

**Aus der Klinik für kleine Haustiere
des Fachbereichs Veterinärmedizin
der Freien Universität Berlin**

**Evaluation des Applanationstonometers TonoPen Avia Vet
für die Bestimmung des Augeninnendrucks bei
Hunden, Katzen und Kaninchen**

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

**vorgelegt von
Stefanie Daniela Helbig (geb. Kamm)
Tierärztin aus Berlin**

**Berlin 2022
Journal-Nr.: 4157**

Aus der Klinik für kleine Haustiere
des Fachbereichs Veterinärmedizin
der Freien Universität Berlin

**Evaluation des Applanationstonometers TonoPen Avia Vet
für die Bestimmung des Augeninnendrucks bei
Hunden, Katzen und Kaninchen**

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

vorgelegt von
Stefanie Daniela Helbig (geb. Kamm)
Tierärztin aus Berlin

Berlin 2022

Journal-Nr.: 4157

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs Veterinärmedizin
der Freien Universität Berlin

Dekan: Univ.-Prof. Dr. Uwe Rösler
Erster Gutachter: Univ.-Prof. Dr. Corinna Eule
Zweiter Gutachter: Univ.-Prof. Dr. Christoph Lischer
Dritter Gutachter: PD Dr. Roswitha Merle

Deskriptoren (nach CAB-Thesaurus):

dogs, cats, rabbits, diagnostic techniques, veterinary medicine, veterinary practice,
ophthalmoscopy (MeSH), intraocular pressure (MeSH), clinical examination

Tag der Promotion: 12.12.2022

Bibliografische Information der *Deutschen Nationalbibliothek*

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

ISBN: 978-3-96729-227-5

Zugl.: Berlin, Freie Univ., Diss., 2022

Dissertation, Freie Universität Berlin

D188

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.

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

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

This document is protected by copyright law.

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

alle Rechte vorbehalten | all rights reserved

© Mensch und Buch Verlag 2023 Choriner Str. 85 - 10119 Berlin
verlag@menschundbuch.de – www.menschundbuch.de

I. Inhaltsverzeichnis

I.	Inhaltsverzeichnis.....	I
II.	Abkürzungsverzeichnis	III
1.	Einleitung	1
2.	Literaturübersicht	3
2.1	Definition des intraokularen Druckes	3
2.2	Messung des intraokularen Druckes.....	3
2.2.1	Manometrie.....	3
2.2.2	Manuelle Tonometrie	4
2.2.3	Impressionstonometrie	4
2.2.4	Applanationstonometrie	5
2.2.5	Rückstoßtonometrie.....	10
2.3	Anatomie der für den Augeninnendruck relevanten Strukturen	12
2.3.1	Hornhaut (Cornea).....	12
2.3.2	Ziliarkörper (Corpus ciliare)	13
2.3.3	Vordere und hintere Augenkammer (Camera anterior et posterior bulbi).....	14
2.3.4	Iridokornealer Winkel (Angulus iridocornealis)	14
2.4	Physiologie des Augeninnendrucks	15
2.4.1	Bildung des Kammerwassers	15
2.4.2	Abfluss des Kammerwassers	16
2.4.3	Alter	17
2.4.4	Geschlecht und Hormonstatus	18
2.4.5	Zirkadianer Rhythmus.....	19
2.4.6	Kopf- und Körperposition	19
2.4.7	Medikamentelle Beeinflussung des IOD	19
2.4.8	Sonstige Einflussfaktoren	20
2.5	Pathologie des Augeninnendrucks	20
2.5.1	Glaukom	20
2.5.2	Uveitis	22
3.	Material und Methoden	25
3.1	Zielsetzung.....	25
3.2	Kalibrierung des TonoPen Avia Vet.....	26
3.2.1	Versuchsmaterial	26

3.2.2	Versuchsaufbau	26
3.2.3	Durchführung der Kalibrierungsversuche	27
3.2.4	Statistische Auswertung	27
3.3	Ermittlung von Referenzbereichen des IOD	28
3.3.1	Tiere.....	28
3.3.2	Anamnese und Untersuchung	28
3.3.3	Einschlusskriterien	28
3.3.4	Ausschlusskriterien.....	28
3.3.5	Messung des IOD mit dem TonoVet.....	28
3.3.6	Messung des IOD mit dem TonoPen Avia Vet	29
3.3.7	Statistische Auswertung	29
4.	Ergebnisse	31
4.1	Kalibrierung des TonoPen Avia Vet.....	31
4.1.1	Vergleich von Manometrie und Tonometrie	31
4.2	Augeninnendruck bei lebenden Hunden, Katzen und Kaninchen	38
4.2.1	Hunde.....	38
4.2.2	Katzen	39
4.2.3	Kaninchen	40
5.	Diskussion.....	43
6.	Zusammenfassung.....	49
7.	Summary.....	50
	Literatur	51
	Anhang	67
	Publikationsverzeichnis	78
	Danksagung	79
	Selbstständigkeitserklärung	80

II. Abkürzungsverzeichnis

ATPasen	Adenosintriphosphatasen
C	Kohlenstoff
Cl	Chlor
cm	Zentimeter
H	Wasserstoff
IOD	Intraokularer Druck
K	Kalium
Kg	Kilogramm
mm	Millimeter
mmHg	Millimeter-Quecksilbersäule
Na	Natrium
NaCl	Natriumchlorid (Kochsalz)
NaH	Natriumhydrid
O	Sauerstoff
Pa	Pascal
SD	Standardabweichung
SI	Système international d'unités (internationales Einheitensystem)

1. Einleitung

Das Auge ist ein empfindliches Sinnesorgan, welches für seine normale Funktion auf einen in einem gewissen Rahmen konstanten intraokularen Druck angewiesen ist. Ein pathologisch erhöhter oder erniedrigter Augeninnendruck kann zu Schädigungen des Auges führen, welche mit Schmerzen und eingeschränktem Visus bis hin zur Blindheit verbunden sind.

Die Tonometrie, also die indirekte Messung des Augeninnendrucks, ist ein fester Bestandteil der ophthalmologischen Untersuchung und von entscheidender Bedeutung, um ein Glaukom oder eine Uveitis zu diagnostizieren sowie deren Therapieverläufe regelmäßig zu überwachen (FEATHERSTONE und HEINRICH, 2013).

Ein in der Veterinärmedizin häufig eingesetztes Tonometer ist der TonoPen XL. Dieses tragbare Applanationstonometer zeichnet sich durch eine einfache Handhabung und eine lageunabhängige Messposition aus. Der TonoPen XL wurde bereits für die Augeninnendruckmessung bei zahlreichen Tierarten eingesetzt, unter anderem bei Pferden, Hunden, Katzen und Exoten (MILLER et al., 1990, GELATT und MACKAY, 1998, ANDRADE et al., 2012, GHAFFARI et al., 2012, RUIZ et al., 2015).

Der TonoPen Avia Vet ist das technisch und ergonomisch weiterentwickelte Nachfolgemodell des TonoPen XL. Es wurden bereits Augeninnendruckmessungen bei Rindern, Schafen, Ziegen und Kaninchen mit diesem Tonometer vorgenommen (PEREIRA et al., 2011, PECHE und EULE, 2018).

Das Rückstoßtonometer TonoVet wird ebenfalls häufig in der Veterinärmedizin eingesetzt. Es wurden mit diesem Tonometer bereits Augeninnendruckmessungen bei zahlreichen Tierarten durchgeführt, unter anderem bei Pferden, Hunden, Katzen und Kaninchen (GÜSE, 2008, NAGATA et al., 2011, PEREIRA et al., 2011, MCLELLAN et al., 2013, ZHANG et al., 2014, MA et al., 2016).

Um die gemessenen Augeninnendruckwerte korrekt zu beurteilen, sind zwei Dinge zu beachten: Tonometer messen nur indirekt den Augeninnendruck, was zu Messungenauigkeiten führt. Zudem wurden alle Applanationstonometer für die Humanmedizin entwickelt. Eine Kalibrierung von Tonometern für die Tiermedizin ist daher notwendig. Die dafür eingesetzte Vergleichsmessung des Augeninnendrucks mit einem Manometer gilt als Goldstandard, da die Manometrie den Augeninnendruck direkt misst und

sehr präzise Ergebnisse liefert. Für den klinischen Einsatz eignet sich die Manometrie allerdings aufgrund ihrer Invasivität nicht, sie bleibt auf die Forschung beschränkt (KNIESTEDT et al., 2008, FEATHERSTONE und HEINRICH, 2013). Das TonoVet besitzt bereits eine interne Kalibrierung für Hunde, Katzen und Pferde. Es wurde bereits für weitere Tierarten kalibriert, unter anderem für Kaninchen (ZHANG et al., 2014, MA et al., 2016).

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist das Vorhandensein von Referenzwerten für den Augeninnendruck, welche anhand einer ausreichend großen gesunden Referenzpopulation erstellt worden sind. Diese existieren für das TonoPen Avia Vet nach heutigem Wissensstand nur für Rinder, Schafe und Ziegen (PECHE und EULE, 2018). Für das TonoVet fehlen ebenfalls Augeninnendruckmessungen bei Kaninchen anhand einer ausreichend großen gesunden Referenzpopulation.

Ziel dieser Arbeit ist es, den TonoPen Avia Vet für die häufig in der veterinärmedizinischen Kleintierpraxis vorgestellten Tierarten Hund, Katze und Kaninchen mit Hilfe eines Manometers zu kalibrieren. Anhand der Ergebnisse soll ein Korrekturfaktor errechnet werden, mit der die mit dem TonoPen Avia Vet gemessenen Augeninnendruckwerte in manometrisch vergleichbare Werte für den Augeninnendruck umgerechnet werden können.

Ein weiteres Ziel dieser Arbeit ist es, Referenzwerte für den mit dem TonoPen Avia Vet gemessenen Augeninnendruck für die Tierarten Hund, Katze und Kaninchen sowie Referenzwerte für den mit dem TonoVet gemessenen Augeninnendruck bei Kaninchen anhand einer ausreichend großen augengesunden Referenzpopulation zu erstellen sowie einen möglichen Einfluss von Alter, Gewicht und Geschlecht auf den Augeninnendruck zu untersuchen.

2. Literaturübersicht

2.1 Definition des intraokularen Druckes

Der intraokulare Druck (IOD) wird durch die Bildung und den Abfluss des Kammerwassers generiert und aufrechterhalten. Zu- und Abfluss befinden sich beim gesunden Auge im Gleichgewicht und erzeugen dabei einen Druck, der innerhalb des Auges gleichmäßig verteilt ist (MILLAR und KAUFMAN, 1995). Durch den erzeugten Druck werden die lichtbrechenden Strukturen des Auges in ihrer Lage und Form stabilisiert (GUM und MACKAY, 2013).

Physikalisch betrachtet ist der Druck ein Maß für den Widerstand flüssiger Materie gegen Änderungen ihrer räumlichen Ausdehnung. Der Druck P kann dabei dem Quotienten aus der Kraft F und der Fläche A gleichgesetzt werden: $P = F/A$ (ROBERT, 2015). Die SI-Einheit des Drucks ist das Pascal (Pa). Der Augeninnendruck wird jedoch üblicherweise in Millimeter Quecksilbersäule (mm Hg) angegeben. 1 mm Hg entspricht dabei 133,322 Pa (SEIBT, 2003).

2.2 Messung des intraokularen Druckes

2.2.1 Manometrie

Die Manometrie ist eine direkte und präzise Methode, um den Augeninnendruck zu messen. Für den Messvorgang wird eine Kanüle in die vordere Augenkammer oder den Glaskörper eingeführt. Da der Augeninnendruck höher als der atmosphärische Druck ist, tritt Kammerwasser aus dem Auge aus. Um dies zu vermeiden, ist die Kanüle an ein Flüssigkeitsreservoir angeschlossen. Wird dieses auf eine bestimmte Höhe angehoben, stoppt der Kammerwasseraustritt aus dem Auge. Die Höhe der Flüssigkeitssäule kann abgelesen werden und spiegelt den Augeninnendruck wieder (KNIESTEDT et al., 2008).

Für den klinischen Einsatz eignet sich die Manometrie aufgrund ihrer Invasivität nicht, ihre Anwendung bleibt nur auf die Forschung beschränkt. Dort wird sie für die Kalibrierung von Tonometern als Goldstandard angesehen (KNIESTEDT et al., 2008, FEATHERSTONE und HEINRICH, 2013).

2.2.2 Manuelle Tonometrie

Zur Beurteilung des Augeninnendruckes ruht der Zeigefinger des Untersuchers auf dem geschlossenen oberen Augenlid quer über dem Bulbus. Durch leichten Druck kann die Härte des Auges abgeschätzt werden. Die manuelle Tonometrie wird gleichzeitig beidseits durchgeführt, um einen besseren Vergleich zu erhalten (FEATHERSTONE und HEINRICH, 2013). BOWMAN (1862) schlägt eine Einteilung des Augeninnendruckes in neun Grade vor, welche auf der Eindrückbarkeit des Bulbus beruhen. Aufgrund der heutigen Möglichkeit, instrumentelle Tonometer einzusetzen, zählt die manuelle Tonometrie zu den ungenauesten Methoden der Augeninnendruckmessung und dient sowohl in der Humanmedizin als auch in der Veterinärmedizin nur zur ersten Orientierung (FEATHERSTONE und HEINRICH, 2013).

2.2.3 Impressionstonometrie

Das erste Impressionstonometer wird 1862 von Graefe vorgestellt. Das Gerät stützt sich auf Orbita und Oberkiefer ab, ein zentraler Stift drückt das Auge während des Messvorgangs ein. Bei geschlossenem Lid wird jedoch das gesamte Auge in die Orbita gedrückt. In den darauffolgenden Jahren werden weitere Impressionstonometer von Donders, von Dor und von Monnik entwickelt (ROBERT, 2015).

Schiötz entwickelt 1905 ein Impressionstonometer, welches eine weite Verbreitung findet. Es misst, wie stark ein Metallstift mit bekanntem Gewicht die Kornea eindellt. Die Einsinktiefe des Metallstifts in die Kornea ist dabei umgekehrt proportional zum Augeninnendruck (MAGGS, 2008). Für den Messvorgang wird die Fußplatte des Tonometers im rechten Winkel auf die zuvor anästhesierte Kornea gestellt. Der bewegliche Metallstift sinkt in die Kornea ein, wobei das obere Ende des Stifts über ein Übertragungssystem einen Zeigerausschlag bewirkt. An der Skala des Tonometers kann ein Wert abgelesen und mit Hilfe von Kalibrationstabellen in mmHg umgerechnet werden (FEATHERSTONE und HEINRICH, 2013). Kalibrationstabellen existieren für den Menschen (FRIEDENWALD, 1950) und für Hunde (PEIFFER et al., 1977). Bei klinisch gesunden Hunden und Katzen eignet sich die Kalibrationstabelle für Menschen am besten, um den mit dem Schiötz-Tonometer gemessenen Zeigerausschlag in mmHg umzurechnen. Die Umrechnungstabelle für Hunde liefert hingegen ungenauere Ergebnisse (MILLER und PICKETT, 1992a, MILLER und PICKETT, 1992b).

Für das Pferd gibt SEVERIN (1976) mit dem Schiötztonometer gemessene Werte für den mittleren Augeninnendruck im Bereich von 14 – 22 mmHg an. OFRI et al. (1998b) führten

Augeninnendruckmessungen bei drei großen Wildwiederkäuerspezies (Syrischer Steinbock, Böhm-Zebra, Arabische Oryx) mit dem Schiötz-Tonometer durch.

Für eine korrekte Messung des Augeninnendruckes mit dem Schiötz-Tonometer ist die Lagerung des Patienten entscheidend. Die Kornea muss sich in einer horizontalen Ebene befinden, damit die Fußplatte des Tonometers im rechten Winkel und zentral auf der Kornea platziert werden kann. Dies setzt beim Menschen eine liegende Position oder ein starkes Strecken des Kopfes nach dorsal im Sitzen voraus (ROBERT, 2015). Analog dazu werden Hunde und Katzen in Seitenlage verbracht und durch Anheben der Nase die Kornea in eine horizontale Ebene gebracht (FEATHERSTONE und HEINRICH, 2013). Bei Großtieren mit lateral gelegenen Augen hat sich diese Lagerung ohne Allgemeinanästhesie als unpraktisch erwiesen (GILGER und STOPPINI, 2010).

Eine weitere Limitation für den Einsatz des Schiötz-Tonometers in der Veterinärmedizin ergibt sich bei der Augengröße der zu untersuchenden Tiere: Aufgrund der im Durchmesser 9 mm großen Fußplatte ist eine Messung bei Tieren mit sehr kleinen Augen nicht möglich (FEATHERSTONE und HEINRICH, 2013). Die Fußplatte weist zudem eine an die menschliche Kornea angepasste konkave Krümmung auf. Bei Tieren mit großen Augen und flacher Kornea werden falsch niedrige Werte gemessen, wohingegen es bei Tieren mit kleinen Augen und größerer Krümmung der Kornea zu falsch hohen Werten (STRUBBE und GELATT, 1999).

Die Verwendung von zusätzlichen Gewichten erlaubt die Beurteilung des Einflusses der okularen Rigidität auf den gemessenen Augeninnendruck. Die okulare Rigidität wird auch „Eigensteifigkeit des Auges“ genannt. Sie ist definiert als der Widerstand der fibrösen Hüllen des Auges gegenüber einer Veränderung des intraokularen Volumens. Jede Veränderung der okularen Rigidität kann die Genauigkeit der Messergebnisse des Schiötz-Tonometers beeinträchtigen. Um herauszufinden, wie stark diese Beeinträchtigung ist, wird der Augeninnendruck nacheinander mit zwei unterschiedlichen Gewichten gemessen, wobei mit dem leichteren begonnen wird. Die abgelesenen Skalenwerte werden wie gewohnt anhand der Eich-tabelle umgerechnet. Wenn beide Werte des Augeninnendrucks übereinstimmen, ist der Einfluss der Rigidität gering. Gleichen sich die Werte des Augeninnendrucks nicht, ist dies auf den Einfluss der Rigidität zurückzuführen (FEATHERSTONE und HEINRICH, 2013).

2.2.4 Applanationstonometrie

Grundlage der Funktionsweise von Applanationstonometern ist das Imbert Fick'sche Gesetz. Dieses besagt, dass der Druck in einer flüssigkeitsgefüllten Kugel, welche von einer

unendlich dünnen Membran umgeben ist, gleich einem von außen einwirkenden Druck ist, der eine bekannte Fläche der Membran abflacht. Vereinfacht formuliert bedeutet dies, dass der innerhalb der Kugel herrschende Druck (p) gleich dem Quotienten aus der für die Abflachung des Areals notwendigen Kraft (F) und der Fläche des abgeflachten Areals (A) ist: $p = F/A$ (MAGGS, 2008, FEATHERSTONE und HEINRICH, 2013).

ROBERT (2015) teilt Applanationstonometer in drei Gruppen ein, je nachdem, welcher Teil der oben genannten Formel konstant und welcher variabel gehalten wird:

Erste Variante: Die Kraft bleibt konstant, die Fläche ist variabel

Zweite Variante: Die Fläche bleibt konstant, die Kraft ist variabel

Dritte Variante: Bidirektionale Applanationstonometrie (Ocular Response Analyzer)

Erste Variante: Die Kraft bleibt konstant, die Fläche ist variabel

Das erste Applanationstonometer erfindet Maklakoff 1885. Ein Stift mit vorgegebenem Gewicht wird mit seinem planen Ende auf die anästhesierte und mit einem Farbstoff benetzte Kornea gehalten. Als Halterung dient eine Gabel, in welcher der Stift frei hängt. Der Stift plattet die Kornea ab, wobei die Größe der Applanationsfläche reziprok zum Druck ist. Das Stiftende, welches an der applanierten Fläche Farbstoff aufgenommen hat, wird anschließend auf Filterpapier gestellt. Die zentrale Fleckgröße wird ausgemessen und mit Hilfe einer Messlatte der Augeninnendruck abgelesen (KNIESTEDT et al., 2008, ROBERT, 2015).

Das Tonometer nach Perkins besteht im Wesentlichen aus einem Prisma, welches auf die anästhesierte und mit Fluoreszein benetzte Kornea gehalten wird. Der Durchmesser der applanierten Fläche kann an einer Skala abgelesen werden (FEATHERSTONE und HEINRICH, 2013, ROBERT, 2015). Bei Hunden, Katzen, Pferden und Rindern lassen sich mit dem Tonometer nach Perkins Augeninnendruckwerte messen, die eng mit manometrisch gemessenen Augeninnendruckwerten korrelieren. Allerdings erfordert es einige Übung, bis korrekte Messungen durchgeführt werden können (ANDRADE et al., 2009, ANDRADE et al., 2011).

Zweite Variante: Die Fläche bleibt konstant, die Kraft ist variabel

1954 stellt Goldmann ein Tonometer vor, welches heute beim Menschen als Standard der Applanationstonometrie gilt (COHAN und BOHR, 2001b, FEATHERSTONE und HEINRICH, 2013). Für den Messvorgang wird der Messkopf auf die zuvor anästhesierte und mit Fluoreszein benetzte Kornea gedrückt. Durch die Applanation kommt es zu einer Verdrängung der Tränenflüssigkeit, ein ringförmiger Tränenmeniskus entsteht am Rand der applanierten Fläche. (KNIESTEDT et al., 2008) Zwei Prismen im Zylinder des Goldmann-Tonometers sorgen dafür, dass der Fluoreszeinring als zwei Halbkreise für den Untersucher sichtbar wird. Die für die Applanation benötigte Kraft wird so eingestellt, dass sich die Innenseiten der beiden Halbkreise berühren. Ist dies der Fall, hat die applanierte Fläche einen Durchmesser von 3,06 mm (ROBERT, 2015). Die Größe der applanierten Fläche von 3,06 mm ist dabei so gewählt, dass sich die Kapillarkräfte des Tränenfilms und die dem Messkopf entgegen wirkende Kraft, welche durch die okulare Rigidität bedingt ist, bei einer Korneadicke von 0,5 mm ausgleichen und deshalb vernachlässigt werden können (KNIESTEDT et al., 2008). Ist die Hornhaut dicker oder dünner als 0,5 mm, so wird der mit dem Goldmann-Tonometer gemessene Augeninnendruckwert korrigiert. Für den Menschen eignet sich dazu die Dresdner Korrekturtabelle (KOHLHAAS et al., 2006). In der Veterinärmedizin findet das Goldmann-Tonometer keine routinemäßige Anwendung. Es ist mit einer Spaltlampe an einem Tisch verbunden, was die korrekte Lagerung des Patienten erschwert. Zudem muss das Auge für den Messvorgang mehrere Sekunden still verharren (FEATHERSTONE und HEINRICH, 2013). Für Versuchstiere wurden modifizierte Goldmann-Tonometer entwickelt (COHAN und BOHR, 2001a, COHAN und BOHR, 2001b, KIM et al., 2007).

Das 1972 vorgestellte Tonometer nach Grolman ermöglicht die Messung des Augeninnendruckes ohne direkten Kontakt zwischen Patient und Tonometer. Es wird deshalb zu den Non Contact Tonometern gezählt (ROBERT, 2015). Ein Luftstrom wird mit linear ansteigender Kraft auf eine bekannte Fläche der Kornea geblasen. Die Kornea wird fortschreitend abgeflacht, bis der Zustand der Applanation erreicht ist. Ein schräg auf die Kornea gelenkter Lichtstrahl wird zum Zeitpunkt der Applanation von der abgeflachten Kornea reflektiert und von einem optischen Sensor registriert. Durch einen elektrischen Impuls des Sensors wird der Luftstrom ausgeschaltet, es erfolgt eine digitale Verarbeitung und eine Kalkulation des Augeninnendruckes anhand der Kraft des Luftstroms zum Zeitpunkt der Applanation (KNIESTEDT et al., 2008). Der gesamte Messvorgang dauert 3 Millisekunden. Durch die kontaktlose Augeninnendruckmessung wird kein Lokalanästhetikum benötigt und es besteht kein Übertragungsrisiko von infektiösen Keimen. Als Nachteil nennt

ROBERT (2015) die notwendige korrekte Fixation des Kopfes des Patienten für den Messvorgang. Das Kinn wird auf eine Stütze gelegt, die Stirn ruht an einer Haltevorrichtung. (GROLMAN, 1972). Ein weiterer Nachteil besteht darin, dass die Messgenauigkeit dieser Tonometer mit fortschreitender Benutzungsdauer sinkt. Eine Re-Kalibrierung wird deshalb erforderlich (ATKINSON et al., 1992). In der Veterinärmedizin hat sich dieses Tonometer aufgrund der nur schwer zu erreichenden Fixation des Tieres nicht durchgesetzt. Pneumatometer messen den IOD ebenfalls mit Hilfe eines in der Stärke veränderbaren Luftstroms. Der Luftstrom übt allerdings Kraft auf einen auf der Kornea ruhenden Messkopf aus, es kommt somit zu einem direkten Kontakt mit dem Patienten. Ist die aufgewendete Kraft gleich des Druckes in der vorderen Augenkammer, registriert der pneumatische Sensor dies und gibt den IOD an. In der Veterinärmedizin erwiesen sich Pneumatometer als unhandlich und der Messvorgang war sehr zeitaufwändig (GÖRIG et al., 2006).

Das Tonometer nach Mackay-Marg wird in seiner ersten Form 1959 vorgestellt. Ein beweglicher, im Durchmesser 1,5 mm großer Drucksensor ragt 5 Mikrometer über die Fußplatte des Tonometers hinaus. Durch Lageverschiebungen des Drucksensors kommt es zur Erzeugung von elektrischen Signalen, welche elektronisch weiterverarbeitet und anschließend auf einem Papierstreifen aufgezeichnet werden (MOSES et al., 1962, HESSEMER et al., 1989). Dieses auf den Papierstreifen aufgezeichnete Muster folgt einem typischen Verlauf: Durch den Kontakt des Drucksensors mit der Kornea gibt es zunächst einen steilen Anstieg der Spannungskurve. Sobald der umgebende Metallring ebenfalls Kontakt mit der Kornea aufnimmt und dadurch die Kraft auf den Drucksensor verringert, zeichnet dieser einen Spannungsabfall auf, bis ein Tiefpunkt erreicht ist. Wenn der Messkopf weiter auf die Kornea gedrückt wird, kommt es danach zu einem zweiten Spannungsanstieg, bis der Messkopf vom Auge genommen wird und die Spannung auf das Niveau wie zu Beginn der Aufzeichnungen abfällt. Der Abstand der Basislinie bis zum Tiefpunkt spiegelt den Augeninnendruck wieder (MOSES et al., 1962). Das Tonometer nach Mackay-Marg zeichnet immer nur eine Messung auf. Es sind daher mehrere Messungen nötig, um einen Mittelwert bilden zu können. Dies wird aufgrund von natürlichen Schwankungen des Augeninnendrucks empfohlen (SHIELDS und KRIEGLSTEIN, 2013). Heute ist das Tonometer nach Mackay-Marg nicht mehr verfügbar.

Es gibt allerdings neue Tonometer, die auf dieser Messtechnik basieren (SHIELDS und KRIEGLSTEIN, 2013).

Der Tono-Pen ist ein handliches digitales Tonometer, dessen Messprinzip auf dem Tonometer nach Mackay-Marg basiert. Es ist batteriebetrieben und tragbar. Das Design wurde im Laufe der Zeit verändert (Tono-Pen, Tono-Pen 2, Tono-Pen XL)

(FEATHERSTONE und HEINRICH, 2013). Das zurzeit neuste Tonometer aus der Tono-Pen-Familie ist der Tono-Pen Avia Vet. Er zeichnet sich durch eine verbesserte ergonomische Form aus. Es sind zudem sechs Einzelmessungen einer Messreihe anstatt vier wie bei dem Tono-Pen XL möglich. Eine tägliche Kalibrierung wie bei den Vorgängermodellen ist beim Tono-Pen Avia Vet nicht mehr nötig (REICHERT, 2018).

Die Messkopfspitze des Tono-Pen Avia besteht aus einem im Durchmesser 1 mm großen zentralen Drucksensor, welcher von einem unbeweglichen Metallring umgeben ist. Die gesamte Messkopfspitze wird durch eine Latexhülle geschützt, welche ebenfalls Bestandteil des Messsystems ist. Für jeden Patienten wird eine neue Schutzhülle verwendet, um einer Übertragung von Mikroorganismen vorzubeugen (FEATHERSTONE und HEINRICH, 2013, REICHERT, 2018).

Für den Messvorgang wird die zuvor anästhesierte Kornea mehrmals leicht mit der Messkopfspitze berührt. Der zentrale Drucksensor appliziert die Kornea, bis die aufgewendete Applanationskraft vom umgebenen Metallring aufgefangen wird. Die Bewegung des Drucksensors erzeugt Spannungsänderungen, welche digitalisiert, gespeichert und von einem Mikroprozessor analysiert werden. Die Spannungsänderungen folgen einem typischen Muster wie bei dem Tonometer nach Mackay-Marg. Bei dem TonoPen Avia Vet werden die Spannungsänderungen allerdings nicht auf Papier aufgezeichnet, sondern nach der digitalen Auswertung auf dem Display als Augeninnendruck angegeben (HESSEMER et al., 1989).

Nach sechs gültigen Messungen werden der Augeninnendruck in mmHg und das statistische Konfidenzintervall auf dem Display angezeigt. Je höher das statistische Konfidenzintervall, desto zuverlässiger ist die Messung. Es wird daher ein Konfidenzintervall von 95% angestrebt (REICHERT, 2018). Bei dem Vorgängermodell Tono-Pen XL werden bereits nach vier gültigen Messungen der Augeninnendruck und ein Variationskoeffizient ($\leq 5\%$, 10% , 20% , $>20\%$) angezeigt. Je geringer der Variationskoeffizient ist, desto geringer ist die Streuung der Messwerte um den Mittelwert (FEATHERSTONE und HEINRICH, 2013).

Für MAGGS (2008) liegen die Vorteile von Tonometern aus der Tono-Pen-Familie klar auf der Hand: Sie zeichnen sich durch akkurate Messungen und eine einfache Handhabung aus. Zudem können sie lageunabhängig eingesetzt werden, es ist lediglich auf einen Auftreffwinkel von 90 Grad auf die Kornea zu achten.

In der Veterinärmedizin wurde der Tono-Pen XL bereits für die Augeninnendruckmessung bei zahlreichen Tierarten verwendet, beispielsweise bei Pferden, Ziegen, Hunden und Katzen (MILLER et al., 1990, GELATT und MACKAY, 1998, BROADWATER et al., 2007, ANDRADE et al., 2012). Der TonoPen XL wurde auch erfolgreich zur Augeninnendruckmessung bei verschiedenen Wildtierarten eingesetzt, darunter Kaimane, Thomson-Gazellen, Humboldt-Pinguine und Afrikanische Straußenvögel (OFRI et al., 2000,

SWINGER et al., 2009, GHAFFARI et al., 2012, RUIZ et al., 2015).

Das Nachfolgemodell TonoPen Avia Vet wurde bereits bei Kaninchen der Rasse Weiße Neuseeländer, bei Rindern, Schafen, Ziegen und bei Ochsenfröschen eingesetzt (PEREIRA et al., 2011, CANNIZZO et al., 2017, PECHE und EULE, 2018).

Variante (c): Bidirektionale Applanationstonometrie (Ocular Response Analyzer)

Ein anschwellender Luftstrom wird gegen die Kornea geblasen, bis diese applaniert wird. Der Luftstrom wird dann abgeschwächt (ROBERT, 2015). Ein Unterschied zu anderen Non Contact Tonometern besteht darin, dass der Ocular Response Analyzer sowohl die Korneabewegung nach innen als auch nach außen misst. Dadurch können viskoelastische Eigenschaften der Kornea neben dem Augeninnendruck gemessen werden (OKAFOR und BRANDT, 2015).

2.2.5 Rückstoßtonometrie

Die Messsonde des Rückstoßtonometers wird von einer geringen Distanz zum Auge hin beschleunigt. Sie trifft auf die Kornea und prallt von dieser zurück zum Gerät. Bei Augen mit hohem Augeninnendruck wird die Messsonde schneller an der Kornea abgebremst und benötigt eine kürzere Zeit für die Rückkehr zum Tonometer als bei Augen mit niedrigerem Augeninnendruck (FEATHERSTONE und HEINRICH, 2013).

Die Rückstoßtonometer der Firma Icare Finland Oy (verschiedene Icare®- Modelle, TonoVet, TonoLab) sind handlich und batteriebetrieben. In ihrem Schaft befinden sich zwei Magnetspulen. Durch einen elektrischen Impuls durch eine der beiden Spulen wird die magnetische Messsonde beschleunigt und Richtung Auge katapultiert. Sie prallt an der Kornea ab und kehrt zum Gerät zurück. Die zweite Sonde misst dabei die durch die Bewegung erzeugte Spannung. Der Augeninnendruck wird anschließend digital angezeigt (KONTIOLA, 2000). Je nach Kornearigidität kommt es zu einer Kontaktfläche von 1,3 – 1,8 mm zwischen Messsonde und Kornea. Aufgrund dieser kleinen Kontaktfläche und der sehr kurzen und leichten Berührung der Kornea ist keine lokale Anästhesie nötig. Für den Messvorgang ist allerdings zu beachten, dass das Rückstoßtonometer aufrecht gehalten werden muss und die Sonde in einem Winkel von 90 Grad zentral auf die Kornea trifft. In der Veterinärmedizin kann sich das bei widerspenstigen oder liegenden Tieren schwierig gestalten (FEATHERSTONE und HEINRICH, 2013).

Das für menschliche Augen kalibrierte Tonometer Icare® wurde zur Augeninnendruckmessung bei verschiedenen Tierarten verwendet. In einer Kalibrierungsstudie konnte gezeigt werden, dass das Icare® TAO1i den manometrisch gemessenen IOD bei Kaninchen- und Schweineaugen deutlich unterschätzt. Korrekturformeln wurden von LOBLER et al. (2011) erstellt: Für Kaninchen ergibt sich der wahre, manometrische IOD aus dem mit dem Icare® gemessenen IOD multipliziert mit 1,04244 und addiert mit dem Faktor 4,2421. Bei Hunden ermöglicht das Icare® eine schnelle, gut tolerierte Messung des Augeninnendrucks und zeichnet sich durch eine einfache unkomplizierte Anwendung aus. Die Autoren wiesen allerdings darauf hin, dass Kalibrierungsstudien nötig sind, um den gemessenen IOD korrekt zu beurteilen (LEIVA et al., 2006).

Wenige Monate nach Fertigstellung der Studie von LEIVA et al. (2006) war das für die Veterinärmedizin entwickelte Rückstoßtonometer TonoVet kommerziell erhältlich. Es verfügt über eine interne Kalibrierung für verschiedene Tierarten. Der Benutzer kann zwischen dem Modus „d“ für die Messung an Hunde- und Katzenaugen, dem Modus „H“ für die Messung an Pferdeaugen und dem Modus „P“ für die Messung an Augen anderer Spezies wählen. Sechs Einzelmessungen werden mit dem TonoVet vorgenommen. Das Endergebnis entspricht dem Durchschnitt der vier gemessenen mittleren Werte, der höchste und der niedrigste gemessene Einzelwert werden ignoriert. Das TonoVet zeigt auch die Qualität der Messungen an. Blinkt der Buchstabe vor dem Messwert, ist die Standardabweichung größer als normal. Ein kleiner Querbalken vor dem Messwert gibt dann das Ausmaß der Abweichungen an (ICARE, 2016). Das TonoVet wurde bereits für die Augeninnendruckmessung bei Kaninchen kalibriert. Die tonometrisch gemessenen Werte sind niedriger als die manometrischen Werte, bei steigendem Druck nimmt die Unterschätzung zu (ZHANG et al., 2014, MA et al., 2016). Im Vergleich zum Applanationstonometer TonoPen XL liefert der TonoVet präzisere Werte, die enger mit den manometrischen Werten korrelieren. Dies macht sich vor allem in Druckbereichen ab 20 mmHg bemerkbar (MA et al., 2016). Das TonoVet besitzt keine interne Kalibrierung für Kaninchen. Je nach gewähltem Modus misst das TonoVet unterschiedlich hohe Augeninnendruckwerte bei dieser Tierart. In einer Kalibrierungsstudie wurde festgestellt, dass der mit dem „d“ Modus gemessene IOD deutlich näher an den manometrischen Werten verglichen mit dem „P“-Modus liegt und folglich als Einstellung für die Augeninnendruckmessung bei Kaninchen gewählt werden sollte. Dennoch war es möglich, für beide Einstellungen Korrekturformeln zu berechnen (ZHANG et al., 2014). Der mittlere mit dem TonoVet gemessene Augeninnendruck und die Standardabweichung liegen für Kaninchen bei $11,06 \pm 1,16$ mmHg, es wurde der Modus „d“ gewählt. Es wurde mit 30

Kaninchen allerdings nur eine relativ geringe Anzahl an Tieren untersucht (MA et al., 2016). Pereira et al. wählten den Modus „P“ und gaben den mittleren IOD und die Standardabweichung mit $9,51 \pm 2,62$ mmHg an, sie untersuchten mit 38 Kaninchen ebenfalls nur eine geringe Anzahl an Tieren (PEREIRA et al., 2011).

Das TonoVet wurde ebenfalls für die Augeninnendruckmessung bei zahlreichen anderen Tierarten eingesetzt, darunter Rinder, Schafe, Ziegen, Pferde, Hunde und Katzen (GÜSE, 2008, NAGATA et al., 2011, MCLELLAN et al., 2013, PECHE und EULE, 2018). Das TonoVet eignet sich ebenfalls zur Augeninnendruckmessung bei verschiedenen Vogelarten, Chinchillas und Ochsenfröschen (JEONG et al., 2007, REUTER et al., 2010, REUTER et al., 2011, CANNIZZO et al., 2017, SNYDER et al., 2018).

Das TonoLab ist ein für die Augeninnendruckmessung bei Ratten und Mäusen konzipiertes Rückstoßtonometer. Es verfügt über eine interne Kalibrierung für diese beiden Spezies, welche durch den entsprechenden Modus vor den Messungen ausgewählt werden kann (ICARE, 2019). Bei Mäusen und Ratten hat sich die Augeninnendruckmessung mit dem TonoLab als akkurat und zuverlässig erwiesen, die tonometrisch gemessenen Werte korrelieren eng mit den manometrisch gemessenen Werten. Das TonoLab zeichnet sich durch eine einfache Anwendung aus und wird gut von den Tieren toleriert (WANG et al., 2005, OHASHI et al., 2008, MCKINNON et al., 2009).

2.3 Anatomie der für den Augeninnendruck relevanten Strukturen

2.3.1 Hornhaut (Cornea)

Die transparente Kornea bildet zusammen mit der undurchsichtigen weißen Augenhaut (Sclera) die äußere Augenhaut (Tunica fibrosa bulbi). Die Kornea nimmt dabei etwa 1/5 der Bulbusoberfläche ein und weist eine stärkere Wölbung als die Sklera auf (NICKEL et al., 2004).

Histologisch werden fünf verschiedene Schichten der Kornea unterschieden: Das vordere Korneaepithel, die Bowman-Membran, das Stroma, die Descemet-Membran und das hintere Korneaepithel. Insgesamt ergibt sich so eine durchschnittliche zentrale Korneadicke von 0,587 mm beim Hund und 0,629 mm bei der Katze (ALARIO und PIRIE, 2013, ALARIO und PIRIE, 2014). Bei Kaninchen ist die Kornea mit 0,36 mm deutlich dünner als beim Fleischfresser (SLATTER und DIETRICH, 2003). Die Korneadicke ist am zentralen Vertex corneae geringer als am peripheren Limbus corneae (NICKEL et al., 2004).

Die Kornea ist abgesehen von einem zarten Randschlingennetz am Limbus corneae frei von Blutgefäßen. Diese im Limbusbereich vorhandenen Gefäße tragen zur Versorgung der Kornea mit Nährstoffen bei. Ein Großteil der Versorgung erfolgt jedoch über Diffusion aus der Tränenflüssigkeit und aus dem Kammerwasser (SIMOENS, 2015).

Die Kornea ist reich mit sensiblen Nervenzweigen versorgt, welche in das vordere Hornhautepithel eindringen und den affarenten Schenkel des Korneareflexes bilden, welcher bei Berührung der Kornea zum Schließen der Augenlider führt (SIMOENS, 2015).

2.3.2 Ziliarkörper (Corpus ciliare)

Der Ziliarkörper bildet zusammen mit der Aderhaut (Choroidea) und der Regenbogenhaut (Iris) die mittlere Augenhaut (Tunica vasculosa bulbi) (NICKEL et al., 2004).

Der Ziliarkörper geht distal aus der Choroidea hervor und schiebt sich zwischen diese und die Iris ein. Er bildet einen dem Skleralwulst aufsitzenden Ring, welcher mit seinen Fortsätzen zwischen hinterer Augenkammer und Glaskörperraum in das Bulbusinnere hineinragt (NICKEL et al., 2004).

Die Grundfläche des Ziliarkörpers wird von dem *Orbiculus* und der *Corona ciliaris* gebildet, letzterer sitzen die radiär strahlenförmig um die Linse gruppierten Ziliarfortsätze (*Processus ciliares*) auf. Beim Hund wachsen 70 bis 80, beim Pferd bis zu 100 dieser Ziliarfortsätze aus der Basis des Ziliarkörpers aus (LIEBICH und KÖNIG, 2015).

Der Ziliarkörper von Hunden hat eine annähernd kreisrunde Form, bei anderen Haussäugetieren ist er hingegen asymmetrisch: Der *Orbiculus ciliaris* ist ventral verschmälert, nasal geht er fast vollständig verloren. In diesen Bereichen reicht die lichtempfindliche Netzhaut weiter nach vorn, sodass das kaudolaterale Sehfeld vergrößert wird (SIMOENS, 2015).

Der Ziliarmuskel (*Musculus ciliaris*) befindet sich in der dem Skleralwulst innen angelagerten Platte des Ziliarkörpers. Es handelt sich dabei um einen glatten, parasymphatisch innervierten Muskel. Beim Fleischfresser ist der Ziliarmuskel relativ kräftig entwickelt, bei Huftieren hingegen verhältnismäßig schwach. Eine Kontraktion der Muskelfasern bewirkt die Akkomodation. Dazu werden die Ziliarfalten in Richtung Linse verlagert, was zu einer Entspannung der Zonulafasern führt. Die Linse rundet sich durch ihre Eigenelastizität ab (SIMOENS, 2015).

2.3.3 Vordere und hintere Augenkammer (Camera anterior et posterior bulbi)

Die vordere Augenkammer liegt zwischen Kornea, Iriswinkel und Irisvorderfläche. Ihre Tiefe ist tierartsspezifisch, sie beträgt beispielsweise beim Hund $3,8 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$ (WILLIAMS, 2004) und beim Kaninchen $2,34 \text{ mm} \pm 0,04 \text{ mm}$ (LIU und FARID, 1998). Die hintere Augenkammer wird von der Irishinterfläche, dem Ziliarkörper, der Zonula ciliaris und der Linse begrenzt. Im Gegensatz zu der relativ geräumigen vorderen Augenkammer stellt sie nur einen ringförmigen Spaltraum dar. Vordere und hintere Augenkammer sind mit Kammerwasser gefüllt und stehen über die Pupille miteinander in Verbindung (NICKEL et al., 2004).

2.3.4 Iridokornealer Winkel (Angulus iridocornealis)

Der iridokorneale Winkel, auch Kammerwinkel genannt, befindet sich zwischen der Irisbasis, der Überganszone zwischen Kornea und Sklera (Limbus corneae) und dem Ziliarkörper. Gegen die vordere Augenkammer wird er durch das Ligamentum pectinatum abgegrenzt. (SIMOENS, 2015). Das Ligamentum pectinatum besteht aus radiären Trabekeln, welche den inneren kornealen Limbus mit der Irisbasis verbinden und so zur mechanischen Stabilisierung der Irisbasis beitragen. Dicke, Länge und Verbindung der Trabekel untereinander variieren bei verschiedenen Tierarten: Pferde und Affen haben ein sehr kräftig ausgebildetes Ligamentum pectinatum mit stabilen, untereinander verbundenen Trabekeln. Die zwischen den Trabekeln liegenden Öffnungen sind relativ schmal. Bei Wiederkäuern hingegen besteht das Ligamentum pectinatum aus deutlich kürzeren Trabekeln mit größeren intertrabekulären Öffnungen. Das Ligamentum pectinatum von Hunden und Katzen besteht nur aus sehr schmalen Trabekeln, die intertrabekulären Räume sind groß. Die Trabekel von Schweinen und Kaninchen sind relativ kurz und liegen mit ihrem Durchmesser zwischen dem der Wiederkäuer und dem der Fleischfresser (SIMONES et al., 1996).

Posterior anastomosiert das Ligamentum pectinatum mit anterioren Trabekeln des trabekulären Maschenwerks. Bei Säugetieren lässt sich das trabekuläre Maschenwerk in zwei Regionen unterteilen: Das uveale Maschenwerk und das korneosklerale Maschenwerk (HASSEL et al., 2007, SAMUELSON, 2013).

Das uveale Maschenwerk besteht aus Trabekeln, welche sich radiär und zirkulär verzweigen und ein dreidimensionales Netzwerk bilden. Die zwischen den Trabekeln liegenden Öffnungen werden als FONTANA-Räume (Spatia anguli iridocornealis) bezeichnet. Durch sie kann das Kammerwasser abfließen (SAMUELSON, 2013, PIZZIRANI und GONG, 2015). Die Trabekel des Maschenwerks bestehen aus einem inneren Bindegewebskern und den

der Basalmembran aufsitzenden einschichtigen trabekulären Zellen (SHIELDS und KRIEGLSTEIN, 1993). Die trabekulären Zellen werden aufgrund ihrer flachen Form und anderen morphologischen Merkmalen mit Endothelzellen verglichen (BRAUNGER et al., 2015). Eine Besonderheit dieser Zellen ist allerdings ihre Befähigung zur Phagozytose und zur Autozytose. Außerdem sind sie in der Lage Proteine und Cytokine der extrazellulären Matrix zu sezernieren (SACCA et al., 2016). Durch die Phagozytose werden Debris und andere Substanzen aus dem abfließenden Kammerwasser entfernt und so tieferliegende kleinere Öffnungen des Abflusses vor Verlegung effektiv geschützt (GRIERSON und LEE, 1973, SHERWOOD und RICHARDSON, 1988).

Das korneosklerale Maschenwerk weist eine gleiche Konstruktion wie das uveale Maschenwerk auf, die intertrabekulären Räume sind allerdings schmaler. Die äußere Grenze des korneoskleralen Maschenwerks bilden die Sklera und ein Plexus, welcher sich aus Sammelgefäßen für das Kammerwasser zusammensetzt. Bei den meisten Säugetieren bilden diese Gefäße ein schmales Netzwerk von Venen, welche in ihrer Gesamtheit als Kammerwasserplexus (angular aqueous plexus) bezeichnet werden (GUM und MACKAY, 2013).

2.4 Physiologie des Augeninnendrucks

2.4.1 Bildung des Kammerwassers

Das Kammerwasser ist eine transparente Flüssigkeit, welches vom Ziliarkörper gebildet wird und von der hinteren Augenkammer durch die Pupille in die vordere Augenkammer fließt. Von dort fließt es über den konventionellen und den unkonventionellen Weg aus dem Auge ab. Durch die kontinuierliche Zirkulation des Kammerwassers werden die avaskuläre Linse und die Kornea ernährt und die lichtbrechenden Strukturen in Position gehalten (GUM und MACKAY, 2013). Die Rate von Kammerwasserbildung und Kammerwasserabfluss gleichen sich beim gesunden Individuum, sodass der Augeninnendruck konstant bleibt (MILLER, 2008b).

Die Ziliarkörperfortsätze werden von Kapillaren mit fenestriertem Endothel durchzogen, durch das Plasma in den umgebenden interstitiellen Raum gelangen kann (SHIELDS und KRIEGLSTEIN, 1993).

Von dort durchqueren Kationen, vor allem Natriumionen, parazellulär das Ziliarkörperepithel. Ein Hauptteil des Stoff- und Ionentransports erfolgt allerdings transzellulär mit Hilfe von verschiedenen Ionentransportern (GRÜB und MIELKE, 2004).

An dem aktiven Ionentransport durch das Ziliarkörperepithel sind unter anderem Na-K-2Cl Cotransporter, gepaarte NaH und ClHCO₃Antiporter beteiligt (DO und TO, 2000). NaK-ATPasen sorgen für den Transport von Na-Ionen vom pigmentierten Ziliarkörperepithel in das Kammerwasser. Wasser folgt passiv durch den sich ausbildenden osmotischen Gradienten oder wird durch Aquaporin-Kanäle transportiert (GRÜB und MIELKE, 2004).

2.4.2 Abfluss des Kammerwassers

Das Kammerwasser fließt über den konventionellen und den unkonventionellen Weg aus dem Auge ab.

Konventioneller Abflussweg:

Am Kammerwasserabfluss über den konventionellen Weg sind keine aktiven Transportmechanismen beteiligt. Treibende Kraft ist vor allem ein Druckgradient zwischen dem IOD und dem dazu im Vergleich niedrigeren Druck in den distalen für den Kammerwasserabfluss zuständigen Venen (VAN BUSKIRK und BRETT, 1978, PIZZIRANI und GONG, 2015).

Entlang des konventionellen Abflussweges fließt ein Teil des Kammerwassers aus der vorderen Augenkammer durch intertrabekuläre Öffnungen des Ligamentum pectinatum in den Ziliarspalt mit dem darin enthaltenen Trabekelmaschenwerk. Nach der Durchquerung des Trabekelmaschenwerks wird das Kammerwasser von mehreren radiär verlaufenden blutfreien Sammelgefäßen aufgenommen, welche in ihrer Gesamtheit als Kammerwasserplexus (angular aqueous plexus) bezeichnet werden. Der weitere Abfluss erfolgt über den skleralen Venenplexus und danach anterior über episklerale und konjunktivale Venen oder posterior über die Vortexvenen (MILLER, 2008a, SAMUELSON, 2013).

Glatte Ziliarmuskelfasern, welche am Trabekelmaschenwerk inserieren, bewirken durch ihre Kontraktion eine Vergrößerung der Trabekelmaschenwerkspalten und führen damit zu einem gesteigerten Kammerwasserabfluss über den konventionellen Weg (GRÜB und MIELKE, 2004).

Unkonventioneller Abflussweg (uveoskleraler Abflussweg):

Der größte Anteil des abfließenden Kammerwassers verlässt das Auge über konventionelle Abflusswege. Ein geringerer Anteil fließt über die unkonventionellen Wege ab, beim Hund

sind es circa 15%, bei der Katze 3% und beim Kaninchen 13% vom gesamten Abflussvolumen des Kammerwassers (BILL, 1966a, BILL, 1966b, BARRIE et al., 1985).

Der Kammerwasserabfluss über den unkonventionellen Weg ist weitestgehend unabhängig vom IOD. Das Kammerwasser fließt passiv entlang eines osmotischen Gradienten aus dem Auge ab (ALM und NILSSON, 2009, PIZZIRANI, 2015).

Das Kammerwasser fließt zunächst über die Iriswurzel und interstitielle Räume des Ziliarmuskels in den zwischen Ziliarkörper und Sklera gelegenen Supraziliarraum oder in die sich zwischen Choroidea und Sklera befindlichen suprachoroidalen Räume. Von dort gelangt das Kammerwasser durch in der Sklera vorhandene Eintrittsstellen für Blutgefäße und Nerven in die Orbita oder fließt zwischen den skleralen Kollagenfasern selbst hindurch. Orbitale Gefäße und Vortexvenen resorbieren anschließend das Kammerwasser (MILLER, 2008a, JOHNSON et al., 2017).

Der Abflusswiderstand der konventionellen Wege wird durch die Kontraktion und Relaxation des Ziliarmuskels sowie den Auf- und Abbau der Extrazellulärmatrix des Ziliarmuskels beeinflusst. Eine Kontraktion des Ziliarmuskels führt zu einem erhöhten Abflusswiderstand des konventionellen Weges (GRÜB und MIELKE, 2004, GUM und MACKAY, 2013).

2.4.3 Alter

Beim Menschen steigt der IOD mit zunehmendem Alter an (KLEIN et al., 1992, QURESHI, 1995). WONG et al. (2009) bestätigt dies, kommt allerdings zu dem Schluss, dass sich dieser Effekt ab einem Lebensalter von 60 Jahren umkehrt.

Bei Hundewelpen steigt der IOD zwischen der zweiten und der elften Lebenswoche signifikant an (VERBOVEN et al., 2014). GELATT und MACKAY (1998) konnten einen Abfall des IOD um 2 – 4 mmHg feststellen, wenn das Alter der Hunde von unter zwei Jahren auf ein Alter von über 6 Jahren ansteigt. MUGHANNAM et al. (2004) kommt zu dem Ergebnis, dass sich der IOD bei 6 Wochen und 1 Jahr alten Hunden nicht signifikant unterscheidet und dass das Alter in diesem Bereich keinen relevanten Einfluss auf den Augeninnendruck hat.

Alte Katzen haben einen niedrigeren Augeninnendruck verglichen mit jüngeren Katzen. KROLL et al. (2001) konnten bei einigen alten Katzen sogar niedrige Augeninnendruckwerte von 8 mmHg oder weniger messen, obwohl in den meisten Fällen keine Uveitis vorlag.

Andere Autoren konnten hingegen bei älteren Katzen einen mittleren IOP von 16,5 mmHg feststellen (SANDHAS et al., 2018).

Bei Löwen steigt der Augeninnendruck innerhalb der ersten 20 Lebensmonate an, bleibt auf einem Plateau bis zu einem Alter von ungefähr 40 Lebensmonaten und sinkt danach graduell bei steigendem Alter (OFRI et al., 1998a).

Bei Kaninchen konnten ZHAO et al. (2010) bei 3 Monate alten Tieren einen geringeren Augeninnendruck als bei 12 Monate alten Tieren feststellen.

2.4.4 Geschlecht und Hormonstatus

Humanmedizinische Studien kommen zu dem Schluss, dass Frauen im Durchschnitt einen höheren IOD als Männer haben (LESKE et al., 1997, POINTER, 2000).

Bei Hunden und Katzen konnte hingegen kein geschlechtsspezifischer Unterschied bezüglich des IOD festgestellt werden (GELATT und MACKAY, 1998, FEATHERSTONE und HEINRICH, 2013). PEREIRA et al. (2011) fanden ebenfalls keinen Unterschied bezüglich des IOD bei männlichen und weiblichen Kaninchen.

Katzen im Östrus haben einen deutlich höheren IOD als weibliche intakte Katzen, die sich nicht im Östrus befinden. Auch die Progesteronkonzentration hat einen Einfluss auf den IOD bei Katzen (OFRI et al., 2002).

Bei Löwen haben männliche Tiere einen höheren IOD als weibliche (OFRI et al., 1998a). Die Progesteronkonzentration bei Löwinnen hat einen Einfluss auf den IOD, beides korreliert positiv miteinander (OFRI et al., 1999).

Einen Anstieg des IOD konnte auch durch exogene Progesterongaben bei Kaninchen beobachtet werden (KNEPPER et al., 1985). Die Autoren dieser Studie kommen zu dem Schluss, dass dafür die durch die katabolen Steroide ausgelöste vermehrte Chondroitinsulfatsynthese verantwortlich ist. Chondroitinsulfat akkumuliert im iridokornealen Winkel und erhöht dadurch den Abflusswiderstand des Kammerwassers.

2.4.5 Zirkadianer Rhythmus

Der IOD unterliegt sowohl beim Menschen als auch bei Tieren tagesrhythmischen Schwankungen. Beim Menschen steigt der IOD zum Ende der Nachtperiode an und erreicht sein Maximum am frühen Morgen (WANG et al., 2016). Der IOD des Pferdes ist hingegen tagsüber deutlich höher als in der Nacht mit einem Höchstwert am Abend (BERTOLUCCI et al., 2009). Beim Hund erreicht der IOD tagsüber sein Maximum (GIANNETTO et al., 2009), beim Kaninchen und bei der Katze steigt der IOD hingegen in der Nacht auf seinen Höchstwert an (DEL SOLE et al., 2007, WANG et al., 2013).

2.4.6 Kopf- und Körperposition

Die Position vom Kopf und vom Körper hat beim Menschen einen signifikanten Einfluss auf den IOD. In liegender Position ist der IOD deutlich höher als in sitzender Position (TSUKAHARA und SASAKI, 1984, LIU et al., 2003). Bei Menschen, die einen Kopfstand machen, steigt der IOD sogar kurzfristig auf den doppelten Wert an (BASKARAN et al., 2006).

Bei Pferden führt das Absenken des Kopfes von einer Höhe über des Herzens auf eine Höhe unterhalb des Herzens zu einem Anstieg des mittleren IOD von circa 8 mmHg (KOMAROMY et al., 2006). Auch beim Kaninchen und bei der Maus kommt es zu einem Anstieg des IOD, wenn bei einem liegenden Tier der Kopf nach unten geneigt wird (AIHARA et al., 2003, LAVERY und KIEL, 2013). Dieser Effekt lässt sich ebenfalls beim Flamingo feststellen. Wird der erhobene Kopf aus einer aufrechten Position heraus zum Boden hin abgesenkt, führt diese Positionsänderung ebenfalls zu einem Anstieg des IOD (MOLTER et al., 2014). Auch beim Waldkauz lässt sich in Rückenlage ein höherer IOD im Vergleich zu einer aufrechten Position feststellen. Bei verschiedenen Greifvogelspezies konnte hingegen kein signifikanter Unterschied zwischen diesen beiden Positionen beobachtet werden (REUTER et al., 2011).

2.4.7 Medikamentelle Beeinflussung des IOD

Zahlreiche Allgemeinanästhetika wurden bezüglich ihrer Wirkung auf den IOD untersucht: Nach Verabreichung von Ketamin kommt es zu einem signifikanten Anstieg des IOD bei Pferden und Hunden (HOFMEISTER et al., 2006, FERREIRA et al., 2013, KOVALCUKA et al., 2013).

Der Einfluss von Propofol auf den IOD wird in der Literatur kontrovers diskutiert: COSTA et

al. (2015) kommen zu dem Ergebnis, dass sowohl die Verabreichung von Alfaxolon als auch von Propofol beim Hund zu einem Abfall des IOD führt. Einen gegenteiligen Effekt stellen hingegen HASIUK et al. (2014) beim Hund fest. Beim Schaf wiederum konnten TORRES et al. (2012) keine signifikante Änderung des IOD durch die Gabe von Alfaxolon oder Propofol feststellen.

Die Dosierung eines Arzneimittels kann ebenfalls einen Einfluss auf den IOD haben. Beispielsweise führt eine Gabe von Xylazin oder Medetomidin in geringer oder moderater Dosierung beim Hund zu keiner Änderung des IOD, erst eine hohe Dosierung bewirkt jeweils einen Abfall des IOD (KANDA et al., 2015).

Einige lokal verabreichte Arzneimittel haben ebenfalls einen Einfluss auf den IOD. Bei der Katze führen sowohl Atropin als auch Tropicamid nach topischer Anwendung zu einem Anstieg des IOD (STADTBAUMER et al., 2006). Auch beim Hund kommt es zu einem Anstieg des IOD nach Atropingabe (KOVALCUKA et al., 2015).

2.4.8 Sonstige Einflussfaktoren

Durch Druck im Bereich des Halses oder der Augenlider kommt es zu einer Veränderung des IOD. Beim Menschen bewirkt eine straff am Hals sitzende Krawatte einen Anstieg des IOD (TENG et al., 2003, THEELEN et al., 2004). Wird beim Hund manuell beidseits Druck auf die Jugularvenen ausgeübt, steigt der IOD ebenfalls an (KLEIN et al., 2011). Dieser Effekt lässt sich auch bei Hunden, welche an ihrem Halsband ziehen, beobachten (PAULI et al., 2006).

Beim Menschen führt der bewusste Versuch, die Augenlider während des Messvorganges zu schließen, zu einem erhöhten IOD (GANDHI et al., 2001). Manipulationen des Augenlids bei Hunden und Katzen bewirken einen signifikanten Anstieg des IOD (KLEIN et al., 2011, RAJAEI et al., 2017).

2.5 Pathologie des Augeninnendrucks

2.5.1 Glaukom

Bei dem Glaukom handelt es sich nicht um eine einzelne Erkrankung, sondern vielmehr um einen Überbegriff für verschiedene okuläre Erkrankungen unterschiedlicher Ätiologie, welche eine charakteristische optische Neuropathie gemeinsam haben. Unbehandelt schreiten die

durch die Neuropathie bedingten Gesichtsfeldausfälle bis zur Blindheit fort (FOSTER et al., 2002, CASSON et al., 2012). Aufgrund der drohenden Blindheit und den verursachten Schmerzen hat das Glaukom eine große medizinische Relevanz.

Vom Ende des 19. Jahrhunderts bis hin zum letzten Viertel des 20. Jahrhunderts wurde das Glaukom hauptsächlich über eine Erhöhung des IODs definiert. Es ist jedoch zu beachten, dass Referenzwerte für den IOD nicht die gesamte Population einschließen, sondern üblicherweise nur 95 % der gesunden Individuen. Somit weisen 2,5 % der gesunden einen „zu hohen“ und 2,5 % einen „zu niedrigen“ IOD auf, ohne dass eine Krankheit vorliegt (FOSTER et al., 2002).

Ein mehrmals gemessener erhöhter IOD wird, wenn keine glaukomatöse Neuropathie vorliegt, als okuläre Hypertension bezeichnet (MCLELLAN und MILLER, 2011, CASSON et al., 2012). In der Humanmedizin ist zudem noch das Normaldruckglaukom bekannt, bei dem eine glaukomatöse Neuropathie vorliegt, obwohl sich der IOD innerhalb des Referenzbereichs befindet (FAN et al., 2015).

Sowohl die okuläre Hypertension als auch das Normaldruckglaukom lassen eine korrekte Definition des Glaukoms alleine über den IOD nicht zu (FOSTER et al., 2002). CASSON et al. (2012) weisen aber darauf hin, dass alle Glaukomformen zumindest mit dem IOD assoziiert sind und beim Glaukom ein individuell zu hoher IOD zum typischen Glaukomschaden an Sehnerv und Gesichtsfeld führt.

Die bei allen Glaukomformen vorkommende typische Neuropathie umfasst eine fokale oder diffuse Verdünnung der neuroretinalen Randzone des Sehnervenkopfes mit Exkavation und Ausdehnung der Sehnervenscheibe. Histologisch lassen sich die Degeneration von retinalen Axonen der Ganglienzellen und eine Deformation der Lamina cribrosa feststellen (CHERECHEANU et al., 2015).

Die glaukomatöse Neuropathie ist pathognomonisch für das Glaukom (FOSTER et al., 2002).

Glaukome können in Abhängigkeit von der Ursache, der Erkrankungsdauer und –intensität unterschiedliche Symptome hervorrufen. Neben unspezifischen Symptomen wie Schmerz und reduziertem Allgemeinbefinden kann es zu einer Stauung der episkleralen Gefäße, Korneaödem, Mydriasis, erhöhtem IOD und Buphthalmus kommen. Die Degeneration von Retina und Nervus opticus führt zu verminderter Sehfähigkeit bis hin zu Blindheit (MILLER, 2008a).

Eine Einteilung der Glaukome kann anhand ihrer Ursache in primäre oder sekundäre Glaukome erfolgen. Bei primären Glaukomen lässt sich keine ersichtliche Ursache für das Glaukom finden, sie treten typischerweise bilateral auf und haben eine starke Rasseprädisposition (MILLER, 2008a). Bei sekundären Glaukomen hingegen ist die Ursache bekannt. Zu den möglichen Ursachen zählen eine Uveitis, Linsenluxationen, Neoplasien, Katarakte und Kataraktoperationen sowie Netzhautablösungen (PUMPHREY, 2015). Eine weitere Einteilung von Glaukomen kann anhand des Zustandes des Kammerwinkels vorgenommen werden. Dieser kann offen, verengt oder geschlossen sein (PIZZIRANI, 2015).

Bei Katzen kommen hauptsächlich sekundäre Glaukome vor, ihr Anteil an allen bei dieser Spezies diagnostizierten Glaukomen liegt bei 95- 98% (WILCOCK et al., 1990, BLOCKER und VAN DER WOERDT, 2001, MCLELLAN und TEIXEIRA, 2015). Beim Pferd kommen ebenfalls am häufigsten sekundäre Glaukome vor. Eine chronische anteriore Uveitis oder eine intraokulare Neoplasie sind die häufigsten Ursachen für ein sekundäres Glaukom beim Pferd (MILLER, 2008a).

Bei Hunden kommen primäre und sekundäre Glaukome ungefähr genauso häufig vor (GELATT und MACKAY, 2004). STROM et al. (2011) kommen zu dem Ergebnis, dass der Anteil an sekundären Glaukomen mit rund 60% den der primären Glaukome überwiegt.

2.5.2 Uveitis

Bei der Uveitis handelt es sich um eine Entzündung der mittleren Augenhaut (Uvea). Eine genauere Eingrenzung der von der Entzündung betroffenen anatomischen Struktur kann durch die Begriffe Iritis, Zyklitis, Iridozyklitis und Choroiditis erfolgen. Üblich ist auch die Unterscheidung zwischen anteriorer Uveitis (Entzündung von Iris und Ziliarkörper), posteriorer Uveitis (Entzündung der Chorioidea) und Panuveitis (Entzündung der gesamten Uvea) (MILLER, 2008c).

Die Ursachen für eine Uveitis sind vielfältig. MILLER (2008c) unterscheidet zwischen neoplastischen, metabolischen, idiopathischen, immunmedierten, infektiösen, toxischen und traumatischen Ursachen sowie einer Reflexuveitis.

Beim Hund gehört die Uveitis zu den häufig vorkommenden Augenerkrankungen und wird als häufigste Ursache für das Erblinden gesehen (MASSA et al., 2002). Auch bei Katzen zählt die Uveitis zu den häufig vorkommenden Augenerkrankungen (JINKS et al., 2016).

Die Symptome einer Uveitis sind vielfältig. Neben unspezifischen Symptomen wie Anorexie, Epiphora und Blepharospasmus kann es beispielsweise zu gestauten episkleralen Blutgefäßen, Kammerwassertrübung, Korneaödem, Miosis, der Entstehung von Synechien, geschwollener Iris, Netzhautablösung und Bulbusatrophie kommen (MILLER, 2008c).

Der IOD ist üblicherweise bei einer Uveitis erniedrigt. Ursachen dafür sind die verminderte Kammerwasserproduktion durch einen von der Entzündung betroffenen Ziliarkörper und den durch endogene Prostaglandine erhöhten Kammerwasserabfluss über den uveoskleralen Weg. Es kann jedoch trotz aktiver Entzündung zu einem normalen oder erhöhten IOD kommen, der durch einen erhöhten Abflusswiderstand bedingt ist. Dieser kann durch die Verlegung des Kammerwinkels mit Entzündungszellen, Debris, neovaskulären Membranen oder peripheren anterioren Synechien oder Verschluss der Pupille durch posteriore Synechien entstehen (MILLER, 2008c).

JOHNSEN et al. (2006) konnten feststellen, dass 17% aller an Uveitis erkrankten Hunde innerhalb von 5 Jahren nach Diagnosestellung ein sekundäres Glaukom entwickelten. Zudem kamen sie zu dem Ergebnis, dass die Ursache für rund 45% aller sekundären Glaukome eine Uveitis war.

3. Material und Methoden

3.1 Zielsetzung

Das Applanationstonometer TonoPen Avia Vet ist das technisch und ergonomisch weiterentwickelte Nachfolgemodell des bereits in der Veterinärmedizin genutzten TonoPen XL. Aufgrund seiner einfachen Handhabung und einer lageunabhängigen Messposition eignet sich der TonoPen Avia Vet für die Tonometrie bei Tieren und soll deshalb im Rahmen dieser Dissertation für die verschiedenen Tierarten Hund, Katze und Kaninchen evaluiert werden.

Ziele dieser Dissertation waren daher

1. die Kalibrierung des TonoPen Avia Vet für Hunde, Katzen und Kaninchen anhand von manometrischen Vergleichsmessungen,
2. die Ermittlung von Referenzbereichen des mit dem TonoPen Avia Vet gemessenen IOD für Hunde, Katzen und Kaninchen.

Das Rückstoßtonometer TonoVet wird ebenfalls häufig in der Veterinärmedizin genutzt. Es fehlen bisher Augeninnendruckmessungen bei Kaninchen anhand einer ausreichend großen augengesunden Referenzpopulation.

Weitere Ziele dieser Dissertation waren daher

3. die Ermittlung von Referenzbereichen des mit dem TonoVet gemessenen IOD für Kaninchen,
4. die Untersuchung eines möglichen Einflusses von Alter, Gewicht und Geschlecht auf den mit dem TonoPen Avia Vet und dem Tono Vet gemessenen IOD.

3.2 Kalibrierung des TonoPen Avia Vet

3.2.1 Versuchsmaterial

Für die Kalibrierung des TonoPen Avia Vet wurden Augen von euthanasierten Hunden, Katzen und Kaninchen entnommen. Die Euthanasie erfolgte aufgrund von Erkrankungen, welche keinen ophthalmologischen Bezug hatten. Eine kurze ophthalmologische Untersuchung wurde durchgeführt, um den IOD verändernde Erkrankungen auszuschließen.

Die Augen wurden innerhalb von 2 Stunden nach Euthanasie transkonjunktival enukleiert. Anschließend wurden sie in 0,9%iger NaCl-Lösung bei 2-8 °C bis zur Versuchsdurchführung für maximal 6 Stunden aufbewahrt. Pro Tierart wurden jeweils 10 Augen entnommen.

3.2.2 Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau erfolgte wie bereits in der Literatur beschrieben (REUTER et al., 2010, PECHE und EULE, 2018). Das enukleierte Auge wurde auf einen mit Mullkompressen gepolsterten Ring aus Modelliermasse gelegt, um es für die Versuchsdurchführung stabil zu lagern. Der Durchmesser des modellierten Ringes betrug für Kaninchenaugen 3,5 cm und für Hunde- und Katzenaugen 5 cm.

Für die Versuche wurde ein digitales Manometer (DD-890, ATP Messtechnik GmbH, Ettenheim) verwendet, welches zuvor beim Landesamt für Eich- und Messwesen Berlin-Brandenburg geeicht wurde. Dieses Manometer wurde über eine Heidelberger Verlängerung (Länge 30 cm, B. Braun Melsungen AG) mit einem Dreiwegehahnsystem (Discofix®, B. Braun Melsungen AG) verbunden.

Ein Reservoir mit NaCl-Lösung (0,9%, 250 ml, B. Braun Melsungen) wurde an einem höhenverstellbaren Infusionsständer befestigt und über eine Heidelberger Verlängerung (Länge 140 cm, B. Braun Melsungen AG) ebenfalls mit dem Dreiwegehahn verbunden.

Eine Kanüle (20G, B. Braun Melsungen) wurde an der dritten Öffnung des Dreiwegehahnsystems befestigt.

Durch das Öffnen des NaCl-Reservoirs wurde das System luftdicht mit Flüssigkeit gefüllt.

Die Kanüle wurde nun transskleral in den Glaskörper des Auges eingestochen.

3.2.3 Durchführung der Kalibrierungsversuche

Der in dem zu untersuchenden Auge herrschende IOD wurde durch das Anheben des NaCl-Reservoirs auf 5 mmHg eingestellt und die Messungen mit dem TonoPen Avia Vet vorgenommen. Anschließend wurde durch das weitere Anheben des NaCl-Reservoirs der IOD in 5 mmHg- Schritten bis 60 mmHg erhöht. Für jede 5 mmHg-Messstufe wurden 6 Messungen mit dem TonoPen Avia Vet vorgenommen und protokolliert. Das Konfidenzintervall, welches nach jeder Messung mit dem TonoPen Avia Vet auf dem Display angezeigt wurde, musste 95% betragen, damit der Messwert verwendet wurde. Das Manometer zeigte während der Kalibrierungsversuche durchgehend den IOD auf seinem Display an. Somit konnten eventuelle Veränderungen des IOD sofort bemerkt und korrigiert werden. Maximale Abweichungen des eingestellten IOD um $\pm 0,1$ mmHg wurden während der Messungen toleriert. Bei größeren Abweichungen wurde der IOD durch Anheben oder Senken des NaCl-Reservoirs korrigiert.

3.2.4 Statistische Auswertung

Zum Vergleich des manometrisch und des tonometrisch gemessenen IOD wurden ein Streudiagramm und ein Bland-Altman-Diagramm für jede Tierart erstellt. Für das Bland-Altman-Diagramm wurde für jede Messstufe jeweils der Mittelwert der sechs Einzelmessungen verwendet.

Für die Berechnung eines Korrekturfaktors wurde für jede Tierart die mittlere prozentuale Abweichung zwischen dem mit dem Manometer und dem mit dem TonoPen Avia Vet gemessenen IOD bestimmt. Dazu wurde berechnet, um wie viel Prozent der Mittelwert über die sechs Einzelmessungen vom manometrisch gemessenen IOD abweicht und aus den prozentualen Abweichungen wieder der Mittelwert über die zehn Augen für jede Druckstufe separat gebildet. Anschließend wurde für jede Druckstufe separat ein Korrekturfaktor anhand der jeweiligen mittleren prozentualen Abweichung berechnet und aus allen Korrekturfaktoren einer Tierart ein Mittelwert gebildet, welcher als finaler Korrekturfaktor für diese Tierart verwendet wurde.

3.3 Ermittlung von Referenzbereichen des IOD

3.3.1 Tiere

Für die Ermittlung von Referenzbereichen wurden Hunde, Katzen und Kaninchen untersucht, die als Patienten in der Klinik für kleine Haustiere der Freien Universität Berlin befanden oder in der Tierarztpraxis Blessing in Berlin vorgestellt wurden.

Die Untersuchungen fanden in dem Zeitraum vom März 2014 bis zum Dezember 2016 statt. Es wurden nur Tiere in die Untersuchungen eingeschlossen, deren Tierbesitzer zuvor ihr Einverständnis gegeben hatten.

3.3.2 Anamnese und Untersuchung

Vor jeder Untersuchung wurden die Rasse, das Geschlecht, das Alter und das Gewicht sowie das Vorliegen von Erkrankungen erfasst. Anschließend wurden eine kurze allgemeine klinische Untersuchung sowie eine ophthalmologische Untersuchung vorgenommen.

3.3.3 Einschlusskriterien

Es wurden nur Tiere in diese Dissertation eingeschlossen, bei denen die ophthalmologische Untersuchung unauffällig war.

3.3.4 Ausschlusskriterien

Ein oder mehrere auffällige Befunde bei der ophthalmologischen Untersuchung (zum Beispiel chronische Keratitis, Veränderungen der vorderen Augenkammer, Iristumore, Linsluxation, Uveitis, Glaukom) führten zum Ausschluss des Tieres von dieser Dissertation. Ebenfalls ausgeschlossen waren Tiere, welche ein schweres Trauma erlitten hatten, bei dem eine Mitbeteiligung der Augen nicht ausgeschlossen werden konnte sowie bei Erkrankungen der dem Auge anatomisch benachbarten Strukturen.

3.3.5 Messung des IOD mit dem TonoVet

Bei Kaninchen erfolgte die Messung des Augeninnendrucks zuerst mit dem TonoVet. Alle Messungen des IOD erfolgten mit der Einstellung des Modus „d“ und ohne Anästhesie der Kornea. Das TonoVet wurde entsprechend den Empfehlungen des Herstellers verwendet

(ICARE, 2019). Während des Messvorganges saßen die Tiere aufrecht und wurden so wenig wie möglich fixiert. Eine Hand spreizte die Augenlider, die andere Hand nahm die Messungen mit dem TonoVet vor.

Nur Messungen mit einer laut dem Hersteller akzeptablen Standardabweichung ($\leq 2,5$ mmHg) wurden in die Dissertation eingeschlossen (ICARE, 2019). Zwischen den Messungen mit dem TonoVet und dem TonoPen Avia Vet wurde ein Zeitabstand von 10 Minuten eingehalten.

3.3.6 Messung des IOD mit dem TonoPen Avia Vet

Vor jeder Messung des Augeninnendrucks wurden den Hunden, Katzen und Kaninchen jeweils 1-2 Tropfen Oxybuprocain (Novesine®, OmniVision GmbH, Puchheim) in jedes Auge appliziert. Nach 30 Sekunden wurde mit der Messung des IOD begonnen.

Die Tiere befanden sich in sitzender Position.

Während des Messvorganges wurden die Tiere so wenig wie möglich fixiert. Eine Hand spreizte die Augenlider, die andere Hand nahm die Messungen mit dem TonoPen Avia Vet vor.

Die Messung des IOD mit dem TonoPen Avia Vet erfolgte entsprechend den Empfehlungen des Herstellers (REICHERT, 2018). Der aus den sechs Einzelmessungen errechnete durchschnittliche IOD wurde nur verwendet, wenn das Konfidenzintervall 95% betrug.

3.3.7 Statistische Auswertung

Die Auswertung der Daten erfolgte mit dem Statistikprogramm SPSS 24.0 for Windows (SPSS Inc., Chicago). Für jede Tierart wurde ein gemischtes Modell erstellt, welches das Tier als zufälligen Faktor berücksichtigte. Das Alter, das Körpergewicht und das Gewicht wurden in diesen gemischten Modellen als Einflussfaktoren auf den IOD geprüft. Ein möglicher Einfluss der Augenseite auf den IOD wurde mit einem t-Test für abhängige Beobachtungen untersucht. Für die Ermittlung von Referenzwerten wurden das 2,5- und das 97,5-Perzentil als Grenzwerte verwendet.

4. Ergebnisse

4.1 Kalibrierung des TonoPen Avia Vet

4.1.1 Vergleich von Manometrie und Tonometrie

Hunde:

Durch die graphische Darstellung mittels Streudiagramm und Bland-Altman-Diagramm ist ein positiv linearer Zusammenhang zwischen dem manometrisch und dem tonometrisch gemessenen IOD bei Hunden erkennbar. Im Bland-Altman-Diagramm wird sichtbar, dass der TonoPen Avia Vet den wahren IOD bei steigendem Druck zunehmend unterschätzt. Eine Ausnahme bildet der Druckbereich von 5 mmHg, bei dem der tonometrisch gemessene IOD annähernd dem manometrisch gemessenen IOD entspricht (Abbildungen 1 und 2).

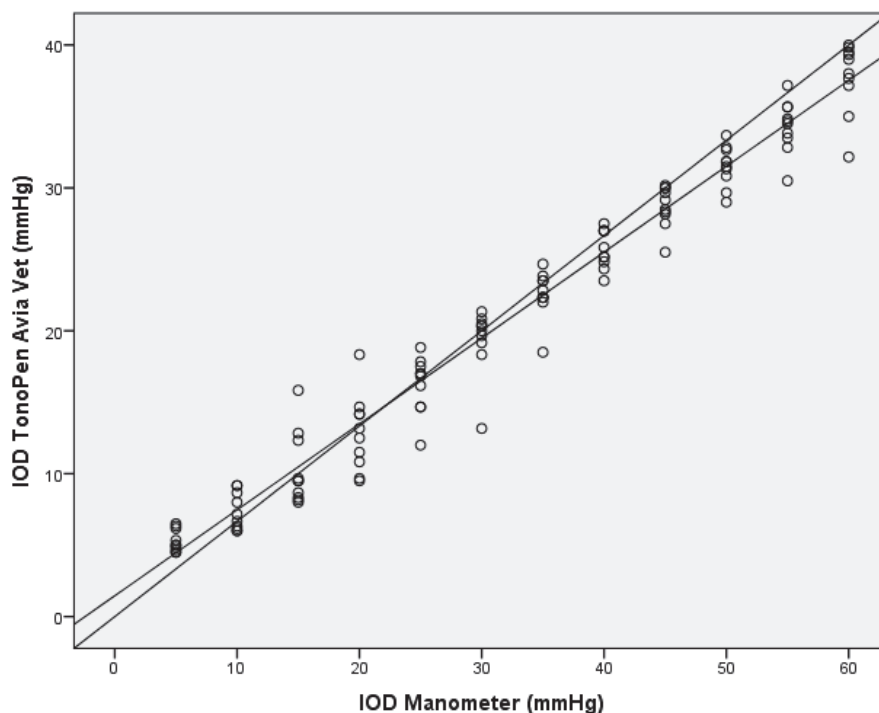


Abbildung 1: Streudiagramm mit Regressionsgerade zum Vergleich der Messergebnisse für den Augeninnendruck (IOD) gemessen in mmHg mit dem Applanationstonometer TonoPen Avia Vet und einem Manometer an enukleierten Augen von Hunden (n=10 Augen).

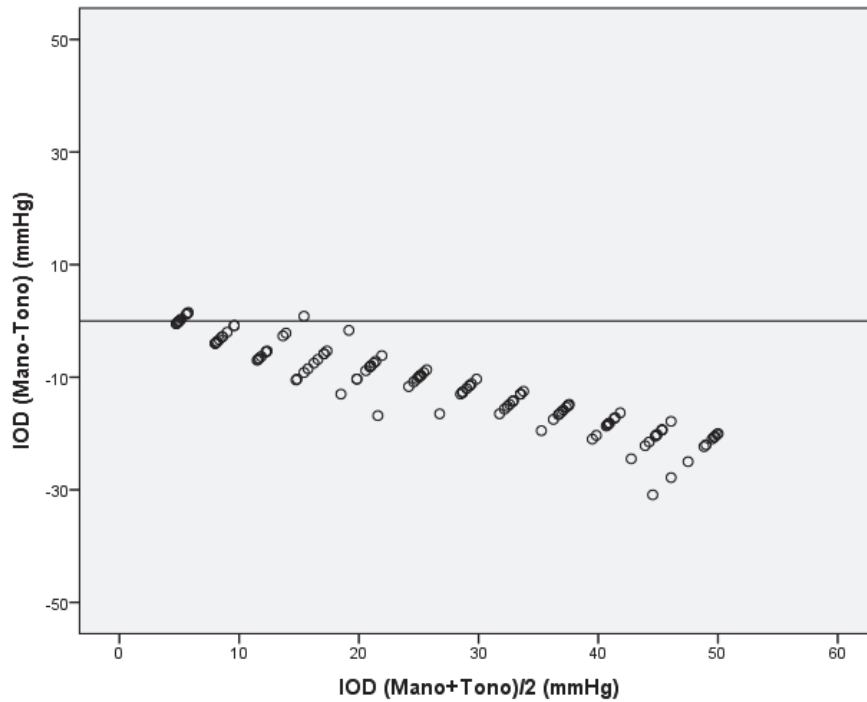


Abbildung 2: Bland-Altman-Diagramm zum Vergleich des mit dem Manometer (Mano) und mit dem TonoPen Avia Vet (TPA) gemessenen Augeninnendrucks (IOD) bei Hunden (n= 10 Augen).

Katzen:

Bei den Katzen ist durch die graphische Darstellung ebenfalls ein positiv linearer Zusammenhang zwischen dem manometrisch und dem tonometrisch gemessenen IOD erkennbar. Im Bland-Altman-Diagramm wird sichtbar, dass der TonoPen Avia Vet den wahren IOD bei steigendem Druck zunehmend unterschätzt. Eine Ausnahme bildet der Druckbereich von 5 mmHg, bei dem der tonometrisch und der manometrisch gemessene IOD nah beieinander liegen (Abbildungen 3 und 4).

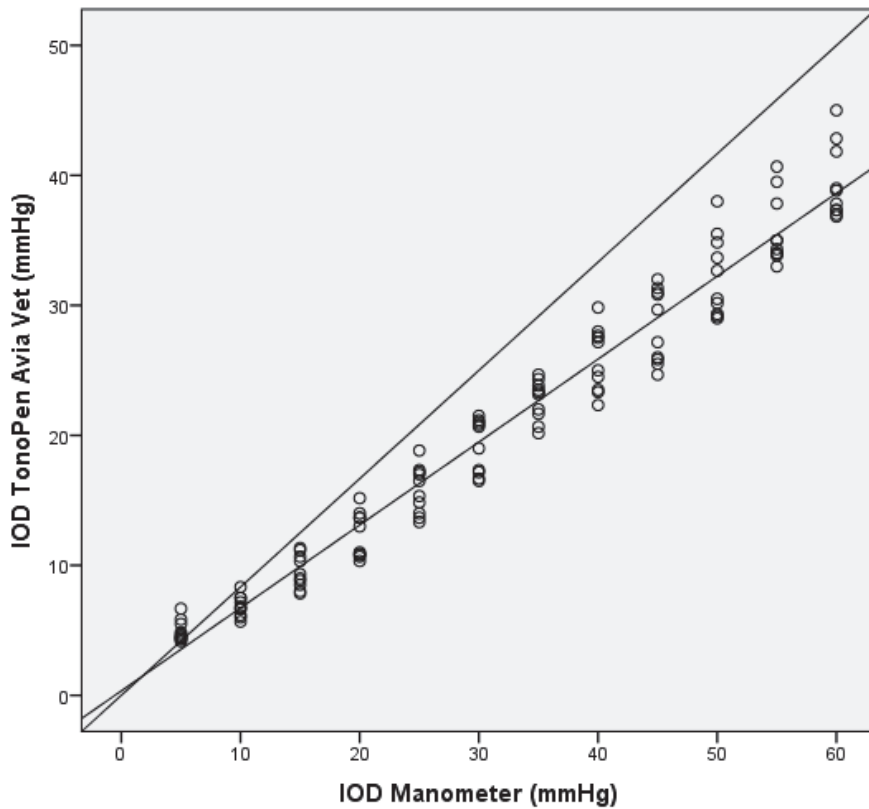


Abbildung 3: Streudiagramm mit Regressionsgerade zum Vergleich der Messergebnisse für den Augeninnendruck (IOD) gemessen in mmHg mit dem Applanationstonometer TonoPen Avia Vet und einem Manometer an enukleierten Augen von Katzen (n=10 Augen).

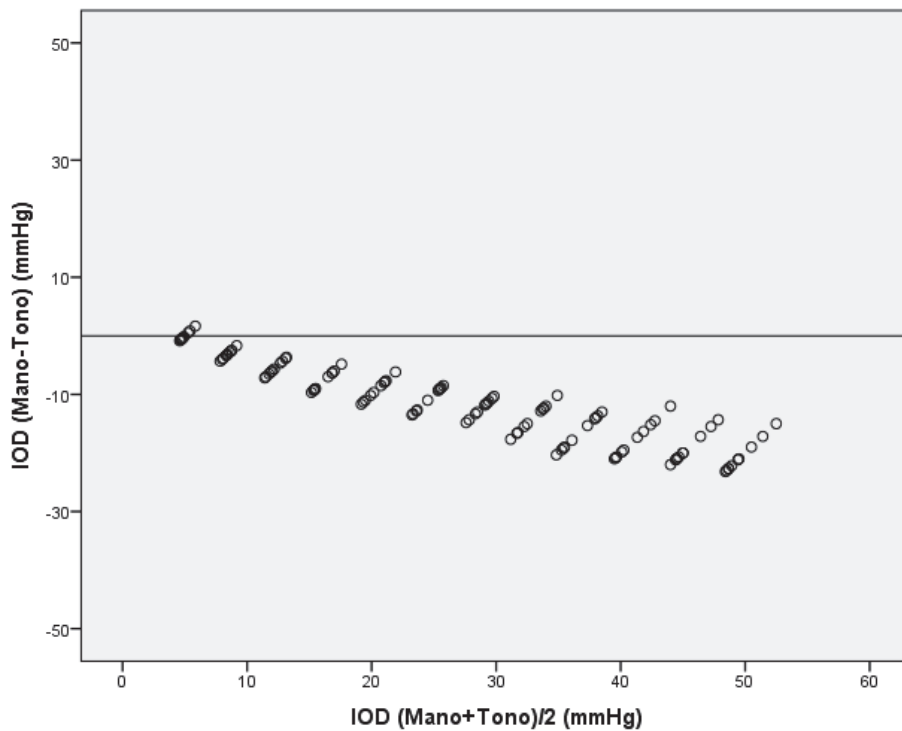


Abbildung 4: Bland-Altman-Diagramm zum Vergleich des mit dem Manometer (Mano) und mit dem TonoPen Avia Vet (TPA) gemessenen Augeninnendruck (IOD) bei Katzen (n= 10 Augen).

Kaninchen:

Auch bei den Kaninchen ist durch die graphische Darstellung ein positiv linearer Zusammenhang zwischen dem manometrisch und dem tonometrisch gemessenen IOD erkennbar. Im Bland-Altman-Diagramm wird sichtbar, dass der TonoPen Avia Vet den wahren IOD bei steigendem Druck zunehmend unterschätzt. Eine Ausnahme bildet der Druckbereich von 5 mmHg, bei dem der tonometrisch gemessene IOD annähernd dem manometrisch gemessenen IOD entspricht (Abbildungen 5 und 6).

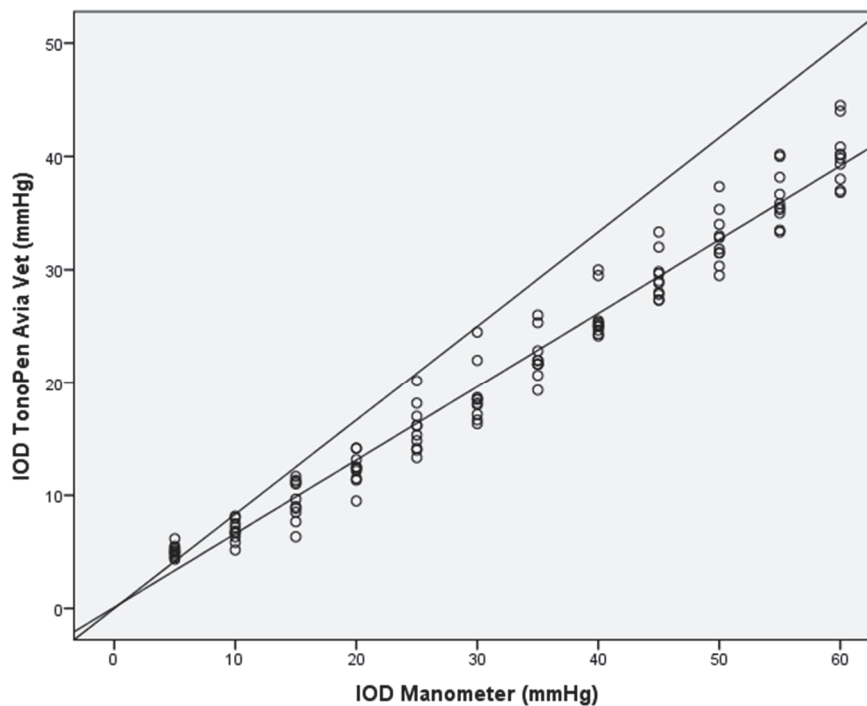


Abbildung 5: Streudiagramm mit Regressionsgerade zum Vergleich der Messergebnisse für den Augeninnendruck (IOD) gemessen in mmHg mit dem Applanationstonometer TonoPen Avia Vet und einem Manometer an enukleierten Augen von Kaninchen (n=10 Augen).

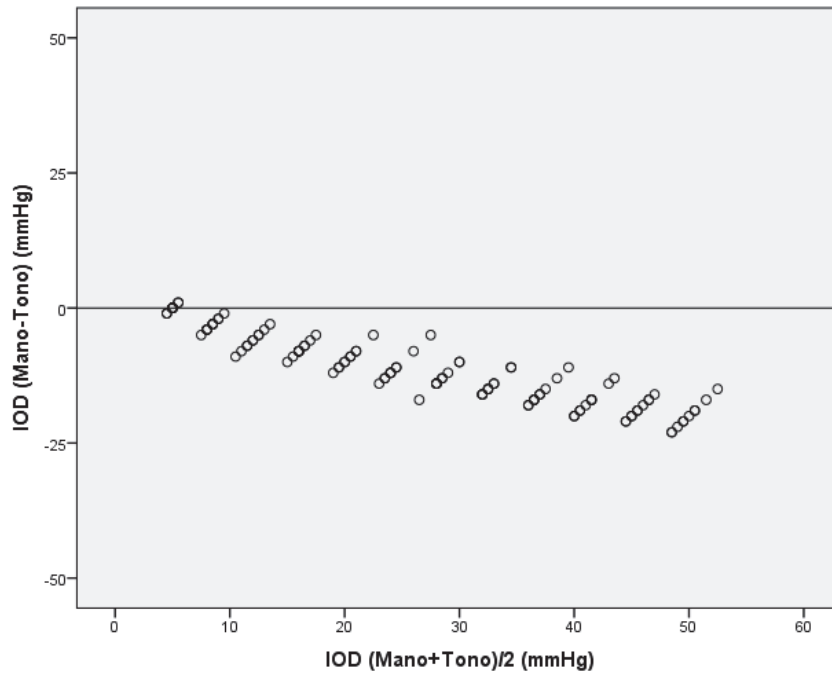


Abbildung 6: Bland-Altman-Diagramm zum Vergleich des mit dem Manometer (Mano) und mit dem TonoPen Avia Vet (TPA) gemessenen Augeninnendrucks (IOD) bei Kaninchen (n= 10 Augen).

Tabelle 1: Vergleich der tonometrischen und manometrischen Augeninnendruckmessung (IOD) bei enukleierten Hundeaugen (n=10 Augen). Die Standardabweichung bezieht sich auf den Mittelwert der Messungen mit dem TonoPen Avia Vet.

Mit dem Manometer gemessener IOD (mmHg)	Mittelwert der Messungen mit dem TonoPen Avia Vet (mmHg)	Mittlere prozentuale Abweichung zwischen Manometer und TonoPen Avia Vet (in %)	Standardabweichung (mmHg)
5	5,28	-16,7	0,77
10	7,33	-31,7	1,31
15	10,28	-25,6	2,57
20	12,85	-35	2,67
25	16,25	-38,7	1,98
30	19,37	-28,3	2,34
35	22,58	-31,9	1,66
40	25,73	-30,8	1,35
45	28,7	-30,4	1,45
50	31,52	-32,7	1,42
55	34,31	-36,4	1,82
60	37,77	-35,3	2,49

Tabelle 2: Vergleich der tonometrischen und manometrischen Augeninnendruckmessung (IOD) bei enukleierten Katzenaugen (n=10 Augen). Die Standardabweichung bezieht sich auf den Mittelwert der Messungen mit dem TonoPen Avia Vet.

Mit dem Manometer gemessener IOD (mmHg)	Mittelwert der Messungen mit dem TonoPen Avia Vet (mmHg)	Mittlere prozentuale Abweichung zwischen Manometer und TonoPen Avia Vet (in %)	Standardabweichung (mmHg)
5	4,93	-1,3	0,81
10	6,85	-31,5	0,8
15	9,5	-36,6	1,29
20	12,32	-38,4	1,76
25	15,8	-36,8	1,84
30	19,18	-36	2,07
35	22,73	-35	1,53
40	25,88	-35,3	2,47
45	28,4	-36,9	2,83
50	32,28	-35,4	3,13
55	35,72	-35,1	2,65
60	39,38	-34,4	2,85

Tabelle 3: Vergleich der tonometrischen und manometrischen Augeninnendruckmessung (IOD) bei enukleierten Kaninchenaugen (n=10 Augen). Die Standardabweichung bezieht sich auf den Mittelwert der Messungen mit dem TonoPen Avia Vet.

Mit dem Manometer gemessener IOD (mmHg)	Mittelwert der Messungen mit dem TonoPen Avia Vet (mmHg)	Mittlere prozentuale Abweichung zwischen Manometer und TonoPen Avia Vet (in %)	Standardabweichung (mmHg)
5	5,05	1	0,53
10	6,83	-31,67	0,93
15	9,51	-36,56	1,77
20	12,33	-38,33	1,38
25	15,93	-36,27	2,09
30	18,85	-37,17	2,52
35	22,32	-36,24	2
40	25,87	-35,33	2,09
45	29,31	-34,85	2
50	32,72	-34,57	2,35
55	36,35	-33,91	2,41
60	40,07	-33,22	2,59

Anhand der mittleren prozentualen Abweichung zwischen Manometer und TonoPen Avia Vet (Tabelle 1 bis 3) wurden Korrekturfaktoren abgeleitet. Diese ermöglichen es, den tonometrisch gemessenen IOD in den manometrischen IOD umzurechnen.

Hunde: IOD (Manometer) = IOD (TonoPen Avia) * 1,5

Katzen: IOD (Manometer) = IOD (TonoPen Avia) * 1,5

Kaninchen: IOD (Manometer) = IOD (TonoPen Avia) * 1,5

Bei Hunden, Katzen und Kaninchen lässt sich der tonometrisch gemessene IOD durch Multiplikation mit dem Faktor 1,5 in den manometrischen IOD umrechnen. Es ist zu beachten, dass dies für tonometrisch gemessene Druckwerte von 10 – 60 mmHg gilt, bei 5 mmHg ist die Abweichung zwischen tonometrischen und manometrischen Werten deutlich geringer.

4.2 Augeninnendruck bei lebenden Hunden, Katzen und Kaninchen

4.2.1 Hunde

Es wurden 94 Hunde (188 Augen) untersucht.

Alter

Der Mittelwert des Alters lag bei 6,19 Jahren, die Standardabweichung betrug 3,66 Jahre. Das Alter hat einen statistisch signifikanten Einfluss auf den IOD ($p= 0,001$). Bei steigendem Alter sinkt der IOD. Erhöht sich das Alter um ein Jahr, sinkt der IOD durchschnittlich um 0,22 mmHg.

Körpergewicht

Der Mittelwert des Körpergewichts lag bei 15,45 kg, die Standardabweichung betrug 10,78 kg. Das Körpergewicht hatte keinen statistisch signifikanten Einfluss auf den IOD.

Geschlecht

Tabelle 4: Geschlecht der untersuchten Hunde

Geschlecht	Anzahl der Hunde
männlich	21
männlich kastriert	18
weiblich	11
weiblich kastriert	44

Das Geschlecht hatte keinen signifikanten Einfluss auf den IOD.

Augenseite

Bei den Hunden gab es keinen statistisch signifikanten Druckunterschied zwischen rechten und linken Augen.

4.2.2 Katzen

Es wurden 64 Katzen (128 Augen) untersucht.

Alter

Der Mittelwert des Alters lag bei 6,15 Jahren, die Standardabweichung betrug 4,80 Jahre. Das Alter hat einen statistisch signifikanten Einfluss auf den IOD ($p= 0,008$). Erhöht sich das Alter um ein Jahr, sinkt der IOD durchschnittlich um 0,11 mmHg.

Körpergewicht

Der Mittelwert des Körpergewichts lag bei 4,38 kg, die Standardabweichung betrug 1,37 kg. Das Körpergewicht hatte keinen statistisch signifikanten Einfluss auf den IOD.

Geschlecht

Tabelle 5: Geschlecht der untersuchten Katzen

Geschlecht	Anzahl der Katzen
männlich	1
männlich kastriert	29
weiblich	8
weiblich kastriert	22

Das Geschlecht hatte keinen signifikanten Einfluss auf den IOD.

Augenseite

Bei den Katzen gab es einen statistisch signifikanten Druckunterschied zwischen rechten und linken Augen. Im Durchschnitt hatten rechte Augen einen höheren IOD als linke Augen.

4.2.3 Kaninchen

4.2.3.1 Messungen mit dem TonoPen Avia Vet

Es wurden 122 Kaninchen (244 Augen) untersucht.

Alter

Der Mittelwert des Alters lag bei 4,42 Jahren, die Standardabweichung betrug 2,90 Jahre. Das Alter hat einen statistisch signifikanten Einfluss auf den IOD ($p=0,033$). Bei steigendem Alter sinkt der IOD. Erhöht sich das Alter um ein Jahr, sinkt der IOD durchschnittlich um 0,18 mmHg.

Körpergewicht

Der Mittelwert des Körpergewichts lag bei 1,92 kg, die Standardabweichung betrug 0,66 kg. Das Körpergewicht hatte keinen statistisch signifikanten Einfluss auf den IOD.

Geschlecht

Tabelle 6: Geschlecht der untersuchten Kaninchen

Geschlecht	Anzahl der Kaninchen
männlich	14
männlich kastriert	53
weiblich	34
weiblich kastriert	20
unbekannt	1

Das Geschlecht hatte keinen signifikanten Einfluss auf den IOD.

Augenseite

Bei den Kaninchen gab es keinen statistisch signifikanten Druckunterschied zwischen rechten und linken Augen.

4.2.3.2 Messungen mit dem TonoVet

Es wurden 122 Kaninchen (244 Augen) untersucht.

Alter

Der Mittelwert des Alters lag bei 4,42 Jahren, die Standardabweichung betrug 2,90 Jahre. Das Alter hat einen statistisch signifikanten Einfluss auf den IOD ($p=0,002$). Bei steigendem Alter sinkt der IOD um durchschnittlich 0,29 mmHg.

Körpergewicht

Der Mittelwert des Körpergewichts lag bei 1,92 kg, die Standardabweichung betrug 0,66 kg. Das Körpergewicht hatte keinen statistisch signifikanten Einfluss auf den IOD.

Geschlecht

Tabelle 7: Geschlecht der untersuchten Kaninchen

Geschlecht	Anzahl der Kaninchen
männlich	14
männlich kastriert	53
weiblich	34
weiblich kastriert	20
unbekannt	1

Das Geschlecht hatte keinen signifikanten Einfluss auf den IOD.

Augenseite

Bei den Kaninchen gab es keinen statistisch signifikanten Druckunterschied zwischen rechten und linken Augen.

4.2.3.3 Referenzwerte für den TonoPen Avia Vet und den TonoVet

Die Referenzwerte für den mit dem TonoPen Avia Vet gemessenen Augeninnendruck betragen für Hunde 9 bis 18 mmHg, für Katzen 9 bis 20 mmHg und für Kaninchen 6 bis 16 mmHg. Die Referenzwerte für den mit dem TonoVet bei Kaninchen gemessenen Augeninnendruck betragen 7 bis 17 mmHg.

Tabelle 8: Deskriptive statistische Angaben zum mit dem TonoPen Avia Vet gemessenen Augeninnendruck (in mmHg) gesunder Augen (Min.= Minimalwert, Max.= Maximalwert, P 2,5= 2,5%-Perzentil, P97,5= 97,5%-Perzentil, SD= Standardabweichung)

Tierart	Mittelwert	Median	Min.	Max.	P 2,5	P 97,5	SD	n (Augen)
Hunde	12,96	13	8	20	9,00	18,00	2,39	188
Katzen	13,29	13	9	20	9,23	19,78	2,54	128
Kaninchen	10,74	11	4	19	6,00	16,00	2,69	244

Tabelle 9: Deskriptive statistische Angaben zum mit dem TonoVet gemessenen Augeninnendruck (in mmHg) gesunder Augen (Min.= Minimalwert, Max.= Maximalwert, P 2,5= 2,5%-Perzentil, P97,5= 97,5%-Perzentil, SD= Standardabweichung)

Tierart	Mittelwert	Median	Min.	Max.	P 2,5	P 97,5	SD	n (Augen)
Kaninchen	11,57	12	6	18	7,00	17,00	2,77	244

5. Diskussion

Kalibrierung des TonoPen Avia Vet

Tonometer messen nur indirekt den IOD, es kommt daher zu Messungenauigkeiten. Diese sind abhängig von dem Messprinzip des verwendeten Tonometers.

Die vergleichende direkte Messung des IOD mit einem Manometer gilt daher als Goldstandard, um Tonometer zu kalibrieren (KNIESTEDT et al., 2008, FEATHERSTONE und HEINRICH, 2013).

Die mit dem Manometer und dem TonoPen Avia Vet gemessenen Druckwerte wurden zunächst für jede Tierart in einem Bland-Altman-Diagramm grafisch miteinander verglichen. So konnte gezeigt werden, dass der TonoPen Avia Vet bei steigendem Druck zunehmend den mit dem Manometer gemessenen Druck unterschätzt. Eine Ausnahme bildet der Druckbereich von 5 mmHg, bei dem der tonometrisch und der manometrisch gemessene IOD nah beieinander liegen. Bei Hunden und Kaninchen überschätzt der TonoPen Avia Vet in diesem Druckbereich den manometrischen IOD sogar geringfügig. Bei Katzen kommt es zu einer geringfügigen Unterschätzung des manometrisch gemessenen IOD bei 5 mmHg. Für Druckwerte von 10 bis 60 mmHg konnten Korrekturfaktoren bestimmt werden, mit denen sich der tonometrisch gemessene IOD in den wahren, manometrischen IOD umrechnen lässt. Dies ist für den klinischen Einsatz des TonoPen Avia Vet von entscheidender Bedeutung, um den gemessenen IOD korrekt beurteilen zu können.

Bisher wurde der TonoPen Avia Vet nur für Nordamerikanische Ochsenfrösche kalibriert. Bei dieser Tierart unterschätzten sowohl der TonoPen Avia Vet als auch der TonoVet den mit einem Manometer gemessenen IOD. Die Messungen mit dem TonoVet waren etwas präziser als mit dem TonoPen Avia Vet. Es wurde allerdings darauf hingewiesen, dass Nordamerikanische Ochsenfrösche einen kleinen Augapfel besitzen, bei dem sich eine korrekte Messung des IOD mit dem TonoPen Avia Vet als schwierig gestaltet. Eine weitere Limitation war die mit zwei Augen geringe Anzahl an untersuchten Augen (CANNIZZO et al., 2017).

Bisher sind keine weiteren Kalibrierungsstudien mit dem TonoPen Avia Vet bei Tieren vorhanden. Eine mit steigendem Druck zunehmende Unterschätzung des wahren IOD wurde auch in Kalibrierungsstudien des Vorgängermodells TonoPen XL beschrieben. PASSAGLIA et al. (2004) konnten feststellen, dass der TonoPen XL bei Katzen, Rindern und Schafen den IOD mit steigendem Druck zunehmend unterschätzt. ANDRADE et al. (2011, 2012) stellten

ebenfalls eine mit steigendem Druck zunehmende Unterschätzung des wahren IOD bei Katzen, Schafen und Rindern fest. Für Kaninchen der Rasse Weiße Neuseeländer wurde ebenfalls beobachtet, dass Messungen mit dem TonoPen XL bei steigendem aktuellen Druck weniger akkurat waren, der Grad der Unterschätzung stieg mit zunehmendem Druck (LIM et al., 2005).

Mögliche Ursachen für die Unterschätzung des wahren IOD durch den TonoPen XL wurden in den Kalibrierungsstudien untersucht und diskutiert. PASSAGLIA et al. (2004) untersuchten das Vorhandensein von Leakagen rund um die Einstichstelle der Kanüle in das Auge, an mehreren Augen angewendete Seideltests lieferten allerdings keinen Hinweis auf einen Austritt von Flüssigkeit aus dem Auge. LIM et al. (2005) verwiesen darauf, dass die Eignung des für die Humanmedizin konzipierten TonoPen XL für die Veterinärmedizin aufgrund anatomischer Unterschiede der Kornea limitiert sei.

Tonometrie intra vitam

Bei allen Tieren war die Messung des Augeninnendrucks mit dem TonoPen Avia Vet problemlos möglich. Eine Messung, welche sechs Einzelmessungen entsprach, konnte nach der Gabe des Lokalanästhetikums innerhalb weniger Sekunden durchgeführt werden und wurde von den Tieren gut toleriert. Nur in Einzelfällen war eine wiederholte Messung notwendig, weil das Konfidenzintervall weniger als 95% betrug.

Die Messung des Augeninnendrucks mit dem TonoVet war bei Kaninchen ebenfalls problemlos möglich. Eine Messung, welche sechs Einzelmessungen entsprach, konnte innerhalb weniger Sekunden durchgeführt werden und wurde von den Tieren gut toleriert. Nur in Einzelfällen betrug die Standardabweichung 2,5 mmHg oder mehr und musste deshalb wiederholt werden.

Bei Hunden, Katzen und Kaninchen hat das Alter einen signifikanten Einfluss auf den IOD. Steigt das Alter an, sinkt der IOD zunehmend. GELATT und MACKAY (1998) kommen bei Hunden ebenfalls zu diesem Ergebnis. Sie untersuchten mit 421 Hunden eine große Tieranzahl. Den Abfall des IOD mit zunehmendem Alter gaben sie beispielsweise im Durchschnitt mit 2-4 mmHg an, wenn das Alter von unter zwei Jahren auf über sechs Jahre ansteigt. Im Gegensatz dazu stellten MUGHANNAM et al. (2004) keinen Unterschied bezüglich des IOD zwischen 6 Wochen alten und 1 Jahr alten Hunden fest. Dieser Altersunterschied ist allerdings relativ eng gewählt, sodass geringe Effekte des Alters auf den IOD unter Umständen in diesem Bereich nicht erkannt werden. In dieser Dissertation wurde festgestellt, dass der IOD im Durchschnitt um 0,22 mmHg sinkt, wenn das Alter um

ein Jahr ansteigt. Eine Veränderung des IOD um weniger als 1 mmHg könnte somit als nicht relevant erachtet worden sein. Eine andere mögliche Erklärung wäre, dass der IOD in diesem Alter noch unverändert ist, ein Abfall findet erst im höheren Alter statt. Um dies genauer zu untersuchen, sind weitere Studien sinnvoll. VERBOVEN et al. (2014) stellten hingegen bei Hunden einen Anstieg des IOD zwischen der zweiten und der elften Lebenswoche fest. Sie untersuchten allerdings nur einen Wurf von acht Welpen. In dieser Dissertation wurde ebenfalls der IOD bei nur sehr wenigen Welpen gemessen, sodass für diesen Altersbereich keine zuverlässige Aussage getroffen werden kann. Weitere Untersuchungen mit einer größeren Anzahl an Hunden in diesem Alter sind sinnvoll.

Bei Katzen sinkt der IOD mit steigendem Alter. Auch KROLL et al. (2001) konnten bei älteren Katzen einen niedrigeren Augeninnendruck verglichen mit jüngeren Katzen feststellen. Bei einigen alten Katzen lag der gemessene IOD sogar bei 8 mmHg oder weniger, es gab keine Anzeichen für eine Uveitis. Als Ursache hierfür diskutierten die Autoren eine Reduktion der aktiven Sekretion des Kammerwassers im Alter.

Bei Kaninchen sinkt der IOD ebenfalls mit steigendem Alter. Dies steht im Gegensatz zu den Ergebnissen von ZHAO et al. (2010). Diese Autoren stellten einen geringeren IOD bei jungen Kaninchen verglichen mit älteren Kaninchen fest. Es ist allerdings zu beachten, dass Zhao et al. nur 3 Monate und 12 Monate alte Tiere miteinander verglichen. Ein Großteil der in dieser Dissertation untersuchten Kaninchen war hingegen älter, der Mittelwert lag bei 4,42 Jahren. Somit kann ein geringer Anstieg des IOD innerhalb des ersten Lebensjahres nicht ausgeschlossen werden. Zhao et al. untersuchten mit 22 Kaninchen zudem eine geringe Tieranzahl. Weitere Studien zur Messung des IOD bei jungen Kaninchen in einer ausreichend großen Tieranzahl wären daher sinnvoll.

Im Rahmen dieser Dissertation wurde kein Einfluss des Geschlechts auf den IOD festgestellt. Dies deckt sich mit den Ergebnissen anderer Studien, in denen ebenfalls kein Zusammenhang zwischen dem IOD und dem Geschlecht bei Hunden, Katzen und Kaninchen zu beobachten war (GELATT und MACKAY, 1998, PEREIRA et al., 2011, FEATHERSTONE und HEINRICH, 2013, WANG et al., 2013, KATO, 2014). OFRI et al. (1998a) stellten hingegen bei männlichen Löwen einen höheren IOD als bei Löwinnen fest. Es ist allerdings zu beachten, dass mit 22 Tieren eine sehr kleine Tieranzahl untersucht wurde.

Auch das Körpergewicht hat keinen Einfluss auf den IOD. Dieses Ergebnis stimmt mit anderen Studien überein (SEDAGHAT et al., 2017).

Bei Hunden und Kaninchen wurden im Rahmen dieser Dissertation keine Druckunterschiede zwischen dem rechten und dem linken Auge beobachtet. Dies deckt sich mit Ergebnissen anderer Studien (NEJABAT et al., 2016, MCDONALD et al., 2017). Bei Katzen haben rechte Augen im Durchschnitt einen höheren IOD als linke Augen. Ein durchschnittlich höherer IOD in rechten Augen verglichen mit den linken Augen wurde auch bei Menschen und Kaninchen beobachtet (LIU et al., 2005, WANG et al., 2013). PEREIRA et al. (2011) kamen hingegen zu dem Schluss, dass bei Kaninchen linke Augen einen durchschnittlich höheren IOD als rechte Augen haben. Die Ursache hierfür ist nicht abschließend geklärt. Es kann sich um eine wahre physiologische Differenz oder ein Artefakt handeln. In der Literatur werden Faktoren, die entweder vom Patienten oder vom Untersuchenden ausgehen, diskutiert. Stress bei dem zu untersuchenden Patienten führt zu einem höheren IOD (BRODY et al., 1999, MIYAZAKI et al., 2000). Die im Rahmen dieser Dissertation untersuchten Tiere lebten als Heimtiere bei Privatpersonen und waren an Menschen gewöhnt. Dennoch verursacht eine fremde Umgebung wie eine Tierarztpraxis oder Klinik sowie die Fixation und Untersuchung durch fremde Personen Stress. Je länger eine solche Untersuchung dauert, desto stärker kann das Tier gestresst werden. Eine mögliche Theorie wäre, dass bei der Untersuchung des linken Auges das Stresslevel und dadurch der IOD steigt, sodass bei der anschließenden Untersuchung des rechten Auges der IOD höher als beim linken Auge ist. Damit sich ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen rechtem und linkem Auge ergibt, müsste immer zuerst die eine Augenseite vor der anderen gemessen werden. In dieser Dissertation wurde die Reihenfolge der gemessenen Augenseite nicht notiert. Es ist sinnvoll, bei zukünftigen Messungen des IOD immer die Reihenfolge der untersuchten Augen eines Individuums zu protokollieren. Ein möglicher von dem Untersuchenden ausgehender Faktor wäre die Benutzung der rechten oder linken Hand, mit der das Tonometer gehalten wird. Die untersuchten Tierarten haben lateral am Kopf gelegene Augen, eine Seite lässt sich für den Untersucher einfacher als die andere messen.

Referenzwerte für den mit dem TonoPen Avia Vet gemessenen IOD bei Hunden existieren bisher nicht. Ein Vergleich mit dem Vorgängermodell TonoPen XL zeigt, dass dieser durchschnittlich einen höheren IOD als der TonoPen Avia Vet bei gesunden Hunden misst. So gaben ANDRADE et al. (2012) den Mittelwert und die Standardabweichung für den mit dem TonoPen XL gemessenen IOD mit $17,5 \pm 3,7$ mmHg an. Es ist allerdings zu beachten, dass mit 25 Hunden eine vergleichsweise geringe Tieranzahl untersucht wurde. Auch KATO (2014) sowie MILLER und PICKETT (1992b) gaben für den mit dem TonoPen XL gemessenen IOD höhere Mittelwerte verglichen mit den Ergebnissen dieser Dissertation an. Der Mittelwert und die Standardabweichung lagen bei $15,6 \pm 4,2$ mmHg und bei $16,7 \pm 4,0$ mmHg. Auch hier war die untersuchte Tieranzahl mit 34 Hunden sowie 57 Hunden deutlich

geringer als in dieser Dissertation. GELATT und MACKAY (1998) gaben den Mittelwert und die Standardabweichung für den mit dem Tono Pen XL gemessenen IOD bei gesunden Hunden mit $19,2 \pm 5,9$ mmHg an. Die untersuchte Tieranzahl war mit 421 Hunden sehr groß. Auffallend ist allerdings auch die große Spannbreite des IOD, welcher bei als augengesund eingestuftem Tieren gemessen wurde, sie reicht von 4 bis 42 mmHg.

Die für Katzen ermittelten Referenzwerte lagen bei 9- 20 mmHg, der Mittelwert und die Standardabweichung betragen $13,29 \pm 2,54$ mmHg. KROLL et al. (2001) gaben für den mit dem TonoPen XL gemessenen IOD einen niedrigeren Mittelwert mit $12,3 \pm 4,0$ mmHg an. Es ist jedoch zu beachten, dass Kroll et al. nur Katzen untersuchten, die sieben Jahre oder älter waren. In dieser Dissertation wurde festgestellt, dass bei Katzen mit steigendem Alter der IOD absinkt. Dies könnte erklären, warum der Mittelwert etwas höher als der von Kroll et al. ist, da für diese Dissertation Katzen verschiedenen Alters untersucht wurden und es keine Altersvorgabe gab. Andere Autoren geben höhere mit dem TonoPen XL gemessene Mittelwerte an, welche bei 19,7 mmHg und 16,8 mmHg lagen (MILLER et al., 1991, ANDRADE et al., 2012). Es ist jedoch zu beachten, dass mit 25 und mit 41 Katzen eine deutlich geringere Anzahl an Tieren untersucht wurde.

Die im Rahmen dieser Dissertation ermittelten Referenzwerte für den mit dem TonoPen Avia Vet gemessenen IOD bei Kaninchen lagen bei 6-16 mmHg, der Mittelwert und die Standardabweichung betragen $10,37 \pm 2,62$ mmHg. PEREIRA et al. (2011) untersuchten ebenfalls den IOD bei gesunden Kaninchen. Sie gaben den Mittelwert und die Standardabweichung mit $15,44 \pm 2,16$ mmHg für das TonoPen Avia an. Die Mittelwerte von Pereira et al. sind höher als die in dieser Dissertation ermittelten Werte. Eine mögliche Ursache für diesen Unterschied könnte ein höherer IOD durch Stress gewesen sein. Es ist bekannt, dass Stress sowohl bei Menschen als auch Tieren zu einem höheren IOD führt (ERB et al., 1998, TURNER et al., 2015). Pereira et al. untersuchten Kaninchen, welche als Tiere für die Forschung gehalten wurden, wohingegen es sich bei den im Rahmen dieser Dissertation untersuchten Kaninchen um Haustiere handelte, welche einen engen Kontakt mit Menschen gewöhnt waren. Genauere Angaben zur Gewöhnung der Kaninchen an den Menschen sowie Art und Häufigkeit des Handlings fehlen jedoch und wurden weder von Pereira et al. noch von den Tierbesitzern der im Rahmen dieser Dissertation untersuchten Kaninchen erfasst. Ein weiterer Unterschied ist die von Pereira et al. untersuchte geringere Tieranzahl, welche mit 38 Tieren deutlich unter der für diese Dissertation untersuchten Anzahl von 122 Kaninchen liegt.

Die im Rahmen dieser Dissertation ermittelten Referenzwerte für den mit dem TonoVet gemessenen IOD bei Kaninchen lagen bei 7-17 mmHg, der Mittelwert und die Standardabweichung betragen $11,15 \pm 2,91$ mmHg. PEREIRA et al. (2011) führten ebenfalls Messungen des IOD bei gesunden Kaninchen mit dem TonoVet durch. Sie gaben den Mittelwert und die Standardabweichung mit $9,51 \pm 2,62$ mmHg an. Die Mittelwerte von Pereira et al. sind niedriger als die in dieser Dissertation ermittelten Werte. Es ist jedoch zu beachten, dass Pereira et al. den Modus „P“ als Einstellung des TonoVet wählten, in dieser Dissertation wiederum wurde der Modus „d“ gewählt. ZHANG et al. (2014) kamen zu dem Ergebnis, dass sich die gemessenen Augeninnendruckwerte je nach ausgewähltem Modus unterscheiden und somit nicht direkt vergleichbar sind. Sie stellten ebenfalls fest, dass der mit dem „d“ Modus gemessene IOD deutlich näher an den manometrischen Werten verglichen mit dem „P“-Modus liegt und folglich als Einstellung für die Augeninnendruckmessung bei Kaninchen gewählt werden sollte.

Das TonoPen Avia Vet eignet sich gut für die Augeninnendruckmessung bei Hunden, Katzen und Kaninchen. Die Korrekturfaktoren sind eingängig und lassen eine einfache Umrechnung des IOD in den wahren, manometrischen IOD zu. Eine gut tolerierte Alternative für die Augeninnendruckmessung beim Kaninchen ist der TonoVet.

6. Zusammenfassung

Evaluation des Applanationstonometers TonoPen Avia Vet für die Bestimmung des Augeninnendrucks bei Hunden, Katzen und Kaninchen

Ziel dieser Studie war es, das Applanationstonometer TonoPen Avia Vet für die Tierarten Hund, Katze und Kaninchen mit Hilfe eines Manometers zu kalibrieren. Anhand der Ergebnisse sollte ein Korrekturfaktor bestimmt werden, mit dem der tonometrisch gemessene intraokulare Druck (IOD) in den manometrischen IOD umgerechnet werden kann.

Im zweiten Teil der Studie sollten Referenzwerte für den mit dem TonoPen Avia Vet gemessenen IOD für Hunde, Katzen und Kaninchen sowie Referenzwerte für den mit dem TonoVet gemessenen IOD für Kaninchen bestimmt werden. Ein möglicher Einfluss von Alter, Gewicht und Geschlecht auf den IOD sollte untersucht werden.

In der Kalibrierungsstudie war ein positiv linearer Zusammenhang zwischen den beiden Messmethoden erkennbar. Der TonoPen Avia Vet unterschätzt bei steigendem Druck zunehmend den manometrisch gemessenen IOD. Die errechneten Korrekturfaktoren lassen eine Umrechnung des tonometrisch gemessenen IOD in den manometrischen IOD zu: Bei Hunden, Katzen und Kaninchen wird der mit dem TonoPen Avia Vet gemessene IOD mit dem Faktor 1,5 multipliziert, um den entsprechenden manometrischen IOD zu berechnen.

Anhand von Messungen des IOD bei augengesunden Tieren wurden Referenzwerte bestimmt. Untersucht wurden insgesamt 94 Hunde (188 Augen), 64 Katzen (128 Augen) und 122 Kaninchen (244 Augen). Die Referenzwerte wurden anhand des 2,5%- und des 97,5%-Perzentils bestimmt und betragen für das TonoPen Avia Vet für Hunde 9-18 mmHg, für Katzen 9-20 mmHg und für Kaninchen 6-16 mmHg. Die Referenzwerte betragen für den mit dem TonoVet gemessenen IOD bei Kaninchen 7-17 mmHg.

Das Alter hatte bei allen drei Tierarten einen signifikanten Einfluss auf den IOD. Bei steigendem Alter sinkt der IOD zunehmend ab.

Es gab keinen signifikanten Einfluss des Geschlechts oder des Körpergewichts auf den IOD.

Insgesamt war der TonoPen Avia Vet und der TonoVet einfach anwendbar, die Messungen waren schnell durchführbar und wurden von den Tieren gut toleriert.

7. Summary

Evaluation of the applanation tonometer TonoPen Avia Vet for use in dogs, cats and rabbits

The first aim of this study was to calibrate the applanation tonometer TonoPen Avia Vet for the animal species dog, cat and rabbit. The second aim was to establish a correction factor, which allows the conversion from tonometric in manometric measured intraocular pressure (IOP). In the second part of this study, reference values for the IOP in dogs, cats and rabbits, measured with the TonoPen Avia Vet and for rabbits measured with the TonoVet should be determined. A possible influence of age, body weight and gender on the IOP should be examined.

In the calibration study, a positive linear relationship between both measurement methods was detected. The TonoPen Avia Vet increasingly underestimated the IOP with increasing pressure. The following correction factors were calculated: For dogs, the IOP measured with the TonoPen Avia Vet multiplied with 1.3 results in the IOP measured with the manometer. For cats and rabbits, the IOP measured with the TonoPen Avia Vet multiplied with 1.5 results in the IOP measured with the manometer.

To determine reference values for the IOP measured with the TonoPen Avia Vet, 94 dogs (188 eyes), 64 cats (128 eyes) and 122 rabbits (244 eyes) were examined. Reference values based on the 2.5- and 97.5-percentiles were for the TonoPen Avia Vet 9-18 mmHg for dogs, 9-20 mmHg for cats and 6-16 mmHg for rabbits. Reference values for the IOP measured with the TonoVet were 7-17 mmHg for rabbits.

Age had a significant influence on the IOP. With increasing age, the IOP decrease.

For gender and body weight no significant influence on the IOP could be detected.

In conclusion, the TonoPen Avia Vet and the TonoVet were useful devices for the measurement of IOP. They were easy to use, well tolerated and provided quick results.

Literatur

- AIHARA, M.;LINDSEY, J. D.;WEINREB, R. N. (2003):
Episcleral venous pressure of mouse eye and effect of body position.
Curr Eye Res. 27 (6), 355-362
- ALARIO, A. F.;PIRIE, C. G. (2013):
Intra and inter-user reliability of central corneal thickness measurements obtained in healthy feline eyes using a portable spectral-domain optical coherence tomography device.
Vet Ophthalmol. 16 (6), 446-450
- ALARIO, A. F.;PIRIE, C. G. (2014):
Central corneal thickness measurements in normal dogs: a comparison between ultrasound pachymetry and optical coherence tomography.
Vet Ophthalmol. 17 (3), 207-211
- ALM, A.;NILSSON, S. F. (2009):
Uveoscleral outflow--a review.
Exp Eye Res. 88 (4), 760-768
- ANDRADE, S. F.;CREMONEZI, T.;ZACHI, C. A.;LONCHIATI, C. F.;AMATUZZI, J. D.;SAKAMOTO, K. P.;MELLO, P. A. (2009):
Evaluation of the Perkins handheld applanation tonometer in the measurement of intraocular pressure in dogs and cats.
Vet Ophthalmol. 12 (5), 277-284
- ANDRADE, S. F.;KUPPER, D. S.;PINHO, L. F.;FRANCO, E. C.;PRATAVIERA, M. V.;DUARTE, R. R.;JUNQUEIRA, J. R. (2011):
Evaluation of the Perkins handheld applanation tonometer in horses and cattle.
J Vet Sci. 12 (2), 171-176
- ANDRADE, S. F.;PALOZZI, R. J.;GIUFFRIDA, R.;DE CAMPOS, R. J.;SANTOS GDE, C.;FUKUI, R. M. (2012):
Comparison of intraocular pressure measurements between the Tono-Pen XL(R) and Perkins(R) applanation tonometers in dogs and cats.
Vet Ophthalmol. 15 Suppl 1 14-20
- ATKINSON, P. L.;WISHART, P. K.;JAMES, J. N.;VERNON, S. A.;REID, F. (1992):
Deterioration in the accuracy of the pulsair non-contact tonometer with use: need for regular calibration.
Eye (Lond). 6 (Pt 5) 530-534
- BARRIE, K. P.;GUM, G. G.;SAMUELSON, D. A.;GELATT, K. N. (1985):
Quantitation of uveoscleral outflow in normotensive and glaucomatous Beagles by 3H-labeled dextran.
Am J Vet Res. 46 (1), 84-88

BASKARAN, M.;RAMAN, K.;RAMANI, K. K.;ROY, J.;VIJAYA, L.;BADRINATH, S. S. (2006):
Intraocular pressure changes and ocular biometry during Sirsasana (headstand posture) in
yoga practitioners.
Ophthalmology. 113 (8), 1327-1332

BERTOLUCCI, C.;GIUDICE, E.;FAZIO, F.;PICCIONE, G. (2009):
Circadian intraocular pressure rhythms in athletic horses under different lighting regime.
Chronobiol Int. 26 (2), 348-358

BILL, A. (1966a):
Formation and Drainage of Aqueous Humor in Cats.
Exp Eye Res. 5 (3), 185-190

BILL, A. (1966b):
The routes for bulk drainage of aqueous humour in rabbits with and without cyclodialysis.
Doc Ophthalmol. 20 157-169

BLOCKER, T.;VAN DER WOERDT, A. (2001):
The feline glaucomas: 82 cases (1995-1999).
Vet Ophthalmol. 4 (2), 81-85

BOWMAN, W. (1862):
On Glaucomatous Affections, and their Treatment by Iridectomy.
BMJ. 2 (93), 377-382

BRAUNGER, B. M.;FUCHSHOFER, R.;TAMM, E. R. (2015):
The aqueous humor outflow pathways in glaucoma: A unifying concept of disease
mechanisms and causative treatment.
Eur J Pharm Biopharm. 95 (Pt B), 173-181

BROADWATER, J. J.;SCHORLING, J. J.;HERRING, I. P.;PICKETT, J. P. (2007):
Ophthalmic examination findings in adult pygmy goats (*Capra hircus*).
Vet Ophthalmol. 10 (5), 269-273

BRODY, S.;ERB, C.;VEIT, R.;RAU, H. (1999):
Intraocular pressure changes: the influence of psychological stress and the Valsalva
maneuver.
Biol Psychol. 51 (1), 43-57

CANNIZZO, S. A.;LEWBART, G. A.;WESTERMEYER, H. D. (2017):
Intraocular pressure in American Bullfrogs (*Rana catesbeiana*) measured with rebound and
applanation tonometry.
Vet Ophthalmol. 20 (6), 526-532

CASSON, R. J.;CHIDLOW, G.;WOOD, J. P.;CROWSTON, J. G.;GOLDBERG, I. (2012):
Definition of glaucoma: clinical and experimental concepts.
Clin Experiment Ophthalmol. 40 (4), 341-349

CHERECHEANU, A. P.; IANCU, R.; DASCALU, A. M.; SERBAN, D.; PIRVULESCU, R. (2015):
ASSESSMENT OF CLINICAL AND IMAGISTIC STRUCTURAL PROGRESSION IN
GLAUCOMA.

Rom J Ophthalmol. 59 (3), 129-132

COHAN, B. E.; BOHR, D. F. (2001a):
Goldmann applanation tonometry in the conscious rat.
Invest Ophthalmol Vis Sci. 42 (2), 340-342

COHAN, B. E.; BOHR, D. F. (2001b):
Measurement of intraocular pressure in awake mice.
Invest Ophthalmol Vis Sci. 42 (11), 2560-2562

COSTA, D.; LEIVA, M.; MOLL, X.; AGUILAR, A.; PENA, T.; ANDALUZ, A. (2015):
Alfaxalone versus propofol in dogs: a randomised trial to assess effects on peri-induction tear
production, intraocular pressure and globe position.
Vet Rec. 176 (3), 73

DEL SOLE, M. J.; SANDE, P. H.; BERNADES, J. M.; ABA, M. A.; ROSENSTEIN, R. E. (2007):
Circadian rhythm of intraocular pressure in cats.
Vet Ophthalmol. 10 (3), 155-161

DO, C. W.; TO, C. H. (2000):
Chloride secretion by bovine ciliary epithelium: a model of aqueous humor formation.
Invest Ophthalmol Vis Sci. 41 (7), 1853-1860

ERB, C.; BRODY, S.; RAU, H. (1998):
[Effect of mental and physical stress on intraocular pressure--a pilot study].
Klin Monbl Augenheilkd. 212 (5), 270-274

FAN, N.; WANG, P.; TANG, L.; LIU, X. (2015):
Ocular Blood Flow and Normal Tension Glaucoma.
Biomed Res Int. 2015 308505

FEATHERSTONE, H. J.; HEINRICH, C. L. (2013):
Ophthalmic Examination and Diagnostics: Part 1 The Eye Examination and Diagnostic.
In: K. N. GELATT, B. C. GILGER and T. J. KERN (Hrsg.): Veterinary Ophthalmology: Two
Volume Set.
Iowa: Wiley, 533-613

FERREIRA, T. H.; BROSNAN, R. J.; SHILO-BENJAMINI, Y.; MOORE, S.
B.; HOLLINGSWORTH, S. R. (2013):
Effects of ketamine, propofol, or thiopental administration on intraocular pressure and
qualities of induction of and recovery from anesthesia in horses.
Am J Vet Res. 74 (8), 1070-1077

FOSTER, P. J.;BUHRMANN, R.;QUIGLEY, H. A.;JOHNSON, G. J. (2002):
The definition and classification of glaucoma in prevalence surveys.
Br J Ophthalmol. 86 (2), 238-242

FRIEDENWALD, J. S. (1950):
Some problems in the diagnosis and treatment of glaucoma.
Am J Ophthalmol. 33 (10), 1523-1538

GANDHI, P. D.;GURSES-OZDEN, R.;LIEBMANN, J. M.;RITCH, R. (2001):
Attempted eyelid closure affects intraocular pressure measurement.
Am J Ophthalmol. 131 (4), 417-420

GELATT, K. N.;MACKAY, E. O. (1998):
Distribution of intraocular pressure in dogs.
Vet Ophthalmol. 1 (2-3), 109-114

GELATT, K. N.;MACKAY, E. O. (2004):
Secondary glaucomas in the dog in North America.
Vet Ophthalmol. 7 (4), 245-259

GHAFFARI, M. S.;SABZEVARI, A.;VAHEDI, H.;GOLEZARDY, H. (2012):
Determination of reference values for intraocular pressure and Schirmer tear test in clinically
normal ostriches (*Struthio camelus*).
J Zoo Wildl Med. 43 (2), 229-232

GIANNETTO, C.;PICCIONE, G.;GIUDICE, E. (2009):
Daytime profile of the intraocular pressure and tear production in normal dog.
Vet Ophthalmol. 12 (5), 302-305

GILGER, B. C.;STOPPINI, R. (2010):
Equine Ocular Eye Examination: Routine and Advanced Diagnostic Techniques.
In: B. C. GILGER (Hrsg.): Equine Ophthalmology.
Maryland Heights: Saunders Elsevier.

GÖRIG, C.;COENEN, R. T.;STADES, F. C.;DJAJADININGRAT-LAANEN, S. C.;BOEVE, M.
H. (2006):
Comparison of the use of new handheld tonometers and established applanation tonometers
in dogs.
Am J Vet Res. 67 (1), 134-144

GRIERSON, I.;LEE, W. R. (1973):
Erythrocyte phagocytosis in the human trabecular meshwork.
Br J Ophthalmol. 57 (6), 400-415

GROLMAN, B. (1972):
A new tonometer system.
Am J Optom Arch Am Acad Optom. 49 (8), 646-660

GRÜB, M.;MIELKE, J. (2004):

Aqueous humor dynamics.

Der Ophthalmologe. 101 (4), 357-365

GUM, G. G.;MACKAY, E. O. (2013):

Physiology of the Eye.

In: K. N. GELATT, B. C. GILGER and T. J. KERN (Hrsg.): Veterinary Ophthalmology: Two Volume Set.

Iowa: Wiley- Blackwell.

GÜSE, J. (2008):

Intraokulare Druckmessung am Pferdeauge mittels Tonovet versus in-vitro Manometrie.

Hannover, Tierärztliche Hochschule Hannover, Diss.

<https://d-nb.info/989598535/34>

HASIUK, M. M.;FORDE, N.;COOKE, A.;RAMEY, K.;PANG, D. S. (2014):

A comparison of alfaxalone and propofol on intraocular pressure in healthy dogs.

Vet Ophthalmol. 17 (6), 411-416

HASSEL, B.;SAMUELSON, D. A.;LEWIS, P. A.;GELATT, K. N. (2007):

Immunocytochemical localization of smooth muscle actin-containing cells in the trabecular meshwork of glaucomatous and nonglaucomatous dogs.

Vet Ophthalmol. 10 Suppl 1 38-45

HESSEMER, V.;ROSSLER, R.;JACOB, I. K. W. (1989):

Tono-Pen: a new tonometer.

Int Ophthalmol Clin. 13 51-56

HOFMEISTER, E. H.;MOSUNIC, C. B.;TORRES, B. T.;RALPH, A. G.;MOORE, P. A.;READ, M. R. (2006):

Effects of ketamine, diazepam, and their combination on intraocular pressures in clinically normal dogs.

Am J Vet Res. 67 (7), 1136-1139

ICARE, O. F. (2016):

Icare Tonovet user's and maintenance manual

<https://tonovet.com/wp-content/uploads/2015/12/TONOVET-Manual-2.1-English.pdf>

Aufgerufen am: 11.08.2018 um 16:40 Uhr, von [https://tonovet.com/wp-](https://tonovet.com/wp-content/uploads/2015/12/TONOVET-Manual-2.1-English.pdf)

[content/uploads/2015/12/TONOVET-Manual-2.1-English.pdf](https://tonovet.com/wp-content/uploads/2015/12/TONOVET-Manual-2.1-English.pdf)

ICARE, O. F. (2019):

Icare Tonolab user's and maintenance manual

<https://tonovet.com/wp-content/uploads/2015/12/TONOLAB manual 2.2 EN.pdf>

Aufgerufen am: 13.03.2019 um 11:25 Uhr, von [https://tonovet.com/wp-](https://tonovet.com/wp-content/uploads/2015/12/TONOLAB manual 2.2 EN.pdf)

[content/uploads/2015/12/TONOLAB manual 2.2 EN.pdf](https://tonovet.com/wp-content/uploads/2015/12/TONOLAB manual 2.2 EN.pdf)

- JEONG, M. B.;KIM, Y. J.;YI, N. Y.;PARK, S. A.;KIM, W. T.;KIM, S. E.;CHAE, J. M.;KIM, J. T.;LEE, H.;SEO, K. M. (2007):
Comparison of the rebound tonometer (TonoVet) with the applanation tonometer (TonoPen XL) in normal Eurasian Eagle owls (*Bubo bubo*).
Vet Ophthalmol. 10 (6), 376-379
- JINKS, M. R.;ENGLISH, R. V.;GILGER, B. C. (2016):
Causes of endogenous uveitis in cats presented to referral clinics in North Carolina.
Vet Ophthalmol. 19 Suppl 1 30-37
- JOHNSEN, D. A.;MAGGS, D. J.;KASS, P. H. (2006):
Evaluation of risk factors for development of secondary glaucoma in dogs: 156 cases (1999-2004).
J Am Vet Med Assoc. 229 (8), 1270-1274
- JOHNSON, M.;MCLAREN, J. W.;OVERBY, D. R. (2017):
Unconventional aqueous humor outflow: A review.
Exp Eye Res. 158 94-111
- KANDA, T.;IGUCHI, A.;YOSHIOKA, C.;NOMURA, H.;HIGASHI, K.;KAYA, M.;YAMAMOTO, R.;KURAMOTO, T.;FURUKAWA, T. (2015):
Effects of medetomidine and xylazine on intraocular pressure and pupil size in healthy Beagle dogs.
Vet Anaesth Analg. 42 (6), 623-628
- KATO, K. (2014):
Comparison of two handheld applanation tonometers and the association of central corneal thickness, age, and intraocular pressure in normal and diseased canine eyes.
Vet Ophthalmol. 17 (6), 417-425
- KIM, C. Y.;KUEHN, M. H.;ANDERSON, M. G.;KWON, Y. H. (2007):
Intraocular pressure measurement in mice: a comparison between Goldmann and rebound tonometry.
Eye (Lond). 21 (9), 1202-1209
- KLEIN, B. E.;KLEIN, R.;LINTON, K. L. (1992):
Intraocular pressure in an American community. The Beaver Dam Eye Study.
Invest Ophthalmol Vis Sci. 33 (7), 2224-2228
- KLEIN, H. E.;KROHNE, S. G.;MOORE, G. E.;MOHAMED, A. S.;STILES, J. (2011):
Effect of eyelid manipulation and manual jugular compression on intraocular pressure measurement in dogs.
J Am Vet Med Assoc. 238 (10), 1292-1295
- KNEPPER, P. A.;COLLINS, J. A.;FREDERICK, R. (1985):
Effects of dexamethasone, progesterone, and testosterone on IOP and GAGs in the rabbit eye.
Invest Ophthalmol Vis Sci. 26 (8), 1093-1100

KNIESTEDT, C.;PUNJABI, O.;LIN, S.;STAMPER, R. L. (2008):
Tonometry through the ages.
Surv Ophthalmol. 53 (6), 568-591

KOHLHAAS, M.;BOEHM, A. G.;SPOERL, E.;PURSTEN, A.;GREIN, H. J.;PILLUNAT, L. E. (2006):
Effect of central corneal thickness, corneal curvature, and axial length on applanation tonometry.
Arch Ophthalmol. 124 (4), 471-476

KOMAROMY, A. M.;GARG, C. D.;YING, G. S.;LIU, C. (2006):
Effect of head position on intraocular pressure in horses.
Am J Vet Res. 67 (7), 1232-1235

KONTIOLA, A. I. (2000):
A new induction-based impact method for measuring intraocular pressure.
Acta Ophthalmol Scand. 78 (2), 142-145

KOVALCUKA, L.;BIRGELE, E.;BANDERE, D.;WILLIAMS, D. L. (2013):
The effects of ketamine hydrochloride and diazepam on the intraocular pressure and pupil diameter of the dog's eye.
Vet Ophthalmol. 16 (1), 29-34

KOVALCUKA, L.;BIRGELE, E.;BANDERE, D.;WILLIAMS, D. L. (2015):
Comparison of the effects of topical and systemic atropine sulfate on intraocular pressure and pupil diameter in the normal canine eye.
Vet Ophthalmol. 18 (1), 43-49

KROLL, M. M.;MILLER, P. E.;RODAN, I. (2001):
Intraocular pressure measurements obtained as part of a comprehensive geriatric health examination from cats seven years of age or older.
J Am Vet Med Assoc. 219 (10), 1406-1410

LAVERY, W. J.;KIEL, J. W. (2013):
Effects of head down tilt on episcleral venous pressure in a rabbit model.
Exp Eye Res. 111 88-94

LEIVA, M.;NARANJO, C.;PENA, M. T. (2006):
Comparison of the rebound tonometer (ICare) to the applanation tonometer (Tonopen XL) in normotensive dogs.
Vet Ophthalmol. 9 (1), 17-21

LESKE, M. C.;CONNELL, A. M.;WU, S. Y.;HYMAN, L.;SCHACHAT, A. P. (1997):
Distribution of intraocular pressure. The Barbados Eye Study.
Arch Ophthalmol. 115 (8), 1051-1057

- LIEBICH, H. G.;KÖNIG, H. E. (2015):
Sehorgan (Organum visus).
In: H. G. LIEBICH and H. E. KÖNIG (Hrsg.): Anatomie der Haussäugetiere.
Stuttgart: Schattauer, 567-588
- LIM, K. S.;WICKREMASINGHE, S. S.;CORDEIRO, M. F.;BUNCE, C.;KHAW, P. T. (2005):
Accuracy of intraocular pressure measurements in new zealand white rabbits.
Invest Ophthalmol Vis Sci. 46 (7), 2419-2423
- LIU, J. H.;BOULIGNY, R. P.;KRIPKE, D. F.;WEINREB, R. N. (2003):
Nocturnal elevation of intraocular pressure is detectable in the sitting position.
Invest Ophthalmol Vis Sci. 44 (10), 4439-4442
- LIU, J. H.;FARID, H. (1998):
Twenty-four-hour change in axial length in the rabbit eye.
Invest Ophthalmol Vis Sci. 39 (13), 2796-2799
- LIU, J. H.;SIT, A. J.;WEINREB, R. N. (2005):
Variation of 24-hour intraocular pressure in healthy individuals: right eye versus left eye.
Ophthalmology. 112 (10), 1670-1675
- LOBLER, M.;REHMER, A.;GUTHOFF, R.;MARTIN, H.;STERNBERG, K.;STACHS, O.
(2011):
Suitability and calibration of a rebound tonometer to measure IOP in rabbit and pig eyes.
Vet Ophthalmol. 14 (1), 66-68
- MA, D.;CHEN, C. B.;LIANG, J.;LU, Z.;CHEN, H.;ZHANG, M. (2016):
Repeatability, reproducibility and agreement of intraocular pressure measurement in rabbits
by the TonoVet and Tono-Pen.
Sci Rep. 6 35187
- MAGGS, D. J. (2008):
Basic Diagnostic Techniques.
In: D. J. MAGGS, P. E. MILLER, R. OFRI and D. H. SLATTER (Hrsg.): Slatter's
Fundamentals of Veterinary Ophthalmology.
Missouri: Saunders Elsevier, 81-106
- MASSA, K. L.;GILGER, B. C.;MILLER, T. L.;DAVIDSON, M. G. (2002):
Causes of uveitis in dogs: 102 cases (1989-2000).
Vet Ophthalmol. 5 (2), 93-98
- MCDONALD, J. E.;KNOLLINGER, A. M.;DUSTIN DEES, D.;MACLAREN, N. E. (2017):
Comparison of intraocular pressure measurements using rebound (TonoVet((R))) and
applanation (TonoPen-XL((R))) tonometry in clinically normal alpacas (Vicugna pacos).
Vet Ophthalmol. 20 (2), 155-159

MCKINNON, S. J.;SCHLAMP, C. L.;NICKELLS, R. W. (2009):
Mouse models of retinal ganglion cell death and glaucoma.
Exp Eye Res. 88 (4), 816-824

MCLELLAN, G. J.;KEMMERLING, J. P.;KILAND, J. A. (2013):
Validation of the TonoVet(R) rebound tonometer in normal and glaucomatous cats.
Vet Ophthalmol. 16 (2), 111-118

MCLELLAN, G. J.;MILLER, P. E. (2011):
Feline glaucoma--a comprehensive review.
Vet Ophthalmol. 14 Suppl 1 15-29

MCLELLAN, G. J.;TEIXEIRA, L. B. (2015):
Feline Glaucoma.
Vet Clin North Am Small Anim Pract. 45 (6), 1307-1333

MILLAR, C.;KAUFMAN, P. L. (1995):
Aqueous humor: Secretion and dynamics.
In: W. TASMAN and E. A. JAEGER (Hrsg.): Duane's foundations of clinical ophthalmology.
Philadelphia: Lippincott-Raven.

MILLER, P. E. (2008a):
The Glaucomas.
In: D. J. MAGGS, P. E. MILLER, R. OFRI and D. H. SLATTER (Hrsg.): Slatter's
Fundamentals of Veterinary Ophthalmology.
Missouri: Saunders Elsevier, 230-257

MILLER, P. E. (2008b):
Structure and Function of the Eye.
In: D. J. MAGGS, P. E. MILLER, R. OFRI and D. H. SLATTER (Hrsg.): Slatter's
Fundamentals of Veterinary Ophthalmology.
Missouri: Saunders Elsevier, 1-19

MILLER, P. E. (2008c):
Uvea.
In: D. J. MAGGS, P. E. MILLER, R. OFRI and D. H. SLATTER (Hrsg.): Slatter's
Fundamentals of Veterinary Ophthalmology.
Missouri: Saunders Elsevier, 203-229

MILLER, P. E.;PICKETT, J. P. (1992a):
Comparison of the human and canine Schiotz tonometry conversion tables in clinically
normal cats.
J Am Vet Med Assoc. 201 (7), 1017-1020

MILLER, P. E.;PICKETT, J. P. (1992b):
Comparison of the human and canine Schiotz tonometry conversion tables in clinically
normal dogs.
J Am Vet Med Assoc. 201 (7), 1021-1025

- MILLER, P. E.;PICKETT, J. P.;MAJORS, L. J. (1990):
Evaluation of two applanation tonometers in horses.
Am J Vet Res. 51 (6), 935-937
- MILLER, P. E.;PICKETT, J. P.;MAJORS, L. J.;KURZMAN, I. D. (1991):
Evaluation of two applanation tonometers in cats.
Am J Vet Res. 52 (11), 1917-1921
- MIYAZAKI, Y.;MATSUO, T.;KURABAYASHI, Y. (2000):
Immobilization stress induces elevation of intraocular pressure in rabbits.
Ophthalmic Res. 32 (6), 270-277
- MOLTER, C. M.;HOLLINGSWORTH, S. R.;KASS, P. H.;CHINNADURAI, S. K.;WACK, R. F. (2014):
Intraocular pressure in captive American flamingos (*Phoenicopterus ruber*) as measured by rebound tonometry.
J Zoo Wildl Med. 45 (3), 664-667
- MOSES, R. A.;MARG, E.;OECHSLI, R. (1962):
Evaluation of the basic validity and clinical usefulness of the Mackay-Marg tonometer.
Invest Ophthalmol. 1 78-85
- MUGHANNAM, A. J.;COOK, C. S.;FRITZ, C. L. (2004):
Change in intraocular pressure during maturation in Labrador Retriever dogs.
Vet Ophthalmol. 7 (2), 87-89
- NAGATA, N.;YUKI, M.;HASEGAWA, T. (2011):
In vitro and in vivo comparison of applanation tonometry and rebound tonometry in dogs.
J Vet Med Sci. 73 (12), 1585-1589
- NEJABAT, M.;HEIDARY, F.;TALEBNEJAD, M. R.;SALOUTI, R.;NOWROOZZADEH, M. H.;MASOUMPOUR, M.;MAHDAVIAZAD, H.;TAJBAKHS, Z.;KESHTKAR, M.;JAMALI, H.;KHALILI, M. R.;MOVAHEDAN, H.;ROUSTAEI, N.;GHAREBAGHI, R. (2016):
Correlation Between Intraocular Pressure and Central Corneal Thickness in Persian Children.
Ophthalmol Ther. 5 (2), 235-243
- NICKEL, R.;SCHUMMER, A.;SEIFERLE, E. (2004):
Sehorgan, Organum visus
In: R. NICKEL, A. SCHUMMER, E. SEIFERLE (Hrsg.): Lehrbuch der Anatomie der Haustiere, Band 4: Nervensystem, Sinnesorgane, Endokrine Drüsen.
Stuttgart: Parey, 405-440
- OFRI, R.;HOROWITZ, I.;JACOBSON, S.;KASS, P. H. (1998a):
The effects of anesthesia and gender on intraocular pressure in lions (*Panthera leo*).
J Zoo Wildl Med. 29 (3), 307-310

OFRI, R.;HOROWITZ, I. H.;KASS, P. H. (1998b):
Tonometry in three herbivorous wildlife species.
Vet Ophthalmol. 1 (1), 21-24

OFRI, R.;HOROWITZ, I. H.;KASS, P. H. (2000):
How low can we get? Tonometry in the Thomson gazelle (*Gazella thomsoni*).
J Glaucoma. 9 (2), 187-189

OFRI, R.;SHORE, L. S.;KASS, P. H.;HOROWITZ, I. H. (1999):
The effect of elevated progesterone levels on intraocular pressure in lions (*Panthera leo*).
Res Vet Sci. 67 (2), 121-123

OFRI, R.;SHUB, N.;GALIN, Z.;SHEMESH, M.;SHORE, L. S. (2002):
Effect of reproductive status on intraocular pressure in cats.
Am J Vet Res. 63 (2), 159-162

OHASHI, M.;AIHARA, M.;SAEKI, T.;ARAIE, M. (2008):
Efficacy of TonoLab in detecting physiological and pharmacological changes in rat
intraocular pressure: comparison of TonoPen and microneedle manometry.
Jpn J Ophthalmol. 52 (5), 399-403

OKAFOR, K. C.;BRANDT, J. D. (2015):
Measuring intraocular pressure.
Curr Opin Ophthalmol. 26 (2), 103-109

PASSAGLIA, C. L.;GUO, X.;CHEN, J.;TROY, J. B. (2004):
Tono-Pen XL calibration curves for cats, cows and sheep.
Vet Ophthalmol. 7 (4), 261-264

PAULI, A. M.;BENTLEY, E.;DIEHL, K. A.;MILLER, P. E. (2006):
Effects of the application of neck pressure by a collar or harness on intraocular pressure in
dogs.
J Am Anim Hosp Assoc. 42 (3), 207-211

PECHE, N.;EULE, J. C. (2018):
Intraocular pressure measurements in cattle, sheep, and goats with 2 different types of
tonometers.
Can J Vet Res. 82 (3), 208-215

PEIFFER, R. L., JR.;GELATT, K. N.;JESSEN, C. R.;GUM, G. G.;GWIN, R. M.;DAVIS, J.
(1977):
Calibration of the Schiøtz tonometer for the normal canine eye.
Am J Vet Res. 38 (11), 1881-1889

PEREIRA, F. Q.;BERCHT, B. S.;SOARES, M. G.;DA MOTA, M. G.;PIGATTO, J. A. (2011):
Comparison of a rebound and an applanation tonometer for measuring intraocular pressure
in normal rabbits.
Vet Ophthalmol. 14 (5), 321-326

- PIZZIRANI, S. (2015):
Definition, Classification, and Pathophysiology of Canine Glaucoma.
Vet Clin North Am Small Anim Pract. 45 (6), 1127-1157
- PIZZIRANI, S.;GONG, H. (2015):
Functional Anatomy of the Outflow Facilities.
Vet Clin North Am Small Anim Pract. 45 (6), 1101-1126
- POINTER, J. S. (2000):
Evidence that a gender difference in intraocular pressure is present from childhood.
Ophthalmic Physiol Opt. 20 (2), 131-136
- PUMPHREY, S. (2015):
Canine Secondary Glaucomas.
Vet Clin North Am Small Anim Pract. 45 (6), 1335-1364
- QURESHI, I. A. (1995):
Age and intraocular pressure: how are they correlated?
J Pak Med Assoc. 45 (6), 150-152
- RAJAEI, S. M.;ASADI, F.;RAJABIAN, M. R.;OSTADHASSAN, H.;CRASTA, M. (2017):
Effect of body position, eyelid manipulation, and manual jugular compression on intraocular pressure in clinically normal cats.
Vet Ophthalmol
- REICHERT (2018):
Tono-Pen AVIA Vet Veterinary Tonometer® User`s Guide
<http://doclibrary.com/MSC167/PRM/230750-101-Rev-G-UG3921.pdf>
Aufgerufen am: 28.07.2018 um 10:45 Uhr, von <http://doclibrary.com/MSC167/PRM/230750-101-Rev-G-UG3921.pdf>
- REUTER, A.;MÜLLER, K.;ARNDT, G.;EULE, J. C. (2010):
Accuracy and reproducibility of the TonoVet rebound tonometer in birds of prey.
Vet Ophthalmol. 13 Suppl 80-85
- REUTER, A.;MÜLLER, K.;ARNDT, G.;EULE, J. C. (2011):
Reference intervals for intraocular pressure measured by rebound tonometry in ten raptor species and factors affecting the intraocular pressure.
J Avian Med Surg. 25 (3), 165-172
- ROBERT, Y. (2015):
Die Messung des Augeninnendrucks
In: Y. ROBERT (Hrsg.): Klinik des Augeninnendrucks.
Berlin: De Gruyter, 73-135

RUIZ, T.;CAMPOS, W. N.;PERES, T. P.;GONCALVES, G. F.;FERRAZ, R. H.;NESPOLI, P. E.;SOUSA, V. R.;RIBEIRO, A. P. (2015):

Intraocular pressure, ultrasonographic and echobiometric findings of juvenile Yacare caiman (Caiman yacare) eye.

Vet Ophthalmol. 18 Suppl 1 40-45

SACCA, S. C.;GANDOLFI, S.;BAGNIS, A.;MANNI, G.;DAMONTE, G.;TRAVERSO, C. E.;IZZOTTI, A. (2016):

The Outflow Pathway: A Tissue With Morphological and Functional Unity.

J Cell Physiol. 231 (9), 1876-1893

SAMUELSON, D. A. (2013):

Ophthalmic Anatomy.

In: K. N. GELATT, B. C. GILGER and T. J. KERN (Hrsg.): Veterinary Ophthalmology: Two Volume Set.

Iowa: Wiley-Blackwell.

SANDHAS, E.;MERLE, R.;EULE, J. C. (2018):

Consider the eye in preventive healthcare - ocular findings, intraocular pressure and Schirmer tear test in ageing cats.

J Feline Med Surg. 20 (12), 1063-1071

SEDAGHAT, M. R.;ASKARIZADEH, F.;NEMATY, M.;NAROOIE-NOORI, F.;HERAVIAN, J.;RAKSHANDADI, T.;RAJABI, S. (2017):

The Relationship of Body Mass Index and Blood Pressure with Corneal Biomechanical Parameters in Healthy Subjects.

Med Hypothesis Discov Innov Ophthalmol. 6 (3), 89-97

SEIBT, W. (2003):

Physik für Mediziner.

Stuttgart: Georg Thieme.

SEVERIN, G. A. (1976):

Veterinary Ophthalmology Notes.

Fort Collins, CO: Colorado State University:

SHERWOOD, M. E.;RICHARDSON, T. M. (1988):

Phagocytosis by trabecular meshwork cells: sequence of events in cats and monkeys.

Exp Eye Res. 46 (6), 881-895

SHIELDS, M. B.;KRIEGLSTEIN, G. K. (1993):

Kammerwasserdynamik I: Anatomie und Physiologie.

In: M. B. SHIELDS and G. K. KRIEGLSTEIN (Hrsg.): Glaukom: Grundlagen, Differentialdiagnose, Therapie.

Berlin [u.a.]: Springer, 5-33

- SHIELDS, M. B.;KRIEGLSTEIN, G. K. (2013):
Augeninnendruck und Tonometrie
In: M. B. SHIELDS and G. K. KRIEGLSTEIN (Hrsg.): Glaukom: Grundlagen,
Differentialdiagnose, Therapie
Berlin Springer, 50-73
- SIMOENS, P. (2015):
Sinnesorgane, Organa sensuum.
In: F. V. SALOMON, H. GEYER and U. GILLE (Hrsg.): Anatomie für die Tiermedizin.
Stuttgart: Enke
- SIMONES, P.;DE GEEST, J. P.;LAUWERS, H. (1996):
Comparative morphology of the pectinate ligaments of domestic mammals, as observed
under the dissecting microscope and the scanning electron microscope.
J Vet Med Sci. 58 (10), 977-982
- SLATTER, D. H.;DIETRICH, U. (2003):
Cornea and Sclera.
In: D. H. SLATTER (Hrsg.): Textbook of small animal surgery.
Philadelphia: Saunders Elsevier, 1368-1396
- SNYDER, K. C.;LEWIN, A. C.;MANS, C.;MCLELLAN, G. J. (2018):
Tonometer validation and intraocular pressure reference values in the normal chinchilla
(Chinchilla lanigera).
Vet Ophthalmol. 21 (1), 4-9
- STADTBAUMER, K.;FROMMLET, F.;NELL, B. (2006):
Effects of mydriatics on intraocular pressure and pupil size in the normal feline eye.
Vet Ophthalmol. 9 (4), 233-237
- STROM, A. R.;HASSIG, M.;IBURG, T. M.;SPIESS, B. M. (2011):
Epidemiology of canine glaucoma presented to University of Zurich from 1995 to 2009. Part
2: secondary glaucoma (217 cases).
Vet Ophthalmol. 14 (2), 127-132
- STRUBBE, T. D.;GELATT, K. N. (1999):
Ophthalmic examination and diagnostic procedures.
In: K. N. GELATT (Hrsg.): Veterinary Ophthalmology
Philadelphia: Lippincott, Williams and Wilkins, 533-613
- SWINGER, R. L.;LANGAN, J. N.;HAMOR, R. (2009):
Ocular bacterial flora, tear production, and intraocular pressure in a captive flock of Humboldt
penguins (*Spheniscus humboldti*).
J Zoo Wildl Med. 40 (3), 430-436
- TENG, C.;GURSES-OZDEN, R.;LIEBMANN, J. M.;TELLO, C.;RITCH, R. (2003):
Effect of a tight necktie on intraocular pressure.
Br J Ophthalmol. 87 (8), 946-948

THEELEN, T.;MEULENDIJKS, C. F.;GEURTS, D. E.;VAN LEEUWEN, A.;VOET, N. B.;DEUTMAN, A. F. (2004):

Impact factors on intraocular pressure measurements in healthy subjects.

Br J Ophthalmol. 88 (12), 1510-1511

TORRES, M. D.;ANDALUZ, A.;GARCIA, F.;FRESNO, L.;MOLL, X. (2012):

Effects of an intravenous bolus of alfaxalone versus propofol on intraocular pressure in sheep.

Vet Rec. 170 (9), 226

TSUKAHARA, S.;SASAKI, T. (1984):

Postural change of IOP in normal persons and in patients with primary wide open-angle glaucoma and low-tension glaucoma.

Br J Ophthalmol. 68 (6), 389-392

TURNER, D.;GIRKIN, C. A.;DOWNS, C. (2015):

Intraocular pressure (IOP) response to acute stress in non-human primates (NHPs).

Invest Ophthalmol Vis Sci. 56 118

VAN BUSKIRK, E. M.;BRETT, J. (1978):

The canine eye: in vitro studies of the intraocular pressure and facility of aqueous outflow.

Invest Ophthalmol Vis Sci. 17 (4), 373-377

VERBOVEN, C. A.;DJAJADININGRAT-LAANEN, S. C.;TESKE, E.;BOEVE, M. H. (2014):

Development of tear production and intraocular pressure in healthy canine neonates.

Vet Ophthalmol. 17 (6), 426-431

WANG, N. L.;HAO, J.;ZHEN, Y.;LIU, J. H.;LI, S. Z.;WANG, H.;CHEN, H.;PENG, X. X.;HAN, W.;FAN, S. J.;WEINREB, R. N. (2016):

A Population-based Investigation of Circadian Rhythm of Intraocular Pressure in Habitual Position Among Healthy Subjects: The Handan Eye Study.

J Glaucoma. 25 (7), 584-589

WANG, W. H.;MILLAR, J. C.;PANG, I. H.;WAX, M. B.;CLARK, A. F. (2005):

Noninvasive measurement of rodent intraocular pressure with a rebound tonometer.

Invest Ophthalmol Vis Sci. 46 (12), 4617-4621

WANG, X.;DONG, J.;WU, Q. (2013):

Twenty-four-hour measurement of IOP in rabbits using rebound tonometer.

Vet Ophthalmol. 16 (6), 423-428

WILCOCK, B. P.;PEIFFER, R. L., JR.;DAVIDSON, M. G. (1990):

The causes of glaucoma in cats.

Vet Pathol. 27 (1), 35-40

WILLIAMS, D. L. (2004):

Lens morphometry determined by B-mode ultrasonography of the normal and cataractous canine lens.

Vet Ophthalmol. 7 (2), 91-95

WONG, T. T.;WONG, T. Y.;FOSTER, P. J.;CROWSTON, J. G.;FONG, C. W.;AUNG, T. (2009):

The relationship of intraocular pressure with age, systolic blood pressure, and central corneal thickness in an asian population.

Invest Ophthalmol Vis Sci. 50 (9), 4097-4102

ZHANG, H.;YANG, D.;ROSS, C. M.;WIGG, J. P.;PANDAV, S.;CROWSTON, J. G. (2014):

Validation of rebound tonometry for intraocular pressure measurement in the rabbit.

Exp Eye Res. 121 86-93

ZHAO, M.;HEJKAL, J. J.;CAMRAS, C. B.;TORIS, C. B. (2010):

Aqueous humor dynamics during the day and night in juvenile and adult rabbits.

Invest Ophthalmol Vis Sci. 51 (6), 3145-3151

Anhang

Datenschlüssel zu den Anhängen 1-3(Hunde)

Datenschlüssel 1. Geschlecht:

- 1 Männlich
- 2 Männlich kastriert
- 3 Weiblich
- 4 Weiblich kastriert

Datenschlüssel 2. Rassen:

- 1 Mischling
- 2 Französische Bulldogge
- 3 Boxer
- 4 Beagle
- 5 Pudel
- 6 Yorkshire Terrier
- 7 Labrador
- 8 Chihuahua
- 9 Andere Rassen

Datenschlüssel zu den Anhängen 4-5 (Katzen)

Datenschlüssel 3. Geschlecht:

- 1 Männlich
- 2 Männlich kastriert
- 3 Weiblich
- 4 Weiblich kastriert

Datenschlüssel 4. Rassen:

- 1 EKH (Europäisch Kurzhaar)
- 2 BKH (Britisch Kurzhaar)
- 3 Perserkatzen
- 4 Maine Coon
- 5 Andere Rassen

Datenschlüssel zu den Anhängen 6-9 (Kaninchen)

Datenschlüssel 5. Geschlecht:

- 1 Männlich
- 2 Männlich kastriert
- 3 Weiblich kastriert
- 4 Weiblich

Datenschlüssel 5. Rassen:

- 1 Löwenkopfkamninchen
- 2 Widderkaninchen
- 3 Zwergkaninchen
- 4 Deutsche Riesen
- 5 Andere Rassen

Anhang 1: Originaldaten der Augeninnendruckmessungen mit dem TonoPen Avia Vet bei Hunden der Tiere 1-40 (OS=linkes Auge, OD=rechtes Auge, IOD=intraokularer Druck, Legende siehe Seite 69)

Tiernr.	Rasse	Geschlecht	Alter (J)	Gewicht (kg)	Vorstellungsgrund / Erkrankung	IOD (OS) (mmHg)	IOD (OD) (mmHg)
1	9	4	1	4,3	gesund	13	13
2	1	2	4	35	gesund	12	11
3	1	3	1	10,8	gesund	12	12
4	1	2	13	4	gesund	14	13
5	1	1	0,58	13	gesund	15	16
6	1	4	3	5,8	gesund	13	15
7	1	4	11	11,5	gesund	12	11
8	1	4	7	10	Impfung	14	14
9	3	1	3	36,8	gesund	13	12
10	1	4	7	10,4	Nachkontrolle: obB	13	12
11	6	4	5	7	Nachkontrolle: obB	13	13
12	9	2	12	16,5	Pfoten scheren	9	9
13	3	2	11	32	Nachkontrolle: obB	15	13
14	1	4	6	7,3	gesund	10	11
15	9	3	5	5,4	Nachkontrolle: obB	11	10
16	9	3	1	4,9	gesund	10	10
17	1	3	11	25	Nachkontrolle: obB	13	14
18	1	4	13	6,2	gesund	13	13
19	1	4	10	22,6	gesund	11	11
20	8	4	7	3,2	gesund	13	13
21	1	4	12	9,8	gut eingestellte NI	9	9
22	1	4	6	4,5	gesund	11	9
23	1	1	0,16	3,2	Erstvorstellung, gesund	11	11
24	8	3	0,33	2,4	lahmt nach dem Spielen	14	14
25	7	4	1	30	gesund	11	12
26	1	1	0,25	3,3	Impfung	11	13
27	4	2	0,92	-	gesund	12	13
28	1	2	10	13	gesund	13	12
29	4	2	-	-	gesund	14	12
30	7	1	0,42	18	gesund	10	11
31	1	1	7	15,5	gesund	9	10
32	4	3	1	-	gesund	15	13
33	4	3	-	-	gesund	15	14
34	7	4	4	27	gesund	12	12
35	4	2	-	-	gesund	12	10
36	1	1	6	8,5	Impfung	11	10
37	1	4	4	11,2	Nachkontrolle: obB	20	18
38	9	4	6	10	gesund	15	16
39	6	4	9	4,6	gesund	11	13
40	5	4	4	2,2	gesund	17	18

Anhang 2: Originaldaten der Augeninnendruckmessungen mit dem TonoPen Avia Vet bei Hunden der Tiere 41-80 (OS=linkes Auge, OD=rechtes Auge, IOD=intraokularer Druck, Legende siehe Seite 69)

Tiernr.	Rasse	Geschlecht	Alter (J)	Gewicht (kg)	Vorstellungsgrund / Erkrankung	IOD (OS) (mmHg)	IOD (OD) (mmHg)
41	1	1	2	7,4	Impfung	12	13
42	1	1	1	6	Nachkontrolle: obB	14	16
43	1	4	14	18,5	Kontrolle T4	13	12
44	2	3	6	11,8	ggr. Lahmheit	16	18
45	1	4	13	9,2	Nachkontrolle: obB	12	13
46	1	4	8	5,7	Impfung	14	12
47	1	2	10	23	Impfung	12	12
48	1	1	8	8,8	Analbeutel entleeren	10	9
49	1	2	1	12,6	Fäden ziehen	12	14
50	5	4	2	24,8	Fäden ziehen	13	11
51	3	4	8	31	Kralle eingerissen	12	11
52	3	1	6	35,3	gesund	11	11
53	1	3	8	31,6	gesund	13	13
54	1	4	11	22	gesund	9	11
55	1	4	5	14	gesund	11	15
56	9	4	8	28	gesund	13	12
57	1	4	10	14,8	gesund	9	10
58	8	4	5	3,1	gesund	13	16
59	9	2	3	41	gesund	10	13
60	1	2	9	13,4	gesund	11	12
61	1	3	12	26	gesund	8	9
62	2	2	7	11,5	Impfung	14	12
63	8	4	5	3,1	gesund	13	14
64	9	4	4	10	gesund	13	14
65	3	1	0,9	27,2	gesund	15	13
66	1	4	8	35	Re-OP TEP	11	12
67	9	1	3	36	TEP links	17	15
68	1	4	4	8	gesund	11	13
69	1	4	4	15	gesund	13	13
70	-	4	4	15	gesund	9	11
71	2	4	-	-	Bandscheibenvorfall	12	11
72	1	4	8	15	Kastration und Tagesprofil	15	18
73	6	4	14	4,4	Bandscheibenvorfall	14	17
74	6	1	4	2,6	UV Anldrüse	15	15
75	1	1	2	6,7	Bissverletzung caudales Abdomen, post OP	17	17
76	9	4	10	3,65	Myelopathie (T3-L3)	14	14
77	1	1	7	9,5	Bandscheibenvorfall	15	14
78	7	2	9	40	Kastration (zuvor Orchitis)	18	17
79	2	2	6	18	Bandscheibenvorfall	16	18
80	1	4	6	25,6	TEP rechts	16	13

Anhang 3: Originaldaten der Augeninnendruckmessungen mit dem TonoPen Avia Vet bei Hunden der Tiere 81-94 (OS=linkes Auge, OD=rechtes Auge, IOD=intraokularer Druck, Legende siehe Seite 69)

Tiernr.	Rasse	Geschlecht	Alter (J)	Gewicht (kg)	Vorstellungsgrund / Erkrankung	IOD (OS) (mmHg)	IOD (OD) (mmHg)
81	9	2	7	24,2	Rutenverletzung	10	10
82	2	4	8	13	Bandscheibenvorfall	14	14
83	2	2	5	14,4	Bandscheibenvorfall	14	18
84	9	4	8	13,2	Myelopathie (T3-L3)	16	13
85	1	3	6	9,4	Ellenbogen-Luxation	15	17
86	2	1	3	14,3	Myelopathie (C6-T2)	17	17
87	1	4	6	25,6	TEP rechts	16	13
88	9	1	4	39,9	TEP (zur OP)	13	13
89	2	1	1	13	Bandscheibenvorfall	15	14
90	9	4	4	27,3	oberfl. Rissverletzung Brustkorb	12	10
91	9	4	8	34,1	Schnittverletzung Pfote	14	13
92	5	1	11	6,6	gesund	12	14
93	5	1	7	10,8	gesund	17	19
94	5	2	9	4,6	gesund	9	10

Anhang 4: Originaldaten der Augeninnendruckmessungen mit dem TonoPen Avia Vet bei Katzen der Tiere 1-40 (OS=linkes Auge, OD=rechtes Auge, IOD=intraokularer Druck, Legende siehe Seite 70)

Tiernr.	Rasse	Geschlecht	Alter (J)	Gewicht (kg)	Vorstellungsgrund / Erkrankung	IOD (OS) (mmHg)	IOD (OD) (mmHg)
1	1	2	11	7,8	gesund	13	14
2	1	2	13	3,7	gesund	12	13
3	1	3	0,17	1	Erstvorstellung	11	10
4	2	4	1	3,3	Nachkontrolle: obB	18	20
5	1	2	6	5,8	Nachkontrolle: obB	11	11
6	1	3	0,33	1,9	Impfung	13	13
7	1	4	-	3,5	gesund	10	10
8	1	4	10	6,4	gesund	18	19
9	3	4	2	4,5	Impfung	13	14
10	4	4	2	3,1	Analbeutel entleeren	11	12
11	3	3	1	2,8	Impfung	14	15
12	1	4	8	4,1	gesund	11	11
13	1	4	6	3,7	gesund	14	12
14	2	2	2	4,6	gesund	15	16
15	1	2	4	4,9	gesund	13	13
16	1	4	-	4,3	Wunde an der Unterlippe	16	14
17	4	2	6	7,6	Nachkontrolle: obB	14	17
18	3	2	8	4,4	Knoten ausscheren	16	18
19	1	2	4	3,7	gesund	16	16
20	1	2	-	3,9	gesund	11	14
21	1	3	-	4,5	gesund	19	20
22	1	4	10	3,9	Impfung	13	12
23	1	2	14	5,4	Impfung	15	14
24	3	1	0,67	4,2	Kastration	15	15
25	1	4	12	4,7	Zahnstein	11	12
26	1	4	8	3,8	gesund	10	11
27	1	4	8	4,4	gesund	12	12
28	1	4	5	3,2	gesund	12	13
29	3	2	14	4,6	gesund	11	12
30	1	2	15	4	gesund	11	9
31	3	2	2	3,2	gesund	17	16
32	1	4	2	3,2	Kastration	13	14
33	1	1	4	-	V.a. Rauchgasvergiftung	15	16
34	1	1	0,42	-	V.a. Rauchgasvergiftung	14	12
35	3	2	2	4,2	Steifer Gang	12	11
36	1	2	10	7,1	Fraktur Metatarsalia	13	13
37	3	2	-	4,9	Bissverletzung am Hinterteil	10	13
38	1	4	0,67	3	offene Kastrationswunde	13	14
39	5	3	4	5,49	Blutspender	12	13
40	1	2	0,58	4,2	Kastration	14	14

Anhang 5: Originaldaten der Augeninnendruckmessungen mit dem TonoPen Avia Vet bei Katzen der Tiere 41-64 (OS=linkes Auge, OD=rechtes Auge, IOD=intraokularer Druck, Legende siehe Seite 70)

Tiernr.	Rasse	Geschlecht	Alter (J)	Gewicht (kg)	Vorstellungsgrund / Erkrankung	IOD (OS) (mmHg)	IOD (OD) (mmHg)
41	1	2	0,58	4,3	Kastration	17	14
42	1	3	5	2,6	Rissverletzung am Bauch	12	12
43	1	2	4	2,9	Erbrechen/Durchfall (hier: obB)	9	11
44	1	4	12	4,3	Abszess (ventraler Hals/Kinn)	10	10
45	2	2	-	5,5	Zahnstein, FORL	12	14
46	1	3	15	5,87	Bissverletzung Abdomen u. HGM	12	10
47	1	1	-	3	gesund	12	12
48	1	4	17	3,5	Nachkontrolle: obB	9	10
49	1	2	3	5,7	Impfung	11	10
50	1	2	4	4,2	Impfung	14	15
51	4	2	5	4,9	Scheren	10	10
52	2	1	0,83	4,7	zur Kastration	16	18
53	1	4	2	4,2	Impfung	19	20
54	1	4	8	5,1	gesund	11	11
55	1	4	8	5,8	gesund	12	14
56	4	2	4	6,6	Knoten ausscheren	14	15
57	1	2	11	3,6	gesund	12	11
58	1	3	0,33	2,1	gesund	14	15
59	1	2	5	6,5	gesund	11	13
60	2	2	-	5,1	gesund	14	14
61	1	2	16	3,9	Krallen schneiden	13	11
62	1	2	6	5,4	Zahnstein	16	17
63	1	4	11	3,6	Impfung	12	11
64	1	4	2	4,7	Impfung	16	15

Anhang 6: Originaldaten der Augeninnendruckmessungen mit dem TonoPen Avia Vet und dem TonoVet bei Kaninchen der Tiere 1-35 (OS=linkes Auge, OD=rechtes Auge, IOD=intraokularer Druck, Legende siehe Seite 70)

Tiernr.	Rasse	Geschlecht	Alter (J)	Gewicht (kg)	TonoVet		TonoPen Avia	
					OS	OD	OS	OD
1	1	2	-	1,63	17	15	11	13
2	1	2	9	1,58	8	10	8	9
3	3	4	7	1,25	9	9	13	10
4	2	2	4	2,51	11	10	11	11
5	1	4	9	1,6	14	-	13	-
6	2	2	4	1,72	10	9	14	16
7	3	2	6	1,67	11	-	11	-
8	2	2	2	2,5	14	14	11	13
9	5	2	10	1,3	13	14	13	12
10	1	3	10	2	9	12	12	10
11	3	3	0,25	0,5	13	14	11	12
12	3	4	1	1,3	11	11	13	13
13	2	2	1	1,7	11	9	13	10
14	3	4	7	1,3	13	13	11	11
15	2	2	9	2	13	14	15	11
16	2	2	2	2,5	13	15	11	13
17	2	4	5	2,1	13	9	8	7
18	3	1	7	1	8	7	6	5
19	3	1	7	2,2	17	17	11	11
20	3	3	5	2,8	-	15	-	11
21	2	2	8	1,7	13	13	9	10
22	1	3	3	1,8	9	13	10	15
23	2	4	4	2,1	16	17	13	16
24	2	3	5	3,3	10	9	10	8
25	1	2	5,5	1,1	9	9	9	8
26	1	1	6	1,7	8	7	9	6
27	3	3	9,5	1,3	10	12	11	12
28	1	2	4,5	1,9	12	13	13	12
29	3	2	7	2,4	7	6	6	6
30	2	2	7	-	10	12	10	11
31	3	4	6	1,7	14	17	9	10
32	1	2	5	1,6	10	10	11	9
33	3	2	5	1,7	11	12	7	8
34	2	4	6	2,3	9	9	9	12
35	2	4	12	1,7	9	8	7	8

Anhang 7: Originaldaten der Augeninnendruckmessungen mit dem TonoPen Avia Vet und dem TonoVet bei Kaninchen der Tiere 36-70 (OS=linkes Auge, OD=rechtes Auge, IOD=intraokularer Druck, Legende siehe Seite 70)

Tiernr.	Rasse	Geschlecht	Alter (J)	Gewicht (kg)	TonoVet		TonoPen Avia	
					OS	OD	OS	OD
36	3	2	7	1,8	14	12	13	11
37	2	2	5	1,55	10	10	12	13
38	2	2	-	1,7	8	9	7	8
39	1	-	1	0,9	16	-	23	-
40	3	3	2	1,8	9	11	10	12
41	3	1	0,7	2	5	7	6	7
42	4	1	3	4,5	9	11	10	9
43	4	3	2	3,5	12	13	8	10
44	4	1	2	3,5	15	18	16	16
45	4	3	0,5	2,5	12	13	9	9
46	2	2	1	2,1	10	12	10	12
47	1	3	0,5	1,2	15	14	12	12
48	3	2	1	1,8	14	10	13	13
49	3	3	1,5	1,5	13	12	10	11
50	3	2	0,5	-	14	13	12	11
51	1	2	4,5	2,07	15	15	14	12
52	3	3	0,5	1,8	11	14	13	15
53	3	1	6	1,4	5	6	6	6
54	5	3	2	2,9	12	13	10	10
55	3	2	-	1,65	9	9	8	8
56	5	3	2	3,9	13	12	12	12
57	3	4	6	2	16	15	14	15
58	3	2	3	3	10	12	9	12
59	3	2	2	1,7	17	17	9	10
60	3	3	0,7	1,9	14	15	14	12
61	3	2	3	3,2	12	11	9	10
62	3	1	3	2,09	16	17	13	16
63	3	4	7	2,2	7	10	11	13
64	3	1	3	2,2	10	12	10	10
65	3	2	3	1,14	9	10	8	9
66	2	1	0,7	1,2	15	11	9	11
67	2	2	4	2,7	10	11	8	8
68	3	2	4	2,5	11	13	7	6
69	3	3	6	1,3	13	15	7	7
70	3	3	3	1,6	5	7	7	8

Anhang 8: Originaldaten der Augeninnendruckmessungen mit dem TonoPen Avia Vet und dem TonoVet bei Kaninchender Tiere 71-105 (OS=linkes Auge, OD=rechtes Auge, IOD=intraokularer Druck, Legende siehe Seite 70)

Tiernr.	Rasse	Geschlecht	Alter (J)	Gewicht (kg)	TonoVet		TonoPen Avia	
					OS	OD	OS	OD
71	3	3	11	1,7	5	7	7	8
72	1	2	7	1,6	5	7	7	8
73	3	4	-	2,4	15	13	14	14
74	1	4	2	1,9	14	14	13	13
75	3	3	9	1,4	6	8	9	9
76	3	4	7	-	14	11	15	13
77	2	2	4	2,8	9	9	9	8
78	3	1	0,13	0,745	8	8	8	7
79	2	3	5	1,95	9	9	10	11
80	3	2	3	0,97	11	14	10	11
81	2	4	3	2,1	11	13	9	11
82	3	2	8	1,3	14	13	8	8
83	3	2	10	1,4	13	12	11	11
84	3	3	5	2,95	8	11	8	9
85	3	2	1	1,46	10	10	11	11
86	3	3	0,92	2,6	17	17	14	14
87	2	4	7	1,9	9	8	6	6
88	1	4	5	1,8	11	12	9	10
89	3	3	5	2,1	15	16	8	11
90	2	2	4	2,4	8	10	9	15
91	2	1	2	1,68	13	12	16	12
92	3	2	8	1,8	12	8	8	9
93	2	1	8	2,4	9	9	12	15
94	1	2	6	1,86	8	8	9	10
95	2	3	0,34	1,28	13	12	9	9
96	2	1	0,34	0,99	16	15	21	15
97	3	4	7	1,16	12	12	15	19
98	3	2	7	2,2	7	9	6	4
99	1	2	2	1,4	10	12	12	12
100	4	3	1	-	11	12	9	12
101	4	2	1	-	9	8	8	8
102	4	2	3	-	10	13	10	10
103	4	3	4	-	12	12	12	13
104	2	3	2	-	10	12	12	10
105	2	2	3	-	-	12	-	12

Anhang 9: Originaldaten der Augeninnendruckmessungen mit dem TonoPen Avia Vet und dem TonoVet bei Kaninchen der Tiere 106-122 (OS=linkes Auge, OD=rechtes Auge, IOD=intraokularer Druck, Legende siehe Seite 70)

Tiernr.	Rasse	Geschlecht	Alter (J)	Gewicht (kg)	TonoVet		TonoPen Avia	
					OS	OD	OS	OD
106	2	3	2	-	14	14	14	16
107	1	2	8	-	7	10	9	10
108	1	3	6	-	10	10	9	9
109	1	3	4	-	10	10	8	9
110	1	3	-	-	12	11	10	9
111	1	2	6	-	9	9	12	8
112	1	3	-	-	9	10	8	9
113	1	2	6	-	11	12	12	8
114	2	2	6	-	7	8	10	11
115	3	2	3	2,1	20	15	13	12
116	2	3	5	2	12	12	10	12
117	3	4	9	1,24	10	11	8	11
118	3	2	9	1,7	12	13	16	12
119	3	3	0,75	1	21	18	18	14
120	3	2	-	1,7	13	11	12	13
121	3	2	4	2,45	10	10	9	9
122	5	4	6	2,04	14	16	9	11

Publikationsverzeichnis

Helbig, S.; vom Hagen, F.; Eule J.C.

Messung des Augeninnendrucks bei 83 gesunden Kaninchen mit zwei verschiedenen Tonometern.

23. Jahrestagung der FG "Innere Medizin und klinische Labordiagnostik der DVG (InnLab)"

Leipzig 23.01.-24.01.2015

Tierärztl Prax Kleintiere (2015) 2:A12

ISSN: 1434-1239

Helbig, S.; vom Hagen, F.; Eule J.C.

Values of intraocular pressure of rabbits obtained with two different tonometers.

ECVO Meeting, Helsinki, Finland, 28.-31.05.2015

Veterinary Ophthalmology (2015) 18(5):E4–E17

ISSN: 1463-5216

Helbig, S.; Eule J. C.

Evaluation des Applanationstonometers TonoPen Avia Vet für die Bestimmung des Augeninnendrucks bei Hunden und Katzen.

Tierärztl Prax Kleintiere (2021); 49 (02): 86-92

DOI: 10.1055/a- 1197-4709

Danksagung

Mein Dank gilt zunächst Frau Prof. Dr. C. Eule für die Überlassung des Themas und die theoretische, praktische und moralische Unterstützung bei der Durchführung der Arbeit. Die Zusammenarbeit hat mir viel Freude bereitet!

Frau PD Dr. R. Merle danke ich sehr für die geduldige Unterstützung und Beratung in allen statistischen Fragen.

Dem ganzen Team der Klinik für kleine Haustiere gilt mein Dank für die gute Zusammenarbeit während der letzten Jahre.

Besonders danken möchte ich Margrit Blessing und ihrem gesamten Praxisteam für die gute Zusammenarbeit.

Tief verbunden und dankbar bin ich meinem Ehemann René Helbig für seine hilfreiche Unterstützung und sein Verständnis bei der Anfertigung dieser Dissertation.

Mein ganz besonderer Dank gilt meinen Eltern Angela und Wolfgang Kamm, die mir meinen bisherigen Lebensweg ermöglichten und denen ich diese Arbeit widme.

Selbstständigkeitserklärung

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

Berlin, den 12.12.2022

Stefanie Helbig



mbvberlin mensch und buch verlag

59,90 Euro | ISBN: 978-3-96729-227-5