER, C., BUDRAS, K.D., LUDEWIG, E., MAYRHOFER, E., KOENIG, H.E., WALTER A., OECHTERING G.U. (2009), Brachycephalic Feline Noses - CT and anatomical study of the relationship between head conformation and the nasolacrimal drainage system. Journal of Feline Medicine and Surgery 11, 891-900

SCHOSTER, J.V., WICKMAN, L., STUHR, C. (1995), The use of ultrasonic pachymetry and computer enhancement to illustrate the collective corneal thickness profiles of 25 cats. Veterinary Comparative Ophthalmology, 5, 68-73

SIMOENS, P., GILLE, U. (2005), Sinnesorgane, Organa sensuum. In: SALOMON, F.-V., GEYER, H., GILLE, U. (2005), Anatomie für die Tiermedizin. Enke Verlag, 579-612

STADES, F.C., NEUMANN, W., BOEVÉ M.H., WYMAN, M. (1998), Praktische Augenheilkunde für den Tierarzt, 2. Auflage, Schlütersche, 54-58

STILES, J., McDERMOTT, M., BIGSBY, D., WILLIS, M., MARTIN, C.M., ROBERTS, W., GREENE, C. (1997), Use of nested polymerase chain reaction to identify feline herpesvirus in ocular tissue from clinically normal cats and cats with corneal sequestra or conjunctivitis. American Journal of Veterinary Research, 58, 4, 338-42

TAVAKOLI, M., BOULTON, A.J.M., KALLINIKOS, P.A., MALIK, R.A., EFRON, N. (2007), Corneal sensitivity is reduced and relates to the severity of neuropathy in patients with diabetes. Diabetes Care, 30, 7, 1895-1897

TENSÓN, M., CALONGE, M., FERNÁNDEZ, I., STERN, M.E., GONZÁLEZ-GARCÍA, M.J. (2012), Characterization by Belmonte's Gas Esthesiometer of Mechanical, Chemical, and Thermal Corneal Sensitivity Thresholds in a Normal Population. Investigative Ophthalmology and Visual Science, 53, 6, 3154-3160

TERVO, T., MOILANEN, J. (2003), In vivo confocal microscopy for evaluation of wound healing following corneal refractive surgery. *Progress in Retinal and Eye Research*, 22, 339-358

TOKER, E., ASFUROGLU, E. (2010), Corneal and conjunctival sensitivity in patients with dry eye: The effect of topical Cyclosporine therapy. *Cornea*, 29, 2, 133-140

TOWNSEND, W., BEDFORD, P., JONES, G. (2009), Abnormal Appearance. In: G., PFEIFFER, R.L., PETERSEN-JONES, S. (2009), *Small animal ophthalmology: a problem-oriented approach*, 4. Auflage Saunders, Elsevier, 67-115

TROST, K., SKALICKY, M., NELL, B. (2007), Schirmer tear test, phenol red thread 99ire test, eye blink frequency and corneal sensitivity in the guinea pig. *Veterinary Ophthalmology*, 10, 3, 143-146

TULLO, A.B., KEEN, P., BLYTH, W.A., HILL, T.J., EASTY, D.L. (1983), Corneal Sensitivity and Substance P in Experimental Herpes Simplex Keratitis in Mice. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 24, 5, 596-598

VON FREY, M. (1894), Beiträge zur Physiologie des Schmerzsinns. In: *Berichte über die Verhandlung der königlich sächsischen Gesellschaft der Wissenschaft zu Leipzig*, mathematische Klasse, Leipzig. Hirzel, 185-196

WAGNER, F. (2002), Ästhesiometrische Messung nach COCHET und BONNET der Hornhautsensibilität bei augengesunden Katzen und Katzen mit einem Korneasequester [Dissertation]. Tierärztliche Hochschule Hannover, Klinik für kleine Haustiere, Hannover

WELIHOZKIY, A., BEDENICE, D., PRICE, L.L., PIZZIRANI, S., PIRIE, C.G. (2011), Measurement of corneal sensitivity in 20 ophthalmologically normal alpacas. *Veterinary Ophthalmology*, 14, 5, 333-336

WIESER, B., TICHY, A., NELL, B. (2012), Correlation between corneal sensitivity and quantity of reflex tearing in cows, horses, goats, sheep, dogs, cats, rabbits, and guinea pigs. *Ophthalmology*, 1-12

WILLIAMS, D.L., KIM, J.-Y. (2009), Feline entropion: a case series of 50 affected animals (2003-2008). *Veterinary Ophthalmology*, 12, 4, 221-226

WILLIAMS, D.L., PIERCE, V., MELLOR, P., HEATH, M.F. (2007), Reduced tear production in three canine endocrinopathies. *Journal of Small Animal Practice*, 48, 252- 256

A Anhang

A.1 Studienprotokoll

Datum, Uhrzeit: _____

Studie: Vergleich der kornealen Sensibilität brachyzephaler und mesozephaler Katzen – Sylke Gralla

Name: _____ Rasse: _____

Besitzer: _____ Alter: _____ Geschlecht: _____

Gewicht: _____

Gesundheitsstatus: _____

ophthalmologische

Vorerkrankungen: _____

Puls: _____ Atmung: _____ SH: _____ Temperatur: _____ °C

Kopfform:

mesozephal Brachyzephaliegrad: I II III IV

Allgemeinbefinden / Verhalten: _____

Untersuchungen ohne diagnostische Mydriasis oder Gabe anderer Ophthalmika:

Augenumgebung OD: _____ OS: _____

Position des Bulbus OD: _____ OS: _____

Lider und Lidstellung OD: _____ OS: _____

nasales Entropium OD: _____ OS: _____

Konjunktiva und MT OD: _____ OS: _____

Tränenpunkte OD: _____ OS: _____

Hornhaut	OD: _____	OS: _____
Vorderkammer	OD: _____	OS: _____
Iris	OD: _____	OS: _____
Pupillenweite	OD: _____	OS: _____
Pupillarreflex <small>direkt / indirekt</small>	OD: _____	OS: _____
Linse*	OD: _____	OS: _____
Glaskörper*	OD: _____	OS: _____
Augenhintergrund*	OD: _____	OS: _____

(*Soweit beurteilbar)

Ästhesiometrie:

Uhrzeit:

CTT zentral OD: _____ cm CTT zentral OS: _____ cm

nach der Messung zu bewerten:

Uhrzeit:

STT I OD: _____ mm/min OS: _____ mm/min

Fluorescein

OD: _____ OS: _____

Sonstiges: _____

bleibender Blepharospasmus	Nein <input type="checkbox"/>	Ja <input type="checkbox"/>	Wann? _____
Tränenfluss	Nein <input type="checkbox"/>	Ja <input type="checkbox"/>	Wann? _____
Abwehrbewegung Kopf	Nein <input type="checkbox"/>	Ja <input type="checkbox"/>	Wann? _____
Abwehrbewegung Pfoten	Nein <input type="checkbox"/>	Ja <input type="checkbox"/>	Wann? _____
Lautäußerung	Nein <input type="checkbox"/>	Ja <input type="checkbox"/>	Wann? _____
Sonstiges	Nein <input type="checkbox"/>	Ja <input type="checkbox"/>	Wann? _____

Allgemeinbefinden / Verhalten nach den Messungen:

Abkürzungen:

cm = Zentimeter

mm = Millimeter

min = Minute

OD / OS = Oculus dexter / sinister

MT = Membrana tertia

CTT = Corneal Touch Threshold

STT = Schirmer-Tränen-Test

SH = Schleimhautfarbe und -qualität

°C = Grad Celsius

A.2 Messdaten

Nr.	Rasse	Alter in Jahren	Geschlecht	BG	Irisfarbe	CTT1 OD in mm	CTT2 OD in mg/A ₀	CTT3 OD in g/mm ²	CTT1 OS in mm	CTT2 OS in mg/A ₀	CTT3 OS in g/mm ²	STT1 OD in mm/min	STT1 OS in mm/min	I-Seite	STT Abstand	LT in °C	LF in %
1	EHK	4	mk	0	grün	35	11,5	1	30	15,5	1,4	24	28				
2	EHK	4	mk	0	grün	25	20,5	1,8	35	11,5	1	20	17				
3	EHK	4	mk	0	grün	30	15,5	1,4	25	20,5	1,8	20	21				
4	EHK	4	mk	0	grün	35	11,5	1	25	20,5	1,8	13	17				
5	Bengal	4,5	m	0	gelbgrün	35	11,5	1	35	11,5	1	20	23				
6	Bengal	1,5	w	0	grün	35	11,5	1	30	15,5	1,4	21	23			22,6	52
7	Bengal	3,5	wk	0	grün	35	11,5	1	35	11,5	1	15	19				
8	Bengal	7	wk	0	grün	25	20,5	1,8	25	20,5	1,8	15	14			22,6	52
9	Bengal	8	m	0	grün	30	15,5	1,4	30	15,5	1,4	12	20	OS	1	22,8	56
10	Bengal	6	w	0	grün	30	15,5	1,4	30	15,5	1,4	16	17	OS	1	23	49
11	DSH	9	wk	0	grün	25	20,5	1,8	25	20,5	1,8	13	20	OS	1	23,2	43
12	Perser	5	mk	2	grün	40	9,5	0,8	40	9,5	0,8	19	24	OS	1	19,7	54
13	BKH-Mix	10	wk	2	gelbgrün	20	31,5	2,8	35	11,5	1	32	21			19,3	62
14	BKH	13	wk	1	gelb	20	31,5	2,8	15	58	5,1	29	26			19,3	62
15	EHK	3,5	mk	0	grün	20	31,5	2,8	25	20,5	1,8	21	12			22	45
16	EHK	2,5	mk	0	grün	10	116	10,3	10	116	10,3	14	15			22	45
17	EHK	3,5	mk	0	gelb	35	11,5	1	35	11,5	1	9	10			22	45
18	EHK	2,5	mk	0	grün	30	15,5	1,4	25	20,5	1,8	18	22			22	45
19	EHK	2,5	mk	0	grün	25	20,5	1,8	20	31,5	2,8	10	12			21,9	43
20	EHK	3,5	mk	0	gelbgrün	40	9,5	0,8	35	11,5	1	17	14			21,9	43
21	EHK	10	wk	0	grün	25	20,5	1,8	25	20,5	1,8	12	11			23,4	46
22	EHK	4	wk	0	grün	25	20,5	1,8	25	20,5	1,8	17	18			20,7	44
23	Perser	2	wk	2	gelb	35	11,5	1	35	11,5	1	18	20	OD	2	23,5	46
24	Bengal	3	wk	0	gelb	30	15,5	1,4	35	11,5	1	13	19	OS	1	21,8	58
25	Bengal	3,5	mk	0	grün	30	15,5	1,4	25	20,5	1,8	15	20	OS	1	21,8	58
26	Türkisch Angora	11	wk	0	grün	25	20,5	1,8	25	20,5	1,8	8	12	OS	2	21,4	51
27	EHK	2	wk	0	gelbgrün	25	20,5	1,8	35	11,5	1	18	18	OS	1	22,3	45
28	EHK	3,5	wk	0	grün	20	31,5	2,8	20	31,5	2,8	19	18	OS	1	22,3	45
29	Perser	5	mk	2	blau	25	20,5	1,8	25	20,5	1,8	27	27	OS	1	22,3	45
30	BKH	10	mk	1	gelbgrün	25	20,5	1,8	35	11,5	1	24	26	OS	1	22,8	55

Nr. = laufende Patientennummer
 EHK = Europäische Hauskatze
 DSH = Domestic Shorthair
 BKH = Britisch Kurzhaar
 OD = rechtes Auge
 OS = linkes Auge

m = männlich
 mk = männlich-kastriert
 w = weiblich
 wk = weiblich-kastriert
 BG = Brauhyphalogramm
 BG 0 = mesozeptal

CTT1 in mm = Sensibilitätsäquivalent in Millimetern
 CTT2 in mg/A₀ = Sensibilitätsäquivalent in Milligramm pro Fädenquerschnittsfläche
 CTT3 in g/mm² = Sensibilitätsäquivalent in Gramm pro Quadratmillimeter
 STT1 in mm/min = Schirmer-Tränen-Test 1 in Millimeter pro Minute
 LF in % = Luftfeuchtigkeit in Prozent
 LT in °C = Lufttemperatur in Grad Celsius

I-Seite = erste mittels STT 1 gemessene Körperseite
 STT Abstand = zeitlicher Abstand zwischen STT beider Augen
 STT Abstand 1 = kurzer zeitlicher Abstand; < 15 s
 STT Abstand 2 = langer zeitlicher Abstand; 15s bis 2 min

Nr.	Rasse	Alter in Jahren	Geschlecht	BG	Irisfarbe	CTT1 OD in mm	CTT2 OD in mg/AQ	CTT3 OD in g/mm ³	CTT1 OS in mm	CTT2 OS in mg/AQ	CTT3 OS in g/mm ³	STT1 OD in mm/min	STT1 OS in mm/min	1.-Seite	STT-Abstand	LT in °C	LF in %
31	BKH	12	mk	1	blau	20	31,5	2,8	20	31,5	2,8	20	20	OD	1	22,8	55
32	BKH	15	mk	1	gelb	30	15,5	1,4	35	11,5	1	17	18	OD	1	22,8	55
33	EHK	6	wk	0	gelb	25	20,5	1,8	30	15,5	1,4	14	14	OS	1	18,9	45
34	EHK	4,5	wk	0	gelbgrün	25	20,5	1,8	25	20,5	1,8	16	23	OS	2	22,5	62
35	Kartäuser	8	mk	0	gelbgrün	25	20,5	1,8	25	20,5	1,8	18	18	OD	1	26,8	54
36	EHK	9	wk	0	grün	40	9,5	0,8	35	11,5	1	16	23	OS	2	25,5	43
37	EHK	8,5	mk	0	grün	25	20,5	1,8	25	20,5	1,8	5	5	OS	1	25,5	43
38	Ragdoll	4	mk	0	blau	30	15,5	1,4	25	20,5	1,8	15	15	OS	1	25,5	37
39	EHK	3	mk	0	grün	40	9,5	0,8	40	9,5	0,8	13	16	OD	1	23,7	55
40	EHK	1	wk	0	gelbgrün	40	9,5	0,8	35	11,5	1	10	11	OS	1	23,6	57
41	EHK	3	mk	0	grün	30	15,5	1,4	35	11,5	1	22	23	OD	2	25,3	56
42	EHK	6	wk	0	grün	25	20,5	1,8	25	20,5	1,8	17	19	OD	1	25,3	56
43	Selkirk Rex	6	w	1	blau	30	15,5	1,4	30	15,5	1,4	19	22	OS	1	24,4	64
44	BKH	3	w	1	blau	25	20,5	1,8	20	31,5	2,8	20	20	OD	1	24,1	68
45	BKH	1	m	2	blau	30	15,5	1,4	30	15,5	1,4	14	11	OS	2	24,4	68
46	Selkirk Rex	1,5	w	1	blau	25	20,5	1,8	25	20,5	1,8	21	20	OD	2	24,1	68
47	BKH	8	w	2	blau	10	116	10,3	25	20,5	1,8	18	25	OS	2	24,3	68
48	BKH	6	m	2	blau	20	31,5	2,8	20	31,5	2,8	20	21	OD	1	24,7	68
49	BKH	4	w	1	gelb	25	20,5	1,8	30	15,5	1,4	23	26	OS	2	24,7	68
50	BKH	7	mk	1	blau	30	15,5	1,4	30	15,5	1,4	21	23	OS	1	24,5	68
51	Maine Coon Mix	2	wk	0	gelbgrün	30	15,5	1,4	25	20,5	1,8	10	14	OS	1	27	60
52	Thai	7	wk	0	blau	25	20,5	1,8	30	15,5	1,4	12	10	OS	1	24	68
53	Thai	4,5	wk	0	blau	25	20,5	1,8	15	58	5,1	27	20	OS	1	24	68
54	Maine Coon Mix	4	mk	0	gelbgrün	20	31,5	2,8	20	31,5	2,8	19	21	OS	1	23,1	52
55	EHK	10	wk	0	grün	35	11,5	1	35	11,5	1	14	15	OD	1	22,8	64
56	BKH	8	mk	1	gelb	15	58	5,1	10	116	10,3	14	15	OS	1	24,2	61
57	Bengal	3	w	0	grün	40	9,5	0,8	45	8	0,7	22	23	OS	1	23,6	57
58	Bengal	1	w	0	gelb	50	6	0,55	45	8	0,7	16	17	OS	1	23,6	57
59	Bengal	1,75	w	0	gelbgrün	25	20,5	1,8	20	31,5	2,8	23	17	OS	2	24	58
60	Bengal	2	w	0	grün	45	4,5	0,7	45	8	0,7	15	19	OD	1	24	59

Nr. = laufende Patientennummer
 EHK = Europäische Hauskatze
 DSH = Domestic Shorthair
 BKH = Britisch Kurzhaar
 OD = rechtes Auge
 OS = linkes Auge

m = männlich
 mk = männlich-kastriert
 w = weiblich
 wk = weiblich-kastriert
 BG = Brachycephalengrad
 BG 0 = mesocephal

CTT1 in mm = Sensibilitätsäquivalent in Millimetern
 CTT2 in mg/AQ = Sensibilitätsäquivalent in Milligramm pro Fadenquerschnittsfläche
 CTT3 in g/mm³ = Sensibilitätsäquivalent in Gramm pro Quadratmillimeter
 STT1 in mm/min = Schirmer-Tränen-Test I in Millimeter pro Minute
 LF in % = Luftfeuchtigkeit in Prozent
 LT in °C = Lufttemperatur in Grad Celsius

1.-Seite = erste mittels STT 1 gemessene Körperseite
 STT-Abstand = zeitlicher Abstand zwischen STT beider Augen
 STT-Abstand 1 = kurzer zeitlicher Abstand; < 15 s
 STT-Abstand 2 = langer zeitlicher Abstand; 15s bis 2 min

Nr.	Rasse	Alter in Jahren	Geschlecht	BG	Irisfarbe	CTT1 OD in mm	CTT2 OD in mg/AQ	CTT3 OD in g/mm ²	CTT1 OS in mm	CTT2 OS in mg/AQ	CTT3 OS in g/mm ²	STT1 OD in mm/min	STT1 OS in mm/min	I. Seite	STT Abstand	LT in °C	LF in %
61	Bengal	1,5	w	0	grün	25	20,5	1,8	30	15,5	1,4	19	20	OD	1	24,1	60
62	Bengal	4	w	0	grün	40	9,5	0,8	45	8	0,7	24	23	OD	1	24,1	60
63	Bengal	1,5	m	0	grün	35	11,5	1	40	9,5	0,8	35	35	OS	1	24,1	61
64	Bengal	4,5	w	0	grün	50	6	0,55	55	5,5	0,5	21	35	OS	1	24,3	61
65	Bengal	1,5	w	0	grün	55	5,5	0,5	55	5,5	0,5	20	26	OS	1	24,5	59
66	Perser	10	mk	3	gelb	15	58	5,1	20	31,5	2,8	24	26	OS	1	26,6	57
67	Perser	7	wk	4	gelb	25	20,5	1,8	25	20,5	1,8	20	25	OS	2	24,8	50
68	Perser	1	wk	2	blau	30	15,5	1,4	30	15,5	1,4	15	18	OS	1	24,8	50
69	BKH	3	mk	0	gelb	30	15,5	1,4	30	15,5	1,4	28	23	OS	2	24,8	20
70	EHK	1,5	mk	0	gelbgrün	40	9,5	0,8	40	9,5	0,8	24	25	OS	1	24,6	58
71	Perser	7	wk	2	blau	20	31,5	2,8	20	31,5	2,8	13	19	OD	1	25,3	57
72	Perser	5	w	4	gelb	15	58	5,1	15	58	5,1	13	24	OS	1	27	49
73	Perser	3,5	m	4	gelb	25	20,5	1,8	25	20,5	1,8	25	24	OS	1	27	49
74	Perser	3	w	3	gelbgrün	10	116	10,3	15	58	5,1	21	24	OD	1	24,9	53
75	Perser	5,5	mk	3	grün	25	20,5	1,8	20	31,5	2,8	18	15	OD	1	25,7	54
76	Perser	11	mk	3	grün	10	116	10,3	15	58	5,1	23	21	OS	2	25,7	54
77	Perser	3	m	3	grün	20	31,5	2,8	20	31,5	2,8	13	20	OD	2	25,6	54
78	BKH	7	mk	2	gelb	20	31,5	2,8	20	31,5	2,8	26	19	OS	1	30,1	57
79	Perser	2	w	3	grün	40	9,5	0,8	40	9,5	0,8	27	24	OS	1	26	49
80	Perser	4	wk	3	grün	30	15,5	1,4	25	20,5	1,8	14	15	OS	1	26	49
81	Perser	1,5	w	3	grün	35	11,5	1	35	11,5	1	22	19	OS	2	25,9	49
82	EHK	5	mk	0	grün	45	8	0,7	35	11,5	1	18	20	OD	1	23,2	57
83	EHK	5	mk	0	grün	30	15,5	1,4	25	20,5	1,8	19	16	OD	1	23,2	57
84	EHK	10	wk	0	grün	35	11,5	1	25	20,5	1,8	15	10	OD	1	25,7	53
85	EHK	2	mk	0	grün	35	11,5	1	35	11,5	1	15	16	OD	1	25,7	53
86	Maine Coon	5	m	0	gelbgrün	40	9,5	0,8	45	8	0,7	21	21	OS	1	25,9	52
87	Maine Coon	9	w	0	gelbgrün	40	9,5	0,8	40	9,5	0,8	20	23	OD	1	25,9	53
88	Maine Coon	1,5	m	0	gelbgrün	30	15,5	1,4	30	15,5	1,4	22	15	OD	1	25,9	53
89	Maine Coon	1	w	0	gelbgrün	45	8	0,7	45	8	0,7	10	15	OS	2	25,9	53
90	Maine Coon	2	w	0	gelbgrün	25	20,5	1,8	25	20,5	1,8	8	18	OS	1	26,1	64

Nr. = laufende Patientennummer
 EHK = Europäische Hauskatze
 DSH = Domestic Shorthair
 BKH = Britisch Kurzhaar
 OD = rechtes Auge
 OS = linkes Auge

m = männlich
 mk = männlich-kastriert
 w = weiblich
 wk = weiblich-kastriert
 BG = Brauchzahlprozent
 BG 0 = mesozeptal

CTT1 in mm = Sensibilitätsäquivalent in Millimetern
 CTT2 in mg/AQ = Sensibilitätsäquivalent in Milligramm pro Fadenquerschnittsfläche
 CTT3 in g/mm² = Sensibilitätsäquivalent in Gramm pro Quadratmillimeter
 STT 1 in mm/min = Schirmer-Tränen-Test I in Millimeter pro Minute
 LF in % = Luftfeuchtigkeit in Prozent
 LT in °C = Lufttemperatur in Grad Celsius

I. Seite = erste mittels STT 1 gemessene Körperseite
 STT Abstand = zeitlicher Abstand zwischen STT beider Augen
 STT Abstand 1 = kurzer zeitlicher Abstand: < 15 s
 STT Abstand 2 = langer zeitlicher Abstand: 15s bis 2 min

Nr.	Rasse	Alter in Jahren	Geschlecht	BG	Irisfarbe	CTT1 OD in mm	CTT2 OD in mg/AQ	CTT3 OD in g/mm ³	CTT1 OS in mm	CTT2 OS in mg/AQ	CTT3 OS in g/mm ³	STT1 OD in mm/min	STT1 OS in mm/min	1.-Seite	STT Abstand	LT in °C	LF in %
91	Maine Coon	8	wk	0	gelbgrün	35	11,5	1	35	11,5	1	11	15	OD	1	26,1	62
92	Maine Coon	1	w	0	gelbgrün	45	8	0,7	45	8	0,7	18	8	OD	1	25,9	52
93	BKH	3,5	mk	2	gelb	25	20,5	1,8	25	20,5	1,8	19	19	OS	1	23	57
94	BKH	3	w	1	gelb	30	15,5	1,4	25	20,5	1,8	35	35	OS	1	21,8	56
95	BKH	1	w	2	gelb	40	9,5	0,8	40	9,5	0,8	17	20	OS	1	21,8	56
96	BKH	3,5	w	1	gelb	35	11,5	1	35	11,5	1	23	25	OS	1	21,8	56
97	BKH	1,5	w	1	gelb	40	9,5	0,8	40	9,5	0,8	11	21	OS	2	21,7	56
98	BKH	1	m	1	gelb	40	9,5	0,8	40	9,5	0,8	10	15	OS	2	22,1	56
99	Perser	13	mk	2	grün	30	15,5	1,4	30	15,5	1,4	18	17	OS	1	21,3	60
100	Perser	5	w	2	grün	30	15,5	1,4	30	15,5	1,4	22	35	OS	1	21,3	60
101	Perser	1,5	m	2	grün	45	8	0,7	45	8	0,7	27	20	OS	1	21,3	60
102	Perser	2	w	2	grün	35	11,5	1	35	11,5	1	20	11	OD	1	21,3	60
103	Maine Coon	3,5	w	0	grün	40	9,5	0,8	40	9,5	0,8	8	15	OS	1	24,2	55
104	Maine Coon	2	m	0	gelb	55	5,5	0,5	55	5,5	0,5	18	20	OS	1	24,2	55
105	Maine Coon	5,5	w	0	grün	45	8	0,7	45	8	0,7	16	22	OS	1	24,2	55
106	Maine Coon	1	w	0	gelbgrün	35	11,5	1	40	9,5	0,8	18	17	OS	1	24,2	55
107	Maine Coon	6	w	0	grün	40	9,5	0,8	40	9,5	0,8	18	16	OS	1	24,2	55
108	Perser	12	wk	2	grün	15	58	5,1	20	31,5	2,8	20	19	OS	2	21,6	45
109	Perser	3,5	w	3	grün	30	15,5	1,4	35	11,5	1	22	23	OS	2	21,6	45
110	Exotic Shorthair	5	w	2	grün	35	11,5	1	35	11,5	1	24	15	OS	2	21,6	45
111	Perser	2	w	3	grün	30	15,5	1,4	30	15,5	1,4	10	17	OS	2	21,6	45
112	Exotic Shorthair	3,5	w	3	grün	35	11,5	1	35	11,5	1	20	15	OS	1	21,6	45
113	Exotic Shorthair	3	m	3	grün	35	11,5	1	35	11,5	1	23	17	OS	1	21,6	45
114	Maine Coon	6	mk	0	grün	25	20,5	1,8	25	20,5	1,8	14	13	OS	1	21,2	61
115	Maine Coon	7,5	mk	0	grün	30	15,5	1,4	30	15,5	1,4	10	15	OS	1	21,2	61
116	Maine Coon	9,5	w	0	gelbgrün	40	9,5	0,8	40	9,5	0,8	17	17	OS	1	21,1	58
117	Maine Coon	7,5	wk	0	gelbgrün	50	6	0,55	45	8	0,7	18	20	OS	1	21,1	58
118	Maine Coon	5	wk	0	gelbgrün	35	11,5	1	35	11,5	1	30	26	OS	1	21,1	58
119	Maine Coon	4	w	0	gelbgrün	35	11,5	1	35	11,5	1	20	22	OS	1	21,1	58
120	Maine Coon	1,5	m	0	gelbgrün	50	6	0,55	50	6	0,55	25	18	OS	1	21,1	58

Nr. = laufende Paternummer
 EHK = Europäische Hauskatze
 DSH = Domestic Shorthair
 BKH = Britisch Kurzhaar
 OD = rechtes Auge
 OS = linkes Auge

m = männlich
 mk = männlich-kastriert
 w = weiblich
 wk = weiblich-kastriert
 BG = Brachycephalgrad
 BG 0 = mesocephal

CTT1 in mm = Sensibilitätsäquivalent in Millimetern
 CTT2 in mg/AQ = Sensibilitätsäquivalent in Milligramm pro Fadenquerschnittsfläche
 CTT3 in g/mm³ = Sensibilitätsäquivalent in Gramm pro Quadratmillimeter
 STT1 in mm/min = Schirmer-Tränen-Test I in Millimeter pro Minute
 LF in % = Luftfeuchtigkeit in Prozent
 LT in °C = Lufttemperatur in Grad Celsius

1.-Seite = erste mittels STT 1 gemessene Körperseite
 STT Abstand = zeitlicher Abstand zwischen STT beider Augen
 STT Abstand 1 = kurzer zeitlicher Abstand; < 15 s
 STT Abstand 2 = langer zeitlicher Abstand; 15s bis 2 min

Nr.	Rasse	Alter in Jahren	Geschlecht	BG	Irisfarbe	CTT1 OD in mm	CTT2 OD in mg/AQ	CTT3 OD in g/mm ²	CTT1 OS in mm	CTT2 OS in mg/AQ	CTT3 OS in g/mm ²	STT1 OD in mm/min	STT1 OS in mm/min	I. Seite	STT Abstand	LT in °C	LF in %
121	Maine Coon	9,5	mk	0	gelbgrün	35	11,5	1	35	11,5	1	9	17	OS	1	21,1	58
122	Maine Coon	10,5	wk	0	gelbgrün	30	15,5	1,4	35	11,5	1	21	22	OS	1	21,1	58
123	EHK	8	wk	0	gelbgrün	30	15,5	1,4	30	15,5	1,4	11	15	OS	1	23	55
124	Bengal	1	m	0	gelbgrün	35	11,5	1	35	11,5	1	14	20	OS	1	18,8	61
125	Perser	2	m	4	gelb	25	20,5	1,8	20	31,5	2,8	27	23	OS	2	23,5	54
126	Perser	2,5	w	4	gelb	5	180	15,9	5	180	15,9	18	18	OD	1	23,4	53
127	Perser	3	w	4	gelb	20	31,5	2,8	20	31,5	2,8	20	22	OS	1	24,3	52
128	Perser	4	m	3	gelb	25	20,5	1,8	25	20,5	1,8	24	22	OS	1	24,6	51
129	Perser	2	m	3	gelb	15	58	5,1	15	58	5,1	23	23	OS	1	24,6	50
130	Perser	4	w	4	gelb	15	58	5,1	15	58	5,1	20	24	OS	1	24,5	51
131	Perser	1,5	w	3	gelb	20	31,5	2,8	15	58	5,1	26	17	OS	1	24,5	51
132	Perser	1	wk	4	gelb	10	116	10,3	10	116	10,3	20	24	OS	1	25,5	51
133	Perser	3	w	4	gelb	25	20,5	1,8	25	20,5	1,8	22	15	OS	1	25,6	51
134	Perser	3	mk	3	gelb	20	31,5	2,8	5	180	15,9	16	15	OS	1	25,6	51
135	Perser	3	mk	3	gelb	10	116	10,3	10	116	10,3	35	30	OS	1	25,6	51
136	BKH	4	w	1	gelb	35	11,5	1	30	15,5	1,4	25	27	OS	2	23,9	55
137	BKH	1,5	w	1	gelb	20	31,5	2,8	35	11,5	1	15	20	OS	1	24,1	53
138	BKH	5	wk	1	gelb	20	31,5	2,8	15	58	5,1	30	35	OS	1	24,3	53
139	BKH	4,5	w	0	blau	35	11,5	1	35	11,5	1					24,3	53
140	BKH	2,5	w	1	gelb	25	20,5	1,8	25	20,5	1,8	19	23	OS	1	24,3	53

Nr. = laufende Patientennummer
 EHK = Europäische Hauskatze
 DSH = Domestic Shorthair
 BKH = British Kurzhaar
 OD = rechtes Auge
 OS = linkes Auge

m = männlich
 mk = männlich-kastriert
 w = weiblich
 wk = weiblich-kastriert
 BG = Brauchycephaliegrad
 BG 0 = mesocephal

CTT1 in mm = Sensibilitätsäquivalent in Millimetern
 CTT2 in mg/AQ = Sensibilitätsäquivalent in Milligramm pro Fadenquerschnittsfläche
 CTT3 in g/mm² = Sensibilitätsäquivalent in Gramm pro Quadratmillimeter
 STT 1 in mm/min = Schirmer-Tränen-Test I in Millimeter pro Minute
 LF in % = Luftfeuchtigkeit in Prozent
 LT in °C = Lufttemperatur in Grad Celsius

I. Seite = erste mittels STT 1 gemessene Körperseite
 STT Abstand = zeitlicher Abstand zwischen STT beider Augen
 STT Abstand 1 = kurzer zeitlicher Abstand: < 15 s
 STT Abstand 2 = langer zeitlicher Abstand: 15s bis 2 min

Abbildungsverzeichnis

1	Schematische Darstellung der Anatomie des Bulbus oculi	7
2	Einteilung einer Katzenkornea in vier Quadranten	8
3	Histologischer Schnitt der gesamten Katzenkornea	12
4	Schematische Darstellung der sensiblen Innervation des Bulbus oculi	14
5	Schematische Darstellung der kornealen Innervation einer adulten Katze . .	15
6	Ästhesiometer nach COCHET und BONNET der Fa. Luneau	23
7	Nahaufnahme der Spitze des COCHET-BONNET-Ästhesiometers	23
8	Anwendung des Ästhesiometers nach COCHET-BONNET	24
9	Kalibrierungskurve des COCHET-BONNET-Ästhesiometers zur Darstel- lung des Zusammenhangs der Fadenlänge und dem ausgeübten mittleren Druck pro Fadenquerschnittsfläche	25
10	Kalibrierungskurve des COCHET-BONNET-Ästhesiometers zur Darstel- lung des Zusammenhangs der Fadenlänge und dem ausgeübten mittleren Druck pro Quadratmillimeter	26
11	Sagittalschnitt durch einen Katzenschädel in medialer Ansicht	34
12	Katzenschädel in dorsaler Ansicht	34
13	Britisch Kurzhaar Katze mit Brachycephaliegrad 1	41
14	Perser-Mischling mit Brachycephaliegrad 2	41
15	Exotic Shorthair Katze mit Brachycephaliegrad 3	42
16	Perserkatze mit Brachycephaliegrad 4	42
17	Zwei Schirmer-Tränen-Teststreifen mit Millimeterskala und Indikatorstreifen	44
18	Absolute Häufigkeit der Geschlechterverteilung der untersuchten Katzen . .	47
19	Absolute Häufigkeit der vertretenen Rassen	49
20	Absolute Häufigkeiten der Katzen mit Brachycephaliegrad 1 bis 4 sowie mit mesozephaler Kopfform	49
21	Absolute Häufigkeiten der verschiedenen Rassen gestaffelt nach Brachyze- phaliegrad	50
22	Säulendiagramm für die Sensibilitätsäquivalente mCTT1 für jeweils weibli- che und männliche mesozephal und brachycephale Katzen	52
23	Säulendiagramm für die Sensibilitätsäquivalente mCTT2 für jeweils weibli- che und männliche mesozephal und brachycephale Katzen	52
24	Säulendiagramm für die Sensibilitätsäquivalente mCTT3 für jeweils weibli- che und männliche mesozephal und brachycephale Katzen	53

25	Säulendiagramm für die Sensibilitätsäquivalente mCTT3 für die verschiedenen Katzenrassen	56
26	Grafische Darstellung der Beziehung zwischen Alter und Sensibilitätsäquivalent mCTT1 ohne den Einfluss der anderen Kovariablen	57
27	Grafische Darstellung der Beziehung zwischen Alter und Sensibilitätsäquivalent mCTT1 bei brachyzephalen und mesozephalen Katzen ohne den Einfluss der anderen Kovariablen	57
28	Grafische Darstellung der Beziehung zwischen Alter und Sensibilitätsäquivalent lgmCTT3 unter Einbeziehung aller untersuchten Tiere ohne den Einfluss der anderen Kovariablen	58
29	Grafische Darstellung der Beziehung zwischen Alter und Sensibilitätsäquivalent lgmCTT3 bei brachyzephalen und mesozephalen Katzen ohne den Einfluss der anderen Kovariablen	58
30	Säulendiagramm für die Sensibilitätsäquivalente mCTT3 für jeweils weibliche und männliche Katzen	59
31	Grafische Darstellung der Beziehung von Brachyzephaliegrad und der Reiztränenproduktion mSTT I unter Einbeziehung aller untersuchten Tiere . . .	65

Tabellenverzeichnis

1	Mittels Ultraschall-Pachymetrie gemessene Hornhautdicken der Katze . . .	10
2	Konvertierungstabelle für das Ästhesiometer nach COCHET und BONNET (1960) nach Angaben der Firma Luneau (2000)	25
3	Ästhesiometrische Messergebnisse der Hornhaut im Mittelwert und der zu- gehörigen Standardabweichung (WAGNER, 2002)	33
4	Altersverteilung der untersuchten Katzen in Bezug auf das Geschlecht . . .	48
5	Altersverteilung der untersuchten Katzen in Bezug auf die Kopfform	48
6	Angabe der minimalen und maximalen Sensibilitätsäquivalenten bezüglich der verschiedenen Brachycephaliegrade	54
7	Mittelwerte und Standardabweichungen bzw. Streufaktoren im Hinblick auf die Rasse für die zwischen den Augen gemittelten Sensibilitätsäquivalente .	55
8	Analyse der Auswirkung der Kovariable - <i>Alter</i> auf die Sensibilitätsäquivalente CTT1, lgCTT2 und lgCTT3	56
9	Analyse der Auswirkung der Kovariable - <i>Geschlecht</i> auf die Sensibilitätsäquivalente CTT1, lgCTT2 und lgCTT3	60
10	Analyse der Auswirkung der Kovariable - <i>Körperseite</i> auf die Sensibilitätsäquivalente CTT1, lgCTT2 und lgCTT3	60
11	Analyse der Auswirkung der Kovariable - <i>Irisfarbe</i> auf die Sensibilitätsäquivalente CTT1, lgCTT2 und lgCTT3	61
12	Analyse der Auswirkung der Kovariable - <i>Tränenproduktion</i> auf die Sensibilitätsäquivalente CTT1, lgCTT2 und lgCTT3	61
13	Analyse der Auswirkung der Kovariable - <i>Lufttemperatur</i> auf die Sensibilitätsäquivalente CTT1, lgCTT2 und lgCTT3	62
14	Analyse der Auswirkung der Kovariable - <i>Luftfeuchtigkeit</i> auf die Sensibilitätsäquivalente CTT1, lgCTT2 und lgCTT3	62
15	Analyse der Auswirkung der Kovariablen (Rasse, Geschlecht, Irisfarbe, Bra- chycephaliegrad, Alter, lgCTT 3, Seite) auf den Schirmer-Tränen-Test I . .	63
16	Analyse der Auswirkung der Kovariablen (Geschlecht, Irisfarbe, Brachyze- phaliegrad, Alter, lgCTT 3, Seite) auf den Schirmer-Tränen-Test I unter Einbeziehung aller Rassen	64
17	Ergebnis der Analyse des Einflusses der Kovariablen, beginnende Messseite und zeitlicher Abstand der Messungen, auf den Schirmer-Tränen-Test I . . .	66

18	Angabe der minimalen und maximalen Messwerte sowie des arithmetischen Mittelwertes und der Standardabweichung für den Schirmer-Tränen-Test I bezüglich der Geschlechter	66
19	Angabe der minimalen und maximalen Messwerte sowie des arithmetischen Mittelwertes und der Standardabweichung für den Schirmer-Tränen-Test I bezüglich der Rasse	67
20	Vergleich der Ergebnisse von BLOCKER und VAN DER WOERDT (2001) mit den eigenen Daten	74

Abkürzungsverzeichnis

°C	Grad Celsius
Ø	Durchmesser
A	Alpha - Signifikanzniveau
β	Beta - Fehler 2. Art
μm	Mikrometer
\bar{X}	Arithmetischer Mittelwert
\bar{X}_g	Geometrischer Mittelwert
3D	Dreidimensional
Abb.	Abbildung
ATP	Adenosintriphosphat
A_Q	Fläche des Fadenquerschnittes
BG	Brachyzephaliegrad
BKH	Britisch Kurzhaar
BM	Bowman-Membran
bzw.	Beziehungsweise
ca.	Circa
cm	Zentimeter
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
CT	Computertomographie
CTT	Corneal Touch Threshold; Hornhautsensibilitäts- schwellenwert
CTT1	Corneal Touch Threshold in mm Fadenlänge
CTT2	Corneal Touch Threshold in mg/ A_Q
CTT3	Corneal Touch Threshold in g/mm ²
dpt	Dioptrie
d.h.	das heißt
DM	Descemet-Membran
DNA	Desoxyribonukleinsäure
DSH	Domestic Shorthair
EHK	Europäische Hauskatzen

EKH	Europäisch Kurzhaar
et al.	et alii
g	Gramm
ggf.	gegebenenfalls
H/E	Hämatoxylin/Eosin
HE _n	Hornhautendothel
HE _p	Hornhautepithel
HSt	Hornhautstroma
IOD	Intraokularer Druck
KCS	Keratokonjunktivis sicca
LF	Luftfeuchtigkeit
lg	dekadischer Logarithmus
lgCTT ₂	Logarithmierter Corneal Touch Threshold in mg/A _Q
lgCTT ₃	Logarithmierter Corneal Touch Threshold in g/mm ²
lgmCTT ₂	Logarithmierter von beiden Augen gemittelter Corneal Touch Threshold in mg/A _Q
lgmCTT ₃	Logarithmierter von beiden Augen gemittelter Corneal Touch Threshold in g/mm ²
LT	Lufttemperatur
mCTT ₁	von beiden Augen gemittelter Corneal Touch Threshold in cm Fadenlänge
mCTT ₂	von beiden Augen gemittelter Corneal Touch Threshold in mg/A _Q
mCTT ₃	von beiden Augen gemittelter Corneal Touch Threshold in g/mm ²
mg	Milligramm
Min	Minute
mm	Millimeter
mm ²	Quadratmillimeter
mSTT	von beiden Augen gemittelter Schirmer-Tränen-Test I

MT	Membrana tertia
n	Stichprobengröße
N.	Nervus
NADPH	reduzierte Form des Nicotinsäureamid- Adenid-Dinukleotid-Phosphates
nm	Nanometer
Nn.	Nervi
OD	Oculus dexter; rechtes Auge
OS	Oculus sinister; linkes Auge
OU	Oculus uterque; beide Augen
p-Wert	Signifikanzwert
r^2	Bestimmtheitsmaß
r_s	Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman
RNA	Ribonukleinsäure
SD	Standardabweichung
SF	Streufaktor
SH	Schleimhaut
STT	Schirmer-Tränen-Test
STTL	Schirmer-Tränen-Test linkes Auge
STTR	Schirmer-Tränen-Test rechtes Auge
Tab.	Tabelle
u.U.	unter Umständen
z.B.	zum Beispiel

Danksagung

Zunächst möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. Dr. h.c. Martin Kramer bedanken, für die Möglichkeit der Anfertigung meiner Dissertation in der Klinik für Kleintiere, Chirurgie, sowie seine schnellen Korrekturen und die diversen Anregungen zu der vorliegenden Arbeit.

Ich bedanke mich herzlich bei Dr. Diana Goeck für ihre Unterstützung, die zahlreichen Ideen und Hilfestellungen, die unzähligen Erklärungen und ihr immer offenes Ohr. An dieser Stelle möchte ich auch die ophthalmologischen Kollegen im Raum Gießen erwähnen, die mir bei Fragen immer hilfreich zur Seite standen. Ich danke: Luisa Wiesner, Dr. Stefan Kindler, Dr. Birgit Koerschgen und Nina Müller.

Für die statistische Betreuung und der Aufarbeitung meiner Daten sowie den entsprechenden Erklärungen danke ich Herrn Dr. Klaus Failing, Frau Marion Sparenberg und Herrn Andreas Schaubmar von der AG Biomathematik und Datenverarbeitung des Fachbereichs Veterinärmedizin der Justus-Liebig-Universität Gießen.

Neben meinen Freunden, die mich bei allem immer hilfreich unterstützt haben, danke ich auch meinen lieben Kollegen der Kleintierchirurgie. Insbesondere Dr. Christine Peppler möchte ich an dieser Stelle herzlich danken.

Ein großes Dankeschön geht außerdem an die Veterinäranatomie der JLU, Gießen, die mir verschiedene Katzenschädel zur Verfügung stellten und histologische Schnitte einer Katzenkornea für mich anfertigten.

All den Katzen und deren Besitzern, ohne die diese Arbeit nicht möglich gewesen wäre, gilt ebenso mein besonderer Dank.

Meiner gesamten Familie gilt mein größter Dank, aber insbesondere meinen Eltern und meinen Schwestern für die Liebe, all die Ermutigungen während meiner Schulzeit, dem Studium und natürlich während der Verfassung meiner Dissertation sowie der uneingeschränkten Unterstützung in der Verfolgung und Erfüllung meiner Lebensziele. Zu guter letzt möchte ich mich bei meinem Freund Dirk bedanken, ohne den ich sicherlich nie nach Gießen gekommen wäre.

Selbstständigkeitserklärung

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

Sylke Gralla



édition scientifique
VVB LAUFERSWEILER VERLAG

VVB LAUFERSWEILER VERLAG
STAUFENBERGRING 15
D-35396 GIESSEN

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

ISBN: 978-3-8359-6160-9



Photo back cover: Benjamin Becker