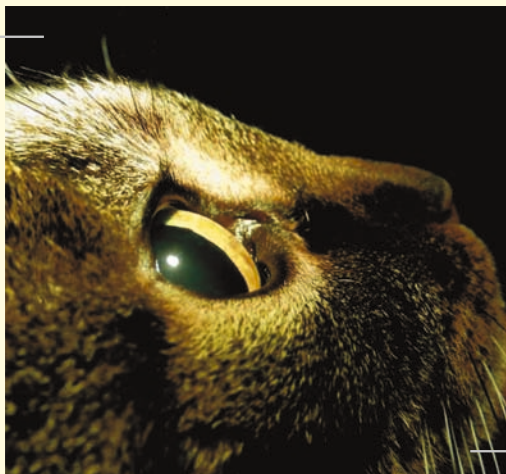


KERATOMETRIE DES GESUNDEN KATZENAUGES

NINA MÜLLER



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

Keratometrie des gesunden Katzenauges

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

eingereicht von

Nina Müller
Tierärztin aus Hüttenberg

Gießen 2013

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

Dekan

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

Erster Gutachter

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

Zweiter Gutachter

Prof. Dr. Eberhard Burkhardt

Tag der Disputation: 10. Dezember 2013

Für meine Eltern
in Liebe

*Folgte man aber dem Drängen,
es zöge einen immer weiter in die Ferne.*

Leo Tolstoi

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|------------|--|-----------|
| 1 | <u>EINLEITUNG</u> | 1 |
| 2 | <u>LITERATURÜBERSICHT</u> | 3 |
| 2.1 | ANATOMIE DER KORNEA DER KATZE | 3 |
| 2.1.1 | ALLGEMEINE BETRACHTUNGEN | 3 |
| 2.1.2 | PRÄOKULÄRER ODER PRÄKORNEALER TRÄNENFILM | 5 |
| 2.1.3 | VORDERES EPITHEL | 7 |
| 2.1.4 | STROMA | 8 |
| 2.1.5 | DESCEMETSCHES MEMBRAN | 10 |
| 2.1.6 | HINTERES EPITHEL | 10 |
| 2.2 | PHYSIKALISCH-OPTISCHE GRUNDLAGEN DER KERATOMETRIE | 11 |
| 2.3 | KLINISCHER EINSATZ DER GEMESSENEN HORNHAUTPARAMETER BEIM MENSCHEN | 15 |
| 2.3.1 | MERIDIAN | 15 |
| 2.3.2 | DIOPTRIE | 16 |
| 2.3.3 | UMRECHNUNG VON DIOPTRIE IN MILLIMETER | 16 |
| 2.3.4 | ASTIGMATISMUS ODER STABSICHTIGKEIT | 17 |
| 2.3.5 | ASTIGMATISMUSINDIKATOR, DELTA K ODER ΔK | 19 |
| 2.3.6 | ZYLINDER | 20 |
| 2.3.7 | ACHSE | 21 |
| 2.4 | MESSMETHODEN FÜR HORNHAUTPARAMETER BEIM MENSCHEN | 22 |
| 2.5 | KERATOMETRIE IN DER KLEINTIERMEDIZIN | 26 |
| 2.5.1 | HUNDE | 26 |
| 2.5.2 | KATZEN | 27 |
| 2.6 | EINFLUSS AUF KERATOMETRIEMESSWERTE | 31 |
| 2.6.1 | AUGENINNENDRUCK | 31 |
| 2.6.2 | TAGESZEIT | 32 |
| 2.7 | KONTAKTLINSEN BEIM MENSCHEN | 33 |
| 2.7.1 | ALLGEMEINE ANWENDUNG VON KONTAKTLINSEN BEIM MENSCHEN | 33 |
| 2.8 | KONTAKTLINSEN BEI TIEREN | 34 |
| 2.8.1 | ALLGEMEINE ANWENDUNG VON KONTAKTLINSEN BEI HUNDEN UND KATZEN | 34 |
| 2.8.2 | ANPASSUNG | 37 |

| | | |
|------------|---|------------------|
| 3 | <u>MATERIAL UND METHODEN</u> | <u>42</u> |
| 3.1 | TECHNISCHE VORAUSSETZUNGEN | 42 |
| 3.1.1 | DAS AUTOKERATOMETER VON ALCON PHARMA ^R | 42 |
| 3.1.2 | DOKUMENTATION DER MESSUNGEN | 44 |
| 3.2 | PATIENTENDATEN | 45 |
| 3.2.1 | GRUPPE (ERMITTELT DURCH RASSEZUGEHÖRIGKEIT UND KOPFFORM) | 45 |
| 3.2.2 | ALTER | 45 |
| 3.2.3 | KÖRPERMASSE | 45 |
| 3.2.4 | GESCHLECHT | 45 |
| 3.3 | ALLGEMEINE KLINISCHE UND OPHTHALMOLOGISCHE UNTERSUCHUNG | 46 |
| 3.3.1 | SPALTLAMPENBIOMIKROSKOPIE | 46 |
| 3.3.2 | OPHTHALMOSKOPIE | 46 |
| 3.3.3 | TONOMETRIE | 46 |
| 3.4 | DURCHFÜHRUNG DER MESSUNGEN MIT DEM AUTOKERATOMETER VON ALCON PHARMA^R | 47 |
| 3.5 | EIGENE MESSUNGEN | 49 |
| 3.6 | PATIENTENGUT | 49 |
| 3.6.1 | ALTERSVERTEILUNG | 49 |
| 3.6.2 | GESCHLECHTSVERTEILUNG | 50 |
| 3.6.3 | GEWICHTSVERTEILUNG | 51 |
| 3.6.4 | GRUPPENEINTEILUNG | 52 |
| 3.7 | STATISTISCHE AUSWERTUNG | 55 |
| 4 | <u>ERGEBNISSE</u> | <u>56</u> |
| 4.1 | AUGENINNENDRUCK | 56 |
| 4.2 | HORIZONTALER HORNHAUTRADIUS | 58 |
| 4.2.1 | EINFLUSS DER AUGENSEITE AUF BASE1 (HORIZONTALER HORNHAUTRADIUS IN MILLIMETER) UND K1 (BRECHKRAFT IM HORIZONTALEN MERIDIAN IN DIOPTRIE) | 58 |
| 4.2.2 | EINFLUSS DER GRUPPE AUF BASE1 (HORIZONTALER HORNHAUTRADIUS IN MILLIMETER) UND K1 (BRECHKRAFT IM HORIZONTALEN MERIDIAN IN DIOPTRIE) | 62 |
| 4.2.3 | EINFLUSS DES GESCHLECHTS AUF BASE1 (HORIZONTALER HORNHAUTRADIUS IN MILLIMETER) UND K1 (BRECHKRAFT IM HORIZONTALEN MERIDIAN IN DIOPTRIE) | 65 |
| 4.2.4 | EINFLUSS DES ALTERS AUF BASE1 (HORIZONTALER HORNHAUTRADIUS IN MILLIMETER) | |

| | |
|--|-------------------|
| UND K1 (BRECHKRAFT IM HORIZONTALEN MERIDIAN IN DIOPTRIE) ----- | 66 |
| 4.2.5 EINFLUSS DER KÖRPERMASSE AUF BASE1 (HORIZONTALER HORNHAUTRADIUS IN MILLIMETER) UND K1 (BRECHKRAFT IM HORIZONTALEN MERIDIAN IN DIOPTRIE) ----- | 69 |
| 4.3 VERTIKALER HORNHAUTRADIUS ----- | 72 |
| 4.3.1 EINFLUSS DER AUGENSEITE AUF BASE2 (VERTIKALER HORNHAUTRADIUS IN MILLIMETER) UND K2 (BRECHKRAFT IM VERTIKALEN MERIDIAN IN DIOPTRIE)----- | 72 |
| 4.3.2 EINFLUSS DER GRUPPE AUF BASE2 (VERTIKALER HORNHAUTRADIUS IN MILLIMETER) UND K2 (BRECHKRAFT IM VERTIKALEN MERIDIAN IN DIOPTRIE)----- | 76 |
| 4.3.3 EINFLUSS DES GESCHLECHTS AUF BASE2 (VERTIKALER HORNHAUTRADIUS IN MILLIMETER) UND K2 (BRECHKRAFT IM VERTIKALEN MERIDIAN IN DIOPTRIE)----- | 78 |
| 4.3.4 EINFLUSS DES ALTERS AUF BASE2 (VERTIKALER HORNHAUTRADIUS IN MILLIMETER) UND K2 (BRECHKRAFT IM VERTIKALEN MERIDIAN IN DIOPTRIE)----- | 78 |
| 4.3.5 EINFLUSS DER KÖRPERMASSE AUF BASE2 (VERTIKALER HORNHAUTRADIUS IN MILLIMETER) UND K2 (BRECHKRAFT IM VERTIKALEN MERIDIAN IN DIOPTRIE)----- | 81 |
| 4.4 DELTA K/ΔK BZW. ASTIGMATISMUSINDIKATOR----- | 84 |
| 4.4.1 EINFLUSS DER AUGENSEITE AUF DELTA K/ Δ K ----- | 84 |
| 4.4.2 EINFLUSS DER GRUPPE AUF DELTA K/ Δ K----- | 84 |
| 4.4.3 EINFLUSS DES GESCHLECHTS AUF DELTA K/ Δ K ----- | 84 |
| 4.4.4 EINFLUSS DES ALTERS AUF DELTA K/ Δ K ----- | 84 |
| 4.4.5 EINFLUSS DER KÖRPERMASSE AUF DELTA K/ Δ K ----- | 84 |
| 4.5 ACHSE DER MERIDIANE ----- | 85 |
| 4.6 TABELLARISCHE ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE----- | 85 |
| | |
| <u>5 DISKUSSION -----</u> | <u>87</u> |
| | |
| 5.1 DISKUSSION DER METHODE ----- | 87 |
| 5.2 DISKUSSION DER MESSERGEBNISSE BEI GESUNDEN KATZENAUGEN----- | 88 |
| 5.2.1 AUGENINNENDRUCK ----- | 89 |
| 5.2.2 HORIZONTALER UND VERTIKALER HORNHAUTRADIUS ----- | 91 |
| 5.2.3 Δ K/DELTA K BZW. ASTIGMATISMUSINDIKATOR ----- | 99 |
| 5.2.4 ACHSE DER MERIDIANE----- | 99 |
| | |
| <u>6 ZUSAMMENFASSUNG -----</u> | <u>100</u> |
| | |
| <u>7 SUMMARY -----</u> | <u>102</u> |

| | | |
|------------------|--|-------------------|
| <u>8</u> | <u>LITERATURVERZEICHNIS -----</u> | <u>104</u> |
| <u>9</u> | <u>DANKSAGUNG -----</u> | <u>120</u> |
| <u>10</u> | <u>ERKLÄRUNG -----</u> | <u>121</u> |

Abkürzungsverzeichnis

| | |
|--------|---|
| Ø | durchschnittlich |
| Abb. | Abbildung |
| Base1 | horizontaler Hornhautkrümmungsradius in Millimeter |
| Base2 | vertikaler Hornhautkrümmungsradius in Millimeter |
| BKH | Britisch Kurzhaar |
| BVA | Berufsverband der Augenärzte Deutschlands e.V. |
| ca. | circa |
| cm | Zentimeter |
| D | Dioptrie (Breckkraft) |
| d.h. | das heißt |
| Dk | Maß für die Sauerstoffdurchlässigkeit von Kontaktlinsen |
| DOG | Deutsche Ophthalmologische Gesellschaft |
| e | Eulersche Zahl (2,71828) |
| EKH | Europäisch Kurzhaar |
| et al. | et alii (und andere) |
| FDA | Food and Drug Administration |
| ggf. | gegebenenfalls |
| HEMA | Hydroxyethylmethacrylat |
| i.d.R. | in der Regel |
| IOL | Intraokularlinse |
| K1 | Breckkraft des horizontalen Hornhautmeridians in Dioptrie |
| K2 | Breckkraft des vertikalen Hornhautmeridians in Dioptrie |
| KCS | Keratokonjunktivitis sicca (trockenes Auge) |
| m | männlich |
| max. | maximal/maximale |
| min. | minimal/minimale |
| mk | männlich kastriert |
| mm | Millimeter |
| mmHg | Millimeter Quecksilbersäule |
| n | Stichprobenumfang |
| nm | Nanometer |
| Nr. | Nummer |
| r1 | horizontaler Radius der Hornhaut in Millimeter |

| | |
|---------------|--|
| r_2 | vertikaler Radius der Hornhaut in Millimeter |
| s | Standardabweichung |
| sog. | sogenannte/sogenannten |
| Tab. | Tabelle |
| TABO | Technischer Ausschuss für Brillen-Optik |
| u.a. | unter anderem |
| v.a. | vor allem |
| w | weiblich |
| wk | weiblich kastriert |
| x_{\max} | Maxima |
| x_{\min} | Minima |
| \bar{x} | arithmetischer Mittelwert |
| μ | Mikro |
| μm | Mikrometer |
| μl | Mikroliter |

1 Einleitung

In der Humanmedizin liefert die Keratometrie wesentliche Ergebnisse zur Anpassung von Kontaktlinsen. Bei der Keratometrie werden die Hornhautrefraktion, die Hornhautradien und die Hornhautkrümmung gemessen. Die früher angewendete Ophthalmometrie mit einfacheren Geräten dient nur der Bestimmung des Krümmungsradius und des daraus resultierenden Brechwertes der Hornhautvorderfläche.

Mit der zusätzlichen Längenmessung des Augapfels im A-Modus-Ultraschallverfahren kann die Keratometrie auch zur Berechnung der intraokularen Kunstlinsen dienen, die nach einer Operation des grauen Stars routinemäßig eingesetzt werden.

Ferner spielt die Keratometrie eine bedeutende Rolle bei der Feststellung von Astigmatismus der Hornhaut. Dies ist vor allem beim Menschen vor und nach refraktiven Hornhautoperationen wichtig. Heutzutage spielt die Keratometrie in der Humanmedizin alleine keine Rolle mehr, die Geräte sind weiterentwickelt und vermessen die Oberfläche der Hornhaut sehr viel genauer (Topographiesysteme) (PREUSSNER 2007).

Für die Tiermedizin sind diese neueren Geräte noch nicht einsetzbar, da es sich um feststehende Tischgeräte und nicht um tragbare Handgeräte handelt.

Bei Hunden ist bekannt, dass größere Augen einen größeren Hornhautradius mit demzufolge flacherer Hornhautkrümmung haben. Beim Hund und auch beim Menschen ist die Vorderfläche der Hornhaut weniger stark gekrümmt als die Hinterfläche (OFRI 1999). Zwischen der Größe des Hundes und der Hornhautkrümmung besteht ein umgekehrt proportionales Verhältnis (GAIDDON et al. 1991). KLESEN (1998) findet heraus, dass der horizontale Hornhautradius geringgradig kleiner als der vertikale ist.

Ziel dieser Arbeit ist es, bei einer Population von Katzen allgemeingültige Messwerte für die Hornhautvorderfläche zu ermitteln (Hornhautradius bzw. -krümmung und Hornhautrefraktion für jeweils den horizontalen und vertikalen Meridian). Außerdem soll hier untersucht werden, ob und welche Unterschiede zwischen brachy- und mesocephalen sowie großbrahmigen Rassen existieren. Weiterhin wird überprüft, ob signifikante Unterschiede bei Katzen verschiedenen Alters, verschiedener Körpermasse und verschiedenen Geschlechts existieren.

Diese Daten könnten als Grundlage für die Berechnung von optimal passenden Kunstlinsen genutzt werden, die im Rahmen der Kataraktchirurgie eingesetzt werden. Außerdem könnten in der Zukunft Intraokularlinsen mit unterschiedlicher Brechkraft hergestellt werden, so dass man bei feline Kataraktpatienten für eine Implantation einer Kunstlinse eine passende Intraokularlinse auswählen kann, was beim Hund schon länger möglich ist. Für den Einsatz

von Intraokularlinsen für Katzen gibt es drei verschiedene Größen (12,13 und 14 Millimeter Durchmesser) mit jeweils der gleichen Dioptriezahl (53,5 Dioptrie). Des Weiteren könnten Kontaktlinsen für die Katze besser als bisher angepasst werden. Kontaktlinsen finden in der Veterinärmedizin ihren Einsatz v.a. als Bandagelinsen, die zum Schutz der Hornhaut oder zur besseren Wundheilung aufgebracht werden. Bandagelinsen sind weiche Kontaktlinsen, die größer als der Hornhautdurchmesser sind und auf dem präokulären Tränenfilm schwimmen. Es gibt verschiedene Standardgrößen für Durchmesser und Krümmungen. Für Katzen gibt es folgende Größen: unterschiedliche Durchmesser (14, 15,5, 16 und 18 Millimeter) mit verschiedenen Krümmungsradien (8,3, 8,5, 8,8, 9,2 und 9,4 Millimeter). Die Kontaktlinsen bedürfen einer exakteren Anpassung. Bisher werden die Kontaktlinsen für ein Tier anhand einer Messschablone nur geschätzt. Ein weiteres Ziel der vorliegenden Arbeit ist es also, durch Festlegung von Normwerten für die Hornhautradien bzw. -krümmung eine bessere und einfachere Anpassung von Bandagekontaktlinsen zu ermöglichen.

2 Literaturübersicht

2.1 Anatomie der Kornea der Katze

2.1.1 Allgemeine Betrachtungen

Die Hornhaut ist der transparente, avaskuläre, anterior gelegene Anteil der Tunica fibrosa bulbi (NICKEL et al. 2004, GELATT 2007). Sie ist von einer vorderen und hinteren Grenzschicht bedeckt, die man Epithel und Endothel nennt (DYCE et al. 1991). Die Hornhaut hat einen Anteil von ca. einem Fünftel (GELATT 2007, WALDE et al. 2008) bis einem Viertel (DYCE et al. 1991) der Gesamtoberfläche des Auges (Abb. Nr. 1).

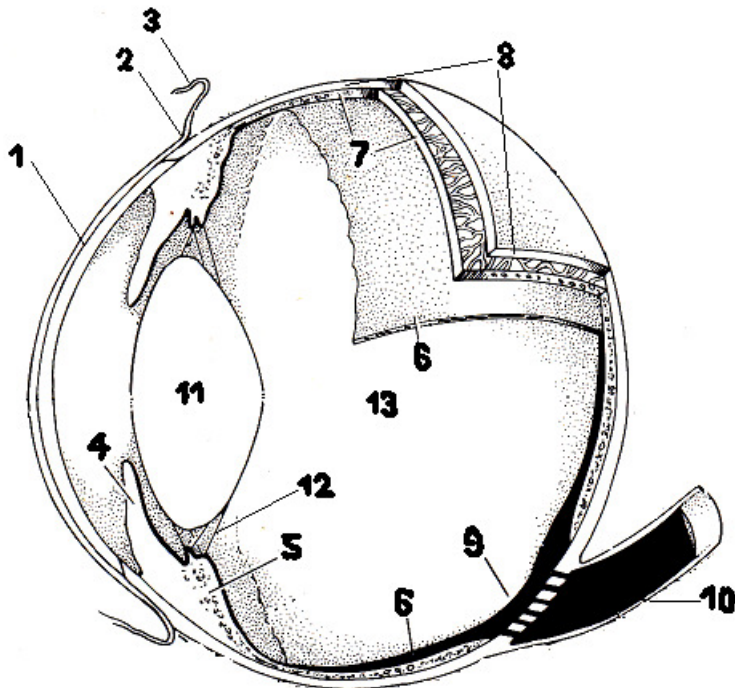


Abb. Nr. 1: Aufbau des Auges: 1 Hornhaut, 2 Limbus mit Sulcus sclerae, 3 Bindehaut, 4 Iris, 5 Ziliarkörper, 6 Retina, 7 Chorioidea, 8 Sklera, 9 Papilla nervi optici, 10 Nervus opticus, 11 Linse, 12 Zonulafasern, 13 Glaskörper (DYCE et al. 1991, modifiziert).

In Abb. Nr. 2 wird der schematische Aufbau der Hornhaut gezeigt.

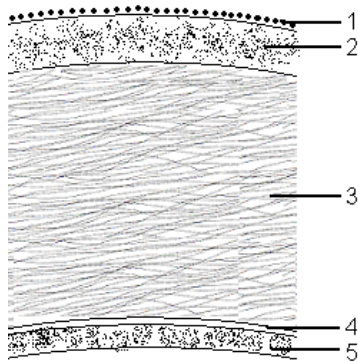


Abb. Nr. 2: schematischer Aufbau der Hornhaut: 1 präokulärer oder präkornealer Tränenfilm, 2 vorderes Epithel, 3 Stroma, 4 Descemetsche Membran, 5 hinteres Epithel (GELATT 2007, modifiziert).

Die Hornhaut (mit dem präokulären durchsichtigen Tränenfilm) ist der erste optische Teil des Auges, den die Lichtstrahlen passieren (CLERC und KRÄHENMANN 1990, WALDE et al. 2008). Am Limbus corneae geht die Hornhaut über eine leichte Furche, den Sulcus sclerae, in die Sklera über. Die Sklera ist der undurchsichtige Teil der Tunica fibrosa (DYCE et al. 1991, MAGGS et al. 2013, WALDE et al. 2008). Die Brechkraft der Hornhaut beträgt durchschnittlich ca. 43 Dioptrie (OFRI 1999, MARTIN 2010).

Die Hornhaut hat eine elliptische Form, wobei der horizontale Durchmesser größer als der vertikale Durchmesser ist. Der Unterschied bei Hund und Katze ist hier sehr gering, so dass die Hornhaut ein fast rundes Aussehen erhält (GELATT 2007). Der horizontale Durchmesser wird mit ca. 16,5 Millimeter für die Katze angegeben (GILGER et al. 1993). Die Hornhaut ist vorgewölbt (DYCE et al. 1991).

Die Hornhautdicke bei der Katze ist nicht einheitlich, die Peripherie ist dicker (0,8 bis 1,0 Millimeter) und sie wird zum Zentrum hin dünner (0,4 bis 0,6 Millimeter). Die dünnste Stelle ist der nasale obere Quadrant (GELATT 2007).

Die Hornhaut ist reichlich mit sensorischen Nervenfasern, v.a. Schmerzrezeptoren, versorgt. Die Innervierung stammt aus den langen Ziliarnerven, den Nervi ciliares longi, die vom Ramus ophthalmicus des Nervus trigeminus, dem 5. Gehirnnerven, abgehen (DYCE et al. 1991, GELATT 2007). Sie besitzen keine Myelinscheide und sind dadurch durchsichtig (MARTIN 2010). Bei der Katze treten ca. 19 Nervenendigungen in die Hornhaut (MARTIN 2010). Die oberflächlichste Schicht, das mehrschichtige Hornhautepithel, ist vor allem mit Schmerzrezeptoren ausgestattet, während das Stroma mit Druckrezeptoren versehen ist. Dies erklärt, warum oberflächliche Hornhautwunden schmerzhafter sind als tiefe (GELATT 2007).

Die Hornhaut besteht bis zu 81 % aus Wasser und ist im Vergleich zu anderen Geweben dehydriert (WALDE et al. 2008). Diesen Dehydratationsstatus nennt man Deturgeszenz. Er wird durch die Funktion von Endothel- und Epithelzellen erhalten. Die Zellen pumpen durch energieabhängige Na^+/K^+ -Adenosintri-phosphatpumpen aktiv Wasser aus dem Stroma heraus. Die Funktionen der Hornhaut bestehen auch in der Refraktion von Licht und der Durchlässigkeit für Licht aufgrund ihrer Transparenz (GELATT 2007, MARTIN 2010). Die Durchsichtigkeit der Hornhaut (und der Augenlinse) ist einzigartig im Körper. Dadurch ist es möglich, dass die Lichtbrechung stattfindet (MARTIN 2010). Die Transparenz der Hornhaut entsteht durch Fehlen von Blutgefäßen, Pigment und Myelinscheiden der Nervenfasern und durch die parallele Anordnung von kollagenen Fibrillen im Stroma sowie das außen gelegene, nicht verhornte Plattenepithel mit dem präkornealen Tränenfilm (DYCE et al. 1991, GELATT 2007). Die Durchsichtigkeit der Kornea ist von dem ständigen Abtransport der interstitiellen Flüssigkeit abhängig. Dieser Transport findet vorwiegend am Endothel statt (DYCE et al. 1991). Außerdem schützt die sensible Hornhaut das Auge indirekt vor äußeren Einflüssen. Bei Berührung der Hornhaut wird durch Zukneifen der Lider oder Vorlagern der Nickhaut das Auge geschützt (DYCE et al. 1991, GELATT 2007).

Der Hornhautstoffwechsel wird durch Energie in Form von Glukose aufrechterhalten. Glukose wird im aeroben Krebs-Zyklus zu Adenosintri-phosphat (ATP) metabolisiert, dabei entsteht Kohlendioxid (CO_2). Die Glukose stammt aus dem Kammerwasser, während der größte Anteil des benötigten Sauerstoffs durch Diffusion aus dem Tränenfilm bereitgestellt wird. Wenn nicht ausreichend Sauerstoff vorhanden ist, tritt die anaerobe Glykolyse in den Vordergrund. Dabei wird Glukose in Pyruvat und danach in Laktat aufgespalten. Laktat kann im Gegensatz zu CO_2 nicht durch das Hornhautepithel diffundieren. Dies geschieht jedoch langsam durch die hinteren Hornhautbestandteile. (MAGGS et al. 2013, JALBERT und STAPLETON 2005, GELATT 2007).

Die Sauerstoffversorgung der Hornhaut stammt aus vier Quellen: dem präkornealen Tränenfilm, dem limbal gelegenen kapillären Plexus, den Kapillaren der palpebralen Konjunktiva und dem Kammerwasser (MAGGS et al. 2013).

2.1.2 Präokulärer oder präkornealer Tränenfilm

Der präokuläre Tränenfilm spielt eine große Rolle für die Funktionsfähigkeit und Versorgung der Hornhaut. Er versorgt die Hornhaut mit Sauerstoff und besitzt keimtötende Funktionen, z.B. durch Lysozym (SCHELLE 2000). Zudem trägt der Tränenfilm zur optisch glatten und einheitlichen Oberfläche der Hornhaut bei und spült Ablagerungen der Bindehaut oder

Hornhaut fort. Kontaktlinsen schwimmen auf diesem Tränenfilm und werden von ihm bedeckt (VEYS et al. 2009).

Den Aufbau des mehrschichtigen Tränenfilms zeigt Abb. Nr. 3.

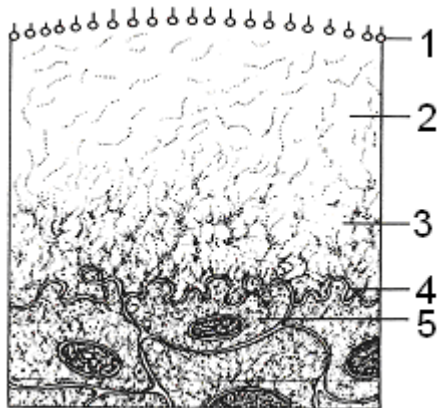


Abb. Nr. 3: schematischer Aufbau des mehrschichtigen Tränenfilms: 1 Lipidschicht, 2 wässrige Schicht, 3 Muzinschicht, 4 Mikrovilli einer Hornhautepithelzelle, 5 Hornhautepithelzelle mit Kern (SCHELLE 2000).

Das Volumen des Tränenfilms beträgt 7 μ l (VEYS et al. 2009). Der Tränenfilm ist 7 – 10 μ m dick (GELATT 2007).

Der Aufbau des Tränenfilms ist dreischichtig. Die dünne äußere ölige bzw. fettige Schicht verhindert das Verdunsten der darunter liegenden wässrigen Schicht und bildet eine Barriere für das Überlaufen der Tränen am Lidrand (GELATT 2007). Des Weiteren sorgt sie für eine glatte optische Oberfläche, erhöht die Stabilität des Tränenfilms, verhindert das verfrühte Aufreißen des Tränenfilms und verhindert die Kontamination des Tränenfilms durch Hauttalg (FOULKES 2007). Die mittlere wässrige Schicht, die 90 % der Zusammensetzung ausmacht, ist für die Aufnahme von Sauerstoff und somit zur Erhaltung des Hornhautmetabolismus verantwortlich. Die innere Schleimschicht ist mit den Mikrovilli des Hornhautepithels verbunden (GELATT 2007).

Die Muzinschicht wird von den Becherzellen der Bindehaut gebildet, die wässrige Schicht von den Tränendrüsen und die Lipidschicht von den Meibom-Drüsen im Lidrand (FOULKES 2007, GELATT 2007, VEYS et al. 2009). Zeiss-Drüsen im Lid tragen auch zur Lipidschicht des Tränenfilms bei. Die Moll-Drüsen im Lidbereich sind rudimentäre Schweißdrüsen (MARTIN 2010). Die funktionelle Bedeutung der Moll- und Zeiss-Drüsen ist unbekannt (SLATTER 2013).

Um den Tränenfilm zu erhalten, wirken alle drei Schichten zusammen. Die Lipid- und die Muzinschicht haben den größten Einfluss auf die Tränenfilmqualität, die wässrige Schicht sorgt für die erforderliche Menge (VEYS et al. 2009). Durch den Lidschlag wird der

Tränenfilm gebildet und aufrechterhalten: beim Lidschluss wird die Lipidschicht zwischen den Lidrändern zusammengedrückt, beim Öffnen der Lider reißt der Tränenfilm auf. Die Muzinschicht, in die beim Lidschlag Lipide der äußeren Schicht gemischt werden, wird zum oberen und unteren Bindehautsack bewegt und fließt durch den Tränenkanal ab. Beim Schließen der Augen wird durch den Druck der Lider auf die Augenoberfläche eine neue Muzinschicht gebildet. Das Öffnen der Lider führt zu einer Ausbreitung einer neuen wässrigen Phase über dem jetzt hydrophilen Epithel. Darüber bildet sich eine neue monomere Lipidschicht (VEYS et al. 2009). Diese dynamische Stabilität ist wichtig für die Sehschärfe. Die Stabilität des Tränenfilms ist bedeutend für die subjektive Erhaltung des Sehvermögens, eine messbare Einschränkung liegt nicht vor (FOULKES 2007). Durch Verdunstung nimmt die Dicke des Tränenfilms ab. Gleichzeitig diffundieren Lipide in Richtung Muzinschicht, womit diese an Hydrophilität verliert, und somit wasserabweisend wird, so dass der Tränenfilm an einigen Stellen aufreißt. So genannte Tränenfilmiseln entstehen, diese regen den Lidschlag an und der Kreislauf beginnt von vorne (VEYS et al. 2009).

Die Verdunstungsrate des Tränenfilms ist von mehreren Faktoren abhängig, wie z.B. vom Hormonhaushalt, von der Lidschlagfrequenz, von äußeren Bedingungen, von der Fläche der Lidspaltenöffnung, von Tränenfilmbestandteilen und von der Lipidschicht des Tränenfilms (FOULKES 2007).

Die Hauptproteine des Tränenfilms sind Lysozym, Lactoferrin, sekretorisches IgA und Lipocalin (früher tränenspezifisches Prä-Albumin genannt). Eine untergeordnete Rolle spielt Albumin. Mit Ausnahme des Lipocalins finden sich Erniedrigungen der Proteinkonzentrationen bei Kontaktlinsen-Trägern. GRUS et al. (2001) vermuten, dass die gemessene Änderung der Tränenproteinmuster evtl. dem Muster des frühen Stadiums einer Konjunktivitis sicca ähnelt. Die Stabilität des Tränenfilms wird aber durch das Tragen von Kontaktlinsen nicht beeinflusst.

Die Stabilität des Tränenfilms misst man anhand der break-up time (BUT). Das Aufreißen des Tränenfilms beginnt nach zehn bis sechzig Sekunden (GUILLON et al. 1997).

2.1.3 Vorderes Epithel

Das vordere Epithel besteht aus nichtverhorntem mehrschichtigem Plattenepithel (WALDE et al. 2008). Dieses besteht von innen nach außen aus der einschichtigen Basalzellschicht, aus zwei bis drei Schichten von polyhedrischen Zellen, sog. Flügelzellen, und aus zwei bis drei Schichten nicht verhornter Plattenepithelzellen, sog. Schuppenzellen (MAGGS et al. 2013, GELATT 2007, EULE 2013). Die oberflächlichsten Zellen besitzen

Mikrovilli, die eine Verankerung zu der schleimigen Schicht des präkornealen Tränenfilms bewirken (MAGGS et al. 2013).

Das vordere Epithel der Hornhaut wird in Abb. Nr. 4A und 4B anhand von histologischen Schnittbildern gezeigt.

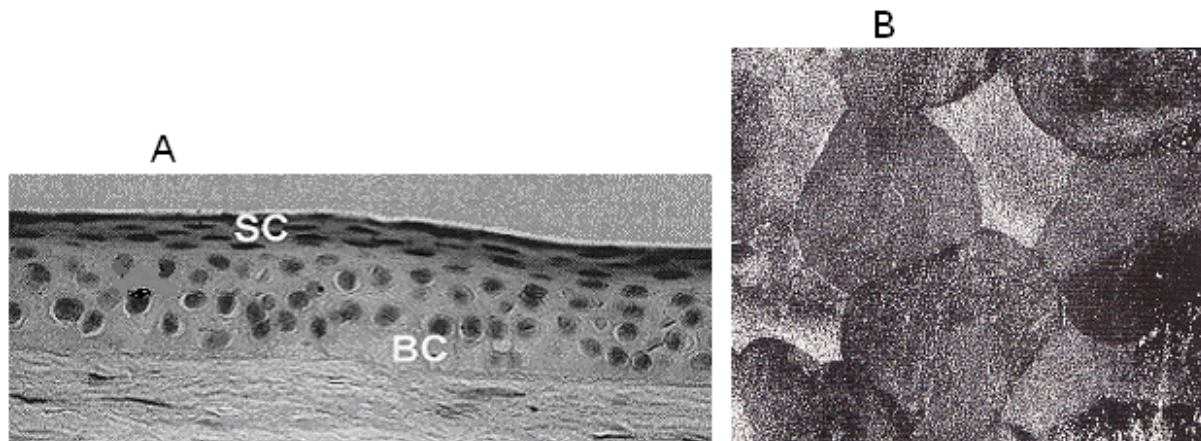


Abb. Nr. 4: A: histologischer Schnitt durch die vorderen Anteile der Hornhaut eines Hundes, dabei steht SC für squamous cells (Plattenepithel) und BC für basal cells (Basalzellen) (GELATT 2007, modifiziert); B: Darstellung der polyhedrischen Epithelzellen der Hornhaut einer Katze (MARTIN 2010).

Das vordere Epithel geht in das Epithel der Bindehaut über (DYCE et al. 1991). Unter dem Epithel befindet sich die Basalmembran. Die Verbindung erfolgt durch Hemidesmosome, kollagene Fibrillen, Fibronektin und das Glykoprotein Laminin (MAGGS et al. 2013, GELATT 2007). Die Hemidesmosome verknüpfen die Basalzellen mit der Basalmembran, die wiederum das Epithel am Stroma verankert. Die Epithelzellen besitzen eine gute Regenerationsfähigkeit (die Turnover-Time beträgt annähernd sieben Tage). Fehlt die Basalmembran, kann die Heilung Wochen bis Monate dauern (GELATT 2007). Die Epithelzellen stellen eine physikalische Barriere für die Penetration von Mikroorganismen dar. Epitheldefekte können der Auslöser für Infektionen, tiefe einschmelzende Defekte und Perforationen der Hornhaut sein (ROBIN et al. 1990).

2.1.4 Stroma

Das Stroma (d.h. die Substantia propria) macht 90 % der Hornhautdicke aus (MAGGS et al. 2013, GELATT 2007, WALDE et al. 2008). Es besteht aus transparenten, streng parallel liegenden, fast strukturlosen fibrösen Kollagenlamellen.

Eine rasterelektronenmikroskopische Aufnahme der parallel angeordneten Lamellen des Hornhautstromas zeigt Abb. Nr. 5.

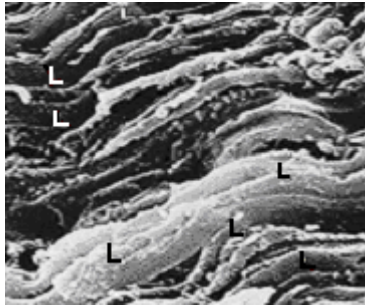


Abb. Nr. 5: rasterelektronenmikroskopische Aufnahme der parallel angeordneten stromalen Lamellen der Hornhaut eines Hundes, L steht für Lamellen (GELATT 2007).

Zwischen den Lamellen befinden sich Fibrozyten, auch Keratozyten genannt, die sich nach tiefen Hornhautwunden zu Fibroblasten umbilden können und so das undurchsichtige Narbengewebe der Hornhaut bilden (MAGGS et al. 2013, GELATT 2007).

Das anterior gelegene Stroma ist bei Menschen und Primaten als dünne zellfreie Zone, die Bowman'sche Membran, korrespondierend mit der vorderen Grenzmembran ausgebildet, bei den Haussäugetieren fehlt sie (NICKEL et al. 2004, GELATT 2007). Blutgefäße fehlen im gesamten Stroma. Nervenaxone befinden sich im anterioren und zentralen Stroma. Die Grundsubstanz besteht aus Wasser, Kollagen, Proteoglykane (Keratocan, Lumican und Mimecan), Glykoproteinen, anderen löslichen Proteinen und anorganischen Salzen (JALBERT und STAPLETON 2005). Die präzise Organisation des Stromas, d.h. die parallele Anordnung der kollagenen Fasern, ist der wichtigste Faktor der Durchsichtigkeit der Hornhaut. Das Kollagen des Hornhautstromas besteht aus mindestens fünf verschiedenen Typen (I, III, V, VI und XII) (GELATT 2007). Die Transparenz des Stromas hängt auch von den Keratozyten ab: die wasserlöslichen Proteine Transketolase und Aldehyd-Dehydrogenase, die in den Zellkörpern der gesunden Hornhaut gefunden werden und nicht in undurchsichtigen Hornhautwunden, machen dies deutlich (JALBERT und STAPLETON 2005). Das Stroma ist mit Fluoreszein anfärbbar (MAGGS et al. 2013, MARTIN 2010, GELATT 2007). Das anterior gelegene Stroma enthält weniger Wasser und Glukose als das posterior gelegene Stroma, die Dichte der Keratozyten ist posterior geringer. Die Keratozyten des Stromas sind für die Synthese und die Erhaltung der Lamellen und der Kollagenfibrillen verantwortlich. Die Auswirkungen einer Verringerung der Keratozytenanzahl sind vielfältig. So ist eine verringerte Sekretion von Proteoglykanen die Folge, die wiederum zu einer Veränderung im Arrangement der Kollagenfibrillen und somit zu einem Transparenzverlust führt (JALBERT und STAPLETON 2005).

2.1.5 Descemetsche Membran

Die Descemetsche Membran ist eine 10 µm dicke, homogene, azelluläre innere Grenzmembran. Sie ist eigentlich eine verbreiterte Basalmembran des posterior gelegenen Epithels, dem sogenannten Endothel. Sie ist elastisch und steht unter Spannung, wodurch sie sich aufrollt, wenn sie reißt (MAGGS et al. 2013, GELATT 2007). Endothelzellen können eine neue Membran absondern, die kleine Defekte der Descemetschen Membran auffüllen kann. Die Descemetsche Membran färbt sich nicht mit Fluoreszein an. In einer tiefen Hornhautwunde erscheint sie als dunkle, transparente und manchmal sich vorwölbende Struktur (MAGGS et al. 2013). Die Descemetsche Membran wird zeitlebens gebildet und ist bei älteren Tieren dicker (EULE 2013).

Die Descemetsche Membran wird in Abb. Nr. 6 dargestellt.

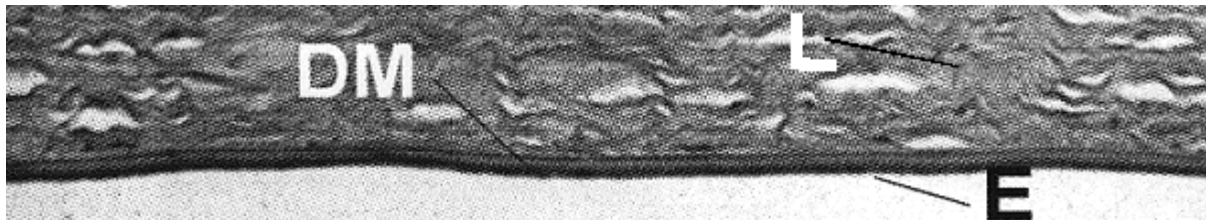


Abb. Nr. 6: Descemetsche Membran der Hornhaut eines Hundes (rasterelektronenmikroskopische Aufnahme), dabei steht L für die Lamellen des Stromas, DM für die Descemetsche Membran und E für das Endothel (GELATT 2007, modifiziert).

2.1.6 Hinteres Epithel

Die hintere Grenzschicht der Hornhaut bezeichnet man als Endothel (DYCE et al. 1991). Das Endothel besteht aus einer einlagigen Schicht mit abgeflachten hexagonalen Zellen (Abb. Nr. 7) (GELATT 2007, WALDE et al. 2008).

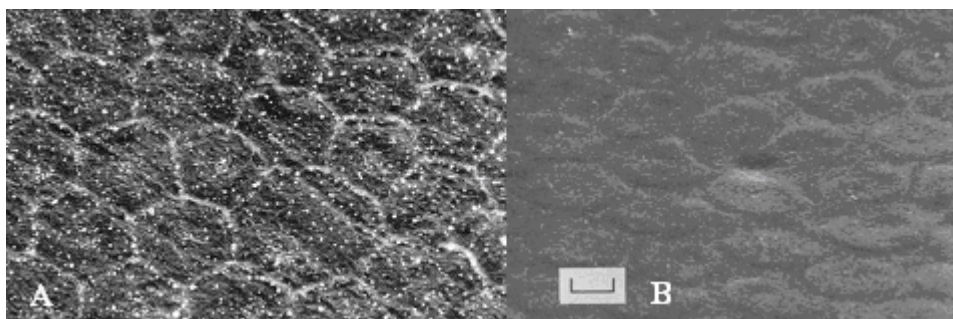


Abb. Nr. 7: A: hinteres Epithel der Hornhaut eines Hundes (rasterelektronenmikroskopische Aufnahme), dabei wird die hexagonale Struktur des Hornhautendothels deutlich (GELATT 2007). B: Aufnahme des hinteren Epithel einer adulten Katze: Markierung 7 µm (FREEMAN und LAI 1977).

Das Endothel liegt posterior zur Descemetschen Membran und grenzt an die vordere

Augenkammer. Aufgrund ihrer hohen metabolischen Aktivität enthalten die Zellen viele Mitochondrien (MAGGS et al. 2013). Ihre Regenerationsfähigkeit wird diskutiert. Im Allgemeinen beobachtet man aktive Mitosen nur bei jugendlichen Tieren (GELATT 2007). Innerhalb der ersten Lebensmonate wird ein großer Abfall der Endothelzellichte festgestellt. Dies korreliert mit dem Wachstum der Hornhaut auf die adulte Größe. Die Anzahl der zentral gelegenen Endothelzellen ist trotz der Größenunterschiede der Hornhaut bei adulten Katzen, Kühen, Hunden, Schweinen, Kaninchen und Menschen ähnlich (2500 Zellen/mm^2) (BAHN et al. 1986). Die Anzahl der Endothelzellen nimmt im Alter auf ca. 1500 Zellen/mm^2 ab (WALDE et al. 2008). In einer Untersuchung über die Endothelzellichte in vivo kommen KAFARNIK et al. (2007) zu dem Ergebnis, dass die Endothelzellichte mit dem Alter abnimmt. Katzen, die jünger als 1 Jahr alt sind ($n = 10$) haben eine Endothelzellichte von durchschnittlich $3038 \pm 666 \text{ Zellen/mm}^2$, Katzen, die älter als 1 Jahr alt sind ($n = 11$), haben eine durchschnittliche Dichte von $2520 \pm 452 \text{ Zellen/mm}^2$.

2.2 Physikalisch-optische Grundlagen der Keratometrie

Die Keratometrie ist die Messung der Hornhautbrechkraft, des Hornhautradius und der Hornhautkrümmung am Auge mit einem Keratometer (PSCHYREMBEL 2007). Früher nannte man diese Untersuchung Ophthalmometrie (FICK 1885). Mit der Keratometrie wird die Vorderfläche der Hornhaut vermessen, die Messung der Hornhaurückfläche ist mit diesen Geräten nicht möglich.

Die Grundlage für die physikalische Optik lässt sich mit dem Fermat'schen Prinzip von 1660 (nach Pierre de Fermat) erklären: es besagt, dass Licht in einem Medium den schnellsten bzw. den kürzest möglichen Weg von einem Punkt zum anderen nimmt. Das heißt, in einem homogenen Medium sind die Lichtstrahlen gerade (HECHT 2005).

An einer Grenzfläche zweier homogener Medien gilt das Reflexionsgesetz: Einfallswinkel gleich Ausfallswinkel (KUCHLING 2007) (Abb. Nr. 8).

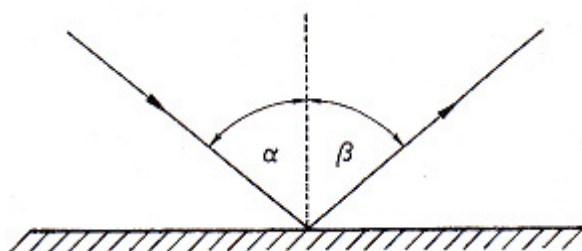


Abb. Nr. 8: Reflexionsgesetz: Reflexion von Lichtstrahlen an einer Grenzfläche. α Einfallswinkel, β Ausfallswinkel (KUCHLING 2007, modifiziert).

An einer Grenzfläche verschiedener Medien gilt das Snelliussche Brechungsgesetz von 1618 (das Licht wird zum optisch dichteren Medium gebrochen). Dieses Gesetz findet bei der Keratometrie Anwendung (REINER 1982, WIKIPEDIA). Es ist ein Gesetz über die Lichtbrechung beim Übergang von einem Medium in ein anderes in Abhängigkeit vom Brechungsindex n . Das Medium mit der kleineren Lichtgeschwindigkeit wird als optisch dichter (c_2), das mit der größeren Lichtgeschwindigkeit als optisch dünner (c_1) bezeichnet. Beim Übergang in ein optisch dichteres Medium wird der Strahl zum Lot hin gebrochen, beim Übergang in ein optisch dünneres Medium wird der Strahl vom Lot weg gebrochen (KUCHLING 2007, TRAUTWEIN et al. 2008).

Abb. Nr. 9 zeigt die Brechung des Lichtes an zwei verschiedenen Medien.

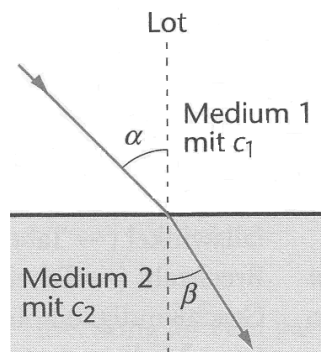


Abb. Nr. 9: Brechung des Lichtes an zwei verschiedenen Medien, dabei steht α für den Einfallswinkel, β für den Brechungswinkel, c_1 und c_2 für die jeweiligen Lichtgeschwindigkeiten in den Medien 1 und 2 (KUCHLING 2007).

Für den Winkel α zwischen einfallendem Licht und Einfallslot und für den Winkel β zwischen gebrochenem Strahl und Einfallslot sowie die Brechungsindizes n_1 und n_2 der zwei Medien ($n_2 > n_1$) gilt Formel Nr. 1:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1}$$

Formel Nr. 1: Snelliussches Brechungsgesetz, dabei steht $\sin \alpha$ für den Winkel des einfallenden Lichts, $\sin \beta$ für den Winkel des gebrochenen Lichts, n_1 und n_2 für die Brechungsindizes der beiden Medien, wobei n_2 größer als n_1 ist (PSCHYREMBEL 2007, TRAUTWEIN et al. 2008).

Tab. Nr. 1 zeigt die Brechzahlen n einiger Gewebe bei der Katze (VALENTIN 1879, GELATT 2007), beim Hund (GELATT 2007) und beim Menschen (JUNKER 1985, KAMPIK 1995, GELATT 2007) sowie die Brechzahlen einiger Medien (JUNKER 1985, HECHT 2005, KUCHLING 2007, GELATT 2007).

| Gewebe | Katze | Hund | Mensch | Medien |
|--------------|--------|-------|-------------|------------|
| Tränenfilm | | | 1,336 | |
| Hornhaut | 1,3795 | 1,375 | 1,376 | |
| Kammerwasser | 1,3365 | 1,336 | 1,336 | |
| Linse | 1,554 | 1,528 | 1,413-1,424 | |
| Glaskörper | 1,3365 | 1,336 | 1,336 | |
| Kontaktlinse | | | | 1,50 |
| Vakuum | | | | 1 |
| Luft | | | | 1,00029 |
| Wasser | | | | 1,33299 |
| Plexiglas | | | | 1,491-1,51 |

Tab. Nr. 1: verschiedene Brechzahlen einiger Gewebe und Medien bei Katze, Hund und Mensch (VALENTIN 1879, JUNKER 1985, KAMPIK 1995, HECHT 2005, KUCHLING 2007, GELATT 2007, MARTIN 2010).

Die vordere Hornhautfläche ist reflektierend und hat ähnliche optische Eigenschaften wie ein sogenannter Konvex- oder Wölbspiegel (POSER 1971). Strahlen, die parallel zur optischen Achse auf einen Wölbspiegel fallen, werden so reflektiert, als ob sie von einem Zerstreuungspunkt F kommen. Es werden immer virtuelle, aufrechte und verkleinerte Bilder erzeugt (Abb. Nr. 10).

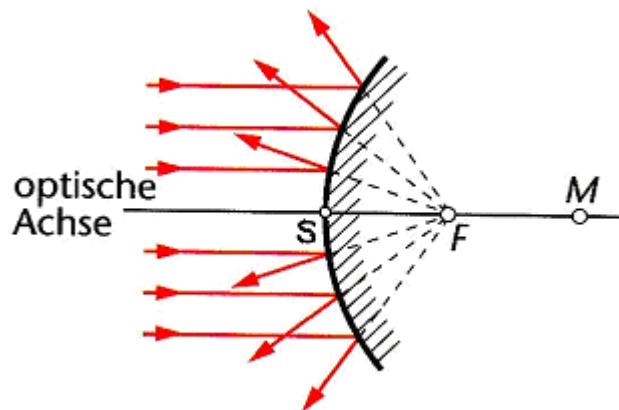


Abb. Nr. 10: Reflexion von Strahlen auf einem Konvexspiegel, dabei ist S der Scheitelpunkt, F der Zerstreuungspunkt und M der Mittelpunkt (KUCHLING 2007).

Bei der Keratometrie werden die zentralen Hornhautradien gemessen und die Brechkraft der Hornhaut ermittelt. Die Keratometrie basiert auf folgendem Prinzip: die Größe der Reflexion eines Objektes mit bekannter Größe wird gemessen. Wenn man die Größe des Objektes und den Abstand zwischen Objekt und Bild kennt, kann daraus der zentrale Hornhautradius berechnet werden. Hierbei werden Objekte im Drei-Millimeter-Zentralbereich der Hornhaut reflektiert. Die Berechnung wird mit Hilfe eines optischen Verdopplungssystems vorgenommen. Dabei wird davon ausgegangen, dass die Hornhaut sphärisch, also kugelig, ist und den bekannten Brechungsindex zeigt. Während einer Messung der Hornhautradien werden die von der Hornhaut reflektierten Bilder durch den Beobachter zur Koinzidenz gebracht. Geräte mit feststehender Verdopplung benötigen eine mechanische Abstandseinstellung des Abstandes zwischen den Testmarken. Wenn die Marken richtig ausgerichtet sind, kann der Wert abgelesen werden. Geräte mit variabler Verdopplung zeigen eine konstante Objektgröße, was durch Prismen in der Optik des Keratometers erreicht wird. Wenn das Gerät richtig ausgerichtet ist, können die Werte abgelesen werden (VEYS et al. 2008). Als Brennweite f bezeichnet man den Abstand des Brennpunktes F vom Scheitel S des Spiegels (KUCHLING 2007). Der Brennpunkt liegt auf der Hälfte der Strecke zwischen Mittelpunkt M und Scheitelpunkt S. Die Brechkraft eines optischen Systems ergibt sich aus dem reziproken Wert der Brennweite in Metern. Wenn die Brennweite einer Linse z.B. 0,5 Meter beträgt, dann besitzt sie eine Brechkraft von $1: 0,5 = 2$ Dioptrie.

2.3 Klinischer Einsatz der gemessenen Hornhautparameter beim Menschen

Die mittels der Keratometrie gemessenen Hornhautparameter beim Menschen werden zum Anpassen von Kontaktlinsen, zur refraktiven Hornhautchirurgie und zur Berechnung des Gesamtbrechungsindex des Auges benötigt. Zur Berechnung von einzusetzenden Kunstlinsen bei Kataraktoperationen gibt es verschiedene theoretische Formeln, z.B. SRK (benannt nach den Ophthalmologen Sanders, Retzlaff und Kraff) oder Haigis.

Die Gesamtrefraktion stellt eine Kombination aus den einzelnen Brechungssystemen des Auges dar, deren Relation zueinander oft unbekannt bleibt. Dass ein menschliches Auge eine Emmetropie (Normalsichtigkeit) aufweist, bedeutet, dass alle Faktoren in einem ausgewogenen Verhältnis zueinander stehen: die Brechkraft der Linse kann zwischen 15,5 und 23,9 Dioptrie, die der Hornhaut kann zwischen 39 und 47,6 Dioptrie differieren. Auch bei der Achsenlänge kommt es zu Streuungen, die Achsenlänge kann von 21,5 bis 26,97 Millimeter schwanken. Dabei kann ein vom Mittelwert abweichender Faktor durchaus von einem anderen kompensiert werden. Deswegen kommt es bei der Schätzung der zu implantierenden Linse oft zu großen Fehlervariationen (HAUFF 1982).

2.3.1 Meridian

Meridiane sind gedachte Schnittebenen, die sich über den gesamten Hornhautradius von einem Punkt am Limbus (Übergang von Hornhaut zu Lederhaut) zum gegenüberliegenden Punkt erstrecken (NICKEL et al. 2004). Der horizontale Meridian steht im Lot zum senkrechten Meridian. Ist dies nicht der Fall, handelt es sich um eine irregulär geformte Hornhaut mit einer ungleichmäßigen Krümmung (Astigmatismus). Die Meridiane können auch in Dioptrie angegeben werden. Für die Verwendung von Kontaktlinsen in der Veterinärmedizin werden die Meridiane in Millimeter angegeben. Wenn man sich die beiden Ebenen, die im Winkel von 90° zueinander stehen, dreidimensional vorstellt, dann entspricht die Form einem halben Zylinder (KLESEN 1998).

Bei einer sphärischen Hornhaut sind der horizontale und der vertikale Hornhautradius gleich groß, $r_1 = r_2$ (Abb. Nr. 11), bei einer astigmatischen Hornhaut ist einer der beiden Radien größer als der andere (Abb. Nr. 13).

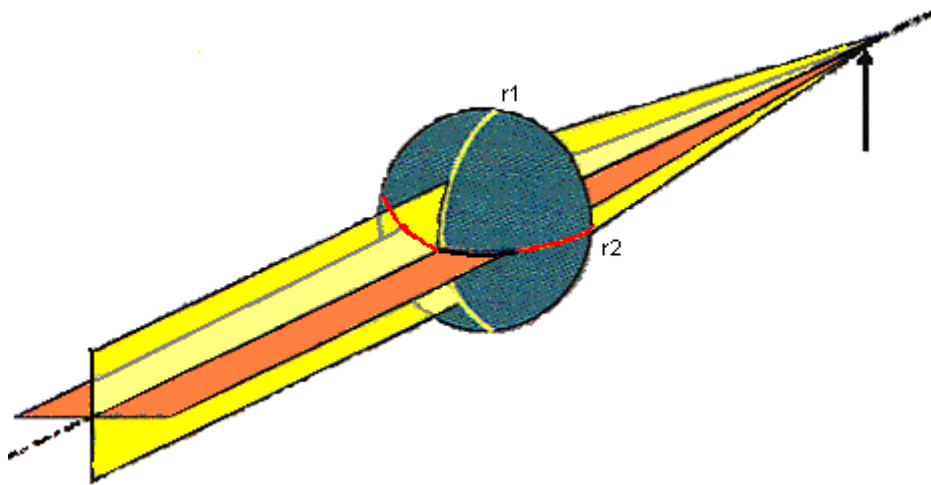


Abb. Nr. 11: Vereinigung des horizontalen und vertikalen Meridians einer sphärischen Fläche in einem Brennpunkt, dabei steht r für den Radius (BUSER 2011).

2.3.2 Dioptrie

Die Dioptrie D ist die Einheit der Brechkraft. Es handelt sich um den reziproken Wert der in Metern gemessenen Brennweite eines optischen Systems (FLECK 1987).

Der Abstand des Brennpunktes F' von der Linse heißt Brennweite f' , die bei der Konkavlinse negativ ist. Den Kehrwert der Brennweite f' bezeichnet man als Brechwert D' (Formel Nr. 2):

$$D' = \frac{1}{f'}$$

Formel Nr. 2: Umrechnung des Brechwertes D' als Kehrwert der Brennweite f' , dabei steht D' für die Stärke in Dioptrie und f' für Brennweite (KUCHLING 2007).

Die Einheit des Brechwertes D' (Dioptrie) lässt sich in Formel Nr. 3 darstellen:

$$D' = \frac{1}{m}$$

Formel Nr. 3: Die Angabe in Dioptrie ist der Kehrwert des Abstandes vom Auge in Meter, dabei steht D' für die Brechkraft in Dioptrie und m für Meter (KAMPIK 1995, KUCHLING 2007).

2.3.3 Umrechnung von Dioptrie in Millimeter

Die Messwerte der Hornhaut können, wie oben besprochen, in Dioptrie oder in Millimeter angegeben werden. Zur genaueren Unterscheidung von der optischen Brechkraft wird das Krümmungsäquivalent keratometrische Dioptrie genannt (KASCHKE 2008).

Zur Umrechnung von Dioptrie in Millimeter verwendet man Formel Nr. 4.

$$D = \frac{n-1}{r}$$

Formel Nr. 4: Abhängigkeit der Brechkraft in Dioptrie vom Krümmungsradius der Hornhaut und dem Brechungsindex, dabei steht D für die Brechkraft in Dioptrie, n für den Brechungsindex und r für den Krümmungsradius in Millimeter (KAMPIK 1995, BILLE und SCHLEGEL 2005), 1 ist der Brechungsindex der Luft.

Für den Brechungsindex n der Hornhaut gibt es unterschiedliche Literaturangaben, EMSLEY (1952) gibt n mit 1,3375 an, OLSEN gibt n mit 1,3315 an (1986), KASCHKE gibt n mit 1,3357 an (2008). Auch verwenden unterschiedliche Geräte unterschiedliche Brechzahlen zur Umrechnung, z.B. Zeiss 1,332 und Haag-Streit 1,3375 (OLSEN 1986).

2.3.4 Astigmatismus oder Stabsichtigkeit

Als Astigmatismus bezeichnet man eine Hornhautverkrümmung bzw. Stabsichtigkeit. Der Begriff leitet sich aus dem Griechischen ab: „A“ = Wortteil mit der Bedeutung „-los“, „Stigma“ = „Punkt“, also Punktlosigkeit (PSCHYREMBEL 2007).

Die Hornhautvorderfläche ist das optisch stärkste Element des Auges. Oft weicht sie in ihrer Form von der kugeligen bzw. sphärischen Oberfläche ab. Sie ist nicht nur rotationssymmetrisch, was mit der Hornhautverkrümmung beschrieben wird, sondern auch noch selbst in jedem Meridian asphärisch, was über eine Asphäritätskonstante als Kegelform oder Konoid dargestellt werden kann (SEILER und KOLLER 2005). Wenn die Hornhaut keine Kugelform (sphärisch) hat, sondern abnorm gewölbt ist, spricht man von Astigmatismus oder Hornhautverkrümmung (MÖHNLE 1990, PSCHYREMBEL 2007).

Die Hornhaut ist beim Astigmatismus in verschiedenen Richtungen unterschiedlich stark gekrümmt. Die Maximalwerte dieser Krümmungen, also der steilste und der flachste, stehen senkrecht zueinander und werden als Hauptschnitte bezeichnet. Jeder Hauptschnitt bricht das Licht unterschiedlich stark, so dass ein Strahlengewirr im Auge erzeugt wird. Dadurch wird die Entstehung eines scharfen Netzhautbildes verhindert (MÖHNLE 1990).

Beim Menschen ist dieser Sehfehler wahrscheinlich am weitesten verbreitet (HECHT 2005). Es handelt sich um eine Sehstörung aufgrund eines nicht rotationssymmetrischen Brechwertes. Dadurch werden parallel einfallende Strahlen nicht in einem Brennpunkt, sondern in einer Brennlinie (stabförmig) vereinigt. Wenn ein Meridian eine andere Brechkraft hat als der senkrecht darauf stehende Meridian, ist die Hornhaut nicht kugelförmig (sphärisch), sondern abnorm gewölbt. Beim regulären Astigmatismus besitzen beide Meridiane unterschiedliche Krümmungen, die aber in sich gleichmäßig verlaufen. Beim

irregulären Astigmatismus sind die Wölbungen der Hornhaut in dem jeweiligen Meridian nicht gleichmäßig, so dass jeder einzelne Meridian keine feste Brennlinie hat (KAUFMANN et al. 1998, PSCHYREMBEL 2007). Der reguläre Astigmatismus hat einen natürlichen Ursprung (angeboren oder erblich). Beim irregulären Astigmatismus liegt die Ursache oft in Hornhautverletzungen, Hornhautdegenerationen oder er kommt nach Hornhautoperationen vor (KAUFMANN et al. 1998).

Beim Menschen bricht der vertikale Meridian meistens stärker als der horizontale Meridian, d.h. der vertikale Hornhautmeridian ist ein wenig stärker gekrümmt als der horizontale. Dies wird als Astigmatismus nach der Regel (Astigmatismus rectus) bezeichnet. Beim Astigmatismus gegen die Regel (Astigmatismus inversus) bricht der horizontale Meridian stärker als der vertikale Meridian. Die Korrektur eines astigmatisch veränderten Auges erfolgt mit Zylindergläsern. Ein reines Zylinderglas ist so geschliffen, dass es in einer Achse die maximale Brechkraft, in der senkrecht dazu liegenden Achse keine optische Wirkung hat (GREHN 2008).

Die folgenden Abbildungen zeigen, wie Bilder bei einem normalsichtigen Auge und bei astigmatischen Augen (Abb. Nr. 12 A bis D) dargestellt werden.

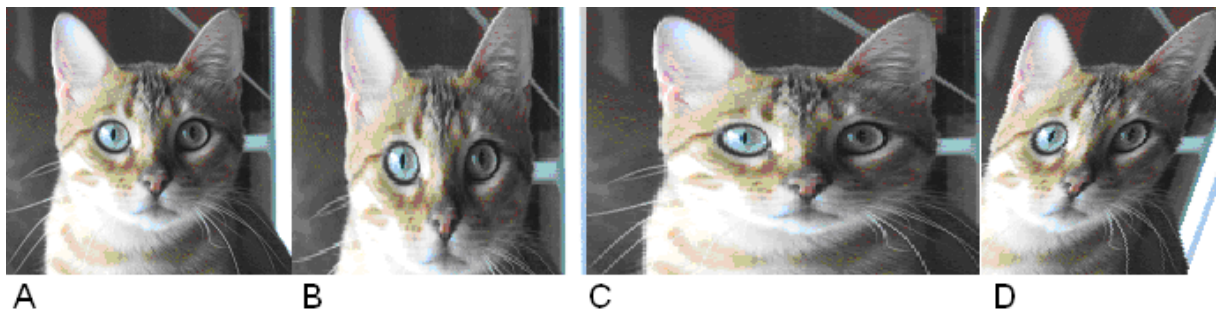


Abb. Nr. 12: A: Normalsichtigkeit, B: Bildverzerrung bei Astigmatismus nach der Regel, C: Bildverzerrung bei Astigmatismus gegen die Regel, D: Bildverzerrung bei schiefer Astigmatismus (alle Bilder privat, nach REINER 1982 modifiziert).

Bei der Vereinigung zweier Meridiane in einer astigmatischen Fläche entsteht kein gemeinsamer Brennpunkt, sondern zwei Brennlinien kommen zustande (Abb. Nr. 13).

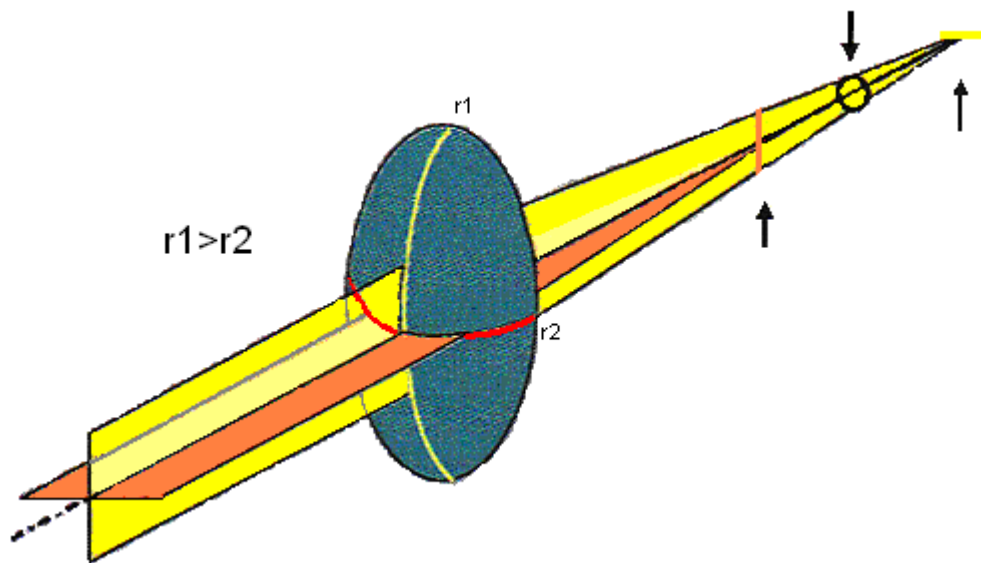


Abb. Nr. 13: Darstellung der unterschiedlichen Brechung der Hornhautmeridiane beim Astigmatismus. Es ergibt sich kein gemeinsamer Brennpunkt, sondern es werden Brennlinien gebildet. Die gelbe Fläche stellt den vertikalen Meridian dar und die rötliche Fläche den horizontalen Meridian (BUSER 2011), r steht für Hornhautradius.

Die bei der Keratometrie gemessenen Werte wie z.B. die Hornhautkrümmung, die Brechkraft der Hornhaut sowie die Achsen der Meridiane können unterschiedlichen Berechnungsformeln zur Berechnung der Stärken von Intraokularlinsen dienen (LANGENBUCHER et al. 2008).

2.3.5 Astigmatismusindikator, Delta K oder ΔK

Delta K/ ΔK wird aus der Leistungsdifferenz der beiden Hauptschnittebenen K1 und K2 berechnet. Es handelt sich um einen positiven Wert, der vom stärker brechenden Wert ausgeht. Dies kann der horizontale oder der vertikale Meridian sein. Der Astigmatismusindikator bezeichnet das tatsächliche Ausmaß der Hornhautverkrümmung bzw. den Anteil der Hornhaut am Astigmatismus des Auges. Er wird in Dioptrie angegeben (ALCON PHARMA^R 1992).

In der Humanmedizin werden zur Korrektur dieses Sehfehlers zylindrisch geschliffene Brillengläser angepasst. Diese brechen das Licht aber nur in eine Richtung, so dass für die optimale Korrektur zusätzlich die Angabe der Achsenrichtung nötig ist (REINER 1982).

2.3.6 Zylinder

Ein Zylinder wird von dem horizontalen und dem vertikalen Meridian, die 90° zueinander stehen, gebildet. Die beiden Hauptschnitte unterschiedlicher Krümmung bei einem astigmatischen Auge können beim Menschen durch ein Brillenglas korrigiert werden. Die Brille muss die richtige Stärke haben und in der Richtung (sog. Achsenlage) mit den entsprechenden Meridianen der Hornhaut übereinstimmen. Ein solches Brillenglas nennt man auch Zylinderglas oder torisches Glas. Es darf nicht verdreht werden (MÖHNLE 1990).

Die Lage der Hauptschnitte für astigmatische Brillengläser wird mit Hilfe der Zylinderachse gekennzeichnet (REINER 1982) (Abb. Nr. 14).

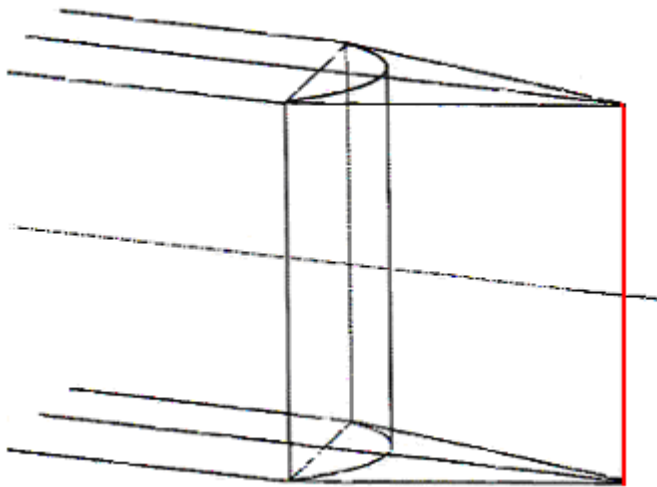


Abb. Nr. 14: Die optische Wirkung einer Pluszylinderlinse, die sich als Summe unendlich vieler, unendlich dünner Sammellinsen darstellen lässt. Parallel einfallendes Licht wird in einer Brennpunktlinie abgebildet, die hier rot dargestellt ist (KAMPIK 1995).

2.3.7 Achse

Die Achse gibt die Richtung an, in der ein gemessener Zylinder liegt. Die Wirkrichtung eines Zylinders besteht aus der Achse des Meridians mit der stärksten Krümmung und der dazu senkrecht stehenden Achse des Meridians mit der kleinsten Krümmung. Die Achse des Zylinders liegt auf der Achse des am stärksten brechenden Meridians (FLECK 1987). Zur Astigmatismuskorrektur ist die Lage der beiden Hauptschnitte entscheidend. Die beiden stehen immer senkrecht zueinander, können aber verschiedene Lagen einnehmen.

Die Dokumentation erfolgt mit Hilfe des TABO-Schemas (Technischer Ausschuss für Brillen-Optik). Die Achsen werden in Grad angegeben (REINER 1982, FLECK 1987) (Abb. Nr. 15).

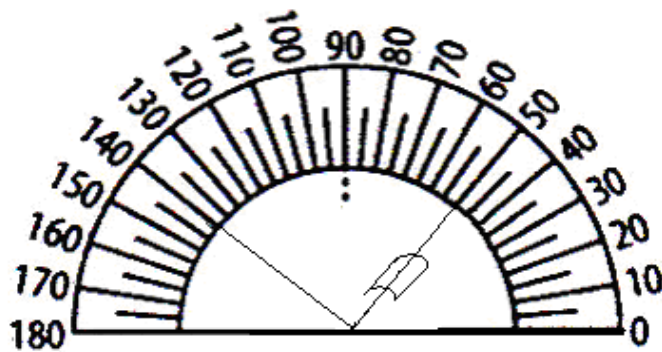


Abb. Nr. 15: TABO-Schema mit Angabe der Gradzahl für die Achsen eines gemessenen Zylinders, dabei steht TABO für Technischer Ausschuss für Brillenoptik. Die Abbildung zeigt die Lage des Zylinders im horizontalen Meridian bei 140° (Wirkrichtung des Zylinders) und im vertikalen Meridian bei 50° (Achse des Zylinders).

2.4 Messmethoden für Hornhautparameter beim Menschen

Für die Hornhautvermessung gilt, den Krümmungsradius einer sich bewegenden, spiegelnden, konvex gekrümmten Fläche zu messen. Dabei darf keine Berührung erfolgen. Die Hornhautkrümmung nimmt bekanntlich vom Zentrum bis zum Limbus hin kontinuierlich ab, so dass sich die Messung auf die optisch wirksamen Teile, das Zentrum und dessen direkte Nachbarschaft begrenzt. Im optimalen Fall stellt die Hornhaut im Zentrum eine Kugelfläche dar (sphärisch). Meistens ist sie aber torisch mit zwei zueinander im Winkel stehenden Krümmungen von zwei verschiedenen Radien bzw. Achsenrichtungen (LITTMANN 1951, PSCHYREMBEL 2007).

Bei der früher durchgeführten Keratoskopie schaut der Untersucher durch ein Loch einer so genannten Placido-Scheibe. Das ist eine in der Mitte durchbohrte Scheibe mit konzentrischen schwarzen und weißen Ringen, den sogenannten Mire-Ringen (JUNKER 1985) (Abb. Nr. 16). Die Placido-Scheibe ist das erste Keratoskop. Das Prinzip der aktuellen Fotokeratoskopie basiert darauf (VEYS et al. 2008).



Abb. Nr. 16: Placido-Scheibe: Die Ringe sind dem Patienten zugewandt und werden auf der Hornhaut reflektiert (JUNKER 1985).

Mit einem Keratoskop werden Spiegelbilder beurteilt, und ein evtl. bestehender Astigmatismus kann festgestellt werden, da die Ringe auf der Hornhaut verzerrt dargestellt werden (PSCHYREMBEL 2007). Die Keratoskopie ist die direkte visuelle Inspektion der Mire-Ringe. Bei diesen handelt es sich um reflektierte Rasterbilder veränderbarer Interferenzmuster (VEYS et al. 2008).

Topographische Informationen über eine große Fläche der Hornhaut, z.B. einer sphärischen Oberfläche (Abb. Nr. 17 B) und einer Vielzahl von Abnormalitäten der Form der Hornhaut, z.B. Astigmatismus der Hornhaut nach der Regel (Abb. Nr. 17 C) können mit einem Keratoskop (Abb. Nr. 17 A) festgestellt werden (SCHAEFERS und FISCHER 1987, KAUFMANN et al. 1998).

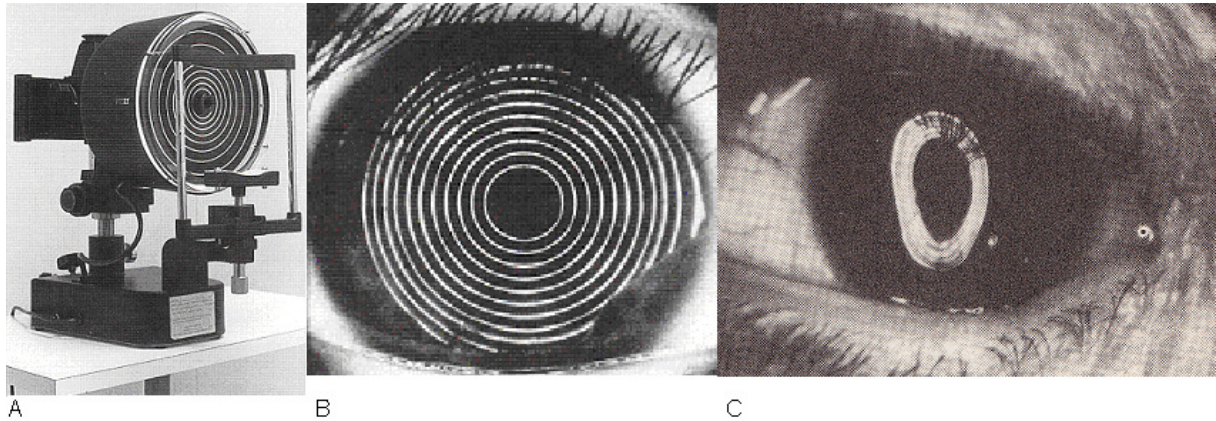


Abb. Nr. 17: A: Fotokeratoskop der Firma Nidek^R, rechts Kinn- und Stirnstütze auf dem Untersuchertisch, links Untersuchereinheit, B: Fotokeratografisches Bild einer normalen Hornhaut, die auf der Hornhaut gespiegelten Mire-Ringe sind parallel angeordnet, C: Fotokeratografisches Bild einer astigmatischen Hornhaut (SCHAEFERS und FISCHER 1987, KAUFMANN et al. 1998).

Mit Hilfe der Hornhauttopographie wird die Form der Hornhaut detailliert vermessen und analysiert. Sie findet ihre Anwendung hauptsächlich vor refraktiven Operationen an der Hornhaut zur Visusverbesserung, aber auch zur Abklärung von Sehbeschwerden, postoperativer Überwachung nach Hornhauttransplantationen und zur Anpassung von Kontaktlinsen (BILLE und SCHLEGEL 2005). Das fotoelektronische Keratoskop nach Wesley-Jessen^R ist eines der ersten Geräte, mit denen die Hornhauttopographie quantifiziert wird. Die konzentrischen Ringe werden mit einer Polaroidkamera fotografiert und anschließend jeder Durchmesser eines Ringes ausgemessen (VEYS et al. 2009).

Eine Weiterentwicklung ist die Fotokeratoskopie, die ein computergestütztes bildgebendes System verwendet (Abb. Nr. 18). 16 bis 25 auf die Hornhaut projizierte Ringe mit ca. 6000 Messpunkten werden von einer Kamera aufgenommen. Diese Daten werden an einen Computer weitergeleitet und können dann auf unterschiedliche Weise grafisch dargestellt werden, z.B. als Drahtgittermodell, als 3D-Bild oder als Sehstärkenkarte mit Farbcode (VEYS et al. 2009).

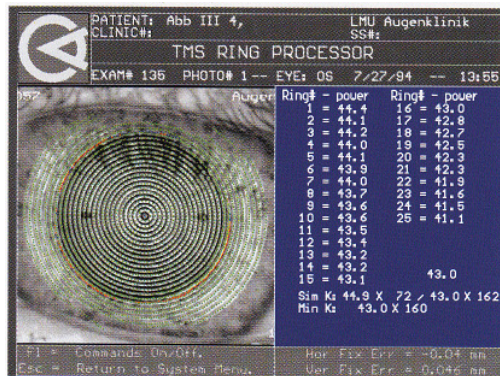


Abb. Nr. 18: Darstellung des Computerbildes einer Fotokeratoskopie, links die gespiegelten Ringe auf dem Patientenauge, rechts die zusammenfassende Analyse von 256 Messpunkten, die automatisch auf die Ringe gelegt werden, so dass die Brechkraft der Hornhaut und der Krümmungsradius an jedem Messpunkt angegeben wird (KAMPIK 1995).

Die Videokeratografie ist die am häufigsten benutzte Messtechnik der Hornhauttopographie in der klinischen Praxis. Das erste, nach dem Placidoprinzip arbeitende Gerät erscheint 1989 auf dem Markt. Bei den ersten Geräten ist die Erfassung von sphärischen Flächen sehr gut, Schwierigkeiten macht die wahre Form der Hornhaut. Die Weiterentwicklung mit Verbesserung der Rechenalgorithmen führt zur vielfältigen Darstellung der Hornhautoberfläche (BÜRKI 2001). Mit Videokeratografen, die mit dem Placidoprinzip funktionieren (z.B. EyeSys 2000 von EyeSys Vision^R oder ATLAS von Zeiss Humphrey Systems^R), lassen sich Informationen über einen größeren Bereich der Hornhaut gewinnen. Der Hauptbestandteil ist ein Target aus konzentrisch angebrachten weißen und schwarzen Ringen, das beleuchtet und auf die Hornhaut projiziert wird. Dadurch entsteht eine Hornhautreflexion, die mit einer Videokamera aufgenommen wird. Bei einer sphärischen Hornhaut liegen die reflektierten Ringe auf dem digitalen Bild konzentrisch und äquidistant. Nimmt die Hornhautkrümmung zu, rücken sie näher aneinander und werden schmaler, nimmt die Hornhautkrümmung ab, werden die Ringe im Gegenteil dicker und liegen weiter voneinander entfernt. Beim Astigmatismus ändern sich die Ringe zu einer elliptischen Form. Zur Rekonstruktion der dreidimensionalen Hornhaut aus dem zweidimensionalen Digitalbild wird ein mathematischer Algorithmus benutzt. Die Position

der Ringe in Relation zum Zentrum des Ringmusters bestimmt die radiale Strecke, die Größe der Ringe und der Abstand zwischen den Ringen bestimmen den Krümmungsradius (BILLE und SCHLEGEL 2005).

Die weiterentwickelten Geräte werden zur Erfassung der Hornhautoberfläche, zur Keratokonusdiagnostik und zur Anpassung von Kontaktlinsen eingesetzt (Abb. Nr. 19 und 20) (BÜRKI 2001).

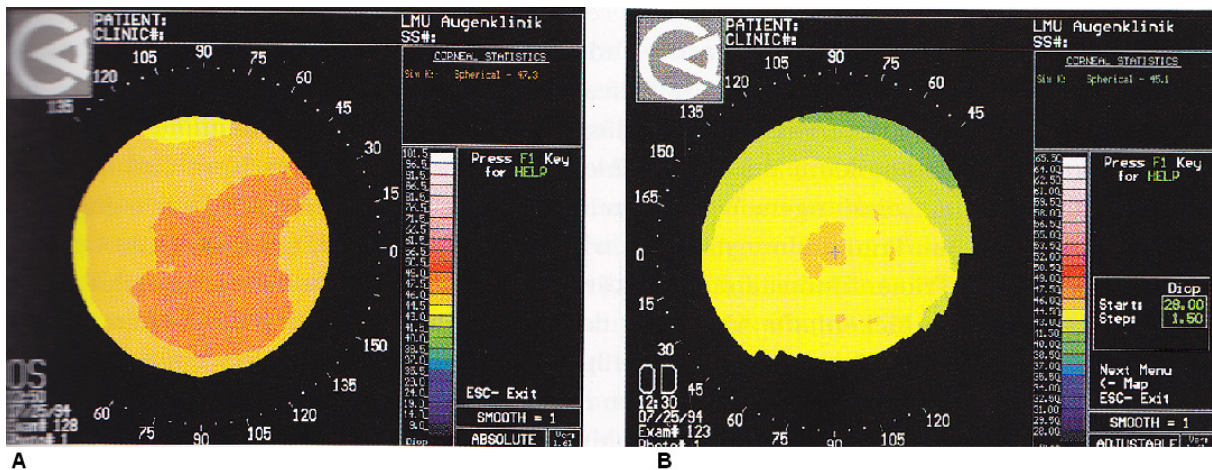


Abb. Nr. 19: Darstellung der computergestützten Hornhauttopographie, A: sphärische Hornhaut, B: sphärische Hornhaut mit einer etwas steileren Zone mit erhöhter Brechkraft im Zentrum der Hornhaut (KAMPIK 1995).

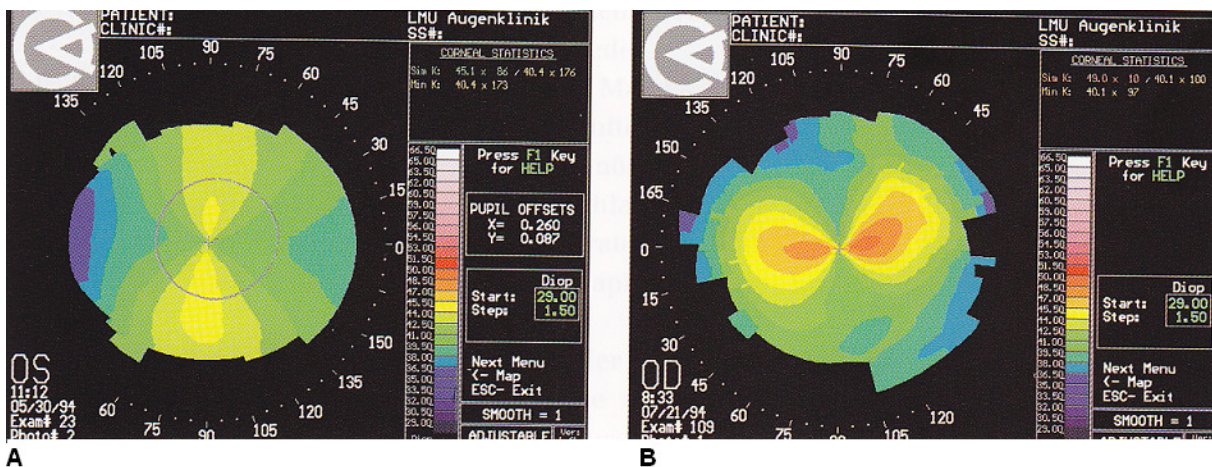


Abb. Nr. 20: Darstellung der computergestützten Hornhauttopographie: A: fast symmetrischer Astigmatismus nach der Regel, B: symmetrischer Astigmatismus gegen die Regel (KAMPIK 1995).

Die Hornhauttopographie wird als eine zweidimensionale Karte dargestellt. Die dritte Dimension, die durch unterschiedliche Krümmungen oder Erhebungen beschrieben wird, wird als Farbe kodiert, so dass Bereiche mit gleichen Werten auch die gleiche Farbe haben (BILLE und SCHLEGEL 2005).

Neuere weiterentwickelte Methoden sind z.B. die Slit-Scanning-Fotografie, die

Rasterfotogrammetrie, die Moiré-Interferometrie und die Wellenfrontanalyse (BILLE und SCHLEGEL 2005). Alle Methoden zur Hornhauttopographie werden in der Veterinärmedizin nicht eingesetzt. Die Hornhauttopographie hat für die Veterinärmedizin noch keine Bedeutung. Außerdem sind die Geräte zur Untersuchung von Menschen fest montierte Tischgeräte, für die Tiermedizin sind tragbare Handgeräte deutlich praktischer.

2.5 Keratometrie in der Kleintiermedizin

2.5.1 Hunde

KISTLER (1927) dokumentiert Untersuchungen über die Refraktion von 105 Hunden verschiedener Rassen. Der Durchschnittswert aller untersuchten Hunde für die Brechkraft im horizontalen Meridian liegt bei 38,82 Dioptrie und für die Brechkraft im vertikalen Meridian bei 38,92 Dioptrie. Die Brechkraft des horizontalen Meridians in Dioptrie ist kleiner als die des vertikalen Meridians. Er wertet seine Daten hinsichtlich der Rasse aus und kommt zu dem Ergebnis, dass kleine Rassen eine höhere Brechkraft der Hornhaut in Dioptrie zeigen als große Rassen. Bezüglich des Alters findet er heraus, dass bei jüngeren Hunden eine größere Hornhautwölbung vorliegt wie bei älteren Hunden.

Die Daten von NOWAK und NEUMANN (1987) beziehen sich auf einen Mittelwert ohne Unterscheidung zwischen horizontal und vertikal. Es werden insgesamt 50 Augen von 25 Hunden skiaskopiert. Der in der Studie bei 38 Augen gemessene Hornhautradius von 8,77 Millimeter entspricht den Daten des gemessenen horizontalen Hornhautradius von KLESEN (1998).

GAIDDON et al. (1991) vermessen 124 Augen von insgesamt 62 adulten Hunden. Die durchschnittliche Hornhautkrümmung liegt bei $8,46 \pm 0,55$ Millimeter, die Refraktion der Hornhaut beträgt $39,94 \pm 2,61$ Dioptrie ($n = 50$ Hunde). Die Autoren unterteilen die Population in drei Gruppen: kleine Hunde (Zwergpudel, Lhasa Apso, Shih Tzu, Yorkshire Terrier), mittlere Hunde (Cocker und Englischer Springer Spaniel) und große Hunde (Boxer, Deutscher Schäferhund), außerdem werden zusätzlich 12 Laborbeagle untersucht. Sie stellen fest, dass zwischen der Größe der Hunde und der Hornhautkrümmung ein umgekehrt proportionaler Zusammenhang besteht. Die Refraktion der Hornhaut beträgt bei den kleinen Hunden ($n = 19$ Hunde) $41,67 \pm 2,45$ Dioptrie, bei den mittleren Hunden ($n = 16$ Hunde) $40,62 \pm 1,44$ Dioptrie und bei den großen Hunden ($n = 15$ Hunde) $37,35 \pm 1,67$ Dioptrie. Außerdem stellen sie fest, dass die Brechkraft im horizontalen Meridian (K1) bei 46 Augen der untersuchten Tiere größer ist als die im vertikalen Meridian (K2),

bei 37 Augen ist K1 gleich K2 und bei 29 Augen ist K2 größer als K1.

Sie verwenden die Daten, um eine optimale intraokulare Kunstlinse zur Kataraktoperation auszuwählen (Formel Nr. 5).

$$P = \frac{N}{L-C} - \frac{N \cdot K}{N-K \cdot C}$$

Formel Nr. 5: Berechnung der optimalen Brechkraft einer Intraokularlinse: Dabei steht P für die Stärke der einzusetzenden Intraokularlinse in Dioptrie, um eine Normalsichtigkeit zu erreichen, N für den refraktiven Index von Kammerwasser und Glaskörper, L für die axiale Bulbuslänge in Meter, K für die Hornhautbrechkraft in Dioptrie und C für die postoperative Vorderkammertiefe in Meter.

Aufgrund dieser zugrunde gelegten Formel raten die Autoren, beim Hund eine Kunstlinse der Stärke 40 Dioptrie zu verwenden.

Bei Untersuchungen an 20 Hundeaugen stellen NELMS et al. (1994) eine durchschnittliche Hornhautbrechkraft von $37,84 \pm 1,36$ Dioptrie fest.

GÖRIG et al. (1997) messen bei der Keratometrie mit dem Autokeratometer von Alcon Pharma^R acht Hunde wach bzw. in Narkose. Sie stellen einen größeren horizontalen Hornhautradius von $8,90 \pm 0,16$ Millimeter bzw. in Narkose $9,02 \pm 0,15$ Millimeter im Vergleich zum vertikalen Radius von $8,73 \pm 0,15$ bzw. in Narkose $8,70 \pm 0,17$ Millimeter fest. Eine Auswertung von keratometrischen Daten von 1231 Augen von 645 gesunden Hunden durch KLESEN (1998) ergibt, dass der horizontale Hornhautradius in Millimeter geringgradig kleiner ist als der vertikale: der horizontale Hornhautradius wird mit 8,77 Millimeter und der vertikale Hornhautradius mit 8,81 Millimeter angegeben. Die Autorin ermittelt eine durchschnittliche Hornhautbrechkraft von $38,65 \pm 3,12$ Dioptrie.

Die bei der Keratometrie ermittelten Werte von Hunden hängen v.a. ganz wesentlich von der Rasse ab. Größere Augen besitzen einen größeren Hornhautradius mit folglich flacherer Hornhautkrümmung (OFRI 1999).

2.5.2 Katzen

Die erste Studie zur Vermessung der Hornhaut bei erwachsenen Katzen veröffentlicht Bayer 1914 (in CARRINGTON und WOODWARD 1986). Die Messmethode und die Anzahl der gemessenen Katzen sind allerdings nicht aufgeführt. Er misst für den horizontalen Durchmesser 17 Millimeter, für den vertikalen Durchmesser 16 Millimeter. Die Angabe über die Anzahl der gemessenen Katzen und die Methode fehlt auch bei Prince (1960) (in CARRINGTON und WOODWARD 1986). Die Werte werden mit 16 Millimeter für den horizontalen Durchmesser und 15,5 Millimeter für den vertikalen Durchmesser angegeben.

VAKKUR und BISHOP (1963) ermitteln anhand von sieben entnommenen Augen Werte für ein Schema des optischen Systems des Katzenauges. Sie messen u.a. folgende Werte: Bulbuslänge, Hornhautdicke, Linsendurchmesser, Linsendicke, Pupillendurchmesser und Hornhautradius. Eine Altersangabe der Katzen fehlt. Die untersuchten Katzen wiegen zwischen 2,6 und 5,11 kg (durchschnittlich 3,5 kg). Die Hornhautradien liegen zwischen 8,05 und 8,94 Millimeter (8,57 Millimeter für das schematische Auge). Die Brechkraft der Hornhaut liegt im Durchschnitt bei 38,91 Dioptrie.

In einer anderen Studie von VAKKUR et al. (1963) werden an zwölf entnommenen Augen von sechs Katzen (Körpermasse zwischen 2,44 und 5,21 Kilogramm) die Werte bestimmt, indem sie die Krümmungskurven mit Hilfe eines Stechzirkels anhand von Fotografien messen. Sie liegen zwischen 7,76 und 9,05 Millimeter.

Signifikante Veränderungen des Hornhautradius stellen SMOLEN et al. (1976) bei der Vermessung von Augen von Katzenwelpen in Abhängigkeit vom Gewicht und Alter fest. In Allgemeinanästhesie werden bei zehn Welpen mit einem Standardkeratometer (Firma American Optical Corp.^R) die Hornhautradien vermessen. Die Hornhaut ist bei Welpen deutlich stärker gekrümmt als bei erwachsenen Katzen. Mit der vierten Lebenswoche liegt der Hornhautradius bei 5,5 Millimeter (61 Dioptrie) und bei erwachsenen Tieren bei 9,6 Millimeter (35 Dioptrie). Durch das Größenwachstum wird die Hornhaut flacher.

Die Autoren erstellen eine Formel, womit die Hornhautbrechkraft in Dioptrie bei Kenntnis des Gewichts und des Alters der Katzen vorhergesagt werden kann (Formel Nr. 6).

$$X(D) = 88,9 - 15,75 (\log_{10} a) - 3,2 (\log_{10} b)$$

Formel Nr. 6: Berechnung der Hornhautbrechkraft in Dioptrie, wenn das Lebensalter in Tagen und die Körpermasse in Gramm einer Katze bekannt sind; dabei steht X für den zu untersuchenden Wert der Hornhautbrechkraft in Dioptrie, D für Dioptrie, log für Logarithmus, a für das Alter der Katze in Tagen und b für die Körpermasse der Katze in Gramm.

Die Hornhautkrümmung in Millimeter kann mit der Formel Nr. 7 berechnet werden.

$$X(\text{mm}) = \frac{337,5}{88,9 - 15,75 (\log_{10} a) - 3,2 (\log_{10} b)}$$

Formel Nr. 7: Berechnung des Hornhautkrümmungsradius in Millimeter, wenn das Lebensalter in Tagen und die Körpermasse in Gramm einer Katze bekannt sind; dabei steht X für den zu untersuchenden Wert der Hornhautkrümmung in Millimeter, mm für Millimeter, log für Logarithmus, a für das Alter der Katze in Tagen und b für die Körpermasse der Katze in Gramm.

Das Auge und die meisten optischen Bestandteile bei neugeborenen Katzenwelpen sind ca.

halb so groß wie bei erwachsenen Tieren. Die Hornhautradien steigen von 4,8 Millimeter bei neugeborenen Katzen, 5,2 bis 5,4 Millimeter in der vierten Lebenswoche, über 6,3 Millimeter in der achten Lebenswoche und 7,8 Millimeter bei zwanzig Wochen alten Katzen auf durchschnittlich 8,9 Millimeter bei erwachsenen Katzen. Die Messungen werden mit einem Bausch & Lomb-Keratometer^R an 11 Katzen durchgeführt (THORN et al. 1976).

In einer Studie zur Entwicklung der Hornhaut an 3 bis 9 Wochen alten Katzenwelpen zeigen FREEMAN et al. (1978), dass die zentrale Hornhautkrümmung bei den jüngsten Tieren sehr steil ist und mit dem Wachstum schneller im Zentrum abflacht als in der perizentralen Region. Bei den adulten Katzen ist die Hornhautkrümmung der zentralen und perizentralen Zone annähernd gleich, so dass eine relativ große Fläche sphärisch ist. Allerdings schränken die Autoren ihre Ergebnisse insofern ein, da nur eine kleine Anzahl von Katzen untersucht werden (2 adulte und 4 juvenile Katzen).

Mit dem Keratometer von Bausch & Lomb^R führt FREEMAN (1980) Messungen der Hornhautkrümmung bei 38 juvenilen und adulten Katzen durch. Im Allgemeinen sind die Hornhautradien des rechten und linken Auges ähnlich groß. Die Daten zeigen ein exponentielles Wachstum der Hornhautradien in Abhängigkeit vom Alter (Formel Nr. 8).

$$r = A - (B e^{-x/\tau})$$

Formel Nr. 8: Berechnung des Hornhautkrümmungsradius in Millimeter, wenn das Lebensalter in Tagen einer Katze bekannt ist, dabei steht r steht für den Hornhautradius in Millimeter, A ist eine Konstante = 8,588, B ist eine Konstante = 4,101, x steht für das Alter in Tagen und τ ist eine Konstante = 110,1.

In Abhängigkeit vom Gewicht (x steht für das Gewicht in Gramm) werden folgende Konstanten in oben genannte Formel eingesetzt: A = 9,161, B = 4,58 und τ = 1671. Der Autor hält es für sinnvoller, die Hornhautradien in Abhängigkeit zur Körpermasse zu setzen, da es große Gewichtsschwankungen bei Katzenwelpen gibt, die das gleiche Lebensalter besitzen. Der gemessene Hornhautradius beträgt durchschnittlich 8,58 Millimeter bei den adulten Tieren.

CARRINGTON und WOODWARD (1984) messen bei neun erwachsenen Katzen (13 Augen) mit dem Fotokeratoskop nach Wesley-Jessen^R die Hornhaut und vergleichen ihre Werte mit gemessenen Werten von anderen Autoren. Der steilste Hornhautradius ist im Durchschnitt $9,06 \pm 0,19$ Millimeter, der flachste Radius $9,20 \pm 0,23$ Millimeter. Der Durchmesser des Hornhautzentrums liegt vertikal bei $6,23 \pm 0,6$ Millimeter, horizontal bei $7,08 \pm 0,64$ Millimeter. Der horizontale Hornhautdurchmesser liegt bei 16 Millimeter und der vertikale Hornhautdurchmesser bei 15,5 Millimeter. Die Autoren CARRINGTON und

WOODWARD (1986) bestimmen bei 10 entnommenen Augen von erwachsenen euthanasierten Katzen das Hornhautzentrum, markieren es mit einem kleinen Kauter, lagern die Augen in einer bestimmten Position und fotografieren die Hornhaut. Anhand dieser Aufnahmen lässt sich der Hornhautdurchmesser messen. Der vertikale Durchmesser liegt bei $16,2 \pm 0,61$ Millimeter (rechtes Auge: $16,1 \pm 0,67$ Millimeter, linkes Auge $16,3 \pm 0,56$ Millimeter), der horizontale liegt bei $16,5 \pm 0,6$ Millimeter (rechtes Auge: $16,4 \pm 0,62$ Millimeter, linkes Auge $16,6 \pm 0,60$ Millimeter). Somit liegt ein signifikant größerer horizontaler Hornhautdurchmesser vor.

BAHN et al. (1986) messen den Hornhautradius bei drei Wochen alten Katzenwelpen mit einem durchschnittlichen Gewicht von 0,5 Kilogramm. Der Hornhautradius wird mit $4,8 \pm 0,5$ Millimeter angegeben (Messung an 16 Korneae). Des Weiteren stellen sie fest, dass bei adulten, 3 kg schweren Katzen der Hornhautradius $7,8 \pm 0,2$ Millimeter groß ist (Messung an 10 Korneae).

Um bei Katzenaugen während des Wachstums eine Anisometropie (unterschiedliche Fehlsichtigkeit des rechten und linken Auges) zu erzielen, wird von HENDRICKSON (1987) bei 1 Monat alten Katzenwelpen einseitig eine radiale Keratotomie mit 16 bis 20 radiären Hornhautschnitten durchgeführt. Dadurch wird die Hornhautbrechkraft um ca. 3 Dioptrie herabgesetzt. Die Katzen werden bis zum 6. Lebensmonat kontrolliert. Die ansonsten unoperierten operierten Augen zeigen Anpassungseffekte. Sie entwickeln eine übermäßige Achsenlänge und eine kleinere Brennweite der Augenlinse. Die übermäßige Achsenlänge wird durch die um 200 bis 400%ige Vergrößerung der Vorderkammertiefe erreicht. Die Glaskörperstrecke, Linsen- und Hornhautdicke haben nur um 20 bis 35 % zugenommen. Eine andere Gruppe wird mit Atropin Augentropfen behandelt, so dass keine Akkommodation möglich ist. Bei diesen Augen bleibt die Anisometropie erhalten. Gänzlich unoperierte Katzen weisen eine Isometropie auf.

GILGER et al. (1998) vermessen 50 Augen von 25 sedierten adulten Katzen und 10 Augen von 10 toten adulten Katzen keratometrisch und biometrisch per A-Scan-Ultraschall, um die benötigte Stärke einer Intraokularlinse in Dioptrie für eine Ametropie nach einer Linsenoperation vorherzusagen. Die keratometrischen Daten werden in Dioptrie angegeben. Diese sind: Brechkraft im horizontalen Meridian des rechten Auges: $39,00 \pm 1,08$ Dioptrie, Brechkraft im horizontalen Meridian des linken Auges: $38,95 \pm 0,93$ Dioptrie, Brechkraft im vertikalen Meridian des rechten Auges: $38,92 \pm 1,09$ Dioptrie, Brechkraft im vertikalen Meridian des linken Auges: $38,87 \pm 1,14$ Dioptrie. Die benötigte Intraokularlinse sollte eine Stärke von 53 bis 55 Dioptrie besitzen. In einer anderen Studie setzen GILGER et al. (1998)

bei acht adulten Katzen Intraokularlinsen mit verschiedenen Stärken ein: 48, 51 und 60 Dioptrie. Sie untersuchen die Augen 12 Wochen lang post operationem. Die Refraktion der operierten Augen ist mit der 48 Dioptrie starken Kunstlinse bei $+ 2,1 \pm 0,49$ Dioptrie, mit der 51 Dioptrie starken Kunstlinse liegt sie bei $+ 0,42 \pm 0,2$ Dioptrie und mit der 60 Dioptrie starken Kunstlinse bei $- 2,6 \pm 0,78$ Dioptrie. Die Autoren kommen zu dem Schluss, dass eine Intraokularlinse mit 52 bis 53 Dioptrie eine optimale Stärke für die Katze besitzt.

In einer 12-monatigen Studie (MOODIE et al. 2001) wird regelmäßig (alle 7 bis 14 Tage) die Hornhautkrümmung und –dicke von sechs heranwachsenden Katzen gemessen und mit sechs adulten Katzen verglichen. Sie stellen fest, dass sich die Hornhaut im ersten Lebensjahr am stärksten verändert. Bei neun Wochen alten Kätzchen messen sie $54,51 \pm 1,02$ Dioptrie, das heißt, die Hornhaut ist sehr steil gewölbt. Bei Katzen, die ein Jahr alt sind, messen sie $39,90 \pm 0,42$ Dioptrie. Erwachsene Katzen (zwei bis drei Jahre alt) haben einen durchschnittlichen Wert von $38,99 \pm 0,81$ Dioptrie.

Die Autoren entwickeln eine Formel, um die Brechkraft der Hornhaut in Abhängigkeit vom Lebensalter der Katzen zu ermitteln (Formel Nr. 9).

$$K = A + B_{\text{exp}} * (-C_W)$$

Formel Nr. 9: Berechnung der Hornhautbrechkraft in Dioptrie, wenn das Lebensalter in Wochen einer Katze bekannt ist; dabei stehen A, B und C als feste Konstanten mit der Standardabweichung in eckigen Klammern (A = 39,83 [0,07], B = 26,87 [0,41], C = 0,074 [0,0014] und w für das Alter der Katze in Wochen.

2.6 Einfluss auf Keratometriemesswerte

2.6.1 Augeninnendruck

Die Tonometrie ist eine indirekte Messung des Intraokulardrucks. Diese Untersuchung ist wichtig, um einen erhöhten oder erniedrigten Intraokulardruck festzustellen, oder um Augen, die ein Glaukom zeigen, zu kontrollieren (GÖRIG et al. 2006, GELATT 2007). Der Augeninnendruck wird in Millimeter Quecksilbersäule (mmHg) angegeben. Der physiologische Intraokulardruck liegt zwischen 15 und 25 mmHg, die Differenz zwischen den Augen sollte kleiner als acht betragen (GELATT 2007).

HELMHOLTZ (1909) bemerkt, dass die äußere Form des Auges vom Druck der Flüssigkeiten abhängt, die es einschließt. Unmittelbar nach dem Tod wird der Augapfel schlaff und die Hornhaut legt sich in Falten. Er stellt fest, dass es nicht genügt, den Druck annähernd herzustellen wie BRÜCKE (1847) mit einer Wassersäule von etwa 0,4 m. Dies genügt laut HELMHOLTZ (1909) für die verschiedenen Durchmesser (transversaler,

senkrechter, diagonaler Durchmesser) und die Messung der Augennachse. Für die Hornhautkrümmung genügt dies nicht, da die Hülle des Auges sich bei höherem Druck mehr einer Kugelform nähert und somit die Rinne zwischen Hornhaut und Sklera herausgedrängt wird und die Hornhaut daher weniger gewölbt ist. Das bedeutet, dass der Krümmungsradius des Hornhautscheitels größer wird, je höher der Augeninnendruck ist.

LAM und DOUTHWAITE (1997) untersuchen die Auswirkung von künstlich erhöhtem Augeninnendruck auf die korneale Krümmung. Dabei werden bei 23 Studenten der Augeninnendruck und die zentrale Hornhautkrümmung in sitzender, also aufrechter Position, und 30° nach hinten und unten geneigter Position gemessen. Die Hornhautkrümmung wird mit dem Autokeratometer von Alcon Pharma^R gemessen, der Augeninnendruck wird mit einem Applanationstonometer bestimmt. In der aufrechten Position messen die Autoren folgende Werte: vertikaler Meridian $7,733 \pm 0,239$ Millimeter; horizontaler Meridian $7,890 \pm 0,236$ Millimeter, Augeninnendruck $15,6 \pm 2,4$ mmHg. In der nach unten geneigten Position messen sie folgende Werte: vertikaler Meridian $7,730 \pm 0,244$ Millimeter; horizontaler Meridian $7,898 \pm 0,234$ Millimeter, Augeninnendruck $22,1 \pm 2,3$ mmHg. Die durchschnittlichen Veränderungen liegen also bei 0,003 und 0,008 Millimeter in dem vertikalen und horizontalen Meridian und bei 6,5 mmHg beim Augeninnendruck. Die Autoren finden keine signifikante Korrelation zwischen der Hornhautkrümmung und dem Augeninnendruck in aufrechter Position. Nur der vertikale Meridian zeigt eine statistisch signifikante Veränderung, die klinisch nicht relevant ist.

In einer Studie von PIERSCIONEK et al. (2007) wird der Effekt eines ansteigenden Augeninnendrucks (je 5 x 100 µl intravitreale Injektion einer Kochsalzlösung) auf die Hornhautkrümmung an frisch entnommenen Schweineaugen untersucht. Die Elastizität von Hornhaut und Sklera bleibt während der Erhöhung von 15 auf 50 mmHg konstant, die Autoren finden keine Veränderung der Hornhautkrümmung, die Krümmung der Sklera wiederum nimmt um 0,1 Millimeter pro mmHg zu.

2.6.2 Tageszeit

Tageszeitliche Schwankungen der Hornhauttopographie stellen GIRALDEZ-FERNANDEZ et al. (2008) fest. Sie messen alle zwei Stunden die Hornhautkrümmung der zentralen Ein-Millimeterzone und zwei Millimeter parazentral des Hornhautzentrums an zehn rechten Männeraugen. Sie stellen fest, dass die Hornhaut direkt nach dem Aufwachen am flachsten ist und die Hornhautkrümmung im Laufe des Tages zunimmt, die größeren Veränderungen spielen sich in der peripheren Hornhaut ab.

2.7 Kontaktlinsen beim Menschen

2.7.1 Allgemeine Anwendung von Kontaktlinsen beim Menschen

Der Einsatz von Kontaktlinsen als Verbandlinsen hat neue Möglichkeiten gezeigt. Es werden aber nicht alle theoretischen Vorstellungen und Erwartungen erfüllt. Das Auftreten von Komplikationen und Schäden durch die Verbandlinse selbst ist von großer Bedeutung (NEUHANN und BLASSMANN 1980, KUHN 2007). Flexible Kontaktlinsen passen sich elastisch der Hornhautkrümmung an und der Patient entwickelt kaum eine Fremdkörperreizung (Informationsbroschüre der BVA [Bundesverband der Augenärzte Deutschlands e.V.] und der DOG [Deutsche Ophthalmologische Gesellschaft e.V.] 2012). Eine Kontaktlinse sollte die Hornhaut völlig bedecken. Dadurch kann die Hornhaut vor dem direkten Kontakt mit dem Lid und umgekehrt geschützt werden. Damit kann weder ein pathologisch verändertes Oberlid die gesunde Hornhaut noch ein gesundes Lid die erkrankte Hornhaut schädigen (NEUHANN und BLASSMANN 1980, KUHN 2007, Informationsbroschüre der BVA [Bundesverband der Augenärzte Deutschlands e.V.] und der DOG [Deutsche Ophthalmologische Gesellschaft e.V.] 2012). Die Kontaktlinse trägt auch zu einer Schmerzlinderung bei. Dies ist die häufigste Indikation für den Einsatz von Verbandlinsen (HØVDING 1984, DUBA 1986, CHRISTIE 1999, STEELE 2000, EDWARDS und ATKINS 2002, RUBINSTEIN 2003). Ein gewisser Druck der Kontaktlinse auf der Hornhaut kann sich auch für die Heilung bei lamellären Verletzungen oder bei Stufenbildungen nach Keratoplastik-Operationen positiv auswirken (STEELE 2000, RUBINSTEIN 2003). Rezidivierende Erosionen der Hornhaut gehören auch zu dem klassischen Indikationsgebiet für den Einsatz von Kontaktlinsen (DUBA 1986, CHRISTIE 1999, SCHNELL 2008, STEELE 2000, BISCHOFF 2006, DAS und SEITZ 2008).

Heute werden therapeutische Kontaktlinsen regelmäßig eingesetzt. Sie müssen für verlängerte Tragezeiten geeignet sein und einen hohen Dk-Wert besitzen (AMBROZIAK et al. 2004). Dk ist die Messgröße für die Sauerstoffdurchlässigkeit der Kontaktlinsen: $P = D * k$, das Produkt aus dem Diffusionskoeffizienten D und dem Löslichkeitskoeffizienten k bildet den Permeationskoeffizienten P (BARON 1991). Wenn Regenerationsprozesse in der Hornhaut stattfinden, ist der Sauerstoffbedarf erhöht. Die hohe Sauerstoffpermeabilität der Kontaktlinse ist sehr wichtig für die therapeutische Applikation, da das Hauptziel die Hornhautheilung ist. Komplikationen, die mit Hypoxie der Hornhaut einhergehen, werden beim Tragen von konventionellen Linsen eher gesehen (AMBROZIAK et al. 2004). Hydrogellinsen sind weich und einfach anzupassen (EHRlich 2006). Hydrogellinsen sind hydrophil, sie sind im

feuchten Zustand weich und anpassungsfähig (BARON 1991). Die Sauerstoffdurchlässigkeit von Hydrogellinsen ist vom Wassergehalt abhängig, der je nach Linsenmodell von 38 bis 75 %, schwanken kann (EHRlich 2006). Der Dk-Wert (Diffusionskoeffizient für Sauerstoff) ist umso höher, je höher der Wassergehalt des Hydrogels ist (BARON 1991). Die meisten Indikationen bedürfen einer verlängerten Tragezeit, die das Risiko einer niedrigeren Sauerstofftransmissibilität beinhaltet, so dass der Erfolg dieser Linsen begrenzt ist. Nachteilig ist, dass Hydrogellinsen eher zur Bildung von Ablagerungen neigen als z.B. harte Kontaktlinsenmaterialien (BARON 1991). Verbesserungen der Hydrogellinsen erreicht man durch hydrophobe Silikon-Hydrogellinsen, die sauerstoffdurchlässiger sind und einen niedrigen Wassergehalt haben (BARON 1991, EHRlich 2006). Sie zeigen eine verringerte Bakterienbindung und führen zu einer geringeren Epithelverdünnung (AMBROZIAK et al. 2004). Silikon-Hydrogellinsen werden auch von BISCHOFF (2006) als bestes Material empfohlen, da die Linsen aufgrund der hohen Gasdurchlässigkeit die Hornhaut atmen lassen. Manche Linsen sind für eine kontinuierliche Tragezeit von bis zu 30 Tagen zugelassen und haben eine attestierte physiologische Sicherheit durch die FDA (Food and Drug Administration).

In einer retrospektiven Studie von SCHNELL (2008) über die Anwendung von 702 Verbandlinsen in 16 Augenarztpraxen über einen Zeitraum von 9 Jahren kommt der Autor zu dem Ergebnis, dass zu 74 % die Linsen zur Schmerzlinderung und in 26 % der Fälle zur besseren Heilung eingesetzt werden. 89 % der Kontaktlinsen-Träger werden dadurch schmerzlos.

2.8 Kontaktlinsen bei Tieren

2.8.1 Allgemeine Anwendung von Kontaktlinsen bei Hunden und Katzen

Erste Erfahrungen mit hydrophilen Kontaktlinsen bei Hund und Katze machen SCHMIDT et al. (1977). Sie setzen zwei unterschiedliche Typen von Kontaktlinsen (Softlens^R mit 39 % und Softcon^R mit 55 % Wassergehalt) als Teil des therapeutischen Regimes bei schlecht heilenden Hornhautulzera, oberflächlichen Hornhautulzera und Keratoconjunktivitis sicca (KCS) ein. Die Kontaktlinsen werden von den Tieren gut toleriert, wenn sie richtig angepasst werden. Wenn die Anpassung nicht optimal ist, werden die Kontaktlinsen i.d.R. vor Beendigung des Heilungsprozesses verloren. Die Erfolge liegen bei 79 % bei Softlens^R und bei 70 % bei Softcon^R. Die Autoren sehen gute Erfolge bei Ulzera, aber keine Effektivität in der Behandlung der KCS.

Bei 146 Hunden und 23 Katzen werden von MORGAN et al. (1984) weiche Kontaktlinsen aufgrund von chronischen oberflächlichen Hornhautulzera und Hornhautirritationen durch Lidveränderungen (z.B. Entropium, Distichiasis oder ektopische Zilien) eingesetzt. In 75 % der Fälle beobachten sie einen heilenden Effekt. Es gibt keinen signifikanten Unterschied, ob die Kontaktlinsen alleine oder mit zusätzlicher Therapie eingesetzt werden.

In einer Veröffentlichung über chronische oberflächliche Hornhauterosionen bei Hunden empfiehlt SCHOSTER (Veröffentlichung Nr. 1 im Internet) nach Debridement des losen Epithels den Einsatz von weichen Kontaktlinsen. Diese schützen die Hornhaut beim Lidschlag und schaffen eine enge Verbindung des Epithels mit dem Stroma. Er rät bei der Auswahl der richtigen Kontaktlinsengröße sorgfältig zu sein: Eine zu große Linse führt zum Verlust dieser, eine zu straffe oder zu kleine Kontaktlinse kann der Hornhaut schwere Schäden zufügen. Er schlägt vor, bei den meisten Hunden eine Kontaktlinse mit 14,5 bis 15 Millimeter Durchmesser und einem Radius von 8,6 bis 8,8 Millimeter einzusetzen.

MORGAN und ABRAMS vergleichen 1994 sechs verschiedene Gruppen von Therapiearten bei persistierenden Hornhauterosionen bei 136 Hunden und 6 Katzen. Einer Kontrollgruppe ohne Therapie wurden eine Gruppe mit Nickhautschürze, eine Gruppe mit Kontaktlinsen, eine Gruppe mit punktförmiger Keratotomie, eine Gruppe mit Anwendung des Proteinaseinhibitors Aprotinin und eine Gruppe mit kollagenhaltigen Schutzlinsen aus der Sklera von Schweinen, die sich nach 18 bzw. 24 oder 72 Stunden auflösen, gegenübergestellt. Die durchschnittliche Heilungsdauer liegt bei 21,8 Tagen. An fünfter Stelle liegt die Gruppe mit den Kontaktlinsen mit 24,8 Tagen Heilungsdauer.

In einer experimentellen Studie von SIMSEK et al. (1996) wird der therapeutische Effekt von Bandagelinsen mit Kollagen-Linsen bei Hornhautdefekten bei Kaninchen verglichen. Die Heilungsrate liegt bei $0,54 \pm 0,05 \text{ mm}^2$ pro Stunde bei den Bandagelinsen, $0,52 \pm 0,08 \text{ mm}^2$ pro Stunde bei den kollagenhaltigen Linsen und bei $0,43 \pm 0,06 \text{ mm}^2$ pro Stunde in der Kontrollgruppe ohne Linsen.

Es werden vorwiegend weiche Kontaktlinsen zum Schutz der Hornhaut und besseren Befindlichkeit des Auges als Bandagelinsen eingesetzt. Diese fördern die Reepithelisierung der Hornhaut. Die Linsen weisen aber keine optische Wirkung auf und sind also für eine Visuskorrektur nicht geeignet (SANSOM und BARNETT 1997).

Die Verwendung von Kontaktlinsen bei Keratitis bullosa kann das Einreißen epithelialer Blasen der Hornhaut verhindern und den Schmerz reduzieren, wenn diese Blasen platzen und kleine Ulzera entstehen. Eine Infektion mit feline Herpesviren führt oft zu Verwachsungen

von Konjunktiva, Nickhaut und Hornhaut. Eine direkt nach einer chirurgischen Ablösung eingelegte Kontaktlinse kann evtl. erneut auftretende Verwachsungen reduzieren (SANSOM und BARNETT 1997).

2001 wird von YEUNG und Mitarbeitern ein Fallbericht über einen sieben Jahre alten Terrier-Mischling veröffentlicht, dem für das linke aphake Auge eine Kontaktlinse zur Visuskorrektur der Aphakie angepasst wird. Die Linse wird am linken Auge wegen einer Linsenluxation entfernt, das rechte Auge ist aufgrund einer totalen Netzhautablösung blind. Zur Anpassung der korrekten Kontaktlinsengröße werden erst harte Kontaktlinsen mit einem Durchmesser von 9,5 und 10 Millimeter eingesetzt, die beide unzureichend sind. Danach werden drei verschiedene weiche Kontaktlinsen verwendet. Optimal ist eine Linse mit dem Durchmesser von 15,5 Millimeter und einer Krümmung von 8,5 Millimeter. Die Refraktion wird mit + 15 Dioptrie ausgeglichen, was anhand von verschiedenen Sehtests mit und ohne Kontaktlinse bestätigt wird.

Vier klinische Fälle werden von METZGER und SCHIERZ (2002) beschrieben. Der Einsatz einer Kontaktlinse bei einem Bearded Collie nach Entfernung eines Fremdkörpers mit Ulkus bringt nach einer Woche Heilung. Zwei Wochen Heilungsdauer werden in einem anderen Fall bei einer Shih-Tzu-Hündin benötigt, die ein zentrales Hornhautulkus aufgrund von Distichien hat. Bei einem Kartäuser-Kater, bei dem eine oberflächliche ulzerative Keratitis vorliegt, dauert die Heilung des Ulkus ebenfalls zwei Wochen. Schlechte Erfahrung haben die Autoren bei Symblepharon nach chronischem Schnupfen einer Europäisch Kurzhaar gemacht: in Allgemeinanästhesie wird die Bindehaut von der Hornhaut gelöst und eine Kontaktlinse eingesetzt. Einen Tag später müssen die Kontaktlinsen aufgrund von Schmerzhaftigkeit, Rötung und Schwellung der Konjunktiva entfernt werden. Ein erneutes Wachstum von Bindehaut auf Hornhaut kann nicht vollständig verhindert werden.

Ein weiteres Einsatzgebiet der Kontaktlinsen ist der UV-Schutz für Hunde. Schäferhunde und deren Mischlinge können an einer Autoimmunerkrankung leiden, die durch UV-Licht ausgelöst wird und Veränderungen der Hornhaut hervorruft. Hierbei kommt es zu einer Keratitis superficialis chronica. Es handelt sich um eine chronische, oberflächliche, proliferierende Keratitis, die durch vermehrte Vaskularisation, Ödembildung und Pigmenteinlagerung in der Hornhaut charakterisiert ist (FROMBERG und KREINER 2007).

Der Einsatz von Kontaktlinsen bei Pferden wird von TOTH und HOLLERRIEDER (2007) bei der Keratitis ulcerosa beschrieben. Die Heilung eines Ulkus beim Pferd ist abhängig vom Immunsystem des Patienten und der Erregervirulenz. Beim Pferd kommt ein Ulkus häufig vor und kann schwierig zu therapieren sein. Die weichen Kontaktlinsen reduzieren Schmerzen,

Fotophobie und das Austrocknen der Hornhaut. Er beschreibt zwei Fälle einer erfolglosen wochenlangen medikamentellen Vorbehandlung eines Ulkus. Nach Einsetzen einer Kontaktlinse kann die Abheilung des Ulkus jedoch nach acht bzw. sieben Tagen festgestellt werden. Der Einsatz von Kontaktlinsen bei primär infizierten Ulzera wird dagegen von TOTH und HOLLERRIEDER (2007) abgelehnt.

2.8.2 Anpassung

2.8.2.1 Allgemeine Richtlinien

Zur bestmöglichen Anpassung von Kontaktlinsen sollten verschiedene Größen zur Auswahl stehen. Von der Firma Acrivet^R werden verschiedene Größen angeboten. Eine Übersicht über die verschiedenen Bandagelinsen, mit Angabe von Durchmesser und Krümmungsradius in Millimeter gibt Tab. Nr. 2.

| Name | Durchmesser | Krümmungsradius | Empfohlen bei: |
|------|-----------------|-----------------|-----------------|
| C1 | 16 Millimeter | 9,2 Millimeter | größeren Katzen |
| C2 | 14 Millimeter | 8,3 Millimeter | Katzenwelpen |
| C3 | 15,5 Millimeter | 8,5 Millimeter | jungen Katzen |
| C4 | 16 Millimeter | 8,8 Millimeter | EKH |
| C5 | 18 Millimeter | 9,4 Millimeter | Perserkatzen |

Tab. Nr. 2: Übersicht über die Auswahl der verschiedenen Bandagelinsen von Acrivet^R, dabei steht EKH für Europäisch Kurzhaar und C für cat.

Ein festerer Sitz wird durch eine Vergrößerung des Durchmessers und eine Verkleinerung des Krümmungsradius erreicht. Die Vergrößerung des Durchmessers bis zu einem bestimmten Grenzwert führt zu einem verstärkten Saugeffekt. Ist der Durchmesser zu groß, wird die Linse meist zu sehr gekrümmt und geht schnell verloren. (SANSOM und BARNETT 1997). CARRINGTON und WOODWARD (1984) untersuchen neun adulte Katzen mit einem Fotokeratoskop und empfehlen, dass der Radius der einzusetzenden Kontaktlinsen 0,75 bis 1,25 Millimeter flacher sein soll, als der durchschnittliche Hornhautradius. TOTH und HOLLERRIEDER (2007) sowie DENK (2009) schlagen vor, die Auswahl der richtigen Linse mit einer Messschablone zu treffen. METZGER und SCHIERZ (2002) empfehlen auch die Bestimmung des benötigten Durchmessers und Krümmungsradius der Kontaktlinsen mit Hilfe einer Messkarte, die mit der Krümmung der Hornhaut verglichen wird. SCHOSTER (Veröffentlichung Nr. 2 im Internet) befürwortet eine weiche Kontaktlinse mit einem Durchmesser von 14,5 bis 15 Millimeter und einer Krümmung von 8,6 bis 8,8 Millimeter für

Hunde. Diese bietet seiner Meinung nach den größten Komfort für die Tiere.

Diese Messschablonen sind bei den Kontaktlinsenherstellern erhältlich und vereinfachen somit die Anpassung (Abb. Nr. 21).



Abb. Nr. 21: Messschablone von Acrivet^R zur Anpassung von Kontaktlinsen. Die Aussparungen entsprechen den Krümmungen der Kontaktlinsen. Oben sind die Krümmungen für Hunde (D1, D2, D3, D5, D6, D7, D8 und D9), unten links die Krümmungen für Pferde (H1, H2 und H6), unten rechts die Krümmungen für Katzen (C1, C3, C4, C5), dabei steht D für dog, H für horse und C für cat.

Der optimale Sitz einer Kontaktlinse wird nach dem Einsetzen durch Betrachtung der Linsenperipherie beurteilt. Eine zu lockere Kontaktlinse kann gekerbte Ränder aufweisen. Die Linsenränder sollten beim Tier über den Limbus ragen (SANSOM und BARNETT 1997, DENK 2009) und die Kontaktlinse sollte sich nur minimal bewegen (METZGER und SCHIERZ 2002).

Bei einer gut sitzenden Linse sollte eine entstandene Luftblase bei Bewegung der Linse verschwinden oder kleiner werden. Um sich zu vergewissern, dass die Kontaktlinse akzeptabel sitzt, wird der Patient nach ca. drei bis vier Stunden nach dem Einsetzen erneut kontrolliert, da ein schlechter Sitz zu Beschwerden oder zu Beschädigung der Hornhaut führen kann. Wiederholte Kontrollen im Abstand von drei bis vier Wochen sind empfehlenswert (SANSOM und BARNETT 1997, METZGER und SCHIERZ 2002).

Der akkurate Krümmungsradius kann durch den Luftblasentest beurteilt werden. Eine im Zentrum sitzende Luftblase, die nicht durch Manipulation entfernt werden kann, deutet auf eine zu eng sitzende Kontaktlinse hin. Sind keine Luftblasen vorhanden, sitzt die Kontaktlinse zu locker (Abb. Nr. 22 A bis C).

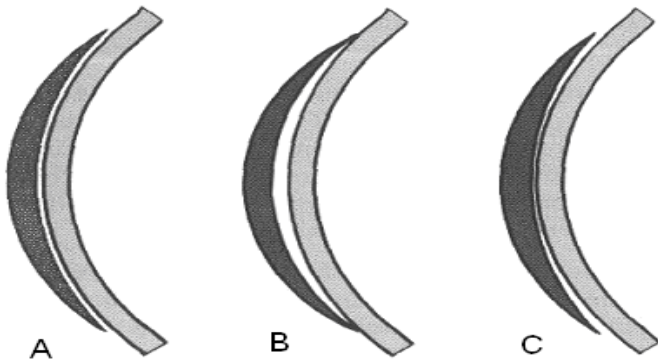


Abb. Nr. 22: A: Zeigt den parallelen Sitz einer Kontaktlinse auf der Hornhaut, B: Hier sitzt die Kontaktlinse zu steil, was zur Entstehung einer Luftblase im Zentrum führen kann, C: Zeigt den zu flachen Sitz einer Kontaktlinse auf der Hornhaut (Acrivet^R 2009).

Die Patientenbesitzer können kontrollieren, ob die Kontaktlinse noch vorhanden ist: Auf den Kontaktlinsen sind vier kleine schwarze Punkte aufgebracht, die den Besitzern das Auffinden der Kontaktlinsen erleichtern (ACRIVET^R 2009) (Abb. Nr. 23 und 24).



Abb. Nr. 23: schwarze Punkte auf der Bandagelinse von Acrivet^R (Acrivet^R 2009).



Abb. Nr. 24: Die schwarzen Punkte auf der Bandagelinse von Acrivet^R erleichtern das Erkennen der Kontaktlinse auf der Hornhaut einer Katze.

Bei dem Material der Bandagelinsen von Acrivet^R handelt es sich um Polyxylylon, ein Copolymer aus Hydroxyethylmethacrylat (HEMA) und Vinylpyrrolidon. Es ist ein Hydrogel mit 75 % Wassergehalt und einer hohen Gaspermeabilität.

Bei der I-protexTM-Schutzlinse ist die Markierung in einem hellen Blauton gehalten. Sie sind aus Filcon 4a, einem Hydrogel mit 74 % Wassergehalt.

Die Bandagelinsen können, laut Herstelleranweisung, 2 bis 4 Wochen auf dem Auge verbleiben. Bei regelmäßiger Reinigung und Kontrolle kann die Linse insgesamt 3 bis 4 Monate getragen werden (ACRIVET^R 2009).

2.8.2.2 Einsetzen und Entfernen einer Kontaktlinse

Tierärzte können Kontaktlinsen einsetzen, wenn sie Lokalanästhetika (z.B. Proparakerakain^R) verwenden. SANSOM und BARNETT (1997) empfehlen nicht, die Kontaktlinsen unter Vollnarkose einzusetzen, da es schwieriger sei, die Luftblase zu entfernen. Es gibt verschiedene Techniken zum Einsetzen der Kontaktlinsen. Die Kontaktlinse kann zuerst in den Fornix superior eingelegt werden und rutscht dann, nachdem das untere Augenlid und evtl. die Nickhaut mit einer Pinzette zurückgezogen werden, auf die Hornhaut. Bei einer anderen Technik wird die Kontaktlinse unter den Rand der Nickhaut platziert und gleitet dann auf die Hornhaut.

DENK (2009) setzt die Kontaktlinsen mit Hilfe einer weichen Kunststoffpinzette unter Verwendung eines Lokalanästhetikums ein. METZGER und SCHIERZ (2002) setzen die Kontaktlinsen mit den Fingern, mit Hilfe eines Saugapparates oder mit einer Pinzette ein. Das Entfernen wird hier nicht beschrieben.

Die Abb. Nr. 25A zeigt die weiche Kunststoffpinzette und den Saugnapf, das Befestigen der Kontaktlinse an der Pinzette mit Unterdruck wird in Abb. Nr. 25B dargestellt.

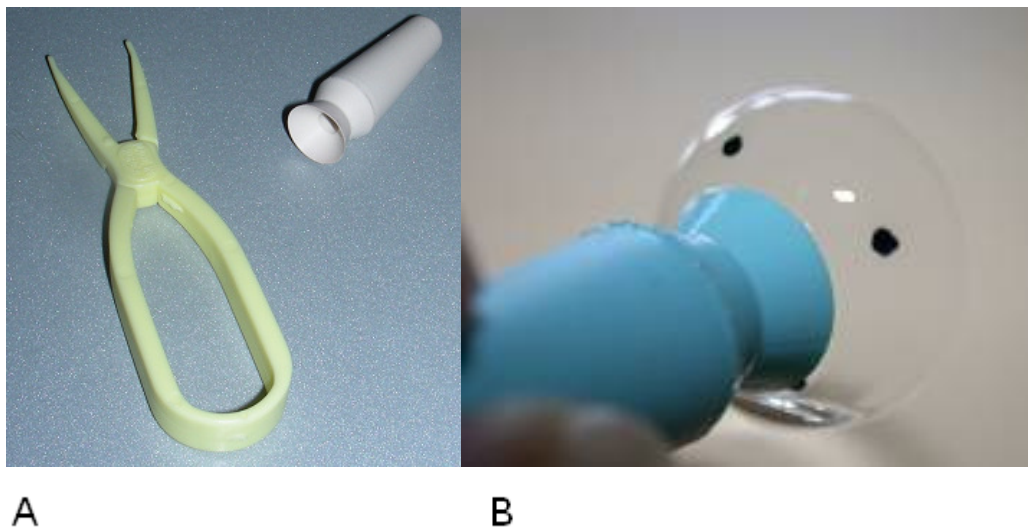


Abb. Nr. 25: A: Die zum Einsetzen und Entfernen von Kontaktlinsen verwendeten Instrumente: flexible Kunststoffpinzette und Saugnapf, B: Die Kontaktlinse wird durch Unterdruck mit dem Saugnapf verbunden.

Das Entfernen von Kontaktlinsen geschieht am einfachsten mit einer Pinzette. Eine Branche der Pinzette wird vom Limbus her unter die Kontaktlinse geschoben und angehoben. Danach lässt sich die Linse ganz leicht mit der Pinzette oder einem Wattestäbchen entfernen. Vorsicht ist bei starren Pinzetten geboten, da durch zu starke Manipulation die Kontaktlinsen beschädigt werden können. Besser ist die Verwendung einer weichen Kunststoffpinzette. Kontaktlinsen können nach Reinigung und Desinfektion mit entsprechenden Lösungen autoklaviert werden und können somit mehrfach verwendet werden (SANSOM und BARNETT 1997).

3 Material und Methoden

3.1 Technische Voraussetzungen

3.1.1 Das Autokeratometer von Alcon Pharma^R

Das Autokeratometer von Alcon Pharma^R ist ein vollautomatisches computergesteuertes Instrument zur Messung der Hornhautkrümmung in Millimeter und der Brechkraft der Hornhaut in Dioptrie. Mit Hilfe eines leistungsfähigen Mikroprozessor- und Optiksystems liefert das Keratometer schnell genaue Hornhautdaten. Es ist tragbar, hat ein batteriebetriebenes Handstück und ein automatisches Nivellierungssystem, so dass Messungen am stehenden, sitzenden und auch liegenden Patienten möglich sind (ALCON PHARMA^R 1992, GÖRIG et al. 1997).

Technische Daten (ALCON PHARMA^R 1992, WASSILL und DICK 1995, GÖRIG et al. 1997):

Die Abmessungen des Handstückes sind:

Höhe: 26,67 cm

Breite: 10,16 cm

Tiefe: 8,89 cm

Gewicht: ca. 700 g

In der Abb. Nr. 26 wird das tragbare Keratometer in seiner Ladestation mit dem angeschlossenen Drucker gezeigt.



Abb. Nr. 26: Das tragbare Keratometer steht mit seinem Handgriff in einer Ladeschale der Station, rechts daneben ist die Taste zum Drucken (1), darüber die Ladelampe (2). Rechts befindet sich der angeschlossene Drucker (3), rechts unten ist die Zeilenvorschubtaste (4) und oberhalb davon die Netzlampe (5).

Das Handstück besteht aus einem Griff mit Bedienelementen, Flüssigkristalldisplay und Okular zur Untersucherseite und einem kugelförmigen Gerätekopf mit verschiedenen Leuchtelementen zur Patientenseite. Zu den Leuchtelementen gehören ein Ring von grünen Mire-Lampen, eine blinkende, rote Fixierlampe und 4 Projektoren (Abb. Nr. 27 A). Mit der Scroll-Taste kann entweder die Grundkurve oder die Sphäre eingestellt werden, der Ton ein- und ausgeschaltet und die Kontrasteinstellung des Anzeigefensters verändert werden. Mit der Select-Taste wird die gewünschte Einstellung bestätigt. Die Clear-Taste löscht bei einmaligem Drücken den letzten Messwert, bei zweimaligem Drücken die gesamte Anzeige (beide Augen) und stellt das Anzeigefenster auf Null, dreimaliges Drücken der Clear-Taste schaltet die Anzeige aus. Mit der Measure-Taste kann eine Mire-Untersuchung der Hornhaut oder eine Messung vorgenommen werden (ALCON PHARMA^R 1992) (Abb. Nr. 27 B).



Abb. Nr. 27: A: Patientenseite des Handstücks des Keratometers mit folgenden Elementen: oben die Öffnung mit verschiedenen Lampen: in der Mitte ist die Diagnostiköffnung, die vier anderen Öffnungen stehen für die Projektoren, die kleinen, außen ringförmig angelegten Lampen sind die Mire-Lampen. Die untere Hälfte ist der Handgriff. B: Untersucherseite des Handstücks des Keratometers mit folgenden Bedienelementen: Oben befindet sich das einstellbare Okular, darunter das Anzeigefenster für die gemessenen Werte. Darunter befinden sich die Tasten (oben rechts: Scroll-Taste, oben mitte: Select-Taste, oben links: Clear-Taste, mitte links: Taste für linkes Auge, mitte rechts: Taste für rechtes Auge, unten: Measure-Taste). Die untere Hälfte ist der Handgriff.

Das Licht wird durch ein Linsensystem gebündelt und in einem Winkel von 21,5° zur optischen Achse auf die Hornhaut projiziert und danach wieder von der Hornhaut in das Gerät reflektiert. Der Abstand des reflektierten Lichtes von der optischen Achse wird mit Kalibrationswerten verglichen und in Dioptrie- und Millimeterwerte konvertiert

(GÖRIG et al. 1997). Der Mittelwert von sechs Messungen wird als Ergebnis digital angezeigt. Das Autokeratometer von Alcon Pharma^R hat ein automatisches Nivellierungssystem, das die Bedienung erleichtert. Dadurch werden automatisch Ausrichtungsfehler bis 15° von der Senkrechten durch ein im Handgriff befindliches, mit Silikonöl gefülltes Gefäß, korrigiert. Beim Verkippen des Handgriffes bei einer Messung hält die Oberfläche des Öls, einer Wasserwaage gleich, die horizontale Position aufrecht. Die Oberfläche des Öls bewirkt eine Reflektion eines einfallenden Lichtstrahles, der gleichzeitig mit dem Messstrahl in das Bildverarbeitungssystem geleitet wird. Der Mikroprozessor kalkuliert die Abweichung von der Senkrechten und berichtigt die Messwerte. Wird die Abweichung von der Senkrechten um mehr als 15° überschritten, wird diese Funktion unwirksam. Das Gerät schaltet auf die Funktion „Handle“ um. Sechs vom Gerät akzeptierte Messungen werden von einem Mikrochip-Prozessor anhand von Algorithmen ausgewertet und der Mittelwert auf dem auf der Geräterückseite befindlichen Flüssigkristall-Display angezeigt. Die Anzeige auf dem Display wird mit einem akustischen Signal bestätigt. Der Messbereich bezieht sich auf die zentrale Drei-Millimeter-Zone:

K-Wert: 30 bis 60 Dioptrie in Schritten von 0,12 Dioptrie

Delta-K-Wert: Astigmatismusindikator als Differenz von K1 und K2 (Anteil der Kornea am Gesamtastigmatismus)

Base-Wert: 5,63 bis 11,25 Millimeter in Schritten von 0,01 Millimeter

Achse/Winkel: 0 bis 180° gerundet auf Schritte von ± 1,0 (ALCON PHARMA^R 1992)

Vor Beginn der Messungen für die vorliegende Arbeit erfolgt die Überprüfung und Eichung mit sphärischen Eichkugeln mit definierten Radien durch die Firma Alcon Pharma^R.

3.1.2 Dokumentation der Messungen

Die Dokumentation der ermittelten Hornhautdaten erfolgt mit dem an der Ladestation angeschlossenen Drucker. Folgende Messwerte werden je für das rechte, das linke oder beide Augen gemessen:

-K1 (Brechkraft des horizontalen Meridians, wird in Dioptrie angegeben)

-Axis 1 (Winkel bzw. Lage des horizontalen Meridians, wird in Grad angegeben)

-K2 (Brechkraft des vertikalen Meridians, wird in Dioptrie angegeben)

-Axis 2 (Winkel bzw. Lage des vertikalen Meridians, wird in Grad angegeben)

-ΔK (Differenz zwischen dem stärker brechenden und dem schwächer brechenden Meridian): zeigt den Anteil der Hornhaut am Astigmatismus bzw. das Ausmaß der bestehenden Hornhautkrümmung (Absolutbetrag des Hornhautastigmatismus)

-Referenz (Bezugspunkt für das Gerät: Ground = Messung mit aufrechtem Gerät, Handle = Messung mit einer Neigung von mehr als 15°)

-Base1 (Grundkurve des Meridians, die der Horizontalen am Nächsten kommt, wird in Millimeter angegeben)

-Base2 (Grundkurve des Meridians, die der Vertikalen am Nächsten kommt, wird in Millimeter angegeben)

In der Anamnese der untersuchten Patienten wurden folgende Angaben ermittelt und dokumentiert:

Gruppe (ermittelt durch Rassezugehörigkeit und Kopfform), Geschlecht, Alter und Körpermasse.

3.2 Patientendaten

3.2.1 Gruppe (ermittelt durch Rassezugehörigkeit und Kopfform)

Die Rassezugehörigkeit wurde nach Aussagen der Besitzer und anhand des Körperbaus festgestellt. Bei der statistischen Auswertung wird ein besonderes Interesse auf die Rasse Europäisch Kurzhaar gelegt. Als Vergleichsgruppe wurden Katzen untersucht, die ein im Verhältnis großes Auge bei kurzem Schädel (brachyzephal) zeigen, z.B. Perserkatzen und Britisch Kurzhaar. Des Weiteren wurden großrahmige Katzen untersucht, die oft einen langen Schädel aufweisen, z.B. Maine Coon und Norwegische Waldkatzen.

3.2.2 Alter

Das Alter der Katzen wurde anhand ihres Geburtsdatums errechnet. Das Alter von Fundtieren wurde geschätzt. Merkmale waren die Befunde der klinischen Untersuchung, der Zahnstatus, der Allgemeinzustand und die Sklerosierung der Linse.

3.2.3 Körpermasse

Die Körpermasse wurde mit Hilfe einer digitalen Tierwaage ermittelt und notiert.

3.2.4 Geschlecht

Das Geschlecht wurde nach Angaben der Besitzer und aufgrund der Befunde der klinischen Untersuchung ermittelt. Eine Kastration der Katzen wurde bei der statistischen Auswertung vernachlässigt.

3.3 Allgemeine klinische und ophthalmologische Untersuchung

Eine allgemeine klinische Untersuchung sowie eine ophthalmologische Untersuchung wurden vor Durchführung jeder Messung durchgeführt. Die ophthalmologische Untersuchung beinhaltete zunächst die Untersuchung bei Raumlicht und die Überprüfung der Pupillenreaktion. Außerdem wurden folgende Untersuchungen durchgeführt:

3.3.1 Spaltlampenbiomikroskopie

Die vorderen Augenabschnitte wurden mit Hilfe der Handspaltlampe Kowa SL 14 (Firma Kowa^R) untersucht. Sie ermöglicht eine 10- bis 16-fache Vergrößerung der Lider, Hornhaut, Vorderkammer, Iris, Linse und des vorderen Abschnitts des Glaskörpers bei der Untersuchung.

3.3.2 Ophthalmoskopie

Die direkte Ophthalmoskopie diente zur Untersuchung des Augenhintergrundes. Dazu wurde ein Diaskleralkegel (Firma Heine^R) verwendet.

3.3.3 Tonometrie

Die Messung des Intraokulardrucks wurde mit dem TonoVet (Firma icare^R) durchgeführt. Es handelte sich um ein induktionsbasiertes Rebound- bzw. Rückstoßtonometer, welches vom Hersteller für den Gebrauch an Katzen und Hunden kalibriert ist (Abb. Nr. 28).



Abb. Nr. 28: Tonometrie des linken Auges einer Katze, mit der linken Hand werden die Augenlider gespreizt, die rechte Hand führt die Messung mit dem TonoVet^R durch, unten ist der Handgriff, darüber das Display, in dem die Ergebnisse der Messung in mmHg gezeigt werden, links der Messkopf.

Das Gerät ist tragbar, batteriebetrieben und kommt ohne Lokalanästhetika aus, obwohl es Kontakt mit der Hornhaut hat (GÖRIG et al. 2006, GELATT 2007). Das Kontaktelement wurde vor jeder Untersuchung ausgewechselt, so dass übertragbare Erkrankungen vermieden werden.

3.4 Durchführung der Messungen mit dem Autokeratometer von Alcon Pharma^R

Alle Untersuchungen wurden bei Katzen ohne Allgemeinanästhesie und ohne Anwendung von Augentropfen durchgeführt.

Zur Durchführung der Keratometrie-Messungen wurden die Katzen auf Untersucherhöhe platziert. Der Körper war in stehender, sitzender oder liegender Haltung zur Untersucherin gerichtet. Der Kopf der Katzen wurde von einer Hilfsperson fixiert. Die richtige Fixation des Kopfes war sehr wichtig für die einwandfreie Messung, weil Bewegungen des Kopfes zu verfälschten oder ungültigen Messwerten führen konnten. Außerdem mussten die Lider dabei so gespreizt werden, so dass kein Druck auf den Bulbus entstand. Vor der Durchführung der eigentlichen Messung wurde die Hornhaut zuerst auf Astigmatismus, Unregelmäßigkeiten oder Erkrankungen untersucht. Durch die Mire-Lampen wurde ein grüner Ring auf die Hornhaut projiziert, der von der Hornhautoberfläche reflektiert wird. Dabei konnten Unregelmäßigkeiten der Hornhautoberfläche beurteilt werden. Danach wurden die Lampen durch das Okular so zentriert, dass sich die Pupille in der Mitte des Rings befand, während das rote Licht mittig direkt über der Pupille war. Der Untersuchungsabstand zum Auge betrug ca. 4,5 bis 5 cm. Dabei konnte das Keratometer, das in der rechten Hand gehalten wurde, an der linken Hand, die am Kopf abgestützt wurde, angelehnt werden, um das Gerät ruhig zu halten.

In Abb. Nr. 29 wird die Handhabung des Keratometers während der Messung bei einer Katze gezeigt.



Abb. Nr. 29: Handhabung des Autokeratometers von Alcon Pharma^R während der Messung bei einer Katze.

Das Keratometer wurde langsam in Richtung des Auges bewegt, bis ein X-förmiges Muster mit vier äußeren und inneren grünen Lichtern mit einem blinkenden roten Licht in der Mitte sichtbar war.

Dieses Muster diente als Anhaltspunkt für den richtigen Abstand (Abb. Nr. 30) (ALCON PHARMA^R 1992, SHIN et al. 1999).

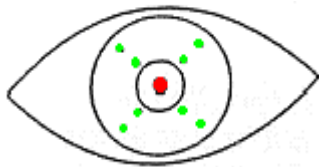


Abb. Nr. 30: schematische Darstellung der Lichtpunkte auf der Hornhaut: Gerät ist richtig positioniert (ALCON PHARMA^R 1992).

Abb. Nr. 31 A bis C zeigen die Reflexion der Lichtpunkte bei falschem Abstand des Gerätes zur Hornhaut.

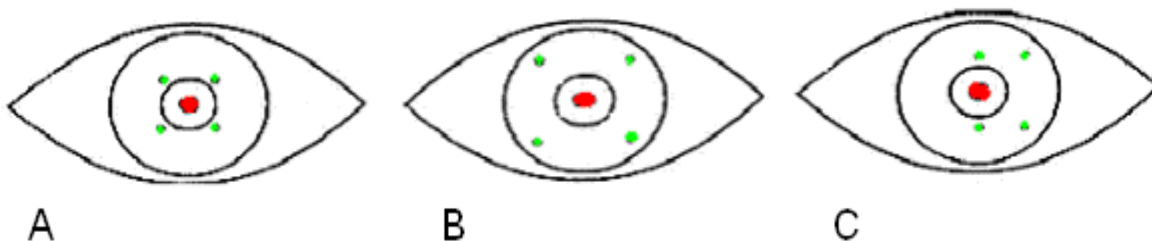


Abb. Nr. 31: schematische Darstellung der Lichtpunkte auf der Hornhaut: A: Gerät zu nah an der Hornhaut, B: Gerät zu weit weg von der Hornhaut, C: Gerät nicht zentriert (ALCON PHARMA^R 1992).

3.5 Eigene Messungen

Mit den oben beschriebenen Methoden wurden im Zeitraum von Januar 2009 bis Dezember 2011 die Augen von 388 Katzen vermessen. Die Katzen wurden im Auftrag von verschiedenen Tierheimen, Tierschutzorganisationen, Katzenbesitzern, Katzenzüchtern und der Klinik für Kleintiere der Justus-Liebig-Universität Gießen untersucht. Tiere mit ophthalmologischen Erkrankungen wurden von den Untersuchungen ausgeschlossen. In die Auswertung kamen nur Augen, deren vorangegangene Untersuchung ohne pathologischen Befund war. Bei einäugigen Katzen konnte nur ein Auge untersucht werden. Unruhige oder ängstliche Katzen konnten z.T. nur einseitig untersucht werden.

3.6 Patientengut

Die Gesamtzahl der in die Auswertung eingegangenen untersuchten Katzen beträgt 388. Dabei konnten 747 Augen untersucht und ausgewertet werden. Bei insgesamt 29 Katzen wurde nur ein Auge gemessen (bei 11 Katzen wurde nur das linke Auge und bei 18 Katzen nur das rechte Auge untersucht).

Bei den adulten Tieren ab 12 Monaten wurden 248 Katzen untersucht. Bei 231 Katzen konnten beide Augen ausgewertet werden. Bei 17 Katzen konnte nur ein Auge gemessen werden (bei 3 Katzen nur das linke und bei 14 Katzen nur das rechte Auge). Insgesamt wurden bei den adulten Katzen 479 Augen evaluiert.

3.6.1 Altersverteilung

Die untersuchten Katzen waren zwischen einem Monat und 214 Monaten alt. Tab. Nr. 3 gibt eine Übersicht über die Altersverteilung.

| | n | \bar{x} | s | x_{\min} | x_{\max} |
|--|-----|-----------|-------|------------|------------|
| Alter der untersuchten Katzen in Monaten | 388 | 34,18 | 38,91 | 1 | 214 |

Tab. Nr. 3: Übersicht der Altersverteilung aller untersuchten Katzen (n = 388) mit arithmetischem Mittelwert, Standardabweichung, Minima und Maxima, dabei steht n für den Stichprobenumfang, \bar{x} für den arithmetischen Mittelwert, s für die Standardabweichung, x_{\min} für den kleinsten vorkommenden Wert und x_{\max} für den größten vorkommenden Wert.

In Tab. Nr. 4 ist die Altersverteilung ausschließlich adulter Tiere (≥ 12 Monate) aufgeführt, da die Auswertung der Keratometriedaten und die Untersuchung auf mögliche Zusammenhänge mit Geschlecht, Gewicht, Kopfform und Intraokulardruck anhand der Daten adulter Tiere erfolgt.

| | n | \bar{x} | s | x_{\min} | x_{\max} |
|----------------------------|-----|-----------|-------|------------|------------|
| Alter der Tiere in Monaten | 248 | 50,95 | 39,80 | 12 | 214 |

Tab. Nr. 4: Übersicht der Altersverteilung aller adulten Katzen (n = 248) mit arithmetischem Mittelwert, Standardabweichung, Minima und Maxima, dabei steht n für den Stichprobenumfang, \bar{x} für den arithmetischen Mittelwert, s für die Standardabweichung, x_{\min} für den kleinsten vorkommenden Wert und x_{\max} für den größten vorkommenden Wert.

3.6.2 Geschlechtsverteilung

Von allen untersuchten Katzen waren 217 weiblich und 171 männlich. In Tab. Nr. 5 wird die Verteilung aller Tiere (n = 388) innerhalb der Gruppe aufgelistet. In Tab. Nr. 6 ist die Verteilung aller adulten Katzen ≥ 12 Monate (n = 248) aufgelistet.

| | weiblich | männlich | gesamt |
|----------------------|----------|----------|--------|
| Brachyzephele Katzen | 15 | 10 | 25 |
| EKH | 138 | 121 | 259 |
| Großbrahmige Katzen | 44 | 31 | 75 |
| Sonstige | 20 | 9 | 29 |
| gesamt | 217 | 171 | 388 |

Tab. Nr. 5: Übersicht der Geschlechtsverteilung aller untersuchten Katzen (n = 388).

| | weiblich | männlich | gesamt |
|----------------------|----------|----------|--------|
| Brachyzephele Katzen | 13 | 7 | 20 |
| EKH | 86 | 81 | 167 |
| Großbrahmige Katzen | 29 | 17 | 46 |
| Sonstige | 10 | 5 | 15 |
| gesamt | 138 | 110 | 248 |

Tab. Nr. 6: Übersicht der Geschlechtsverteilung aller untersuchten adulten Katzen ≥ 12 Monate (n = 248).

3.6.3 Gewichtsverteilung

Die Körpermasse aller untersuchten Katzen ($n = 388$) reicht von 0,4 kg bis 9,16 Kilogramm (Tab. Nr. 7).

| | n | \bar{x} | s | x_{\min} | x_{\max} |
|--------------------------------|-----|-----------|------|------------|------------|
| Körpermasse aller Katzen in kg | 388 | 3,42 | 1,64 | 0,4 | 9,16 |

Tab. Nr. 7: Übersicht über die Körpermasse aller untersuchten Katzen ($n = 388$), dabei steht kg für Kilogramm Körpermasse, n für den Stichprobenumfang, \bar{x} für den arithmetischen Mittelwert, s für die Standardabweichung, x_{\min} für den kleinsten vorkommenden Wert und x_{\max} für den größten vorkommenden Wert.

In Tab. Nr. 8 wird die Gewichtsverteilung aller untersuchten adulten Katzen dargestellt ($n = 248$).

| | n | \bar{x} | s | x_{\min} | x_{\max} |
|----------------------------------|-----|-----------|-----|------------|------------|
| Körpermasse adulter Katzen in kg | 248 | 4,30 | 1,2 | 1,83 | 9,16 |

Tab. Nr. 8: Übersicht über die Körpermasse aller untersuchten adulten Katzen ($n = 248$), dabei steht kg für Kilogramm Körpermasse, n für den Stichprobenumfang, \bar{x} für den arithmetischen Mittelwert, s für die Standardabweichung, x_{\min} für den kleinsten vorkommenden Wert und x_{\max} für den größten vorkommenden Wert.

Die durchschnittliche Körpermasse aller untersuchten Katzen ($n = 388$) der jeweiligen Gruppen in Abhängigkeit vom Geschlecht ist in Tab. Nr. 9 wiedergegeben.

| Körpermasse in kg | n | \bar{x} | S | x_{\min} | x_{\max} |
|-------------------------------|-----|-----------|------|------------|------------|
| Brachyzephe Katzen, männlich | 10 | 3,512 | 0,81 | 2,27 | 5,05 |
| Brachyzephe Katzen, weiblich | 15 | 3,12 | 1,18 | 1,6 | 5,67 |
| EKH, männlich | 121 | 3,71 | 1,78 | 0,4 | 7,4 |
| EKH, weiblich | 138 | 2,99 | 1,38 | 0,47 | 6,4 |
| Großbrahmige Katzen, männlich | 31 | 4,38 | 2,33 | 1,4 | 9,16 |
| Großbrahmige Katzen, weiblich | 44 | 3,68 | 1,46 | 0,68 | 6,8 |
| Andere Katzen, männlich | 9 | 3,79 | 1,42 | 1,55 | 6,76 |
| Andere Katzen, weiblich | 20 | 2,58 | 1,03 | 1,31 | 4,66 |

Tab. Nr. 9: tabellarische Darstellung der durchschnittlichen Körpermasse in Abhängigkeit vom Geschlecht und der Kopfform, dabei steht kg für Kilogramm Körpermasse, n für den Stichprobenumfang, \bar{x} für den arithmetischen Mittelwert, s für die Standardabweichung, x_{\min} für den kleinsten vorkommenden Wert und x_{\max} für den größten vorkommenden Wert.

3.6.4 Gruppeneinteilung

Insgesamt wurden 388 Katzen untersucht. Diese verteilten sich auf 14 verschiedene Rassen. Die Rassen wurden aufgrund ähnlicher anatomischer Verhältnisse in Gruppen zusammengefasst.

Alle Katzen wurden in 4 Gruppen eingeteilt. In Gruppe 1 (brachyzephe Tiere) wurden 25 Katzen untersucht, in Gruppe 2 (EKH) 259 Tiere, in Gruppe 3 (großrahmige Tiere) 75 Katzen und in Gruppe 4 (sonstige Rassen) 29 Katzen (Tab. Nr. 10).

| | | Anzahl n |
|------------|---------------------|----------|
| Gruppe 1 | brachyzephe Katzen | 25 |
| Gruppe 2 | Europäisch Kurzhaar | 259 |
| Gruppe 3 | großrahmige Katzen | 75 |
| Gruppe 4 | andere Rassen | 29 |
| Gesamtzahl | | 388 |

Tab. Nr. 10: Übersicht der Anzahl (n = 388) aller untersuchten Katzen der verschiedenen Gruppen.

In Tab. Nr. 11 wird eine Übersicht über die Verteilung der einzelnen Rassen in den jeweiligen Gruppen gegeben (n = 388).

| Gruppe | Rasse | Anzahl | Gesamtzahl pro Gruppe |
|--------|-----------------------------|-------------|-----------------------|
| 1 | Perser | 15 | |
| 1 | Perser-Mischling | 5 | |
| 1 | Britisch Kurzhaar | 3 | |
| 1 | Britisch-Kurzhaar-Mischling | 2 | Gruppe 1: n = 25 |
| 2 | Europäisch Kurzhaar | 259 | Gruppe 2: n = 259 |
| 3 | Norwegische Waldkatze | 33 | |
| 3 | Maine Coon | 37 | |
| 3 | Maine-Coon-Mischling | 5 | Gruppe 3: n = 75 |
| 4 | Siam | 6 | |
| 4 | Siam-Mischling | 2 | |
| 4 | Angora | 1 | |
| 4 | Ragdoll | 1 | |
| 4 | Orientalische Kurzhaar | 17 | |
| 4 | Heilige Birma | 2 | Gruppe 4: n = 29 |
| Gesamt | | Gesamt: 388 | Gesamt: n = 388 |

Tab. Nr. 11: Aufstellung der Rasseverteilung und Gruppeneinteilung aller untersuchten Katzen (n = 388).

Tab. Nr. 12 gibt eine Übersicht der adulten untersuchten Katzen (n = 248) über die Verteilung der einzelnen Rassen in den jeweiligen Gruppen.

| Gruppe | Rasse | Anzahl | Gesamtzahl pro Gruppe |
|--------|-----------------------------|-------------|-----------------------|
| 1 | Perser | 14 | |
| 1 | Perser-Mischling | 2 | |
| 1 | Britisch Kurzhaar | 2 | |
| 1 | Britisch-Kurzhaar-Mischling | 2 | Gruppe 1: n = 20 |
| 2 | Europäisch Kurzhaar | 167 | Gruppe 2: n = 167 |
| 3 | Norwegische Waldkatze | 19 | |
| 3 | Maine Coon | 23 | |
| 3 | Maine-Coon-Mischling | 4 | Gruppe 3: n = 46 |
| 4 | Siam | 5 | |
| 4 | Siam-Mischling | 0 | |
| 4 | Angora | 0 | |
| 4 | Ragdoll | 1 | |
| 4 | Orientalische Kurzhaar | 7 | |
| 4 | Heilige Birma | 2 | Gruppe 4: n = 15 |
| Gesamt | | Gesamt: 248 | Gesamt: n = 248 |

Tab. Nr. 12: Aufstellung der Rasseverteilung und Gruppeneinteilung aller adulten untersuchten Katzen, die ≥ 12 Monate alt sind (n = 248).

3.7 Statistische Auswertung

Die gemessenen Daten wurden auf einem PC mit dem Programm Microsoft Excel 2002 gesammelt. Die Auswertung der Daten erfolgte auf den Rechnern der Arbeitsgruppe Biomathematik und Datenverarbeitung des Fachbereichs Veterinärmedizin der Justus-Liebig-Universität Gießen. Die statistischen Auswertungen wurden unter Verwendung des Statistikprogrammpakets BMDP/Dynamic, Release 7.0 (Dixon, 1993) durchgeführt. Die grafischen Abbildungen wurden auf einem PC mit dem Programm Microsoft Excel 2002 erzeugt.

Zur Beschreibung der Daten wurden der Stichprobenumfang (n), die arithmetischen Mittelwerte (\bar{x}), Standardabweichung (s), Minima (x_{\min}), und Maxima (x_{\max}) mit dem Programm BMDP1D berechnet und tabellarisch wiedergegeben.

Das Programm BMDP4F erstellte eine Übersicht über die Anzahl der untersuchten Rassen und deren Einteilung in die verschiedenen Gruppen und die Geschlechtsverteilung auf die verschiedenen Gruppen.

Mit dem Programm BMDP2V wurden die biometrischen Daten mit einer 3-faktoriellen Kovarianzanalyse untersucht. Dabei wurde der Einfluss von den Kovarianten Augeninnendruck, Alter und Gewicht überprüft.

Zur statistischen Überprüfung der Beziehung zwischen dem Alter und den Messvariablen sowie der Überprüfung zwischen der Körpermasse und den Messvariablen wurden mit dem Programm BMDP6D Punktwolken bzw. Korrelationsdiagramme erzeugt.

Im Anschluss konnte eine nicht-lineare Regressionsgleichung mit dem Programm BMDP3R erstellt und die geschätzten Parameter in ein Wachstumsmodell eingefügt werden.

Folgende Messvariablen gehen in die statistischen Auswertungen mit ein: Alter, Geschlecht, Körpermasse, Gruppe (Rasse bzw. Kopfform), Augeninnendruck, Base1 des rechten und linken Auges, K1 des rechten und linken Auges, Base2 des rechten und linken Auges, K2 des rechten und linken Auges und ΔK des rechten und linken Auges (Differenz zwischen K1 und K2). Die Achsenlagen der Meridiane können nur beschreibend dargestellt werden.

Die Bewertung der statistischen Signifikanz erfolgt durch den ermittelten p-Wert: ein Ergebnis mit einem p-Wert $\leq 0,05$ wurde als statistisch signifikant angeführt, ein p-Wert $> 0,05$ wurde als statistisch nicht signifikant angeführt.

4 Ergebnisse

Im Kapitel 4.1 wird untersucht, ob der physiologische Augeninnendruck bis 25 mmHg einen Einfluss auf die Messwerte hat.

Im Kapitel 4.2 werden die biometrischen Daten für den horizontalen Hornhautradius in Millimeter und Dioptrie (Base1 und K1), sowie in Kapitel 4.3 die Daten für den vertikalen Hornhautradius in Millimeter und Dioptrie (Base2 und K2) zusammen ausgewertet. Es erfolgt eine Darstellung der Rohdaten sowie der Daten der bereinigten Mittelwerte. Die bereinigten Mittelwerte beziehen sich auf das durchschnittliche Alter und die durchschnittliche Körpermasse der untersuchten Katzen.

Eine weitere Auswertung (Kapitel 4.4) mit Hilfe einer Kovarianzanalyse betrifft die Differenz von K1 und K2 (ΔK).

Die Achsenlage der verschiedenen Hornhautradien kann nur beschreibend dargestellt werden (Kapitel 4.5).

4.1 Augeninnendruck

In einer Kovarianzanalyse (Alter und Körpermasse als Kovariablen) wurden die adulten Katzen, die älter als 12 Monate waren ($n = 183$), in die statistische Auswertung bzgl. des Augeninnendrucks aufgenommen. Zusätzlich wurde der Einfluss der Augenseite, der Gruppe und des Geschlechts untersucht. Es wurden nur ophthalmologisch gesunde Katzen mit physiologischem Augeninnendruck in die Statistik einbezogen. Katzen, die einen Augeninnendruck > 25 mmHg aufwiesen, sind nicht in die Auswertung mit eingegangen. Die Ergebnisse der Untersuchung werden in Tab. Nr. 13 zusammengefasst.

| | p-Wert des Augeninnendrucks | Signifikanz |
|-------------|-----------------------------|-------------------|
| Alter | 0,39 | nicht signifikant |
| Körpermasse | 0,34 | nicht signifikant |
| Augenseite | 0,46 | nicht signifikant |
| Gruppe | 0,24 | nicht signifikant |
| Geschlecht | 0,85 | nicht signifikant |

Tab. Nr. 13: Darstellung der p-Werte des Augeninnendrucks auf die biometrischen Daten Alter, Körpermasse, Augenseite, Gruppe und Geschlecht.

Die Hauptvariable Augeninnendruck wird in Bezug auf die biometrischen Daten untersucht (Base1 und Base2 des jeweils rechten und linken Auges, K1 und K2 des jeweils rechten und linken Auges, sowie ΔK des rechten und linken Auges).

Es ergeben sich folgende p-Werte für den Einfluss des Augeninnendrucks auf die biometrischen Daten (Tab. Nr. 14):

| | p-Wert | Signifikanz |
|------------------------------|--------|-------------------|
| Base1 des rechten Auges | 0,12 | nicht signifikant |
| Base1 des linken Auges | 0,76 | nicht signifikant |
| Base2 des rechten Auges | 0,50 | nicht signifikant |
| Base2 des linken Auges | 0,71 | nicht signifikant |
| K1 des rechten Auges | 0,10 | nicht signifikant |
| K1 des linken Auges | 0,70 | nicht signifikant |
| K2 des rechten Auges | 0,44 | nicht signifikant |
| K2 des linken Auges | 0,89 | nicht signifikant |
| ΔK des rechten Auges | 0,19 | nicht signifikant |
| ΔK des linken Auges | 0,36 | nicht signifikant |

Tab. Nr. 14: Darstellung der p-Werte des Augeninnendrucks auf die verschiedenen biometrischen Daten, dabei steht Base1 für den horizontalen Hornhautradius in Millimeter, Base2 für den vertikalen Hornhautradius in Millimeter, K1 für die Brechkraft im horizontalen Meridian in Dioptrie, K2 für die Brechkraft im vertikalen Meridian in Dioptrie und ΔK für die Differenz zwischen K1 und K2.

Zu Beginn der Messungen wurde bei insgesamt 99 Tieren nicht der Augeninnendruck gemessen, davon sind 65 adulte Katzen. Diese Tiere können jetzt aber in die weitere Statistik mit einbezogen werden, da nachweislich kein Einfluss des Augeninnendrucks von klinisch gesunden Augen auf die Messvariablen existiert.

4.2 Horizontaler Hornhautradius

4.2.1 Einfluss der Augenseite auf Base1 (horizontaler Hornhautradius in Millimeter) und K1 (Brechkraft im horizontalen Meridian in Dioptrie)

Die arithmetischen Mittelwerte der biometrischen Daten zeigen im Vergleich beider Augen keine signifikanten Unterschiede. In die statistische Auswertung gehen die Augen von 231 Katzen ein. Alle in die statistischen Auswertungen einbezogenen Katzen sind mindestens 12 Monate alt.

Für Base1 des rechten und linken Auges wird ein p-Wert von 0,40 ermittelt, für K1 des rechten und linken Auges ergibt sich ein p-Wert von 0,39. Dies zeigt, dass keine auffälligen Differenzen zwischen rechten und linken Augen existieren.

Es wurde mit Hilfe der Kovarianzanalyse auch untersucht, ob der Faktor der Augenseite einen Einfluss auf die Gruppe oder das Geschlecht hat. Es ergibt sich auch hier keine statistische Signifikanz.

Aus diesem Grund wurden bei den folgenden statistischen Untersuchungen die rechten und linken Augen gemeinsam ausgewertet.

In den folgenden Abbildungen werden die Rohdaten des horizontalen Hornhautradius in Millimeter der rechten und linken Augen grafisch dargestellt. Die Abbildungen zeigen, dass die Unterschiede innerhalb der einzelnen Gruppen sehr klein sind.

Zur besseren Übersicht sind die verschiedenen Gruppen einzeln abgebildet (brachycephale Katzen in Abb. Nr. 33, Europäisch Kurzhaar in Abb. Nr. 34 und großrahmige Katzen in Abb. Nr. 35).

Eine grafische Darstellung der Rohdaten des horizontalen Hornhautradius in Millimeter zum Seitenvergleich in der Gruppe der brachyzephalen Katzen zeigt Abb. Nr. 32.

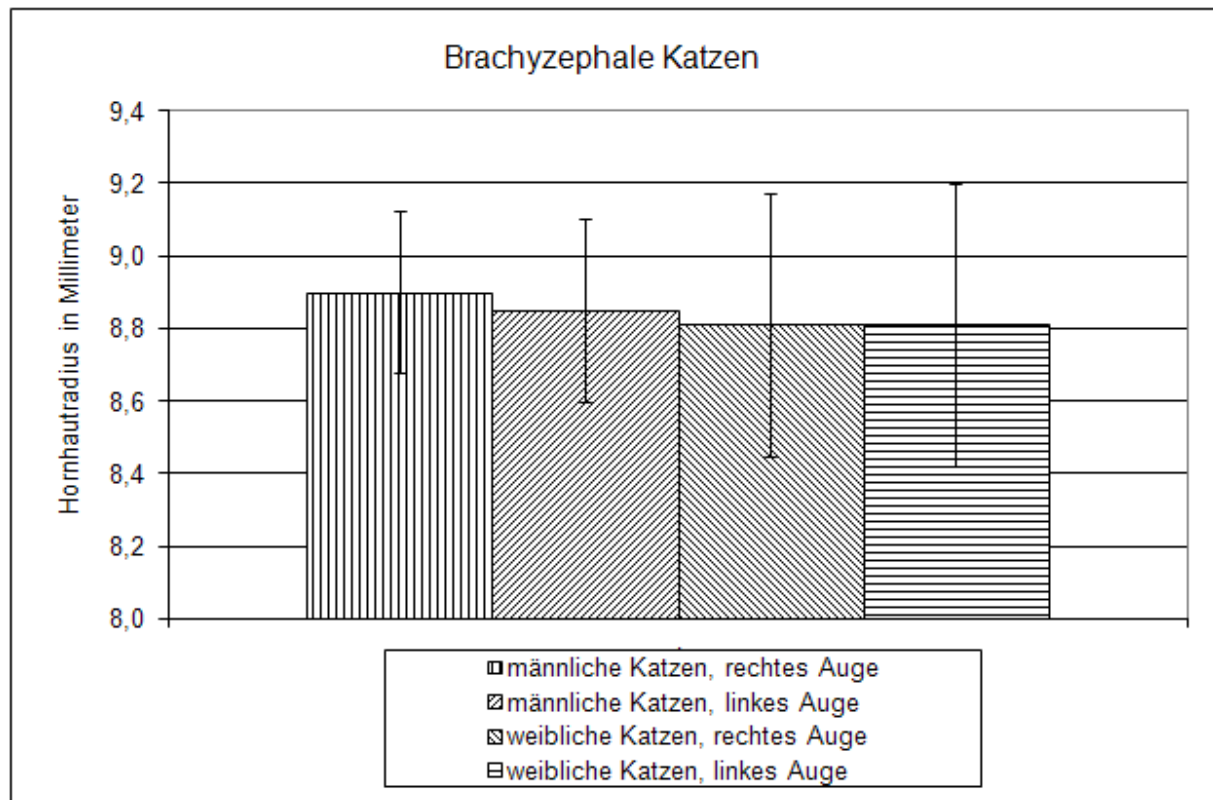


Abb. Nr. 32: Grafische Darstellung der Rohdaten des horizontalen Hornhautradius in Millimeter zum Vergleich der Augenseite bei brachyzephalen Katzen (n = 18). Dargestellt sind die durchschnittlichen Messwerte aller männlichen und weiblichen adulten Tiere und die dazugehörige Standardabweichung.

Zur besseren Übersicht sind die Zahlenwerte der Abb. Nr. 32 in Tab. Nr. 15 zusammengestellt. Außerdem sind in Tab. Nr. 15 die Daten der bereinigten Mittelwerte hinzugefügt.

| | $\bar{X} \pm s$ (Rohdaten in mm) | $\bar{X} \pm s$ (bereinigter Mittelwert in mm) |
|-------------------------|----------------------------------|--|
| Brachyzephal, m, rechts | 8,90 ± 0,22 | 8,93 ± 0,13 |
| Brachyzephal, m, links | 8,85 ± 0,25 | 8,88 ± 0,13 |
| Brachyzephal, w, rechts | 8,81 ± 0,36 | 8,91 ± 0,11 |
| Brachyzephal, w, links | 8,81 ± 0,39 | 8,85 ± 0,11 |

Tab. Nr. 15: Tabellarische Darstellung der Rohdaten und der bereinigten Mittelwerte des horizontalen Hornhautradius in Millimeter zum Vergleich der Augenseite bei brachyzephalen Rassen (n = 18), dabei steht \bar{X} für den arithmetischen Mittelwert, s für die Standardabweichung, mm für Millimeter, m für männlich und w für weiblich.

Die durchschnittlichen Messwerte der Rohdaten des horizontalen Hornhautradius in Millimeter der rechten und linken Augen der größten Gruppe der Europäisch Kurzhaar werden in Abb. Nr. 33 dargestellt.

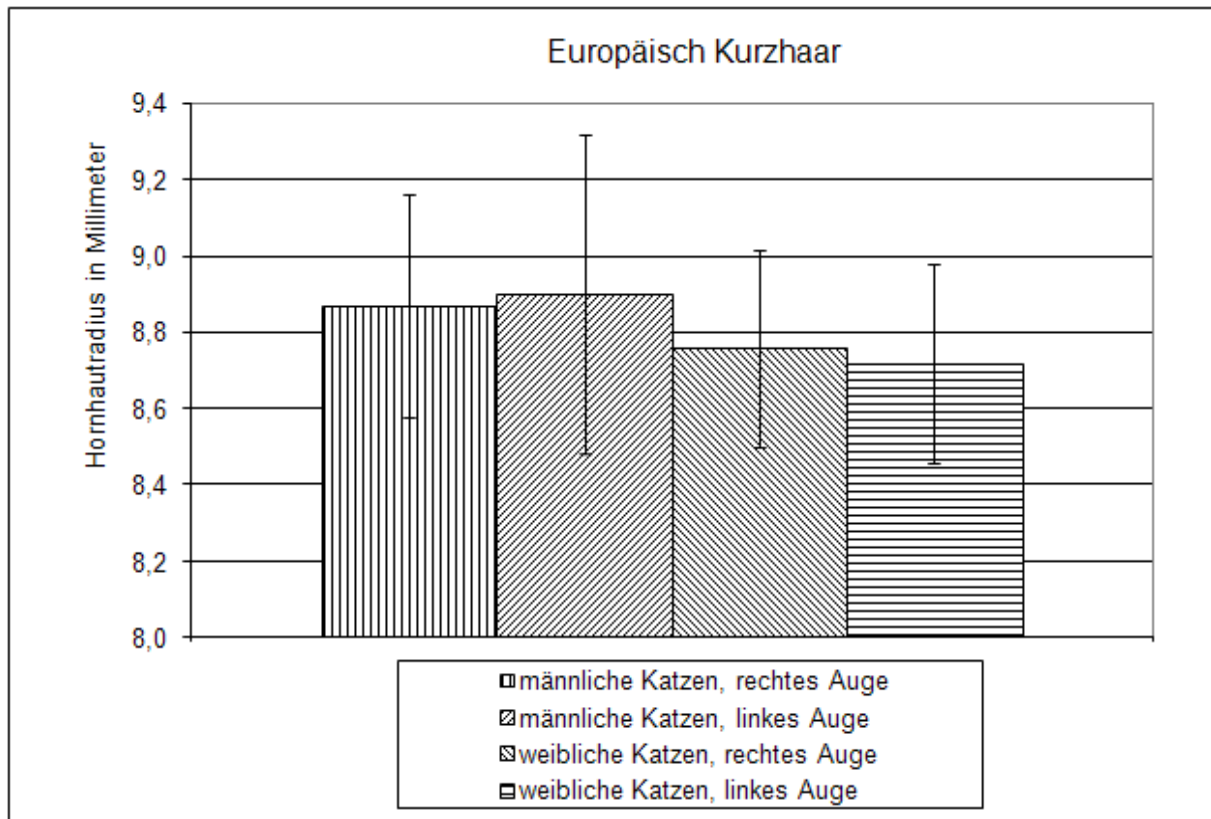


Abb. Nr. 33: Grafische Darstellung der Rohdaten des horizontalen Hornhautradius in Millimeter zum Vergleich der Augenseite bei Europäisch Kurzhaar (n = 156). Dargestellt sind die durchschnittlichen Messwerte aller männlichen und weiblichen adulten Tiere und die dazugehörige Standardabweichung.

Zur besseren Übersicht sind die Zahlenwerte der Abb. Nr. 33 in Tab. Nr. 16 zusammengestellt. Zusätzlich werden die bereinigten Mittelwerte in Tab. Nr. 16 dargestellt.

| | $\bar{x} \pm s$ (Rohdaten in mm) | $\bar{x} \pm s$ (bereinigter Mittelwert in mm) |
|----------------|----------------------------------|--|
| EKH, m, rechts | 8,87 \pm 0,29 | 8,82 \pm 0,04 |
| EKH, m, links | 8,90 \pm 0,42 | 8,85 \pm 0,04 |
| EKH, w, rechts | 8,76 \pm 0,26 | 8,82 \pm 0,04 |
| EKH, w, links | 8,72 \pm 0,26 | 8,78 \pm 0,04 |

Tab. Nr. 16: Tabellarische Darstellung der Rohdaten und der bereinigten Mittelwerte des horizontalen Hornhautradius in Millimeter zum Vergleich der Augenseite bei EKH (n = 156), dabei steht \bar{x} für den arithmetischen Mittelwert, s für die Standardabweichung, mm für Millimeter, m für männlich und w für weiblich.

Abb. Nr. 34 stellt die Messwerte der Rohdaten des horizontalen Hornhautradius in Millimeter der Gruppe der großbrahmigen Katzen zum Vergleich von rechten und linken Augen dar.

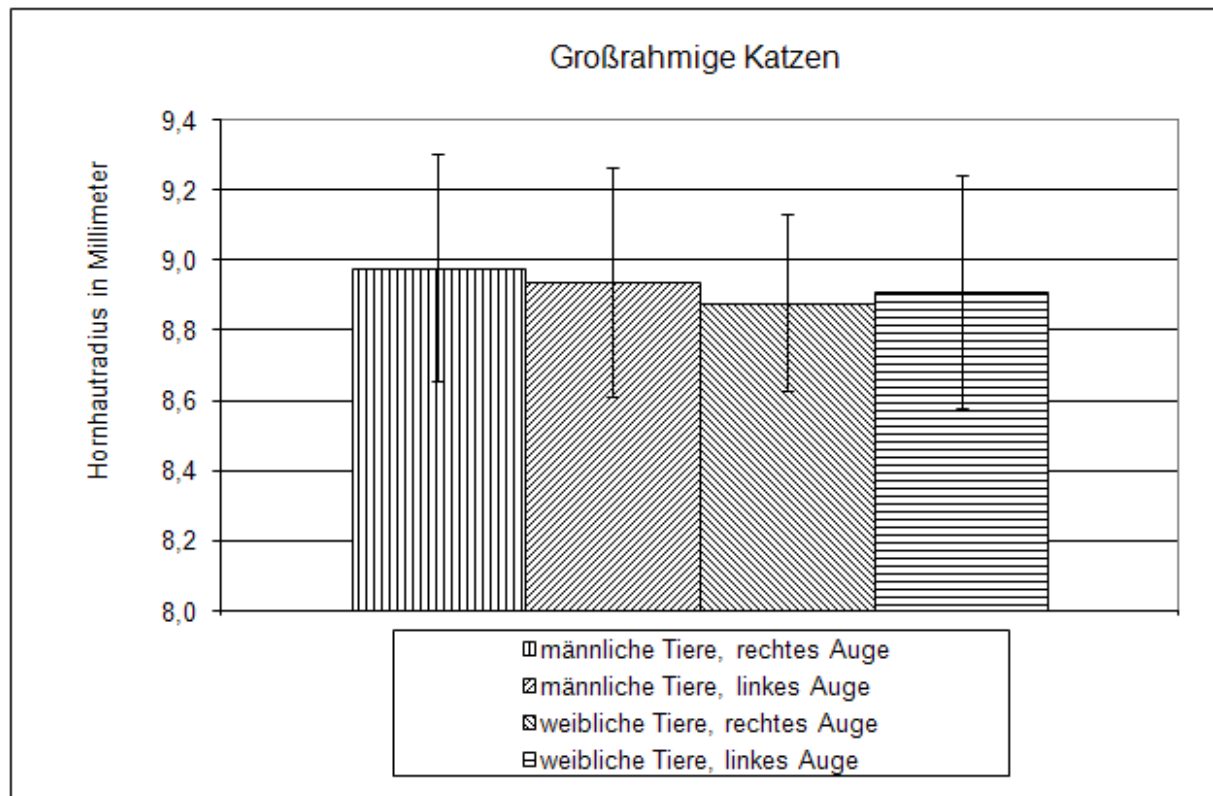


Abb. Nr. 34: Grafische Darstellung des horizontalen Hornhautradius in Millimeter zum Vergleich der Augenseite bei großbrahmigen Katzen (n = 45). Dargestellt sind die durchschnittlichen Messwerte aller männlichen und weiblichen adulten Tiere und die dazugehörige Standardabweichung.

Zur besseren Übersicht sind die Zahlenwerte der Rohdaten aus Abb. Nr. 34 und der bereinigten Mittelwerte in Tab. Nr. 17 zusammengestellt.

| | $\bar{x} \pm s$ (Rohdaten in mm) | $\bar{x} \pm s$ (bereinigter Mittelwert in mm) |
|------------------------|----------------------------------|--|
| Großbrahmig, m, rechts | 8,98 ± 0,33 | 8,81 ± 0,09 |
| Großbrahmig, m, links | 8,94 ± 0,33 | 8,77 ± 0,09 |
| Großbrahmig, w, rechts | 8,88 ± 0,25 | 8,88 ± 0,07 |
| Großbrahmig, w, links | 8,91 ± 0,33 | 8,92 ± 0,07 |

Tab. Nr. 17: Tabellarische Darstellung der Rohdaten und der bereinigten Mittelwerte des horizontalen Hornhautradius in Millimeter zum Vergleich der Augenseite bei großbrahmigen Rassen (n = 45), dabei steht \bar{x} für den arithmetischen Mittelwert, s für die Standardabweichung, mm für Millimeter, m für männlich und w für weiblich.

4.2.2 Einfluss der Gruppe auf Base1 (horizontaler Hornhautradius in Millimeter) und K1 (Brechkraft im horizontalen Meridian in Dioptrie)

Die arithmetischen Mittelwerte der biometrischen Daten des horizontalen Hornhautradius zeigen im Vergleich der der Gruppe keine signifikanten Unterschiede. Es werden nur Tiere, die 12 Monate oder älter sind, in die Auswertung mit einbezogen (n = 231).

Für Base1 des rechten und linken Auges wird ein p-Wert von 0,51 ermittelt, für K1 des rechten und linken Auges ergibt sich ein p-Wert von 0,48 die Werte sind statistisch nicht signifikant.

Es wurde mit Hilfe der Kovarianzanalyse auch untersucht, ob der Faktor der Gruppe einen Einfluss auf die Augenseite oder das Geschlecht hat. Es ergibt sich auch hier keine statistische Signifikanz.

In der Kovarianzanalyse sind alle adulten Katzen eingerechnet. In Gruppe 4 sind aber Katzen enthalten, die keiner Gruppe eindeutig zugeordnet werden können, deswegen wurde eine weitere Analyse ohne die Katzen anderer Rassen durchgeführt.

In der wiederholten Kovarianzanalyse, die nur die brachyzephalen Katzen, Europäisch Kurzhaar und die großrahmigen Katzen betrifft, die älter als 12 Monate sind (n = 219), ist der p-Werte für Base1 0,36, der p-Wert für K1 ist 0,35. Die Zugehörigkeit zu einer bestimmten Gruppe wirkt sich also nicht signifikant auf die biometrischen Daten der horizontalen Hornhautradien in Millimeter oder Dioptrie aus.

In den folgenden Abbildungen werden Rohdaten des horizontalen Hornhautradius in Millimeter des rechten (Abb. Nr. 36) und des linken Auges (Abb. Nr. 37) im Vergleich der verschiedenen Gruppen (brachyzephale Katzen, EKH, und großrahmige Katzen) grafisch dargestellt. Die Abbildungen zeigen, dass die Unterschiede zwischen den einzelnen Gruppen sehr klein sind.

Die durchschnittlichen Werte der Rohdaten des horizontalen Hornhautradius in Millimeter der rechten Augen sind in Abb. Nr. 35 dargestellt (Darstellung der einzelnen Gruppen, getrennt nach Geschlecht).

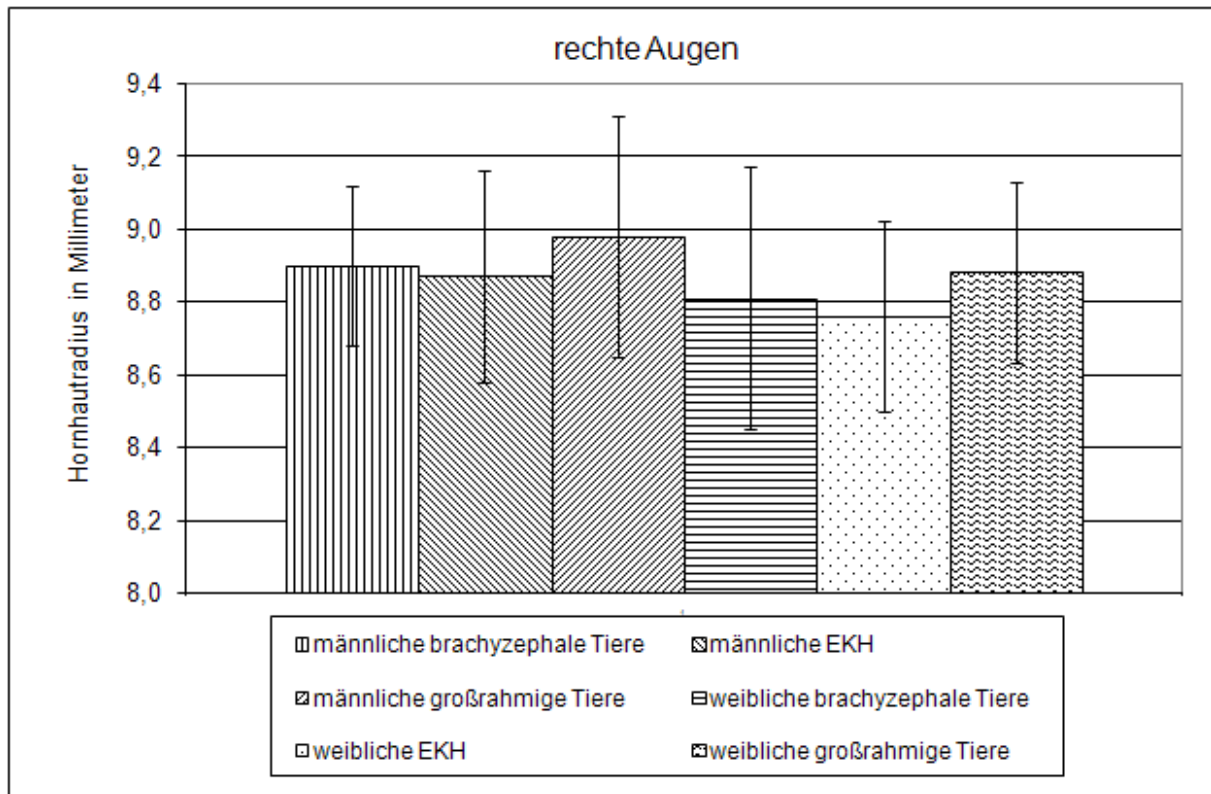


Abb. Nr. 35: Grafische Darstellung der Rohdaten des horizontalen Hornhautradius in Millimeter der rechten Augen zum Vergleich der verschiedenen Gruppen bzw. Kopfformen: brachyzephe Katzen (n = 18), EKH (n = 156), großrahmige Katzen (n = 45). Dargestellt sind die durchschnittlichen Messwerte aller adulten Tiere und die dazugehörige Standardabweichung. Dabei steht EKH für Europäisch Kurzhaar.

Abb. Nr. 36 stellt die durchschnittlichen Werte der Rohdaten des horizontalen Hornhautradius in Millimeter der linken Augen zum Vergleich der Gruppen, getrennt nach Geschlecht, dar.

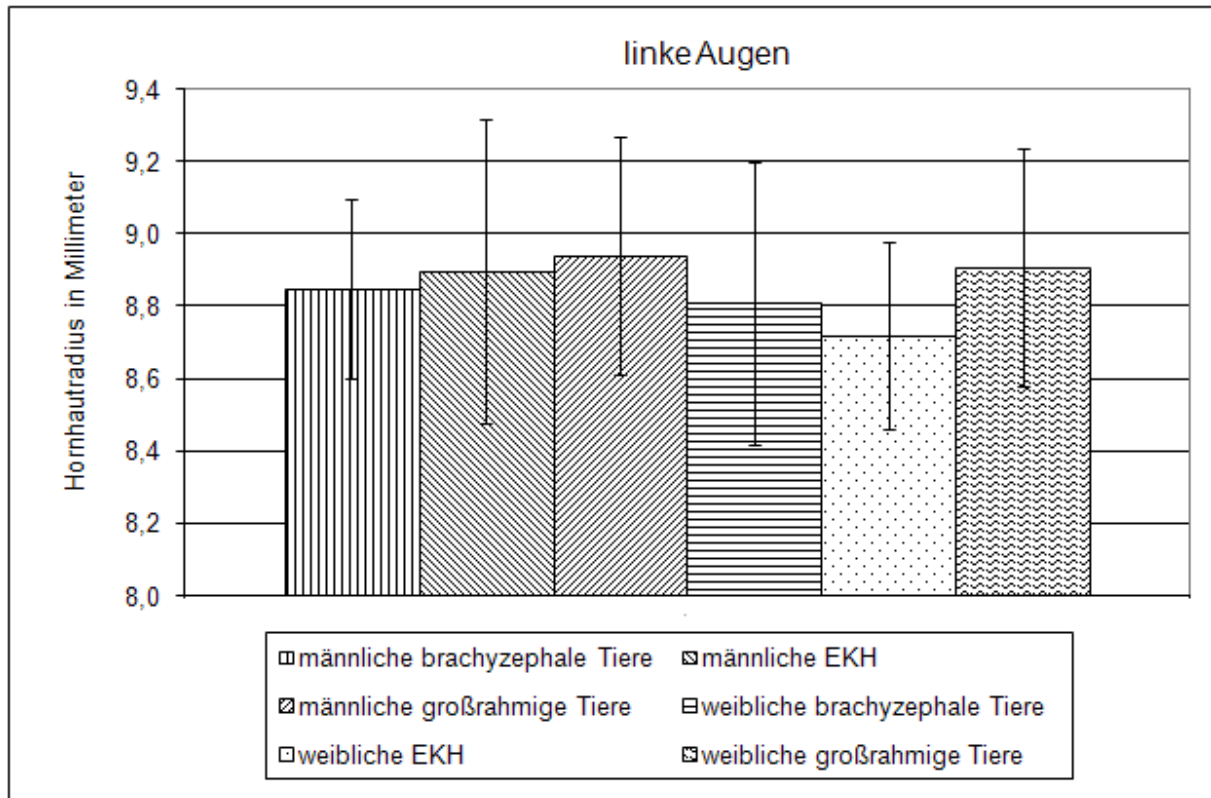


Abb. Nr. 36: Grafische Darstellung der Rohdaten des horizontalen Hornhautradius in Millimeter des linken Auges zum Vergleich der verschiedenen Gruppen bzw. Kopfformen: brachyzephe Katzen (n = 18), EKH (n = 156), großrahmige Katzen (n = 45). Dargestellt sind die durchschnittlichen Messwerte aller adulten Tiere und die dazugehörige Standardabweichung. Dabei steht EKH für Europäisch Kurzhaar.

Eine tabellarische Übersicht der Rohdaten des horizontalen Hornhautradius in Millimeter der rechten und linken Augen, getrennt nach Gruppe und Geschlecht, befindet sich in Kapitel 4.2.1, Tab. Nr. 15 (brachycephale Rassen), Tab. Nr. 16 (Europäisch Kurzhaar) und Tab. Nr. 17 (großrahmige Rassen).

In Tab. Nr. 18 werden die durchschnittlichen Werte der Rohdaten und der bereinigten Daten der Brechkraft der Hornhaut im horizontalen Meridian in Dioptrie (K1) für die Augen der verschiedenen Gruppen dargestellt.

| | \bar{x} (R/K1 re) \pm s | \bar{x} (M/K1 re) \pm s | \bar{x} (R/K1 li) \pm s | \bar{x} (M/K1 li) \pm s |
|-----------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| brachycephal, m | 37,94 \pm 1,00 | 37,82 \pm 0,57 | 38,16 \pm 1,10 | 38,04 \pm 0,57 |
| EKH, m | 38,09 \pm 1,24 | 38,29 \pm 0,18 | 37,98 \pm 1,62 | 38,18 \pm 0,18 |
| großrahmig, m | 37,62 \pm 1,32 | 38,37 \pm 0,4 | 37,78 \pm 1,33 | 38,52 \pm 0,4 |
| brachycephal, w | 38,35 \pm 1,60 | 37,93 \pm 0,46 | 38,35 \pm 1,68 | 37,93 \pm 0,46 |
| EKH, w | 38,55 \pm 1,15 | 38,31 \pm 0,17 | 38,72 \pm 1,19 | 38,48 \pm 0,17 |
| großrahmig, w | 38,05 \pm 1,10 | 38,01 \pm 0,28 | 37,92 \pm 1,39 | 37,89 \pm 0,28 |

Tab. Nr. 18: Datenbeschreibung der Rohdaten R und der bereinigten Mittelwerte M der durchschnittlichen Messwerte der Brechkraft der Hornhaut im horizontalen Meridian in Dioptrie (K1) und die Standardabweichung für brachycephale Katzen (n = 18), Katzen der Rasse EKH (n = 156) und großrahmige Katzen (n = 45), jeweils für rechte und linke Augen. Dabei steht \bar{x} für den arithmetischen Mittelwert, R für die Rohdaten, M für die bereinigten Daten, re für rechtes Auge, li für linkes Auge, EKH für Europäisch Kurzhaar, m für männlich, w für weiblich und s für die Standardabweichung.

4.2.3 Einfluss des Geschlechts auf Base1 (horizontaler Hornhautradius in Millimeter) und K1 (Brechkraft im horizontalen Meridian in Dioptrie)

Die arithmetischen Mittelwerte der biometrischen Daten zeigen im Vergleich des Geschlechts keine signifikanten Unterschiede. Als Datenbasis wurden die Messwerte aller untersuchten Katzen, die älter als 12 Monate sind, verwendet. Der Stichprobenumfang enthält n = 231.

Für Base1 des rechten und linken Auges wird ein p-Wert von 0,72 ermittelt, für K1 des rechten und linken Auges ergibt sich auch ein p-Wert von 0,72. Somit liegt kein statistisch signifikanter Zusammenhang vor.

Es wurde mit Hilfe der 3-faktoriellen Kovarianzanalyse auch untersucht, ob der Faktor des Geschlechts einen Einfluss auf die Gruppe oder die Augenseite hat. Es ergibt sich auch hier keine statistische Signifikanz.

4.2.4 Einfluss des Alters auf Base1 (horizontaler Hornhautradius in Millimeter) und K1 (Brechkraft im horizontalen Meridian in Dioptrie)

Die arithmetischen Mittelwerte der biometrischen Daten zeigen im Vergleich zum Alter signifikante Unterschiede bei Katzen, die älter als 12 Monate alt sind. Für Base1 des rechten und linken Auges wird ein p-Wert von 0,010 ermittelt, für K1 des rechten und linken Auges ergibt sich ein p-Wert von 0,007 (n = 231).

Jede Katze wurde nur ein Mal gemessen, es liegt keine Verlaufsuntersuchung vor. Wenn man die gemessenen Werte im Verhältnis zum Alter setzt, zeigt sich statistisch gesehen Folgendes:

- der Regressionskoeffizient für Base1 liegt bei 0,00109, dies bedeutet eine Zunahme des Hornhautradius von 0,00109 Millimeter pro Lebensmonat bei adulten Katzen. Dies bedeutet eine Zunahme des Hornhautradius in Millimeter um 0,01 Millimeter pro Lebensjahr.
- der Regressionskoeffizient für K1 liegt bei -0,00482, dies bedeutet eine Abnahme der Hornhautbrechkraft um 0,00482 Dioptrie pro Lebensmonat bei adulten Katzen, die älter als 12 Monate alt sind, dies bedeutet eine Abnahme der Hornhautbrechkraft in Dioptrie um 0,057 Dioptrie pro Lebensjahr einer Katze.

Mit Hilfe des Programms BMDP6D (bivariate scatter plots) wird außerdem der Zusammenhang zwischen dem Alter aller untersuchten Katzen und den Messwerten ermittelt. Dieser Einfluss kann durch eine nicht-lineare Regressionsgleichung (Formel Nr. 10) dargestellt werden:

$$Y = E - a * e^{(-b * x)} + \varepsilon$$

Formel Nr. 10: Formel für die Berechnung des horizontalen Hornhautradius in Millimeter in Abhängigkeit vom Alter, dabei steht Y für die zu untersuchende Messvariable, E für den mittleren Endwert der Messungen, a für den mittleren Anstieg bis zum mittleren Endwert, e für die Eulersche Zahl (2,71828), b für den logarithmischen Steigungskoeffizienten, x für das Alter der Tiere in Monaten und ε für die Zufallsabweichung.

Die jeweils einzusetzenden Konstanten sind in Tab. Nr. 19 aufgelistet.

| | E | a | b |
|--------------|-------|-------|-------|
| Base1 rechts | 8,86 | -3,99 | -0,25 |
| Base1 links | 8,86 | -4,04 | -0,25 |
| K1 rechts | 38,26 | 28,51 | -0,34 |
| K1 links | 38,28 | 29,66 | -0,34 |

Tab. Nr. 19: tabellarische Auflistung der in die Berechnungsformel Nr. 10 einzusetzenden Konstanten.

Abb. Nr. 37 zeigt die Messwerte des horizontalen Hornhautradius in Millimeter der rechten und linken Augen aller untersuchten Katzen in Abhängigkeit vom Alter, zusammen mit der jeweils errechneten Kurve der Exponentialfunktion.

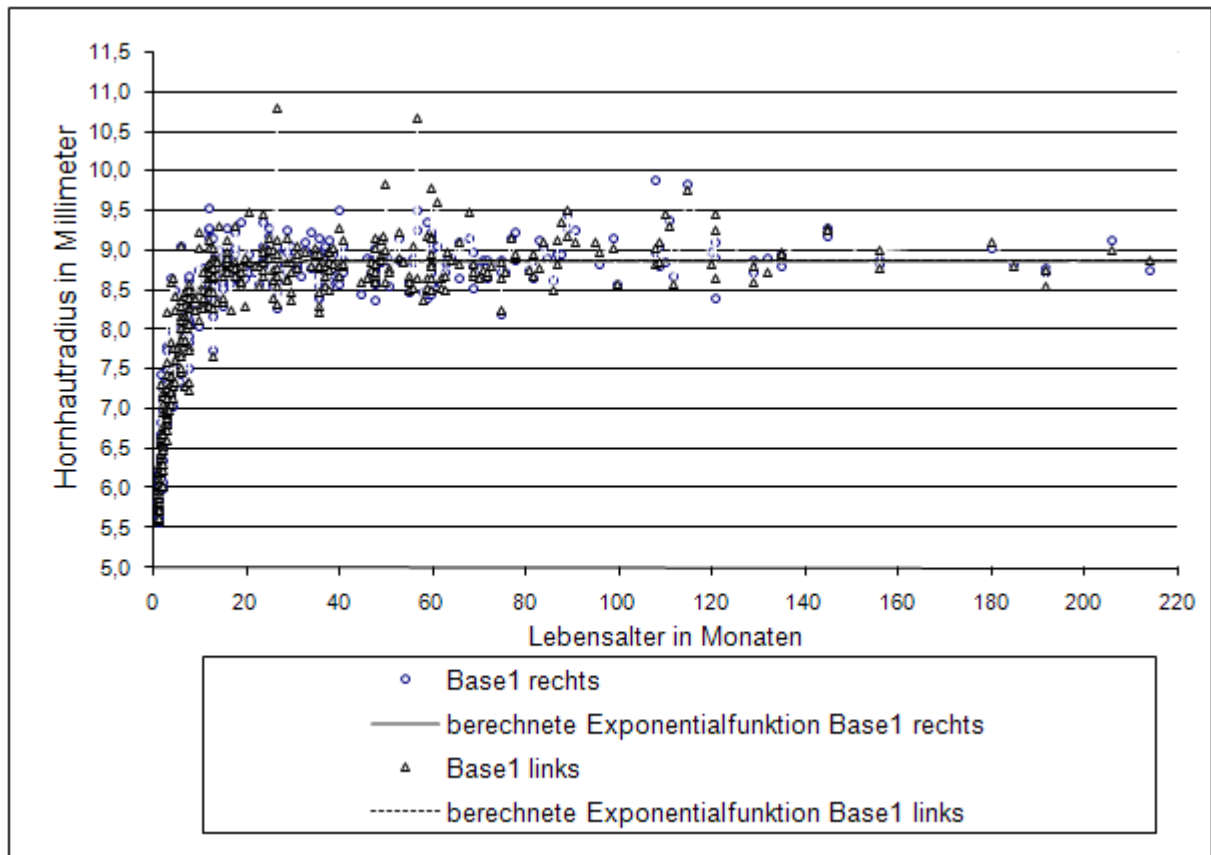


Abb. Nr. 37: Vergleich des horizontalen Hornhautradius in Millimeter der rechten und linken Augen in Abhängigkeit vom Alter: Es werden die einzelnen Messwerte aller untersuchten Katzen (rechte Augen $n = 377$, linke Augen $n = 370$) sowie die Kurve der für das Wachstum berechneten Exponentialfunktion grafisch dargestellt.

Die Abbildung veranschaulicht, dass sich der Hornhautradius in Millimeter in Abhängigkeit vom Alter umgekehrt exponentiell ansteigend verhält. Die berechneten Regressionskurven sind fast identisch, so dass es quasi zu einer Überlagerung beider Kurven kommt. Die Abb. Nr. 38 macht zudem deutlich, dass sich das Wachstum der Hornhaut ab einem bestimmten Zeitpunkt linear verändert.

Zur besseren Ansicht des Verlaufs während des Wachstums werden in Abb. Nr. 38 die Messwerte von Katzen bis zum 24. Lebensmonat aufgeführt.

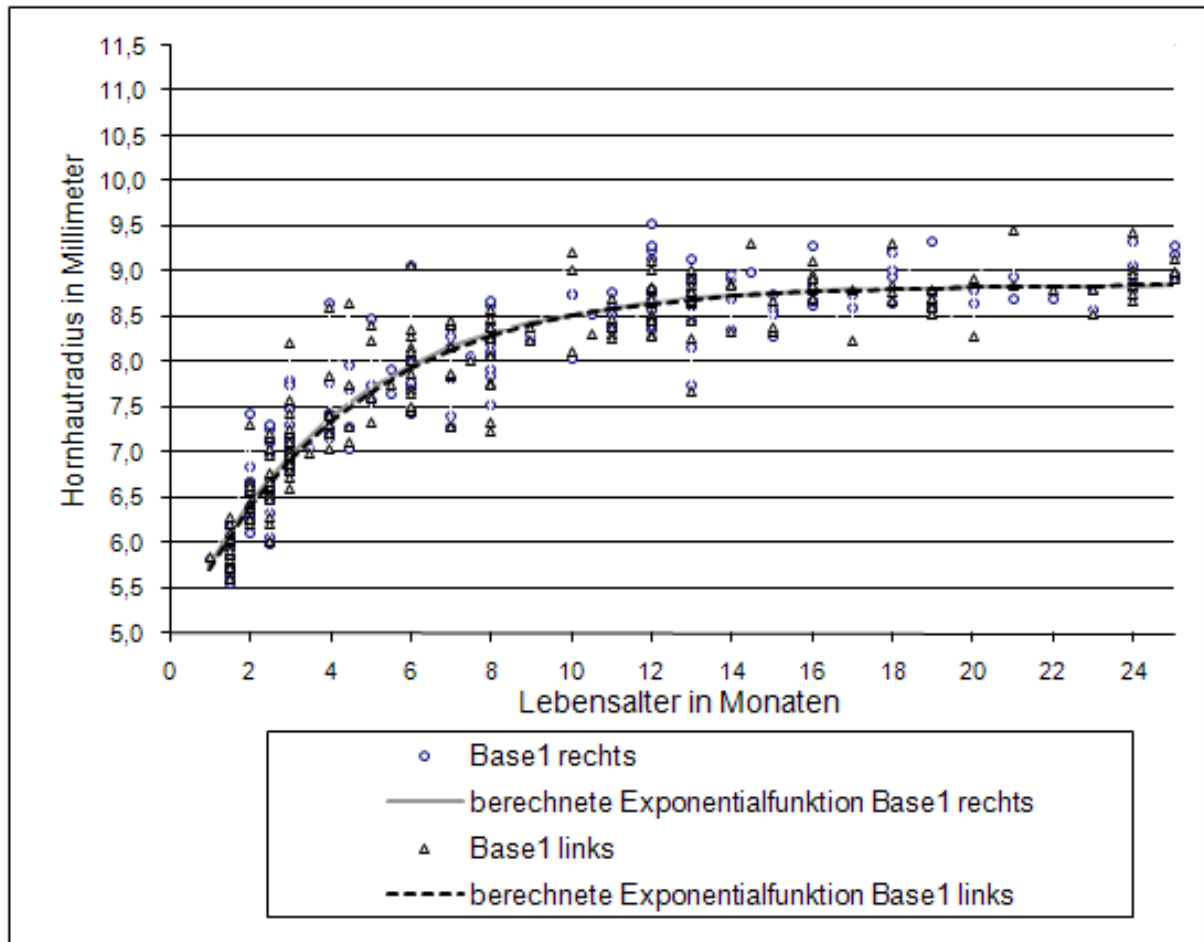


Abb. Nr. 38: Vergleich des horizontalen Hornhautradius in Millimeter der rechten und linken Augen in Abhängigkeit vom Alter: Es werden die einzelnen Messwerte aller untersuchten Katzen bis zum 24. Lebensmonat (rechte Augen $n = 204$, linke Augen $n = 201$) sowie die Kurve der für das Wachstum berechneten Exponentialfunktion grafisch dargestellt.

Mit ca. 15 Monaten wird eine Anpassung an 99 Prozent des mittleren Endwertes des horizontalen Hornhautradius in Millimeter erreicht.

Exemplarisch zeigt Abb. Nr. 39 den Verlauf der Messwerte der Brechkraft der Hornhaut im horizontalen Meridian in Dioptrie der rechten und linken Augen zusammen mit der jeweils errechneten Kurve der Exponentialfunktion.

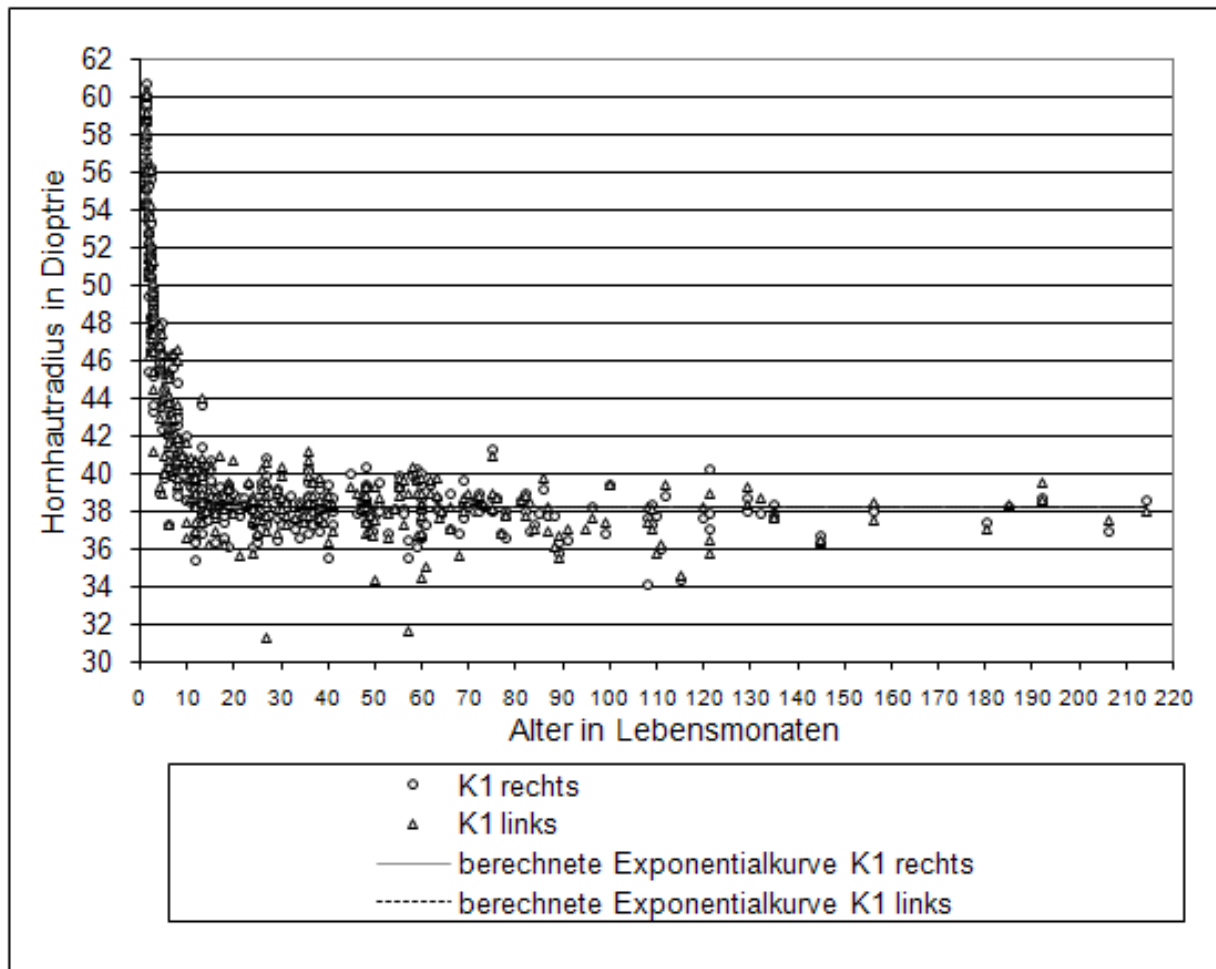


Abb. Nr. 39: Vergleich der Brechkraft der Hornhaut im horizontalen Meridian in Dioptrie der rechten und linken Augen in Abhängigkeit vom Alter: Es werden die einzelnen Messwerte aller untersuchten Katzen (rechte Augen $n = 377$, linke Augen $n = 370$) sowie die Kurve der für das Wachstum berechneten Exponentialkurve grafisch dargestellt.

4.2.5 Einfluss der Körpermasse auf Base1 (horizontaler Hornhautradius in Millimeter) und K1 (Brechkraft im horizontalen Meridian in Dioptrie)

Die arithmetischen Mittelwerte der biometrischen Daten zeigen im Vergleich der Körpermasse signifikante Unterschiede. In einer 2-faktoriellen Kovarianzanalyse werden die p-Werte errechnet. Für Base1 des rechten und linken Auges wird ein p-Wert von $<0,0001$ ermittelt, ebenso gilt dieser Wert für K1 des rechten und linken Auges.

Die Körpermasse hat also einen entscheidenden Einfluss auf die Messwerte.

Des Weiteren wurde der Einfluss aller Kovariablen (Körpermasse und Alter) auf die

Messwerte bestimmt, dieser ist mit $p < 0,0001$ statistisch signifikant.

Durch die Regressionsgleichung (Formel Nr. 11) erhält man den Vorhersagewert für eine adulte Katze über 12 Monate:

$$Y = a + b \cdot (KM - \bar{KM})$$

Formel Nr. 11: Dabei steht Y für die zu untersuchende Messvariable, a für den bereinigten Mittelwert, b für den Regressionskoeffizienten, KM für Körpermasse und \bar{KM} für das durchschnittliche Gewicht einer adulten Katze in der vorliegenden statistischen Auswertung (4,35 Kilogramm).

Die jeweils einzusetzenden Konstanten sind in Tab. Nr. 20 aufgelistet.

| | a | b |
|--------------|-------|--------|
| Base1 rechts | 8,86 | 0,097 |
| Base1 links | 8,86 | 0,097 |
| K1 rechts | 38,13 | -0,421 |
| K1 links | 38,13 | -0,421 |

Tab. Nr. 20: tabellarische Auflistung der in die Berechnungsformel Nr. 11 einzusetzenden Konstanten.

Jede Katze wurde nur ein Mal gemessen, es liegt keine Verlaufsuntersuchung vor. Wenn man die gemessenen Werte ins Verhältnis zum Gewicht setzt, zeigt sich statistisch gesehen Folgendes:

- der Regressionskoeffizient für Base1 liegt bei 0,097, der für K1 liegt bei -0,421, dies bedeutet eine Zunahme des Hornhautradius um 0,097 in Millimeter und eine Abnahme der Hornhautbrechkraft um 0,421 Dioptrie pro Kilogramm Körpermasse. Bei einer Katze, die z.B. 3 Kilogramm Körpermasse besitzt, liegt der Vorhersagewert des horizontalen Hornhautradius bei 8,71 Millimeter, bei einer 6 Kilogramm schweren Katze bei 9,00 Millimeter.

In Abb. Nr. 40 wird exemplarisch die Abhängigkeit des horizontalen Hornhautradius in Millimeter von der Körpermasse dargestellt, außerdem wird der Verlauf der Regressionsgeraden bei allen adulten Katzen gezeigt.

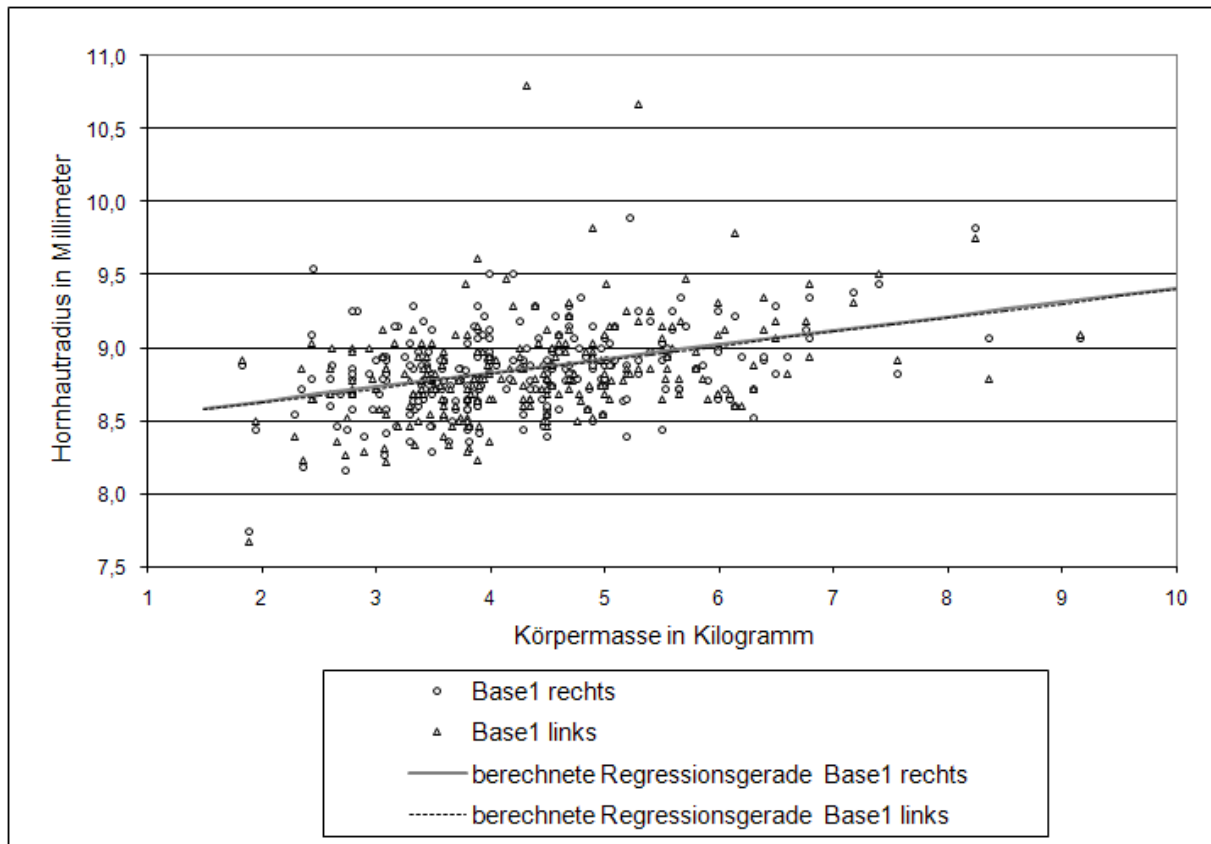


Abb. Nr. 40: grafische Darstellung des Zusammenhangs von Körpermasse in Kilogramm und horizontalem Hornhautradius in Millimeter von Katzen, die älter als 12 Monate sind (rechte Augen n = 244, linke Augen n = 230).

4.3 Vertikaler Hornhautradius

4.3.1 Einfluss der Augenseite auf Base2 (vertikaler Hornhautradius in Millimeter) und K2 (Brechkraft im vertikalen Meridian in Dioptrie)

Die arithmetischen Mittelwerte der biometrischen Daten zeigen im Vergleich beider Augen keine signifikanten Unterschiede. Hierbei gehen 231 adulte Katzen in die statistischen Auswertungen mit ein (Katzen ≥ 12 Monate).

Für Base2 des rechten und linken Auges wird ein p-Wert von 0,65 ermittelt, für K2 des rechten und linken Auges ergibt sich ein p-Wert von 0,17. Dies bedeutet, dass keine auffälligen Differenzen zwischen rechten und linken Augen existieren.

Es wurde mit Hilfe der Kovarianzanalyse auch untersucht, ob der Faktor der Augenseite einen Einfluss auf die Gruppe oder das Geschlecht hat. Es ergibt sich hier keine statistische Signifikanz.

Aus diesem Grund wurden bei den folgenden statistischen Untersuchungen die rechten und linken Augen gemeinsam ausgewertet. Zur besseren Übersicht sind die verschiedenen Gruppen einzeln abgebildet (brachyzephe Katzen in Abb. Nr. 41, Europäisch Kurzhaar in Abb. Nr. 42, und großbrahmige Katzen in Abb. Nr. 43).

Eine grafische Darstellung der Rohdaten des vertikalen Hornhautradius in Millimeter zum Seitenvergleich in der Gruppe der brachycephalen Katzen zeigt Abb. Nr. 41.

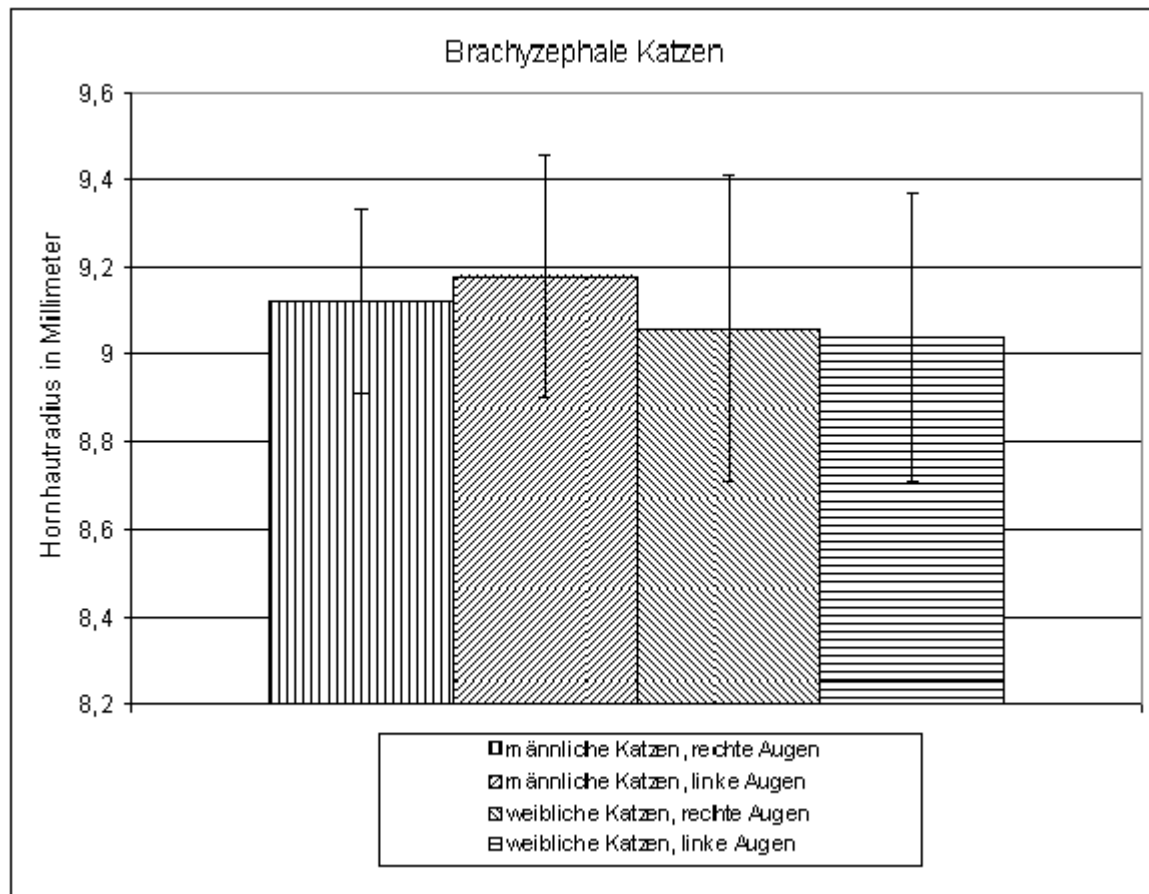


Abb. Nr. 41: grafische Darstellung des vertikalen Hornhautradius in Millimeter zum Vergleich der Augenseite bei brachycephalen Katzen (n = 18). Dargestellt sind die durchschnittlichen Messwerte aller männlichen und weiblichen adulten Tiere und die dazugehörige Standardabweichung.

Zur besseren Übersicht sind die Zahlenwerte der Rohdaten der Abb. Nr. 42 sowie der bereinigten Mittelwerte in Tab. Nr. 21 zusammengestellt.

| | $\bar{x} \pm s$ (Rohdaten in mm) | $\bar{x} \pm s$ (bereinigter Mittelwert in mm) |
|-------------------------|----------------------------------|--|
| Brachycephal, m, rechts | 9,12 ± 0,21 | 9,15 ± 0,14 |
| Brachycephal, m, links | 9,18 ± 0,28 | 9,21 ± 0,14 |
| Brachycephal, w, rechts | 9,06 ± 0,35 | 9,15 ± 0,11 |
| Brachycephal, w, links | 9,04 ± 0,33 | 9,13 ± 0,11 |

Tab. Nr. 21: tabellarische Darstellung der Rohdaten und bereinigten Mittelwerte des vertikalen Hornhautradius in Millimeter zum Vergleich der Augenseite bei brachycephalen Rassen (n = 18), dabei steht \bar{x} für den arithmetischen Mittelwert, s für die Standardabweichung, mm für Millimeter, m für männlich und w für weiblich.

Die durchschnittlichen Messwerte der Rohdaten des vertikalen Hornhautradius in Millimeter der rechten und linken Augen der größten Gruppe der Europäisch Kurzhaar werden in Abb. Nr. 42 dargestellt.

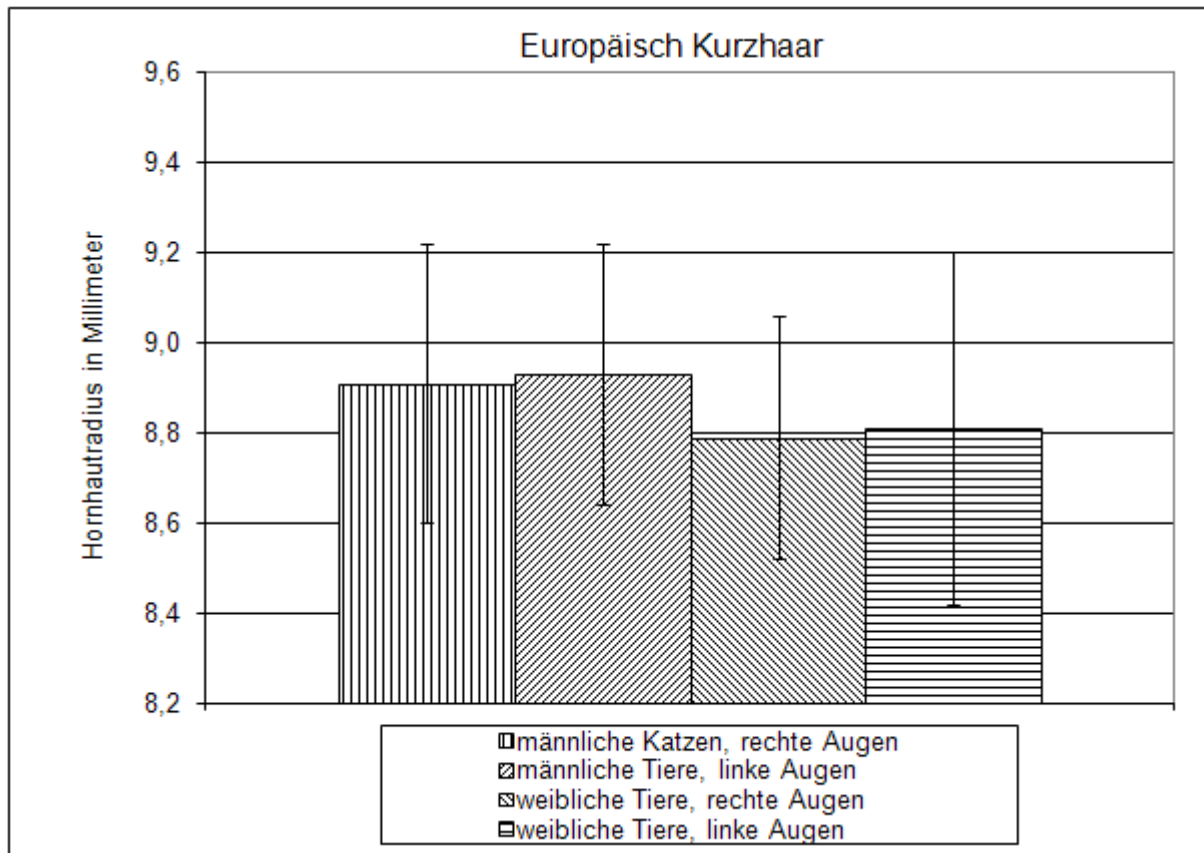


Abb. Nr. 42: grafische Darstellung des vertikalen Hornhautradius zum Vergleich der Augenseite bei Europäisch Kurzhaar (n = 156). Dargestellt sind die durchschnittlichen Messwerte aller männlichen und weiblichen adulten Tiere und die dazugehörige Standardabweichung.

Zur besseren Übersicht sind die Zahlenwerte der Abb. Nr. 43 in Tab. Nr. 22 zusammengestellt. Außerdem werden die bereinigten Mittelwerte in Millimeter angeführt.

| | $\bar{x} \pm s$ (Rohdaten in mm) | $\bar{x} \pm s$ (bereinigter Mittelwert in mm) |
|----------------|----------------------------------|--|
| EKH, m, rechts | 8,91 \pm 0,31 | 8,87 \pm 0,04 |
| EKH, m, links | 8,93 \pm 0,29 | 8,89 \pm 0,04 |
| EKH, w, rechts | 8,79 \pm 0,27 | 8,84 \pm 0,04 |
| EKH, w, links | 8,81 \pm 0,39 | 8,86 \pm 0,04 |

Tab. Nr. 22: tabellarische Darstellung des vertikalen Hornhautradius zum Vergleich der Augenseite bei EKH (n = 156), dabei steht EKH für Europäisch Kurzhaar, \bar{x} für den arithmetischen Mittelwert, s für die Standardabweichung, mm für Millimeter, m für männlich und w für weiblich.

Abb. Nr. 43 stellt die Rohdaten des vertikalen Hornhautradius in Millimeter der Gruppe der großrahmigen Katzen zum Vergleich von rechten und linken Augen dar.

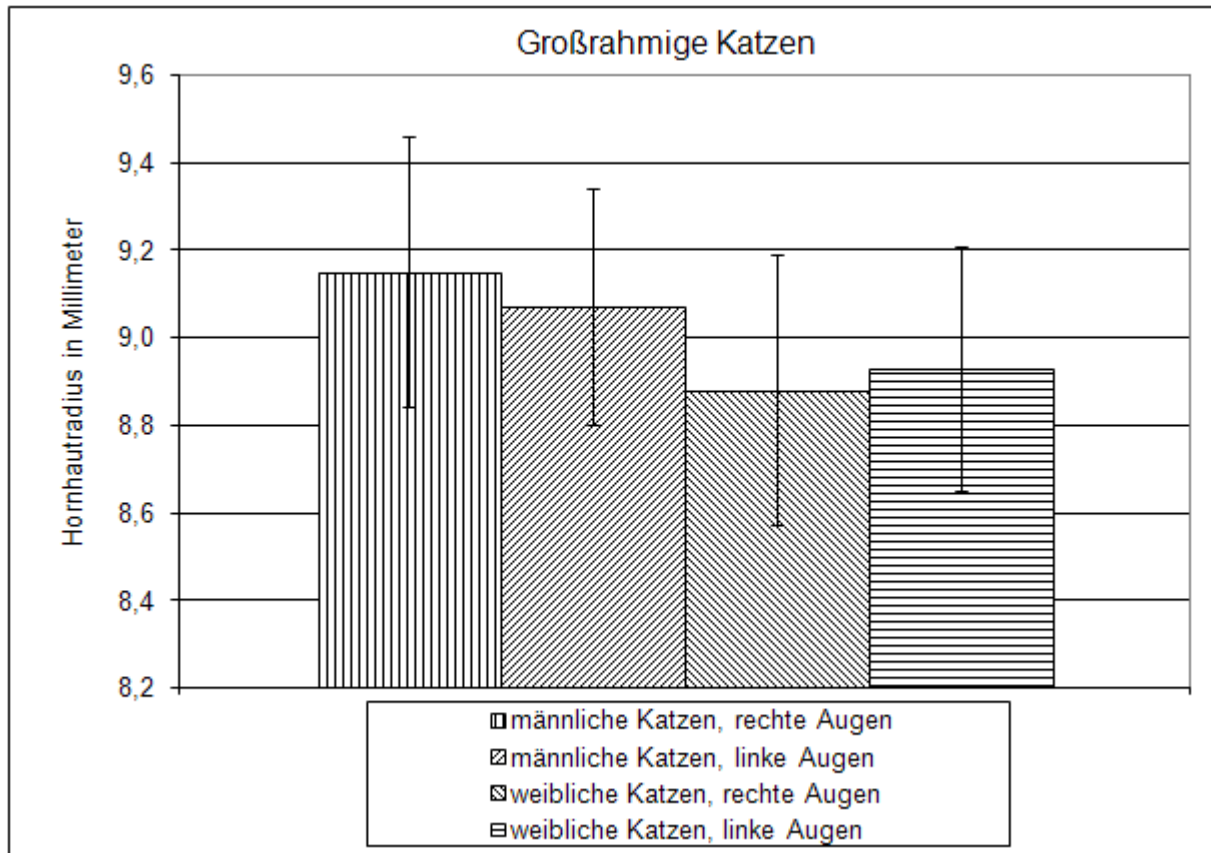


Abb. Nr. 43: grafische Darstellung des vertikalen Hornhautradius in Millimeter zum Vergleich der Augenseite bei großrahmigen Katzen (n = 42). Dargestellt sind die durchschnittlichen Messwerte aller männlichen und weiblichen adulten Tiere und die dazugehörige Standardabweichung.

Zur besseren Übersicht sind die Zahlenwerte der Abb. Nr. 44 in Tab. Nr. 23 zusammengestellt (zusätzlich werden die berechneten Messwerte der bereinigten Daten aufgeführt).

| | $\bar{x} \pm s$ (Rohdaten in mm) | $\bar{x} \pm s$ (bereinigter Mittelwert in mm) |
|-----------------------|----------------------------------|--|
| Großrahmig, m, rechts | 9,15 ± 0,31 | 8,99 ± 0,10 |
| Großrahmig, m, links | 9,07 ± 0,27 | 8,91 ± 0,10 |
| Großrahmig, w, rechts | 8,88 ± 0,31 | 8,89 ± 0,07 |
| Großrahmig, w, links | 8,93 ± 0,28 | 8,94 ± 0,07 |

Tab. Nr. 23: tabellarische Darstellung des horizontalen Hornhautradius in Millimeter zum Vergleich der Augenseite bei großrahmigen Rassen (n = 42). Dabei steht \bar{x} für den arithmetischen Mittelwert, s für die Standardabweichung, mm für Millimeter, m für männlich und w für weiblich.

4.3.2 Einfluss der Gruppe auf Base2 (vertikaler Hornhautradius in Millimeter) und K2 (Brechkraft im vertikalen Meridian in Dioptrie)

Die arithmetischen Mittelwerte der biometrischen Daten zeigen im Vergleich der Gruppe statistisch signifikante Unterschiede. Für Base2 des rechten und linken Auges wird ein p-Wert von 0,0003 ermittelt, der gleiche Wert ergibt sich für K2 des rechten und linken Auges (n = 231).

Es wurde mit Hilfe der Kovarianzanalyse auch untersucht, ob der Faktor der Gruppe einen Einfluss auf die Augenseite oder das Geschlecht hat. Hier ergibt sich keine statistische Signifikanz.

In Abb. Nr. 44 werden die Rohdaten des vertikalen Hornhautradius in Millimeter der rechten Augen bei den verschiedenen Gruppen, getrennt nach Geschlecht, dargestellt.

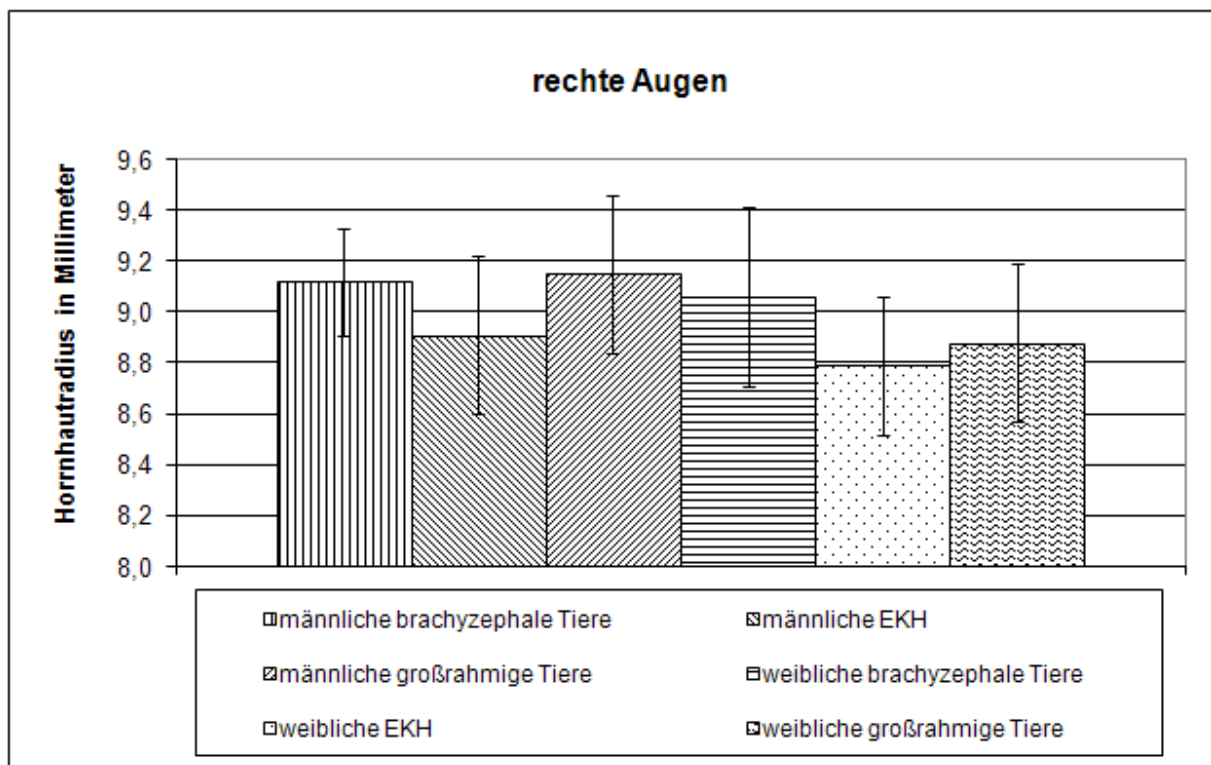


Abb. Nr. 44: grafische Darstellung der Rohdaten des vertikalen Hornhautradius in Millimeter der rechten Augen zum Vergleich der verschiedenen Gruppen bzw. Kopfformen: brachyzephe Katzen (n = 18), EKH (n = 156), großrahmige Katzen (n = 45). Dargestellt sind die durchschnittlichen Messwerte aller adulten Tiere und die dazugehörige Standardabweichung.

Abb. Nr. 45 stellt die Rohdaten des vertikalen Hornhautradius in Millimeter der linken Augen dar, getrennt nach Geschlecht und Gruppe.

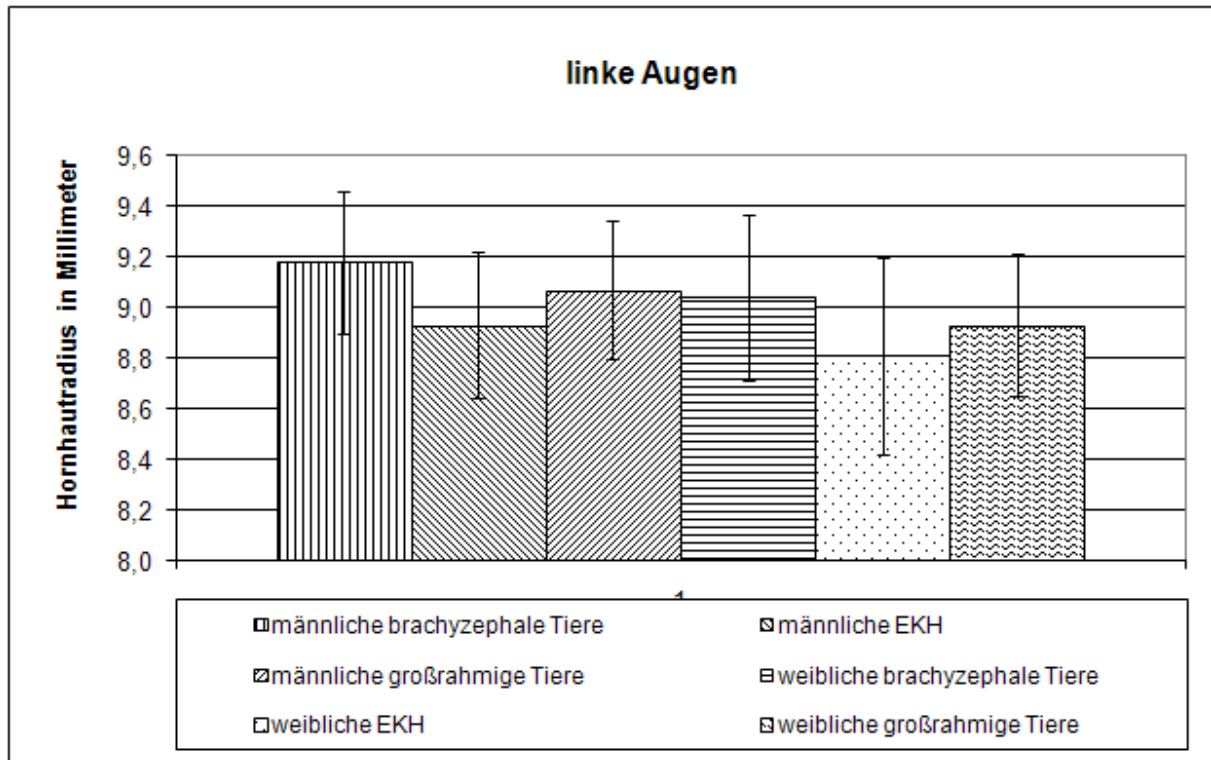


Abb. Nr. 45: grafische Darstellung des vertikalen Hornhautradius in Millimeter des linken Auges zum Vergleich der verschiedenen Gruppen: brachycephale Katzen (n = 18), EKH (n = 156), großrahmige Katzen (n = 45). Dargestellt sind die durchschnittlichen Messwerte aller adulten Tiere und die dazugehörige Standardabweichung.

Tab. Nr. 24 listet die Rohdaten und die Daten der bereinigten Mittelwerte der Brechkraft der Hornhaut im vertikalen Meridian in Dioptrie zum Vergleich bei den einzelnen Gruppen, aufgliedert in männliche und weibliche Tiere, sowie in rechte und linke Augen bei Katzen \geq 12 Monate auf.

| | \bar{x} (R/K2 re) \pm s | \bar{x} (M/K2 re) \pm s | \bar{x} (R/K2 li) \pm s | \bar{x} (M/K2 li) \pm s |
|-----------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| brachyzephal, m | 37,03 \pm 0,87 | 36,90 \pm 0,61 | 36,80 \pm 1,15 | 36,67 \pm 0,61 |
| brachyzephal, w | 37,30 \pm 1,46 | 36,90 \pm 0,49 | 37,36 \pm 1,40 | 36,96 \pm 0,49 |
| EKH, m | 37,92 \pm 1,31 | 38,11 \pm 0,19 | 37,84 \pm 1,23 | 38,03 \pm 0,19 |
| EKH, w | 38,42 \pm 1,23 | 38,2 \pm 0,18 | 38,37 \pm 1,60 | 38,15 \pm 0,18 |
| großrahmig, m | 36,93 \pm 1,25 | 37,62 \pm 0,43 | 37,23 \pm 1,08 | 37,92 \pm 0,43 |
| großrahmig, w | 38,03 \pm 1,33 | 38,01 \pm 0,3 | 37,85 \pm 1,26 | 37,82 \pm 0,3 |

Tab. Nr. 24: Darstellung der Rohdaten R und der bereinigten Mittelwerte M zum Vergleich der Brechkraft der Hornhaut im vertikalen Meridian in Dioptrie bei den einzelnen Gruppen [brachyzephaler Katzen (n = 18), EKH (n = 156), großrahmige Katzen (n = 45)], aufgliedert in männlich und weiblich, sowie rechtes und linkes Auge, dabei steht \bar{x} für den arithmetischen Mittelwert, R für die Rohdaten, M für die bereinigten Daten, re für rechtes Auge, li für linkes Auge, EKH für Europäisch Kurzhaar, m für männlich, w für weiblich und s für die Standardabweichung.

4.3.3 Einfluss des Geschlechts auf Base2 (vertikaler Hornhautradius in Millimeter) und K2 (Brechkraft im vertikalen Meridian in Dioptrie)

Die arithmetischen Mittelwerte der biometrischen Daten zeigen im Vergleich des Geschlechts keine statistisch signifikanten Unterschiede. Für Base2 des rechten und linken Auges wird ein p-Wert von 0,98 ermittelt, der p-Wert für K2 des rechten und linken Auges ist 0,74. Es wurde mit Hilfe der Kovarianzanalyse auch untersucht, ob der Faktor des Geschlechts einen Einfluss auf die Augenseite oder die Gruppe hat. Hier ergibt sich keine statistische Signifikanz.

Es wurden die Messwerte aller untersuchten adulten Katzen als Datenbasis verwendet (n = 231).

4.3.4 Einfluss des Alters auf Base2 (vertikaler Hornhautradius in Millimeter) und K2 (Brechkraft im vertikalen Meridian in Dioptrie)

Die arithmetischen Mittelwerte der biometrischen Daten zeigen im Vergleich des Alters Unterschiede. Für Base2 des rechten und linken Auges wird ein p-Wert von 0,051 ermittelt, für K2 des rechten und linken Auges ergibt sich ein p-Wert von 0,057 (n = 231). Diese p-Werte sind statistisch knapp nicht signifikant, aber auffällig. Dies kann ein Hinweis sein,

dass diese Variablen eine Rolle spielen können. Zur weiteren Abklärung wurde eine neue Auswertung durchgeführt, die nur die brachycephalen, großrahmigen Katzen und Europäischen Kurzhaar betrifft (n = 219). Der ermittelte p-Wert für Base2 liegt bei 0,046, der p-Wert für K2 liegt bei 0,049. Diese Werte zeigen eine knappe statistische Signifikanz.

Jede Katze wurde nur ein Mal gemessen, es liegt keine Verlaufsuntersuchung vor. Wenn man die gemessenen Werte im Verhältnis zum Alter setzt, dann zeigt sich statistisch gesehen Folgendes:

- der Regressionskoeffizient für Base2 liegt bei 0,00087. Dies bedeutet eine Zunahme des Hornhautradius von 0,00087 Millimeter pro Lebensmonat bei adulten Katzen, die älter als 12 Monate alt sind. Pro Jahr nimmt der Hornhautradius in Millimeter um 0,01 Millimeter zu.
- der Regressionskoeffizient für K2 liegt bei -0,00364. Dies bedeutet eine Abnahme der Hornhautbrechkraft um 0,00364 Dioptrie pro Lebensmonat bei adulten Katzen, die älter als 12 Monate alt sind. Pro Jahr nimmt die Hornhautbrechkraft in Dioptrie um 0,04 Dioptrie ab.

Dieser Einfluss kann durch die nicht-lineare Regressionsgleichung (Formel Nr. 12) dargestellt werden:

$$Y = E - a * e^{(-b * x)} + \varepsilon$$

Formel Nr. 12: Formel für die Berechnung des vertikalen Hornhautradius in Millimeter in Abhängigkeit vom Alter, dabei steht Y für die zu untersuchende Messvariable, E für den mittleren Endwert der Messungen, a für den mittleren Anstieg bis zum mittleren Endwert, e für die Eulersche Zahl (2,71828), b für den logarithmischen Steigungskoeffizienten, x für das Alter der Tiere in Monaten und ε für die Zufallsabweichung.

Die jeweils einzusetzenden Konstanten sind in Tab. Nr. 25 aufgelistet.

| | E | a | b |
|--------------|-------|-------|--------|
| Base2 rechts | 8,91 | -4,28 | -0,263 |
| Base2 links | 8,93 | -4,31 | -0,260 |
| K2 rechts | 38,03 | 30,95 | -0,356 |
| K2 links | 38,03 | 33,34 | -0,381 |

Tab. Nr. 25: tabellarische Auflistung der in die Berechnungsformel Nr. 12 einzusetzenden Konstanten.

Die Abb. Nr. 46 zeigt die Messwerte der horizontalen Hornhautradien in Millimeter der rechten und linken Augen aller untersuchten Katzen in Abhängigkeit vom Alter, zusammen mit der jeweils errechneten Kurve der Exponentialfunktion.

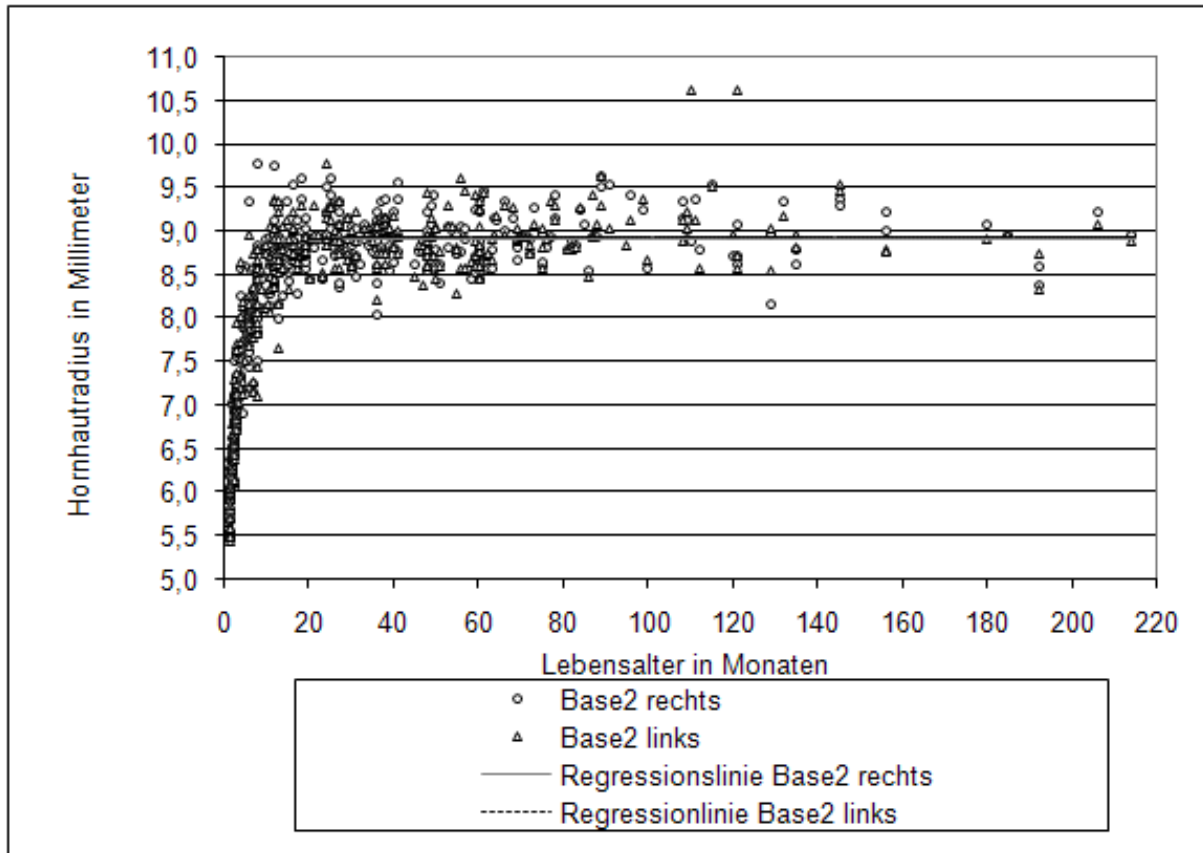


Abb. Nr. 46: Vergleich des vertikalen Hornhautradius in Millimeter der rechten und linken Augen in Abhängigkeit vom Alter: Es werden die einzelnen Messwerte aller untersuchten Katzen (rechte Augen $n = 377$, linke Augen $n = 370$) sowie die Kurve der für das Wachstum berechneten Regressionskurve grafisch dargestellt.

Die Abbildung veranschaulicht, dass sich der Hornhautradius in Millimeter in Abhängigkeit vom Alter umgekehrt exponentiell ansteigend verhält. Die berechneten Regressionskurven sind fast identisch, so dass es zu einer Überlagerung beider Kurven kommt.

Die Abb. Nr. 47 macht zudem deutlich, dass sich das Wachstum der Hornhaut ab einem bestimmten Zeitpunkt linear verändert. Mit ca. 15 Monaten wird eine Anpassung an den mittleren Endwert erlangt.

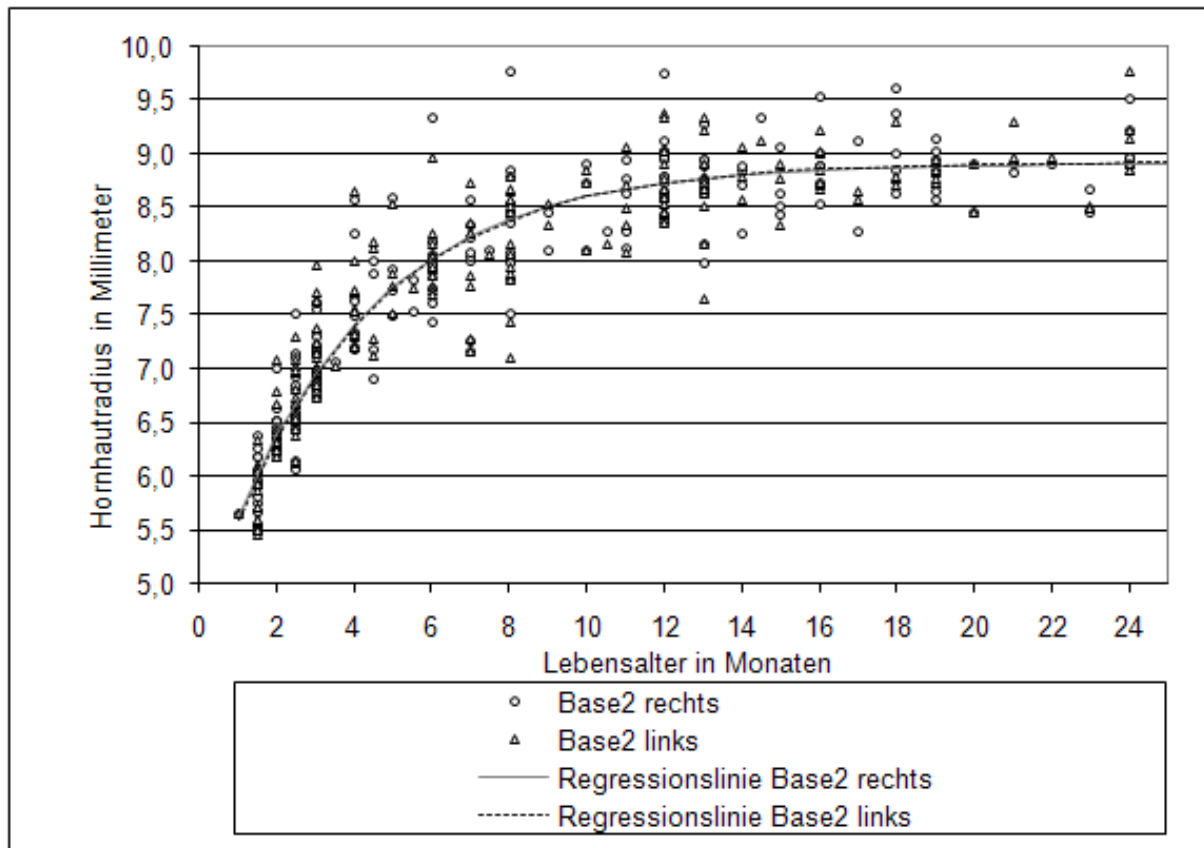


Abb. Nr. 47: Vergleich des vertikalen Hornhautradius in Millimeter der rechten und linken Augen in Abhängigkeit vom Alter: Es werden die einzelnen Messwerte aller untersuchten Katzen bis zum 24. Lebensmonat (rechte Augen $n = 204$, linke Augen $n = 201$) sowie die Kurve der für das Wachstum berechneten Regressionskurve grafisch dargestellt.

4.3.5 Einfluss der Körpermasse auf Base2 (vertikaler Hornhautradius in Millimeter) und K2 (Breckraft im vertikalen Meridian in Dioptrie)

Die arithmetischen Mittelwerte der biometrischen Daten zeigen im Vergleich der Körpermasse signifikante Unterschiede. Für Base2 und K2 des rechten und linken Auges wird jeweils ein p-Wert von $<0,0001$ ermittelt ($n = 231$).

Wenn man die gemessenen Werte im Verhältnis zum Gewicht setzt, zeigt sich Folgendes:

- der Regressionskoeffizient für Base2 liegt bei 0,08865. Dies bedeutet eine Zunahme des Hornhautradius von 0,08865 Millimeter pro Kilogramm Körpermasse bei adulten Katzen (mit durchschnittlichem Alter und Körpermasse), die älter als 12 Monate alt sind. Zwischen Base2 der rechten und linken Augen und der Körpermasse liegt ein exponentiell steigender

Zusammenhang vor.

▪ der Regressionskoeffizient für K2 liegt bei -0,39374, dies bedeutet eine Abnahme der Hornhautbrechkraft um 0,39374 Dioptrie pro Kilogramm Körpermasse bei adulten Katzen (mit durchschnittlichem Alter und Körpermasse), die älter als 12 Monate alt sind. Zwischen K2 der rechten und linken Augen und der Körpermasse liegt ein exponentiell fallender Zusammenhang vor.

Durch die Regressionsgleichung (Formel Nr. 13) erhält man den Vorhersagewert für eine adulte Katze über 12 Monate:

$$Y = a + b \cdot (KM - \bar{KM})$$

Formel Nr. 13: Formel für den Vorhersagewert des vertikalen Hornhautradius in Millimeter, dabei steht Y für die zu untersuchende Messvariable, a für den bereinigten Mittelwert, b für den Regressionskoeffizienten, KM für Körpermasse und \bar{KM} für das durchschnittliche Gewicht einer adulten Katze in der statistischen Auswertung (4,35 Kilogramm).

Die jeweils einzusetzenden Konstanten sind in Tab. Nr. 26 aufgelistet.

| | a | b |
|--------------|-------|--------|
| Base2 rechts | 8,96 | 0,089 |
| Base2 links | 8,97 | 0,089 |
| K2 rechts | 7,703 | -0,394 |
| K2 links | 37,54 | -0,394 |

Tab. Nr. 26: tabellarische Auflistung der in die Berechnungsformel Nr. 13 einzusetzenden Konstanten.

In Abb. Nr. 48 wird exemplarisch die Abhängigkeit des horizontalen Hornhautradius in Millimeter von der Körpermasse dargestellt, außerdem wird der Verlauf der Regressionsgeraden bei allen adulten Katzen gezeigt.

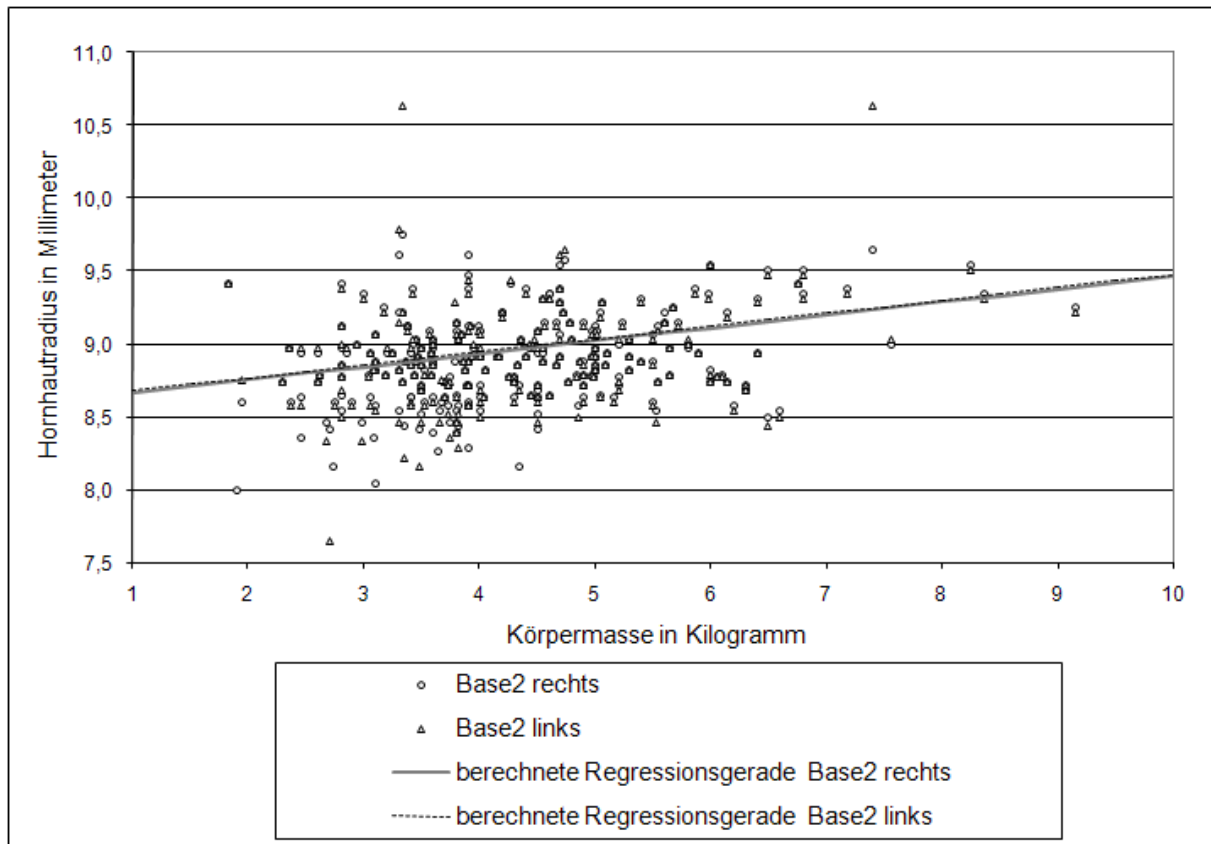


Abb. Nr. 48: grafische Darstellung des Zusammenhangs von Körpermasse in Kilogramm und vertikalem Hornhautradius bei allen adulten Katzen, die älter als 12 Monate sind (rechte Augen n = 245, linke Augen n = 234).

Es wurde ermittelt, dass die Körpermasse einen entscheidenden Einfluss auf die biometrischen Daten Base2 und K2 hat. Pro Kilogramm Zunahme der Körpermasse einer Katze, mit durchschnittlichem Alter und Körpermasse, steigert sich der vertikale Hornhautradius um 0,089 Millimeter. Die Brechkraft der Hornhaut nimmt um 0,4 Dioptrie pro Kilogramm Körpermasse ab.

4.4 Delta K/ Δ K bzw. Astigmatismusindikator

4.4.1 Einfluss der Augenseite auf Delta K/ Δ K

Die arithmetischen Mittelwerte der biometrischen Daten von Delta K/ Δ K zeigen bezüglich der Augenseite keine statistische Signifikanz. Der p-Wert für Delta K/ Δ K beträgt 0,42.

Es besteht auch keine Wechselwirkung der Augenseite mit der Zugehörigkeit zu einer Gruppe oder zum Geschlecht.

4.4.2 Einfluss der Gruppe auf Delta K/ Δ K

Die arithmetischen Mittelwerte der biometrischen Daten von Delta K/ Δ K zeigen bezüglich der Gruppe keine statistische Signifikanz. Der p-Wert für Delta K/ Δ K beträgt 0,12.

Es besteht auch keine Wechselwirkung der Gruppe mit der Augenseite oder dem Geschlecht.

4.4.3 Einfluss des Geschlechts auf Delta K/ Δ K

Die arithmetischen Mittelwerte der biometrischen Daten weisen keine statistische Signifikanz hinsichtlich des Geschlechts auf. Der p-Wert wurde mit 0,35 ermittelt.

Das Geschlecht zeigt auch keine Wechselwirkung mit der Augenseite oder der Zugehörigkeit zu einer Gruppe.

4.4.4 Einfluss des Alters auf Delta K/ Δ K

Auch hier ergibt sich für Delta K/ Δ K hinsichtlich des Alters keine statistische Signifikanz. Der errechnete p-Wert beträgt 0,79.

4.4.5 Einfluss der Körpermasse auf Delta K/ Δ K

Die Körpermasse zeigt hinsichtlich der biometrischen Daten keine statistische Signifikanz mit einem p-Wert von 0,92.

4.5 Achse der Meridiane

In dieser Arbeit wird die Hornhaut der Katze mit einem Keratometer untersucht, die Achsenlagen differieren sehr stark. Die Achsenlagen von Base1 (horizontaler Meridian) liegen von 0 bis 45 Grad und 135 bis 180 Grad. Die Achsenlagen von Base2 (vertikaler Meridian) liegen von 45 bis 135 Grad. Durch diese großen Unterschiede konnten die Achsenlagen der Hauptmeridiane nicht der 2- bzw. 3-faktoriellen Kovarianzanalyse unterzogen werden. Außerdem spielen die Achsenlagen in der Veterinärmedizin bislang keine Rolle.

4.6 Tabellarische Zusammenfassung der Ergebnisse

Tab. Nr. 27 zeigt eine Übersicht der p-Werte der biometrischen Daten bezüglich des Augeninnendrucks.

| | n | p-Wert | Signifikanz |
|-------------------|-----|--------|-------------------|
| Base1 rechts | 183 | 0,12 | nicht signifikant |
| Base1 links | 176 | 0,76 | nicht signifikant |
| Base2 rechts | 183 | 0,50 | nicht signifikant |
| Base2 links | 176 | 0,71 | nicht signifikant |
| K1 rechts | 183 | 0,10 | nicht signifikant |
| K1 links | 176 | 0,70 | nicht signifikant |
| K2 rechts | 183 | 0,44 | nicht signifikant |
| K2 links | 176 | 0,89 | nicht signifikant |
| ΔK rechts | 183 | 0,19 | nicht signifikant |
| ΔK links | 176 | 0,36 | nicht signifikant |

Tab. Nr. 27: Auflistung der p-Werte in Abhängigkeit vom Augeninnendruck, dabei steht n für die Anzahl der in die Berechnung eingegangenen untersuchten Katzen.

Tab. Nr. 28 stellt die p-Werte der biometrischen Daten der rechten und linken Augen bezüglich der Augenseite, der Rasse, des Geschlechts, des Alters und der Körpermasse dar. Die statistisch signifikanten Werte sind zur besseren Übersicht grau unterlegt.

| | Augenseite | Gruppe | Geschlecht | Alter | Körpermasse |
|------------|-------------|-------------|-------------|----------------|--------------|
| Base1 | 0,97 (n.s.) | 0,51 (n.s.) | 0,72 (n.s.) | 0,01 (s.) | <0,0001 (s.) |
| Base2 | 0,65 (n.s.) | 0,0003 (s.) | 0,98 (n.s.) | 0,046 (kn. s.) | <0,0001 (s.) |
| K1 | 0,99 (n.s.) | 0,48 (n.s.) | 0,72 (n.s.) | 0,007 (s.) | <0,0001 (s.) |
| K2 | 0,17 (n.s.) | 0,0003 (s.) | 0,74 (n.s.) | 0,049 (kn. s.) | <0,0001 (s.) |
| ΔK | 0,42 (n.s.) | 0,12 (n.s.) | 0,35 (n.s.) | 0,79 (n.s.) | 0,92 (n.s.) |

Tab. Nr. 28 Auflistung der p-Werte der biometrischen Daten in Abhängigkeit von Augenseite, Gruppe, Geschlecht, Alter und Körpermasse, dabei steht n.s. für nicht signifikant, s. für signifikant und kn. s. für knapp signifikant.

Tab. Nr. 29 zeigt eine Auflistung der bereinigten Mittelwerte der horizontalen Meridiane Base1 (in Millimeter) und K1 (in Dioptrie) sowie der vertikalen Meridiane Base2 (in Millimeter) und K2 (in Dioptrie) aller adulten Katzen ≥ 12 Monate (n = 231).

| | Gr.1 m | Gr.1 w | Gr. 2 m | Gr. 2 w | Gr. 3 m | Gr. 3 w |
|--------------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| Base1 rechts | 8,93 | 8,91 | 8,82 | 8,82 | 8,81 | 8,88 |
| Base2 rechts | 9,15 | 9,15 | 8,87 | 8,84 | 8,99 | 8,89 |
| Base1 links | 8,88 | 8,85 | 8,85 | 8,78 | 8,77 | 8,92 |
| Base2 links | 9,21 | 9,13 | 8,89 | 8,86 | 8,91 | 8,94 |
| K1 rechts | 37,82 | 37,93 | 38,29 | 38,31 | 38,37 | 38,01 |
| K2 rechts | 36,90 | 36,90 | 38,11 | 38,20 | 37,62 | 38,01 |
| K1 links | 38,04 | 37,93 | 38,18 | 38,48 | 38,52 | 37,89 |
| K2 links | 36,67 | 36,96 | 38,03 | 38,15 | 37,92 | 37,82 |

Tab. Nr. 29: Auflistung der bereinigten Mittelwerte der horizontalen Meridiane Base1 und K1, der vertikalen Meridiane Base2 und K2 (Base1 und Base2 in Millimeter, K1 und K2 in Dioptrie). Dabei steht m für männliche Tiere, w für weibliche Tiere, Gr. 1 für brachyzephe Katzen, Gr. 2 für Europäisch Kurzhaar und Gr. 3 für Großrahmige Katzen.

5 Diskussion

5.1 Diskussion der Methode

Jeder keratometrischen Messung geht eine ophthalmologische Untersuchung voraus, die wichtig für die Genauigkeit der Messungen ist. Augen mit einem erhöhten Augeninnendruck und Augen, die pathologische Veränderungen zeigen, gehen nicht in die Messungen mit ein. Die Untersuchungen werden ohne Allgemeinanästhesie und ohne Anwendung von Augentropfen durchgeführt.

Das in der vorliegenden Arbeit verwendete Autokeratometer wird zuvor durch die Firma Alcon Pharma^R mit Hilfe von Eichkugeln geeicht.

Die Reproduzierbarkeit von Messungen mit dem Handkeratometer von Alcon Pharma^R bei Säuglingen, Vorschulkindern und Erwachsenen wird von HARVEY et al. (1995) getestet. Die Distanz des Gerätes zum Patientenaug (zwischen 17 und 30 Millimeter), der Umfang der Hornhautkrümmung, der Messwinkel sowie die Neigung des Gerätes während einer Messung haben auf die Genauigkeit der Messungen keinen Einfluss.

WASSILL und DICK (1995) überprüfen die klinische Brauchbarkeit eines automatischen Keratometers im Vergleich mit dem Handkeratometer von Alcon Pharma^R und einem Videokeratoskop. Es gab nur geringfügige Unterschiede, die keine statistische Signifikanz bei der Vergleichsdifferenzbildung für die klinische Anwendung zeigen. Die Autoren erklären es dadurch, dass jedes Gerät einen anderen Bereich der Hornhaut zur Messung erfasst. Auch hat die Position der Probanden - sitzend oder liegend - keinen Einfluss auf die Messungen.

Einen Vergleich der Messungen von 3 verschiedenen Autokeratometer (tragbares Gerät von Alcon Pharma^R wie in der vorliegenden Arbeit, feststehendes Marco^R-Autokeratometer, feststehendes Autokeratometer von Humphrey^R) mit einem manuellen Keratometer von Bausch&Lomb^R an Eichkugeln und 24 Patientenaugen führt HAMMACK (1997) durch. Das Autokeratometer von Alcon Pharma^R zeigt an den Eichkugeln kleine Fehlermessungen, die statistisch nicht signifikant sind. Untersuchungen von Patientenaugen mit diesem Gerät ergeben Defizite bei der Messung der Achsen der Meridiane. Der Autor kommt zu dem Ergebnis, dass alle Autokeratometer insgesamt verlässliche und akkurate Ergebnisse liefern, wobei das Keratometer von Alcon Pharma^R zusätzlich den Vorteil der Tragbarkeit hat.

SHIN et al. (1999) überprüfen die Wiederholbarkeit der Messungen mit dem Autokeratometer von Alcon Pharma an rechten Augen von 60 Kindern mit zwei Sätzen à fünf Messungen, beide Sätze liegen 10 Minuten auseinander. Das Keratometer stellt wiederholbare Messwerte für die Hornhautbrechkraft innerhalb von $\pm 0,5$ Dioptrie bereit. Allerdings kann dieses Niveau

der Wiederholbarkeit nur durch zwei aufeinanderfolgende durchschnittliche Messungen gehalten werden.

In einem Vergleich zweier Keratometer bei der Anwendung von narkotisierten Säuglingen zur Intraokularlinsenberechnung stellen MITTELVIEFHAUS und GENTNER (2000) fest, dass sich die Messergebnisse des manuellen Keratometers von Zeiss^R und dem Autokeratometer von Alcon Pharma^R deutlich unterscheiden. Das Zeiss^R-Keratometer misst signifikant höhere Hornhautradien als das Autokeratometer von Alcon Pharma^R, außerdem wird bei beiden Geräten eine erhebliche Streuung der einzelnen Hornhautradien erfasst. Es werden die Mittelwerte und die Standardabweichung des Mittelwertes von drei Messungen ermittelt. Würde aufgrund dieser streuenden Messwerte die Intraokularlinse berechnet, so wären Unterschiede der angestrebten Refraktion von bis zu 6 Dioptrie zu erwarten. Die Autoren raten zu Mehrfachmessungen, v.a. bei Patienten, die bei der Keratometrie nicht fixieren können, um die Fehlerrate so klein wie möglich zu halten. Das Autokeratometer von Alcon Pharma^R misst schneller und lässt sich komfortabler und leichter bedienen, so dass die Autoren hier einen Vorteil sehen.

In der vorliegenden Arbeit werden keine Mehrfachmessungen durchgeführt und deren Mittelwert errechnet, sondern nur Einzelmessungen eines Tieres. Dies kann eine Fehlerquelle darstellen, die in weiteren Arbeiten in der Zukunft untersucht werden könnte.

Heutzutage existieren Geräte zur Vermessung der Oberfläche der Hornhaut, die wesentlich mehr Messpunkte auswerten und damit sehr viel genauer sind. Mit diesen Geräten lässt sich die Oberfläche der Hornhaut detailgenau anhand von topographischen Karten darstellen (siehe Kapitel Nr. 2.4). Allerdings handelt es sich bei diesen Geräten um Tischgeräte aus der Humanmedizin, die für die Tiere nicht geeignet sind. Für die tiermedizinischen Belange sind Handgeräte besser einsetzbar, da man dabei auf die Bewegungsunruhen der Tiere eingehen kann. Bei den feststehenden Tischgeräten wird eine Allgemeinanästhesie benötigt. Dies ist meistens nicht praktikabel für den praktizierenden Tierophthalmologen und wird i.d.R. nur in experimentellen Studien durchgeführt.

5.2 Diskussion der Messergebnisse bei gesunden Katzenaugen

In der vorliegenden Arbeit wird jede Katze nur ein Mal untersucht. Es werden keine Verlaufsuntersuchungen von heranwachsenden oder adulten Katzen durchgeführt. Durch Abgabe oder Besitzerwechsel war es nicht möglich, junge heranwachsende Katzen mehrmals zu untersuchen. Die Autorin empfiehlt weitere Untersuchungen, die auch den Verlauf der keratometrischen Daten bei heranwachsenden Katzen mit einbezieht.

Außerdem wird lediglich die Körpermasse in Kilogramm gemessen. Es wird keine Aussage darüber getroffen, ob das untersuchte Tier sehr mager oder übergewichtig ist. Die Autorin empfiehlt weitere Untersuchungen, bei der die Körpermasse in Relation zur Körperstatur, also der Body-Maß-Index (BMI) ermittelt wird. Dies könnte in der vorliegenden Arbeit eine Fehlerquelle darstellen.

5.2.1 Augeninnendruck

Nach Wissen der Autorin liegt derzeit keine veterinärmedizinische Publikation vor, die den Zusammenhang von Augeninnendruck mit keratometrischen Daten bei Katzen untersucht.

Des Weiteren finden sich keine Hinweise auf veränderte keratometrische Messwerte bei sehr niedrigem Augeninnendruck.

LAM und DOUTHWAITE (1997) untersuchen die Auswirkung von künstlich erhöhtem Augeninnendruck auf die zentrale korneale Krümmung bei 23 Menschen. Sie erheben die keratometrischen Daten mit dem Autokeratometer von Alcon Pharma^R, welches auch in dieser Arbeit Verwendung findet, in aufrechter und 30° nach unten geneigter Position. Der Augeninnendruck steigt durchschnittlich um 6,5 mmHg an. Die Autoren finden keine signifikante Korrelation zwischen der Hornhautkrümmung und dem Augeninnendruck in aufrechter Position. Der vertikale Meridian zeigt eine klinisch nicht relevante, aber statistisch signifikante Veränderung in der geneigten Position. Er verändert sich um durchschnittlich 0,02 Millimeter, die maximale Veränderung bei einer Person liegt bei 0,55 Millimeter. Die Autoren vermuten, dass evtl. die Neigung des Kopfes um 30° nach unten nicht ausreichend ist, um die zentrale Hornhautoberfläche zu verändern oder sich der Augeninnendruck gleichmäßig auf die Hornhaut verteilt hat.

In der Dissertation von KLESEN (1998), die sich mit keratometrischen Daten beim Hund beschäftigt, wird der Augeninnendruck nicht gemessen, außer bei Hunden mit Verdacht auf eine Erhöhung des Augeninnendrucks. Somit kann keine Aussage gemacht werden, ob sich der physiologische Augeninnendruck auf die Keratometriewerte beim Hund statistisch auswirkt oder nicht. Ihr fällt bei den Messwerten glaukomatöser Augen auf, dass sich der Hornhauradius horizontal um bis zu 1,84 Millimeter und vertikal bis zu 2,3 Millimeter vergrößert. Durch ein chronisches Glaukom vergrößert sich der Bulbus und somit flacht die Hornhaut stark ab.

Die Autoren der sogenannten „Reykjavik Eye Study“ (EYSTEINSSON et al. 2002) finden keine signifikante Beziehung zwischen dem Hornhauradius und dem physiologischen Intraokulardruck. Das Verhältnis der Hornhautdicke und dem Augeninnendruck wird auch

untersucht: Bei einer Größenzunahme der Hornhautdicke wird ein höherer Augeninnendruck gemessen. Die Messung der Hornhautdicke in Zusammenhang mit dem Augeninnendruck war nicht Gegenstand der vorliegenden Arbeit. Dies könnte in der Tiermedizin auch in Zukunft in verschiedenen Studien bei Hund und Katze überprüft werden.

Ein Vergleich von TonoPen^R und TonoVet^R an Rattenaugen kommt zu dem Ergebnis, dass TonoPen^R bei steigendem Augeninnendruck (9-20 mmHg) den Intraokulardruck unterschätzt und TonoVet^R sich nicht signifikant vom echten Intraokulardruck unterscheidet (GOLDBLUM et al. 2002).

Eine weitere Studie bei Hunden zum Vergleich des TonoVet^R mit TonoPen^R und der direkten Manometrie wird 2005 von KNOLLINGER et al. veröffentlicht. Vergleicht man den TonoVet^R mit der direkten Manometrie, so korrelieren beide streng linear miteinander. Weiterhin zeigen die Autoren, dass der Augeninnendruck gemessen mit dem TonoPen^R signifikant höher ist als mit dem TonoVet^R (durchschnittlich 2,2 mmHg bei den rechten Augen und 2,1 mmHg bei den linken Augen).

In einer Studie von GÖRIG et al. (2006) wird die Messgenauigkeit von 4 Tonometern verglichen (MacKay-Marg-Tonometer^R, TonoVet^R, TonoPen^R und ein portables Pneumometer). Zuerst werden alle Tonometer an 15 enukleierten Augen manometrisch geeicht. TonoPen^R und das portables Pneumometer messen signifikant niedrige Werte, v.a. bei steigendem Augeninnendruck. Das MacKay-Marg-Tonometer^R ist im klinisch relevanten Bereich von 7,4 bis 36,8 mmHg am genauesten, misst aber bei ansteigendem Innendruck niedrigere Werte. Die Werte des TonoVet^R sind fast über den gesamten Bereich gleichbleibend gut (7,4 bis 73,5 mmHg), es stellt akkurate und reproduzierbare Messwerte her.

In dieser Arbeit werden zuerst nur ophthalmologisch gesunde Katzen statistisch ausgewertet, die einen physiologischen Augeninnendruck ≤ 25 mmHg aufweisen.

Katzen mit Glaukom, also mit einem Augeninnendruck > 25 mmHg, werden in dieser Arbeit nicht untersucht. Weitere Untersuchungen zum Vergleich von Katzen mit und ohne Glaukom bezüglich der keratometrischen Daten sind erforderlich. Es wäre zu erwarten, dass mit einer Erhöhung des Augeninnendrucks bei Katzen auch eine korrelierende Abflachung der Hornhaut auftritt, wie es in der Arbeit von KLESEN (1998) bei Hunden festgestellt wird, in der dieser Aspekt ausdrücklich beachtet wird.

Die durchgeführte Auswertung mit Hilfe einer Kovarianzanalyse in der vorliegenden Arbeit ergibt, dass der physiologische Augeninnendruck bewiesenermaßen keinen statistisch signifikanten Einfluss auf die Messwerte hat. Die Tiere, bei denen anfangs nur eine

ophthalmologische Untersuchung, aber keine Tonometrie durchgeführt wird, können in die weitere Statistik mit einbezogen werden, da kein Einfluss des Augeninnendrucks von klinisch gesunden Augen auf die Messvariablen existiert.

Weitere Untersuchungen in der Zukunft zur Erhebung von keratometrischen Daten glaukomatös veränderter Katzenaugen im Vergleich zu Katzen mit gesunden Augen könnten somit Veränderungen der Hornhautkrümmung zeigen.

Die Vergrößerung des Auges bei chronischem Glaukom führt gleichzeitig zu einer Abflachung des Radius. Es wäre also auch Voraussetzung für Veränderungen des Hornhautradius, dass sich das Auge, auch im physiologischen Bereich des Augeninnendrucks, mit zunehmendem Augeninnendruck vergrößert. Dass dem nicht so ist, zeigt die Arbeit von KOERSCHGEN (2010). Die Autorin ermittelt mit Hilfe des A-Modus-Ultraschallverfahrens die Größe von Katzenaugen und weist nach, dass kein signifikanter Zusammenhang zwischen Augeninnendruck (im Normbereich) und Größe des Auges besteht. Dadurch erklärt sich, dass auch die keratometrischen Daten unabhängig vom physiologischen Augeninnendruck sind.

5.2.2 Horizontaler und vertikaler Hornhautradius

5.2.2.1 Menschen

Beim Menschen ist die Hornhaut von Neugeborenen deutlich flacher als die von Adulten (DUKE-ELDER 1961).

In der Arbeit von DINGELDEIN UND KLYCE (1989) wird die Hornhaut von 22 normalsichtigen Probanden fotokeratografisch vermessen. Alle Hornhäute sind zentral steiler und flachen zum Limbus hin ab. Sie messen einen horizontalen Durchmesser von 7,1-10,0 Millimeter (durchschnittlich $8,55 \pm 0,59$ Millimeter für das rechte Auge und $8,44 \pm 0,74$ Millimeter für das linke Auge), der vertikale Durchmesser beträgt 5,0 - 9,1 Millimeter (durchschnittlich $7,61 \pm 0,82$ Millimeter für das rechte Auge und $7,7 \pm 0,78$ für das linke Auge). Die Ergebnisse zeigen einen Astigmatismus nach der Regel, im Gegensatz zur vorliegenden Arbeit.

ASBELL et al. (1990) vermessen bei 110 Augen von 70 Kindern die Hornhautbrechkraft in Abhängigkeit vom Alter. Sie stellen fest, dass die gemessenen Werte von der Geburt bis zum 54. Lebensmonat systematisch abfallen. Der Durchschnittswert in der Gruppe der Neugeborenen beträgt bis zum sechsten Lebensmonat 47,59 Dioptrie, vom zwölften bis achtzehnten Lebensmonat beträgt der Durchschnitt 45,56 Dioptrie. Die Werte stabilisieren sich ab dem 54. Lebensmonat und liegen dann durchschnittlich bei 42,69 Dioptrie. In der

Gruppe von Kindern im 72. - 90. Lebensmonat sinkt abschließend der Wert nur noch wenig (42,56 Dioptrie).

EYSTEINSSON et al. (2002) untersuchen in der sogenannten „Reykjavik Eye Study“ 415 männliche und 510 weibliche Probanden, die über 50 Jahre alt sind und vergleichen die Hornhautdicke, die Hornhautkrümmung und den Intraokulardruck. Die Hornhautkrümmung der rechten Augen liegt bei $7,78 \pm 0,6$ Millimeter für Männer und bei $7,62 \pm 0,58$ Millimeter für Frauen, die Hornhautkrümmung der linken Augen liegt bei $7,72 \pm 0,59$ Millimeter für Männer und bei $7,64 \pm 0,6$ Millimeter für Frauen. Daraus ergibt sich, dass der Hornhautradius bei Frauen steiler als der von Männern ist. Es wird aber nicht zwischen horizontalen und vertikalen Werten unterschieden.

DUBBELMAN et al. (2006) vergleichen die vordere Hornhautkrümmung beim Menschen mit der hinteren Hornhautkrümmung mit Hilfe einer Scheimpflug-Kamera. Beide Krümmungen sind horizontal flacher als vertikal. Der vordere Krümmungsradius liegt bei Männern bei $7,87 \pm 0,04$ Millimeter und bei Frauen bei $7,72 \pm 0,03$ Millimeter (durchschnittlich $7,79 \pm 0,025$ Millimeter), während der hintere Krümmungsradius bei Männern bei $6,60 \pm 0,03$ Millimeter, und der von Frauen bei $6,456 \pm 0,03$ Millimeter liegt (durchschnittlich $6,53 \pm 0,2$ Millimeter). Diese Untersuchungen der unterschiedlichen Hornhautkrümmung des vorderen und hinteren Anteils der Hornhaut können in der Zukunft auch Gegenstand von Studien in der Tiermedizin sein.

In der Sydney-Myopie-Studie werden von IP et al. (2007) die Augen von 1765 sechsjährigen Kindern und von 2353 zwölfjährigen Kindern untersucht. Unter anderem werden die Hornhautradien gemessen. Der durchschnittliche Hornhautradius der sechs- wie auch der zwölfjährigen Kinder ist gleich ($7,78 \pm 0,25$ Millimeter). Auch hier findet keine Unterscheidung der beiden Hauptmeridiane statt.

5.2.2.2 Hunde

KISTLER (1927) dokumentiert ähnliche Resultate wie KLESEN (1998). Die Durchschnittswerte für die Brechkraft im horizontalen Meridian liegen bei 38,82 Dioptrie und für die Brechkraft im vertikalen Meridian bei 38,92 Dioptrie. Der Brechkraft des horizontalen Meridian ist also kleiner als die des vertikalen. Er stellt auch fest, dass kleinere Rassen eine höhere Hornhautrefraktion zeigen als größere Rassen.

Die Daten von NOWAK und NEUMANN (1987) beziehen sich auf einen Mittelwert ohne Unterscheidung zwischen horizontal und vertikal. Der in dieser Studie gemessene Hornhautradius von 8,77 Millimeter entspricht den Daten des gemessenen horizontalen

Hornhautradius von KLESEN (1998).

Andere Untersuchungen mit geringeren Zahlen kommen zu einem ähnlichen Ergebnis. GAIDDON et al. (1991) vermessen beide Augen von 62 adulten Hunden. Die durchschnittliche Hornhautkrümmung wird mit $8,46 \text{ Millimeter} \pm 0,55 \text{ Millimeter}$ angegeben, die Refraktion der Hornhaut beträgt $39,94 \pm 2,61$ Dioptrie. Die Autoren unterteilen die Population in 3 Gruppen: kleine Hunde (Zwergpudel, Lhasa Apso, Shih Tzu, Yorkshire Terrier), mittlere Hunde (Cocker und Englische Springer Spaniel) und große Hunde (Boxer, Deutscher Schäferhund). Die Autoren nehmen eine andere Einteilung der Hunde vor: sie teilen die untersuchten Hunde nach der Größe ein und nicht zusätzlich nach der Kopfform. So werden brachyzephe Boxer in der gleichen Gruppe wie dolichozepe Deutsche Schäferhunde untersucht. Sie stellen fest, dass zwischen der Größe der Hunde und der Hornhautkrümmung ein umgekehrt proportionaler Zusammenhang besteht und die Hunde großer Rassen signifikant ($p < 0,001$) flachere Hornhautkrümmungen aufweisen. Die Refraktion der Hornhaut beträgt bei den kleinen Hunden $41,67 \pm 2,45$ Dioptrie, bei den mittleren Hunden $40,62 \pm 1,44$ Dioptrie und bei den großen Hunden $37,35 \pm 1,67$ Dioptrie. Die Autoren finden keine signifikanten Unterschiede im Vergleich der Augenseite, des Geschlechts oder des Alters.

NELMS et al. (1994) stellen bei der Untersuchung von 20 Hundeaugen eine durchschnittliche Hornhautbrechkraft von $37,84 \pm 1,36$ Dioptrie fest.

GÖRIG et al. (1997) messen bei der Keratometrie von acht Hunden wach bzw. in Narkose einen größeren horizontalen Hornhautradius von $8,90 \pm 0,16$ Millimeter bzw. $9,02 \pm 0,15$ Millimeter, im Vergleich zum vertikalen Radius von $8,73 \pm 0,15$ bzw. $8,70 \pm 0,17$ Millimeter.

Die Arbeit von KLESEN (1998) über die keratometrischen Daten von 1231 Augen von 645 gesunden Hunden ergibt, dass der horizontale Hornhautradius geringgradig kleiner ist als der vertikale. Dies bedeutet einen Astigmatismus gegen die Regel. Die Autorin stellt einen hoch signifikanten Einfluss der Kopfform auf die Hornhautkrümmung und den -radius fest. Hunde großer Rassen zeigen einen flacheren Hornhautradius als kleinere Rassen. Außerdem stellt sie einen Einfluss des Gewichts innerhalb einer Gruppe fest (z.B. Gruppe der brachyzephalen Hunde: Gewichtsklasse 1- Shih Tzu im Vergleich mit der Gewichtsklasse 5- Bordeaux-Dogge). Die Autorin stellt fest, dass die Hornhautbrechkraft in Dioptrie mit zunehmendem Gewicht bei Hunden aller Kopfformen abnimmt (außer bei brachyzephalen Hunden der Gewichtsklasse 5). Außerdem zeigen in dieser Studie brachyzephe Rassen eine geringere Hornhautbrechkraft in Dioptrie als Hunde der anderen Kopfformen. Des

Weiteren vergleicht sie gesunde Hundeaugen mit glaukomatösen Augen und kommt zu dem Ergebnis, dass es bei Augen mit einem erhöhten Augeninnendruck zu einer signifikanten Abflachung der beiden Meridiane und zu einer Vergrößerung der Hornhaut kommt. Weiterhin werden Augen vor und nach intraokularen Operationen keratometrisch vermessen: Durch die Naht der Hornhaut kommt es zu einer Zunahme des vertikalen Hornhautradius und einem damit verbundenen Anstieg des Astigmatismus.

5.2.2.3 Katzen

In der vorliegenden Arbeit wird festgestellt, dass in der Regel der vertikale Hornhautradius in Millimeter bei adulten Katzen größer als der horizontale Radius ist, also ein Astigmatismus gegen die Regel. Dies ist ähnlich wie in den meisten Studien über die Hornhautradien bei Katzen und Hunden. Im Gegensatz dazu ist der Astigmatismus nach der Regel beim Menschen am häufigsten (SCHELLE 2000, GREHN 2008). Außer bei weiblichen großbrahmigen Katzen und bei männlichen Tieren der Gruppe 4 (Rassen, die keiner Gruppe zugeordnet werden konnten) trifft es nicht zu, dass der vertikale Hornhautradius größer ist. Hier sind beide Meridiane gleich groß.

Zusätzlich kann gezeigt werden, dass ein deutlich statistisch signifikanter Zusammenhang der biometrischen Daten mit der Körpermasse existiert. Dieses Ergebnis kann durch eine nicht-lineare Regressionsgleichung dargelegt werden. Der Hornhautradius in Millimeter nimmt mit zunehmendem Gewicht zu, die Hornhautbrechkraft in Dioptrie nimmt dagegen ab. Dies geschieht bis zu einem Wachstumsendpunkt, danach bleiben die gemessenen Werte relativ konstant.

VAKKUR und BISHOP (1963) entwickeln anhand von sieben entnommenen Augen Werte für ein Schema des optischen Systems des Katzenauges für adulte Tiere. Sie messen u.a. folgende Werte: Bulbuslänge, Hornhautdicke, Linsendurchmesser, Linsendicke, Pupillendurchmesser und Hornhautradius. Eine Altersangabe der Katzen fehlt. Die untersuchten Katzen wiegen zwischen 2,6 und 5,11 kg (durchschnittlich 3,5 kg). Die Hornhautradien liegen zwischen 8,05 und 8,94 Millimeter (8,57 Millimeter für das schematische Auge). Die Brechkraft der Hornhaut liegt im Durchschnitt bei 38,91 Dioptrie. In der vorliegenden Arbeit werden die Augen von insgesamt 388 Katzen gemessen. Die durchschnittlichen Werte für alle Katzen sind folgende: Base1 des rechten Auges: 8,29 Millimeter, Base2 des rechten Auges: 8,34 Millimeter, Base1 des linken Auges: 8,24 Millimeter, Base2 des linken Auges: 8,30 Millimeter. Die Werte sind insgesamt minimal niedriger als die von VAKKUR und BISHOP (1963).

Zu ähnlichen Ergebnissen kommen auch SMOLEN et al. (1976), die eine Abhängigkeit von Gewicht und Alter feststellen. Die Hornhaut ist bei Welpen deutlich stärker gekrümmt als bei erwachsenen Katzen. Durch das Größenwachstum wird die Hornhaut flacher. Die Autoren messen die beiden Hauptmeridiane der rechten und linken Augen, die angegebenen Werte sind die Durchschnittswerte aller vier Messungen: sie geben die durchschnittlichen Messwerte bei vier Wochen alten Tieren mit 5,5 Millimeter bzw. 61 Dioptrie und bei erwachsenen Tieren mit 9,6 Millimeter bzw. 35 Dioptrie an. Außerdem werden Formeln angegeben, nach der die Hornhautkrümmung in Millimeter und Dioptrie bestimmt werden kann.

THORN et al. (1976) vermessen die Hornhautkrümmung mit einem Bausch und Lomb^R-Keratometer bei 11 Katzenwelpen vom 10. bis 150. Tag in periodischen Abständen in Allgemeinanästhesie. Sie machen jeweils fünf Messungen des horizontalen und vertikalen Meridians in Dioptrie und rechnen die Werte anhand von Kalibrationskurven in Millimeter um. Die Hornhautradien steigen von 4,8 Millimeter bei neugeborenen Katzen, 5,2 bis 5,4 Millimeter in der 4. Lebenswoche, 6,3 Millimeter in der 8. Lebenswoche, 7,8 Millimeter bei 20 Wochen alten Katzen auf durchschnittlich 8,9 Millimeter bei erwachsenen Katzen. Die angegebenen Werte sind die Durchschnittswerte der horizontalen und vertikalen Meridiane, diese werden nicht wie in der vorliegenden Arbeit einzeln aufgeführt, sondern es handelt sich nur um einen Mittelwert. In der vorliegenden Arbeit wird das Augenmerk vermehrt auf adulte Katzen über 12 Monate gelegt, ein vier Wochen alter Welpen wird vermessen, dessen durchschnittlichen Werte beider Augen und aller Meridiane liegt bei 5,74 Millimeter, die Werte der 2-Monate alten Welpen (n = 12) liegen zwischen 6,11 und 6,68 Millimeter (bei einem sehr schweren Katzenwelpen mit 1,7 Kilogramm Körpermasse liegt der durchschnittliche Wert der gemessenen Meridiane beider Augen bei 7,21 Millimeter), 7,91 Millimeter ist der Durchschnittswert von vier 20 Wochen alten Katzen. Insgesamt sind die in der vorliegenden Arbeit erhobenen Werte minimal größer, aber ähnlich der Publikation von THORN et al. (1976).

GILGER et al. (1998) messen bei 25 gesunden adulten Katzen und 10 Augen von Katzenleichen die Hornhautbrechkraft, die Vorderkammertiefe, die Linsendicke und die Achsenlänge des gesamten Auges, um die Stärke einer zu implantierenden Kunstlinse vorherzusagen. Die durchschnittlichen Werte der erwachsenen Tiere für K1 der rechten Augen sind $39,00 \pm 1,08$ Dioptrie, K1 der linken Augen $38,95 \pm 0,93$ Dioptrie. Die durchschnittlichen Werte für K2 der rechten Augen sind $38,92 \pm 1,09$ Dioptrie und K2 der linken Augen beträgt $38,87 \pm 1,14$ Dioptrie. In der vorliegenden Arbeit sind die durchschnittlichen Daten aller erfassten adulten Katzen folgende: K1 der rechten Augen

(n = 245) beträgt $38,24 \pm 1,21$ Dioptrie, K1 der linken Augen (n = 234) beträgt $38,24 \pm 1,42$ Dioptrie, K2 der rechten Augen (n = 245) $37,99 \pm 1,33$ Dioptrie, K2 der linken Augen (n = 234) $37,91 \pm 1,4$ Dioptrie. In der vorliegenden Arbeit sind die durchschnittlichen Werte in Dioptrie minimal kleiner.

Bei GILGER und Mitarbeiter (1998) und der vorliegenden Arbeit ist K1 größer als K2. Das heißt der horizontale Hornhautradius ist der stärker brechende Radius, wobei GILGER et al. (1998) im Vergleich zur vorliegenden Arbeit etwas höhere Dioptriewerte misst. Die Hornhautbrechkraft in Dioptrie nimmt mit zunehmender Körpermasse ab. Eventuell ist es möglich, dass anatomische Veränderungen post mortem aufgetreten sind, die diese Unterschiede hervorrufen.

In einer weiteren Studie von GILGER et al. (1998) werden die Augen von 8 adulten Katzen vor einer Kunstlinsenimplantation sowie 4 und 12 Wochen nach der Operation keratometrisch vermessen. Hier sind die Ergebnisse auch ähnlich der vorangegangenen Studie: der horizontale Hornhautradius ist der stärker brechende Meridian. Zur besseren Übersicht werden die Werte gesunder Augen tabellarisch im Vergleich zu der zitierten Studie mit 25 Tieren und der vorliegenden Arbeit in Tab. Nr. 30 aufgelistet.

| | K1 rechts | K1 links | K2 rechts | K2 links |
|-----------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| GILGER et al. 1998 (25 Katzen) | $39,00 \pm 1,08$ D | $38,95 \pm 0,93$ D | $38,92 \pm 1,09$ D | $38,87 \pm 1,14$ D |
| GILGER et al. 1998 (8 Katzen) | $39,09 \pm 0,84$ D | $39,05 \pm 1,16$ D | $38,65 \pm 1,38$ D | $38,47 \pm 1,10$ D |
| MÜLLER 2013 (248 Katzen) | $38,24 \pm 1,21$ D | $38,24 \pm 1,42$ D | $37,99 \pm 1,33$ D | $37,91 \pm 1,4$ D |

Tab. Nr. 30: Übersicht der biometrischen Daten zum Vergleich der Studien von GILGER et al. (beide 1998) einmal mit 25 und 8 Katzen pro Studie und MÜLLER mit 248 Katzen, dabei steht D für Dioptrie, K1 für die Brechkraft der Hornhaut im horizontalen Meridian in Dioptrie, K2 für die Brechkraft der Hornhaut im vertikalen Meridian in Dioptrie.

In einer 12-monatigen Studie (MOODIE et al. 2001) wird die Hornhautbrechkraft und –dicke regelmäßig (alle 7-14 Tage) von sechs heranwachsenden Katzen, beginnend im Alter von neun Wochen bis zum 1. Lebensjahr, gemessen und mit sechs adulten Katzen verglichen. Die Autoren verwenden in ihrer Studie auch das Handkeratometer von Alcon Pharma^R. Die angegebenen Werte ihrer Veröffentlichung stellen den Durchschnittswert von K1 und K2 dar: $\varnothing K = (K1 + K2) / 2$. Die Autoren kommen zu der Feststellung, dass sich die Ergebnisse von K1, K2 und $\varnothing K$ des rechten und linken Auges eines Tieres nicht signifikant unterschiedlich

darstellen, so dass nur σ_K in der Arbeit angegeben wird. Sie stellen fest, dass sich die Hornhaut im ersten Lebensjahr am stärksten verändert. Bei neun Wochen alten Kätzchen messen sie $54,51 \pm 1,02$ Dioptrie, das heißt, die Hornhaut ist sehr steil gewölbt. Diese Werte verändern sich während der nächsten 3 Monate auf $44,95 \pm 0,90$ Dioptrie. Bei Katzen, die ein Jahr alt sind, messen sie $39,90 \pm 0,42$ Dioptrie. Die Hornhaut nähert sich einer sphärischen Form an mit einem kleinen Astigmatismusanteil ($0,925$ Dioptrie im Alter von 12-15 Lebensmonaten). Bei erwachsenen Katzen (zwei bis drei Jahre alt) ermitteln die Autoren einen durchschnittlichen Wert von $38,99 (\pm 0,81)$ Dioptrie. MOODIE und Mitarbeiter (2001) kommen zu dem Ergebnis, dass in der Regel der horizontale Meridian der stärker brechende Meridian mit dem höheren Dioptriewert ist. Es werden keine keratometrischen Werte der Hornhautradien in Millimeter angegeben, worauf in der hier vorliegenden Arbeit hinsichtlich besserer Anpassung von Kontaktlinsen Wert gelegt wird. Die Werte von MOODIE et al. (2001) lassen sich auch weiterhin nicht exakt mit den Werten dieser Arbeit vergleichen, da in der vorliegenden Arbeit Wert gelegt wird auf eine Unterscheidung zwischen den biometrischen Daten der horizontalen und vertikalen Hornhautradien und nicht ein Durchschnittswert ermittelt wird. Außerdem werden nur insgesamt 12 Katzen vermessen, die alle weiblich sind. Die Autoren schließen nicht aus, dass evtl. ein Geschlechtsunterschied bestehen kann, wobei sie einräumen, dass vorangegangene Studien (z.B. GILGER et al. 1998) keine signifikanten Unterschiede dabei feststellen. Weiterhin werden nur Katzen der Rasse „Domestic Shorthair“ (vergleichbar mit Europäisch Kurzhaar) untersucht. Hier raten die Autoren zu zusätzlichen Untersuchungen.

Des Weiteren existiert bei den hier untersuchten Tieren eine statistisch signifikante Abhängigkeit des vertikalen Hornhautradius von der Gruppe, im Gegensatz zum horizontalen Hornhautradius, bei dem dieser Zusammenhang nicht existiert. Bei der Auswertung scheinen die brachycephalen Katzen hier eine Rolle zu spielen, denn sie haben einen deutlich größeren vertikalen Hornhautradius als Europäisch Kurzhaar oder großrahmige Katzen.

Der horizontale Hornhautradius ist statistisch signifikant abhängig vom Alter bei adulten Katzen. Es wird eine Zunahme des Hornhautradius in Millimeter um $0,01$ Millimeter pro Lebensjahr und eine Abnahme der Hornhautbrechkraft in Dioptrie um $0,057$ Dioptrie pro Lebensjahr einer Katze festgestellt. Die p-Werte der biometrischen Daten bzgl. des Alters zeigen zwar eine deutliche statistische Signifikanz, die medizinische Bedeutung ist aber sehr gering.

Der p-Wert, der den vertikalen Hornhautradius betrifft, zeigt eine Auffälligkeit bezüglich des Alters, ist aber statistisch knapp nicht signifikant. Dieser Einfluss auf Base2 und K2 ist

statistisch nicht signifikant aber auffällig. Es scheint so zu sein, dass die Hornhautkrümmung mit dem Alter mehr horizontal an Größe zunimmt als vertikal. Der Hornhautradius in Millimeter verhält sich im Wachstum umgekehrt exponentiell ansteigend und bleibt ab einem bestimmten Zeitpunkt fast linear. Medizinisch ist es nicht relevant, da der der Hornhautradius in Millimeter bei adulten Katzen statistisch gesehen nur um 0,01 Millimeter pro Jahr zunimmt und die Hornhautbrechkraft in Dioptrie pro Jahr um 0,04 Dioptrie abnimmt.

Medizinisch von Belang dagegen ist die Körpermasse der Katzen.

Eine Vergrößerung des Hornhautradius um 0,097 Millimeter bzw. eine Abnahme der Hornhautbrechkraft um 0,421 Dioptrie pro Kilogramm Körpermasse zeigt die Größenunterschiede der horizontalen Meridiane sehr deutlich. Für den vertikalen Hornhautradius gilt analog eine Zunahme von 0,089 Millimeter pro Kilogramm Körpermasse bzw. eine Abnahme von 0,394 Dioptrie. Für eine Katze, die z.B. vier Kilogramm Körpermasse besitzt, liegt der Vorhersagewert des horizontalen Hornhautradius bei 8,83 Millimeter, der für den vertikalen Hornhautradius bei 8,93 Millimeter. Bei einer 6 Kilogramm schweren Katze zum Vergleich bei 9,02 Millimeter (horizontal) und 9,11 Millimeter (vertikal). Der Vorhersagewert der Hornhautbrechkraft einer vier Kilogramm schweren Katze liegt bei 38,28 Dioptrie im horizontalen Meridian, im vertikalen Meridian liegt er bei 37,76 Dioptrie. Der Vorhersagewert für eine sechs Kilogramm schwere Katze im horizontalen Meridian bei 37,43 Dioptrie, im vertikalen Meridian liegt er bei 36,97 Dioptrie.

In Tab. Nr. 31 sind die Vorhersagewerte bezüglich der Körpermasse und des Alters übersichtlich zusammengefasst.

| | 2 kg | 4 kg | 6 kg | 12 mo | 18 mo | 24 mo | 120 mo |
|-------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Base1 | 8,63 mm | 8,83 mm | 9,02 mm | 8,66 mm | 8,81 mm | 8,85 mm | 8,86 mm |
| Base2 | 8,76 mm | 8,93 mm | 9,11 mm | 8,73 mm | 8,88 mm | 8,91 mm | 8,92 mm |
| K1 | 39,12 D | 38,48 D | 37,43 D | 37,77 D | 38,2 D | 38,26 D | 38,26 D |
| K2 | 38,55 D | 37,76 D | 36,97 D | 37,64 D | 37,99 D | 38,02 D | 38,03 D |

Tab. Nr. 31: Zusammenfassung der Vorhersagewerte bezüglich des Alters und der Körpermasse für adulte Katzen. Dabei steht kg für Kilogramm, mo für Monat, Base1 für den horizontalen Hornhautradius in Millimeter, Base2 für den vertikalen Hornhautradius in Millimeter, K1 für die Brechkraft der Hornhaut im horizontalen Meridian in Dioptrie, K2 für die Brechkraft der Hornhaut im vertikalen Meridian in Dioptrie, mm für Millimeter und D für Dioptrie.

5.2.3 ΔK /Delta K bzw. Astigmatismusindikator

ΔK /Delta K wird aus der Differenz der beiden Hauptschnittebenen K1 und K2 berechnet. Es handelt sich um einen positiven Wert, der vom stärker brechenden Wert ausgeht. Dies kann der horizontale oder der vertikale Meridian sein. Der Astigmatismusindikator bezeichnet das tatsächliche Ausmaß der Hornhautverkrümmung. Er wird in Dioptrie angegeben.

GAIDDON et al. (1991) ermitteln, dass bei der Mehrzahl der Hunde (124 Augen von 62 Hunden) ein leichter Astigmatismus vorliegt: bei 37 Augen ist der horizontale Hornhauradius (K1) gleich dem vertikalen Hornhauradius (K2), bei 46 Augen ist K1 größer als K2 und bei 29 Augen ist K1 kleiner als K2. KLESEN (1998) stellt beim Hund keinen statistisch wirksamen Einfluss der Kopfform auf den Hornhautastigmatismus fest.

KUBAI et al. (2008) untersuchen 1440 Hunde aus 90 Rassen mit Hilfe der Strichskioskopie. Dabei stellen sie fest, dass nur bei 1 % der Hunde ein Astigmatismus vorliegt (14 von 1440). Der durchschnittliche Wert für den Astigmatismus liegt bei 1,12 Dioptrie \pm 0,5 Dioptrie.

Die biometrischen Daten der vorliegenden Arbeit hinsichtlich ΔK /Delta K werden erfasst, aber nicht statistisch ausgewertet, da keine Relevanz für die Tiermedizin besteht. Bei den rechten Augen von adulten Katzen (n = 245) ist bei 146 Katzen K1 größer als K2, bei 76 Katzen ist K1 kleiner als K2 und bei 23 Katzen sind beide Meridiane gleich groß. Bei den linken Augen von adulten Katzen (n = 234) ist bei 149 Katzen K1 größer als K2, bei 62 Katzen ist K1 kleiner als K2 und bei 23 Katzen sind beide Meridiane gleich groß. Der durchschnittliche Wert für ΔK der rechten Augen liegt bei 0,85 Dioptrie (Standardabweichung 0,65), der durchschnittliche Wert für ΔK der linken Augen liegt bei 0,83 Dioptrie (Standardabweichung 0,73),

5.2.4 Achse der Meridiane

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt liegen über die Achsenlagen der Hauptmeridiane keine tiermedizinischen Publikationen vor. KLESEN (1998) stellt in ihrer Dissertation auch eine hohe Streuung der Achsenlagen fest. V.a bei Vergleichsmessungen an ruhigen und unruhigen Hunden wird dies sehr deutlich. In Veröffentlichungen über keratometrische Daten bei Tieren, die mit dem Handkeratometer von Alcon Pharma^R vermessen werden, werden die Achsenlagen der gemessenen Werte nicht erwähnt (z.B. MOODIE et al. 2001). Die Achsenlagen werden in dieser Arbeit auch nicht in die statistische Auswertung einbezogen, da die Schwankungen bei den untersuchten Tieren sehr groß sind. Es handelt sich bei den Ergebnissen um eine rein beschreibende Darstellung.

6 Zusammenfassung

Das Ziel dieser Arbeit war es, mit Hilfe eines tragbaren Keratometers an einer großen Population von Katzen biometrische Daten der Hornhaut zu ermitteln. Diese können vielfältig eingesetzt werden, unter anderem zur Berechnung von Intraokularlinsen nach einer Kataraktoperation und zur besseren Anpassung von Kontaktlinsen.

Die Keratometrie wird bei der Katze erstmals 1914 von Bayer durchgeführt, es gibt aber keine Angaben über die Messmethode und die Anzahl der gemessenen Katzen. Zu dieser Zeit ist die Vermessung der Hornhaut sehr umständlich, erst durch die Entwicklung schnellerer und kleinerer Geräte ist der Einsatz der Keratometer am Tierauge einfacher durchführbar.

Für die Humanmedizin trägt die Hornhauttopographie als Weiterentwicklung der Keratometrie als eine häufig durchgeführte Standard-Untersuchungsmethode zur präoperativen Kunstlinsenberechnung und zur Anpassung von Kontaktlinsen bei.

In der Tiermedizin wird die Keratometrie, außer für wissenschaftliche Zwecke, bislang sehr selten eingesetzt.

Mit dem portablen Handkeratometer der Firma Alcon Pharma^R wurden im Zeitraum von Januar 2009 bis Dezember 2011 die Augen von 388 Katzen vermessen. Die Katzen wurden in verschiedene Gruppen zur Unterscheidung der Kopfform eingeteilt.

In der vorliegenden Arbeit wurden bei den untersuchten Katzen folgende Werte ermittelt: der horizontale Hornhautradius in Millimeter (Base1), die Hornhautbrechkraft im horizontalen Meridian in Dioptrie (K1), der vertikale Hornhautradius in Millimeter (Base2), die Brechkraft der Hornhaut im vertikalen Meridian in Dioptrie (K2), der Hornhautastigmatismus ($\Delta K/\Delta K$) und die Achsenlagen der Meridiane in Grad. Es wurde statistisch untersucht, ob der physiologische Augeninnendruck, das Alter, die Körpermasse, das Geschlecht, die Augenseite und die Kopfform einen Einfluss auf die Messwerte haben.

Der physiologische Augeninnendruck ≤ 25 mmHg hat nachweislich keinen statistischen Einfluss auf die biometrischen Messwerte. Ebenso gilt dies für die Augenseite und das Geschlecht der Tiere.

Das Alter der Tiere hat bezüglich des horizontalen Hornhautradius einen signifikanten Einfluss. Knapp nicht signifikant, aber verdächtig verhält sich der vertikale Hornhautradius in

Zusammenhang mit dem Alter. Für beide Hornhautradien konnten aber auch nicht-lineare Regressionsgleichungen errechnet werden. Diese Exponentialfunktion konnte durch eine nicht-lineare Regressionsgleichung $Y = E - A * e^{-b * x} + \varepsilon$ dargestellt werden. Dabei steht Y für die zu untersuchende Messvariable, E, A und b sind einzusetzende Konstanten, e steht für die Eulersche Zahl (2,71828), x für das Alter der Tiere in Monaten und ε für die Zufallsabweichung.

Die Körpermasse hat einen statistisch hoch signifikanten Einfluss auf die horizontalen und vertikalen Hornhautradien. Die Beziehung zwischen Körpermasse und Hornhautradius in Millimeter ist durch linear ansteigende Werte gekennzeichnet. Sie lässt sich durch die Gleichung $Y = a + b * (KM - \text{ØKM})$ darstellen, Y steht hier für die zu untersuchende Messvariable, a für den bereinigten Mittelwert, b für den Regressionskoeffizienten, KM für Körpermasse und ØKM für das durchschnittliche Gewicht einer adulten Katze in der vorliegenden statistischen Auswertung (= 4,35 kg). Pro Kilogramm Körpermasse nimmt der horizontale Hornhautradius um 0,1 Millimeter und der vertikale Hornhautradius um 0,09 Millimeter zu. Die Werte für die Hornhautbrechkraft in Dioptrie sinken mit zunehmendem Gewicht: im horizontalen Meridian um 0,42 Dioptrie pro Kilogramm Körpermasse und im vertikalen Meridian um 0,39 Dioptrie pro Kilogramm Körpermasse, bezogen auf die durchschnittliche Körpermasse aller adulten Katzen von 4,3 Kilogramm.

Die Zugehörigkeit zu einer Gruppe hat einen statistisch signifikanten Einfluss auf den vertikalen Hornhautradius, für den horizontalen Radius ist der Einfluss nicht signifikant.

Die Messwerte zeigen, dass bei adulten Tieren der vertikale Hornhautradius in Millimeter größer oder gleich dem horizontalen Hornhautradius ist. In der größten Gruppe der Europäisch Kurzhaar liegt der durchschnittliche Wert des vertikalen Hornhautradius bei 8,85 Millimeter, der durchschnittliche Wert des horizontalen Hornhautradius bei 8,81 Millimeter (250 gemessene rechte Augen, 247 gemessene linke Augen). In der Gruppe der brachycephalen Rassen liegt der durchschnittliche Wert des vertikalen Hornhautradius bei 9,09 Millimeter, der durchschnittliche Wert des horizontalen Hornhautradius bei 8,84 Millimeter (23 gemessene rechte Augen, 25 gemessene linke Augen). In der Gruppe der großrahmigen Rassen liegt der durchschnittliche Wert des vertikalen Hornhautradius bei 8,98 Millimeter, der durchschnittliche Wert des horizontalen Hornhautradius bei 8,92 Millimeter (75 gemessene rechte Augen, 73 gemessene linke Augen).

7 Summary

The purpose of this thesis was to determine corneal data in a large population of cats to better fit contact lenses or calculate intraocular lenses.

Keratometry was first carried out 1914 by Bayer. However, there is no information about the method or the number of the cats examined. At this time the measurement of the cornea was cumbersome, only the development of devices which are quicker and smaller made it easier to evaluate keratometry to animals.

In human medicine the topography of the cornea, a development of keratometry, contributes to preoperative calculation for intraocular lenses and fitting of contact lenses as a standard method which is often used by ophthalmologists.

The use of keratometry in veterinary medicine is rare.

From January 2009 through December 2011 the eyes of 388 cats were measured with the portable Keratometer (Alcon Pharma^R). The cats were divided in different groups to distinguish different shapes of the heads.

The following data were collected in a large population of cats: horizontal corneal meridian in millimetre (Base1) and dioptre (K1), vertical corneal meridian in millimetre (Base2) and dioptre (K2), corneal astigmatism (DeltaK) and the axis of the corneal meridians in degree. There was a statistic investigation to determine whether physiologic intraocular pressure, age, weight, sex, eye-side and the shape of the head have an influence on the data.

There is no statistic influence of the physiologic intraocular pressure ≤ 25 millimetre Hg on the biometrical data. This also applies to the eye-side and the sex of the animals.

There was a significant influence concerning the horizontal corneal radius and age. Nearly no significance, but suspicious is the relationship between the vertical corneal radius and age.

A non-linear regression equation was calculated for both corneal meridians. This can be shown in the following equation: $Y = E - A * e^{-b * x} + \epsilon$. Y is the variable of interest, E, A and b are constants, e is Euler's constant (2,71828), x is the age of the animals in month, and ϵ is the random deviation.

Body weight has a high statistic influence on the horizontal and vertical radii. The relationship between body weight and corneal radii is characterized by linear increasing data. This can be shown by the following equation: $Y = a + b * (KM - \emptyset KM)$. Y is the variable of interest, a is adjusted mean, b the regression coefficient, KM the body weight and $\emptyset KM$ the averaged body weight in this thesis. The horizontal corneal radius grows 0,1 millimetre, the

vertical corneal radius grows 0,09 millimetre per kilogram bodyweight. On the other hand the horizontal corneal radius decreases 0,42 dioptre, the vertical corneal radius decreases 0,39 dioptre per kilogram bodyweight (all data referred to the averaged body weight of all adult cats: 4,35 kilogram).

The shape of the head has a statistic significant influence on the vertical corneal radius, but for the horizontal corneal radius it is not statistic significant.

The measurements show that in adult cats the vertical corneal radius in millimetre is larger or equal to the horizontal corneal radius. In the domestic shorthair-group (the largest group) vertical corneal radius on average is 8,85 millimetres, horizontal corneal radius on average is 8,81 millimetres (by an average of 250 right eyes and 247 left eyes). The brachycephal breeds have an averaged vertical corneal radius of 9,09 millimetres, the averaged horizontal corneal radius is 8,84 millimetres (by an average of 23 right eyes and 25 left eyes). The large-boned cats show an averaged vertical corneal radius of 8,98 millimetre, the averaged horizontal corneal radius is 8,92 millimetre (by an average of 75 right eyes and 73left eyes).

8 Literaturverzeichnis

Acrivet (2009)

Specific Information for Acrivet Pat, Acrivet Pat-UV, Acrivet Pat P14, Acrivet Pat black
S&V Technologies: Veterinary Division, Henningsdorf: 1-8

Ambroziak A.M., Szaflik J.P., Szaflik J. (2004)

Therapeutic Use of a Silicone Hydrogel Contact Lens in Selected Clinical Cases
Eye & Contact Lens: 30(1): 63-67

Asbell P.A., Chiang B., Somers M.E., Morgan K.S (1990)

Keratometry in children
Eye & Contact Lens: 16(2): 99-102

Auto-Keratometer – Bedienungsanleitung (1992)

Alcon Pharma^R GmbH, Freiburg: 1-1 bis 4-6

Bahn C.F., Glassman R.M., MacCallum D.K., Lillie J.H., Meyer R.F., Robinson B.J., Rich N.M. (1986)

Postnatal Development of Corneal Endothelium
Investigative Ophthalmology & Visual Science: 27 (1): 44-51

Baron H. (1991)

Kontaktlinsen: 188-196, 209-223, 249-261
Optische Fachveröffentlichung GmbH, Heidelberg, Verlag der deutschen Optikerzeitung

Bille J., Schlegel W. (2005)

Medizinische Physik 3-Medizinische Laserphysik: 15-16, 18, 21
Springer Verlag, Berlin, Heidelberg

Bischoff G. (2006)

Kontaktlinsen als Therapiekonzept
Der Augenspiegel: 3: 46-50

Brücke E. (1847)

Anatomische Beschreibung des menschlichen Augapfels: 1-4
Verlag G. Reimer, Berlin

Bürki E. (2001)

Neue Möglichkeiten der Hornhautdiagnostik mit Hilfe der Videokeratometrie (1. Teil)
Neues Optikerjournal: 10: 52-55

Bürki E. (2001)

Neue Möglichkeiten der Hornhautdiagnostik mit Hilfe der Videokeratometrie (2. Teil)
Neues Optikerjournal: 11: 52-54

Buser A. (2011)

Seminar Elementarwissenschaften der Augenheilkunde, Kurs 3: Physiologische Optik und
Skiaskopie
Seminar in der Tierärztlichen Praxis für Augenheilkunde Dr. Jens Fritsche am 15.10.2011

**BVA (Bundesverband der Augenärzte Deutschlands e.V.) und DOG (Deutsche
Ophthalmologische Gesellschaft e.V.) (2008)**

Informationsblatt: Kontaktlinsen: 1-8
AMO Germany GmbH (Advanced Medical Optics), Ettlingen

Carrington S.D., Woodward E.G. (1984)

The topography of the anterior surface of the cat's cornea
Current Eye Research.: Jun, 3 (6): 823-826

Carrington S.D., Woodward E.G. (1986)

Corneal thickness and diameter in the domestic cat
Ophthalmic and Physiological Optics: 6 (4): 385-9

Christie C.L. (1999)

Therapeutic contact lens
Contact Lens and Anterior Eye: Supplement 22: 20-25

Clerc B., Krähenmann A. (1990)

Augenheilkunde – Hund und Katze: 12
Paul Parey Verlag, Berlin und Hamburg

Das S., Seitz B. (2008)

Recurrent Corneal Erosion Syndrome
Survey of Ophthalmology: 53 (1): 3-15

Denk N. (2009)

Der Effekt UV-blockierender Kontaktlinsen bei der Therapie der Keratitis superficialis
chronica des Hundes
Inaugural-Dissertation, München

Dingeldein S.A., Klyce D.S. (1988)

Imaging of the Cornea
Cornea: 7(3): 170-182

Dingeldein S.A., Klyce D.S. (1989)

The topography of normal corneas
Archives of Ophthalmology: 107: 512-518

Duba I. (1986)

Therapie der rezidivierenden Hornhaut-Erosion mit weichen Kontaktlinsen
Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde: 188: 488-489

Dubbelman M., Sicam V.A.D.P., Van der Heijde G.L. (2006)

The shape of the anterior and posterior surface of the aging human cornea
Vision Research: 46: 993-1001

Dyce K.M., Sack W.O., Wensing C.J.G. (1991)

Anatomie der Haustiere: 363-379
Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart

Edwards K., Atkins N. (2002)

Silicone hydrogel contact lenses – Part 2 Therapeutic applications
Optometry: October: 26-30

Ehrlich D. (2006)

Therapeutic contact lenses
Optician (CET/ Continuing Education and Training): July 14: 28-32

Emsley H.H., (1952)

Visual Optics: 323
London: Hatton Press. (5th edition): Volume 1

Eule, C. (2013)

Vortrag: Colours of the Cornea, Vortrag 1: 3
23. Jahrestagung der FVO (Fachgruppe Veterinärophthalmologie) in Rostock, 26.-28.4.2013

**Eysteinnsson T., Jonasson F., Sasaki H., Arnarsson A., Sverrisson T., Sasaki K.,
Stefansson E., Reykjavik Eye Study Group (2002)**

Central corneal thickness, radius of the corneal curvature and intraocular pressure in normal subjects using non-contact techniques: Reykjavik Eye Study
Acta Ophthalmologica Scandinavica: Feb, 80 (1): 11-15

Fick A. (1885)

Die Medicinische Physik: 315
VDM Verlag Dr. Müller e.K. und Lizenzgeber, Saarbrücken (Reprint)

Foulks G.N. (2007)

The Correlation Between the Tear Film Lipid Layer and Dry Eye Disease
Survey of Ophthalmology: 52 (4): 369-374

Freeman R.D. (1980)

Corneal radius of curvature of the kitten and the cat.
Investigative Ophthalmology & Visual Science: Mar, 19 (3): 306-8.33

Freeman R.D., Lai C.E. (1978)

Development of the surfaces of the kitten eye

Vision Research: 18 (4): 399-407

Freeman R.D., Wong S., Zezula S. (1978)

Optical development of the kitten cornea

Vision Research: 18 (4): 409-414

Fromberg I., Kreiner C. (2007)

Animal eye protection device against UV-rays

Patent Reference Nr.: EP 1600805 B1

Gaiddon J., Rosolen S.G., Steru L., Cook C.S., Peiffer R. Jr. (1991)

Use of biometry and keratometry for determining optimal power for intraocular lens implants in dogs.

American Journal of Veterinary Research: May, 52 (5): 781-788

Gelatt K.N. (2007)

Veterinary Ophthalmology Fourth Edition: 49-60, 150-155, 468-471, 1127-1130

Blackwell Publishing

Gilger B.C., Davidson M.G., Colitz C.M. (1998)

Experimental implantation of posterior chamber prototype intraocular lenses for the feline eye.

American Journal of Veterinary Research: Oct, 59 (10):1339-1343

Gilger B.C., Davidson M.G., Howard P.B. (1998)

Keratometry, ultrasonic biometry, and prediction of intraocular lens power in the feline eye

American Journal of Veterinary Research: 59 (2): 131-134

Gilger B.C., Wright J.C., Whitley R.D., McLaughlin S.A. (1993)

Corneal thickness measured by ultrasonic pachymetry in cats

American Journal of Veterinary Research: 54: 228-230

Giraldez-Fernandez M.J., Diaz-Rey A., Garcia-Resua C., Yebra-Pimentel-Vilar E. (2008)

Diurnal variations of central and paracentral corneal thickness and curvature
Archivos de la Sociedad Espanola de Oftalmologica: 83: 183-192

Goldblum D., Kontiola A.I., Mittag T., Chen B., Danias J. (2002)

Non-invasive determination of intraocular pressure in the rat eye.
Comparison of an electronic tonometer (TonoPen), and a rebound (impact probe) tonometer
Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology: 240: 942-946

Görig C., Meyer-Lindenberg A., Ulrich S., Wagner F., Nolte I. (1997)

Keratometrie beim Hund: zwei automatische Handkeratometer im Vergleich
Tierärztliche Praxis Ausgabe K.: Nov, 25 (6):659-65

Görig C., Coenen R.T.I., Stades F.C., Djajadiningrat-Laanen S.C., Boevé M.H. (2006)

Comparison of the use of new handheld tonometers and established applanation tonometers in dogs
American Journal of Veterinary Research: 67 (1): 134-144

Grehn (2008)

Augenheilkunde: 334-340
Springer Medizin Verlag Heidelberg

Grus F.H., Sabuncuo P., Augustin A.J. (2001)

Quantitative Analyse der Tränenproteinmuster bei weichen Kontaktlinsen – Klinische Studie
Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde: 218: 239-242

Guillon M., Styles E., Guillon J.-P., Maissa C. (1997)

Preocular Tear Film Characteristics of Nonwearers and Soft Contact Lens Wearers
Optometry & Vision Science: May, 74 (5): 273-279

Hammack G.G. (1997)

Evaluation of the Alcon Renaissance Handheld Automated Keratometer
International Contact Lens Clinic: 24: March/April: 59-65

Harvey E.M., Miller J.M. Dobson V. (1995)

Reproducibility of corneal astigmatism measurements with a hand held keratometer in preschool children

British Journal of Ophthalmology: 79: 983-990

Hauff W. (1982)

Die Bedeutung der präoperativen Berechnung intraokularer Linsen

Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde: 181: 417-420

Hecht E (2005)

Optik: 163, 166-171, 343

Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, München, 4. Auflage

Helmholtz H. von (1909)

Erster Band, in: Handbuch der Physiologischen Optik: Kapitel 2, Seite 4-12

Verlag von Leopold Voss, Hamburg und Leipzig: 6-7

Hendrickson P. (1987)

Radiale Keratotomie: Tiermodell für die Augenentwicklung

Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde: 190: 265-266

Høvding G. (1984)

Hydrophilic Contact Lenses in Corneal Disorders

Acta ophthalmologica: 62: 566-576

Ip J.M., Huynh S.C., Kifley A., Rose K.A., Morgan I.G., Varma R., Mitchell P. (2007)

Variation of the Contribution from Axial Length and Other Oculometric Parameters to Refraction by Age and Ethnicity

Investigative Ophthalmology & Visual Science: 48 (10): 4846-4853

Jalbert I., Stapleton F. (2005)

The corneal stroma during contact lens wear

Contact Lens and Anterior Eye: Mar, 28 (1): 3-12

Junker (1985)

Kontaktlinsen, Praxis einer optimalen Anpassung: 21-23, 32-37
Urban und Schwarzenberg München, Wien, Baltimore

Kafarnik C., Fritsche J., Reese S. (2007)

In vivo confocal microscopy in the normal corneas of cats, dogs and birds
Veterinary Ophthalmology: 10 (4): 222-230

Kampik (1995)

Jahrbuch der Augenheilkunde – Optik und Refraktion: 13-38, 107-122
Biermann Verlag GmbH, Zülpich

Kaschke M.(2008)

Optische Systeme – Anwendungen in Medizintechnik und Life Sciences
Vorlesungsskript Karlsruhe Institut für Technologie (KIT)

Kaufmann H.E., Barron B.A., McDonald M.B. (1998)

The Cornea: 999-1002, 1055-1075
Butterworth-Heinemann, Newton

Kistler R. (1927)

Untersuchung über die Refraktion von 105 Hunden mit Bemerkungen über senile
Veränderungen des Hundeauges
Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde: 80 (181): 181-190

Klesen S. (1998)

Keratometrie am Hundeauge
Inaugural-Dissertation der Justus-Liebig-Universität, Gießen

Knollinger A.M., La Croix N.C., Barrett P.M., Miller P.E. (2005)

Evaluation of a rebound tonometer for measuring intraocular pressure in dogs and horses
Journal of the American Veterinary Medical Association: 227 (2): 244-247

Koerschgen B. (2010)

Biometrie am Katzenauge mit Hilfe des A-Modus-Ultraschallverfahrens
Inaugural-Dissertation der Justus-Liebig-Universität, Gießen

Kubai M.A., Bentley E., Miller P.E., Mutti D.O., Murphy C.J. (2008)

Refractive states of eyes and association between ametropia and breed in dogs
American Journal of Veterinary Research: 69 (7): 946-951

Kuchling H. (2007)

Taschenbuch der Physik: 360-371, 653
Carl Hanser Verlag, München (Fachbuchverlag Leipzig): 360-371, 653

Kuhn D. (2007)

Anpassung weicher Kontaktlinsen Teil 2
Aktuelle Kontaktologie: 3 (7): 14-17

Kuhn D., Hoppe O. (2006)

Anpassung weicher Kontaktlinsen
Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde: 223: R47-R71.

Lam A.K., Douthwaite W.A. (1997)

The effect of an artificially elevated intraocular pressure on the central corneal curvature
Ophthalmic and Physiological Optics: Jan : 17 (1): 18-2

Langenbucher A., Viestenz A., Szentmary N., Behrens-Baumann, W. (2008)

Berechnung torischer Kontaktlinsen
Ophthalmologie: 105: 685-692

Leitlinie Nr. 6 a- Anpassung und Kontrolle von Verbandlinsen (2012)

Leitlinien von BVA (Bundesverband der Augenärzte Deutschlands e.V.) und DOG (Deutsche Ophthalmologische Gesellschaft e.V.)

Leitlinie Nr. 6- Kontaktlinsen-Anpassung und -kontrolle (2012)

Leitlinien von BVA (Bundesverband der Augenärzte Deutschlands e.V.) und DOG (Deutsche Ophthalmologische Gesellschaft e.V.)

Littmann H. (1951)

Grundlegende Betrachtungen zur Ophthalmometrie
v. Graefes Archiv für Ophthalmologie: 151: 249-274

Maggs D.J., Miller P.E., Ofri R., Slatter D.H. (2013)

Slatter's Fundamentals of veterinary ophthalmology: 166
Elsevier Saunders Company, United States of America

Martin C.L. (2010)

Ophthalmic disease in Veterinary Medicine: 219-222, 241-245
Manson Publishing Ltd., London

Metzger S., Schierz G. (2002)

Die Anwendung von Kontaktlinsen bei Hund und Katze - Fallbeispiel
Der praktische Tierarzt: 83, 7: 598-602

Mittelviehhaus H., Gentner C. (2000)

Messgenauigkeiten der Keratometrie bei der Intraokularlinsenberechnung für Säuglinge
Der Ophthalmologe: 97: 186-188

Möhnle C. (1990)

Kontaktlinsen, die unsichtbaren Brillen: 16-24
Georg-Thieme-Verlag, Stuttgart

**Moodie K.L., Hahizume N., Houston D.L., Hoopes 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

Morgan R.V., Abrams K.L. (1994)

A comparison of six different therapies for persistent corneal erosions in dogs and cats
Veterinary and Comparative Ophthalmology: 4: 38-42

Morgan R.V., Bachrach A.Jr., Ogilvie G.K. (1984)

An evaluation of soft contact lens usage in the dog and cat
Journal of the American Animal Hospital Association: 20: 885-888

Nelms S.R., Davidson M.G. Nasisse M.P. Glover T.L (1994)

Comparison of corneal and scleral surgical approaches for cataract extraction by phacoemulsification and intraocular lens implantation in normal dogs
Veterinary and comparative ophthalmology: 4 (2): 53-60

Neuhann T., Blassman K. (1980)

Therapeutische HEMA-Kontaktlinsen – Eine kritische Analyse der eigenen Erfahrungen
Contactologia: 2D 1: 161-244

Nickel R., Schummer A., Seiferle (2004)

Lehrbuch der Anatomie der Haustiere: 405-439
Paul Parey-Verlag in MVS Medizinverlag Stuttgart GmbH & Co.KG

Nowak M.R., Neumann W. (1987)

Refraktion des Hundeauges
Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde: Jul, 191 (1):81-3. German.9

Olsen T. (1986)

On the calculation of power from curvature of the cornea
British Journal of Ophthalmology: 70: 152-154

Pierscionek B.K., Asejczyk-Widlicka M., Schachar R.A. (2007)

The effect of changing intraocular pressure on the corneal and scleral curvatures in the fresh porcine eye
British Journal of Ophthalmology: 91: 801-803

Poser K.-H. (1971)

Einführung in die Refraktions- und Brillenbestimmung: 17

Karl Wachholtz, Neumünster

Preußner P.-R. (2007)

Genauigkeitsgrenzen bei der IOL-Berechnung: Aktueller Stand

Klinische Monatsblätter der Augenheilkunde: 224: 893-899

Pschyrembel W. (2007)

Klinisches Wörterbuch: 165, 278, 977, 979

Walter de Gruyter Verlag, 261. Auflage

Reiner, J. (1982)

Grundlagen der ophthalmologischen Optik: 6-7, 89-96

Books on Demand GmbH, ISBN 3-8311-2767-0

Robin J.B., Keys C.L., Kaminski L.A. (1990)

The Effect of Collagen Shields on Rabbit Corneal Reepithelialization After Chemical Debridement

Investigative Ophthalmology & Visual Science: 31: 1294-1300

Rubinstein M.P. (2003)

Applications of contact lens devices in the management of corneal diseases

Eye: 17: 872-876

Sansom J., Barnett K. (1997)

Weiche Kontaktlinsen bei Kleintieren

Waltham Focus: 7 (1): 21-23

Schaefers , Fischer (1987)

So sehen wir – das Auge optisch und medizinisch betrachtet: 1-25

MedInfoScript, MC-Wolf-Verlag, Herne2

Schelle (2000)

Kontaktlinsen - Neues Sehen - selbst erleben: 26-35

Trias-Verlag, Stuttgart

Schmidt G.M., Blanchard G.L., Keller W.F. (1977)

The use of hydrophilic contact lenses in corneal diseases of the dog and cat: a preliminary report

Journal of Small Animal Practice: Dec, 18 (12): 773-777

Schnell D. (2008)

Multizentrische Verbandlinsenstudie

Aktuelle Kontaktologie: 4 (11): 23-33

Schoster J.V.

Chronic superficial corneal erosions

www.yumpu.com/en/document/view/5355812/chronic-superficial-corneal-erosions

Schoster J.V.

Non-healing Corneal Ulcers/Erosions in Animals

www.cal.vet.upenn.edu/projects/ophthalmology/ophthalmo_files/Tools/Nonhealingcornealulcers.pdf

Seiler T., Koller T. (2005)

Asphärität der Hornhaut und Astigmatismus

Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde: 222: 977-982.65

Shin J.A., Manny R.E., Kleinstein R.N., Mutti D.O., Zadnik K. (1999)

Short-term repeatability of hand-held keratometry measurements

Optometry & Vision Science.: Apr, 76 (4): 247-253

Simsek N.A., Ay G.M., Tugal-Tutkun I., Basar D., Bilgin L.K. (1996)

An Experimental Study on the Effect of Collagen Shields and Therapeutic Contact Lenses on Corneal Wound Healing

Cornea: 15(6): 612-616

Smolen D., Ball R., Zacks J.L. (1976)

Postnatal changes in corneal curvature

American Journal of Optometry and physiological optics: 53 (4): 165-167

Steele C.F. (2000)

Fitting and Management of therapeutic contact lenses

Hospital Optometrists Information Series: November: 1-20

Thorn F., Gollender M., Erickson P. (1976)

The development of the kitten's visual optics

Vision Research: 16 (10): 1145-1149

Toth J., Hollerrieder J. (2007)

Einsatz von Kontaktlinsen – Behandlung der Keratitis ulcerosa des Pferdes

Pferde Spiegel: 4: 160-164

Trautwein A., Kreibitz U., Hüttermann J. (2008)

Physik für Mediziner, Biologen, Pharmazeuten: 103-105

Walter de Gruyter Verlag, Berlin: 103-105

Vakkur G.J., Bishop P.O. (1963)

The schematic eye in the cat

Vision Research: 3: 357-381

Vakkur G.J., Bishop P.O., Kozak W. (1963)

Visual optics in the cat, including posterior nodal distance and retinal landmarks

Vision Research: 3: 289-314

Valentin, G. (1879)

Ein Beitrag zur Kenntniss der Brechungsverhältnisse der Thiergewebe

Pflügers Archiv der ges. Physiologie: 20: 283-314

VEB Fachbuchverlag, Leipzig

Valentin, G. (1879)

Fortgesetzte Untersuchungen über die Brechungsverhältnisse der Thiergewebe
Pflügers Archiv der ges. Physiologie: 19: 78-105
VEB Fachbuchverlag, Leipzig

Veterinary Specialty Products (1996)

i-protexTM veterinary bandage lenses (Schutz-Kontaktlinsen für Tiere) - Informationen für den
veterinärmedizinischen Gebrauch: 1-3
Shropshire

Veys J., Meyler J., Davies I. (2008)

Grundlagen der Kontaktlinsen-Praxis Teil 3 - Beurteilung der Hornhauttopographie
Kontaktlinse: 8: 60-65

Veys J., Meyler J., Davies I. (2009)

Grundlagen der Kontaktlinsen-Praxis Teil 9 - Kontaktlinsen-Tragen über Nacht
Kontaktlinse: 2: 80-89

Veys J., Meyler J., Davies I. (2009)

Grundlagen der Kontaktlinsen-Praxis Teil 10 - Kontaktlinsen-Nachkontrolle
Kontaktlinse: 3: 96-103

Walde I., Nell B., Schäffer E., Köstlin R. (2008)

Augenheilkunde - Lehrbuch und Atlas, Hund, Katze, Kaninchen und Meerschweinchen: 3-29
Schattauer-Verlag, Stuttgart

Wassill K., Dick B. (1995)

Klinische Erfahrungen mit dem Handkeratometer
Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde: 207: 81-86

Wikipedia

www.wikipedia.org/wiki/Snelliussches_Brechungsgesetz

Yeung K.K., Silverman B.S., Kageyama J.Y. (2001)

Aphakic hydrogel contact lens fitting on a monocular canine: a case report

Optometry: Jul, 72 (2): 421-425

9 Danksagung

Ich möchte mich bei allen bedanken, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben!
Jetzt ist es geschafft!

Herzlichen Dank an Herrn *Prof. Dr. Martin Kramer* für die Überlassung des Themas und die Unterstützung bei der Anfertigung dieser Arbeit. Seine schnellen Korrekturen sind besonders hervorzuheben.

Herrn Dr. Failing und Frau Sparenberg von der AG Biomathematik danke ich für die statistische Auswertung meiner Daten und auch für die geduldige Beantwortung meiner Fragen.

Das gilt auch für *Frau Dr. habil. Sabine Tacke*, die sich meine Arbeit bezüglich der Statistik vorgenommen hat, vielen Dank.

Ganz herzlichen Dank an *meine Eltern*: Ihr habt mich immer - ohne Wenn und Aber - unterstützt und gefördert und an mich geglaubt: ich hab Euch ganz doll lieb! Die Arbeit ist Euch gewidmet!

Ganz lieben Dank auch an *Michi*, der ganz geduldig meine arbeitsreichen Tage alleine verbringen musste. Schön, dass es Dich gibt – ich liebe Dich!

Birgit – beste Kollegin und Freundin - Deine Disziplin und Dein Willen haben mich bestärkt, diese Arbeit zu beginnen und bis zum Ende durchzuhalten! Danke auch für Deine kritische Durchsicht meiner Arbeit! Ich bin froh, dass wir so gut zusammenhalten!

Susanne - meine beste Freundin. Vielen Dank für Deine ausführlichen Korrekturen. Du warst und bist immer für mich da. Du bist einmalig für mich und ich bin stolz, eine so gute Freundin zu haben. Danke Dir!

Vielen Dank auch an *Romana*, die mir in ihrer Freizeit bei der Untersuchung und Messung der Katzen sehr geholfen hat - wir waren viel unterwegs an den Wochenenden....

Vielen Dank an *Babsi* für ihre tollen Anmerkungen und Ratschläge, an *Ute* und *Ron*, die meine Übersetzung ins Englische korrigiert haben und meinen *Pat*, der die Arbeit ganz gewissenhaft Korrektur gelesen hat.

Letzten Endes herzlichen Dank an die *Tierschutzvereine, Tierheime und Katzenzüchter und Katzenbesitzer*, die ihre Katzen für die Untersuchungen bereitgestellt haben.

10 Erklärung

Erklärung gemäß §10 Absatz 5 der Promotionsordnung Veterinärmedizin vom 6. Februar 2002 der Justus-Liebig-Universität Gießen

Ich erkläre:

ich habe die vorgelegte Dissertation selbständig und ohne unerlaubte fremde Hilfe und nur mit den Hilfen angefertigt, die ich in der Dissertation angegeben habe. Alle Textstellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder nicht veröffentlichten Schriften entnommen sind, 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 zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis“ niedergelegt sind, eingehalten.

Die Autorin hat kein finanzielles Interesse an irgendeinem der in der vorliegenden Arbeit verwendeten Geräte oder Medizinalprodukten.

Nina Müller



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: 978-3-8359-6067-1



9 783835 960671