

Aus der Klinik für Kleintiere  
der Veterinärmedizinischen Fakultät der Universität Leipzig

**Vergleichende computertomografische Untersuchungen zur Anatomie  
der tränenableitenden Wege bei brachyzephalen Hunden**

Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung des Grades eines  
Doctor medicinae veterinariae (Dr. med. vet.)  
durch die Veterinärmedizinische Fakultät  
der Universität Leipzig

eingereicht von  
Sabine Sahr  
aus Neubrandenburg

Leipzig, 2014

Mit Genehmigung der Veterinärmedizinischen Fakultät der Universität Leipzig

Dekan: Prof. Dr. Manfred Coenen

Betreuer: Prof. Dr. Gerhard Oechtering

Gutachter: Prof. Dr. Gerhard Oechtering, Klinik für Kleintiere, Universität Leipzig  
Prof. Dr. Corinna Eule, Klinik und Poliklinik für kleine Haustiere, Freie  
Universität Berlin

Tag der Verteidigung: 25.03.2014

# INHALTSVERZEICHNIS

<b>INHALTSVERZEICHNIS .....</b>	<b>I</b>
<b>VERZEICHNIS DER ABKÜRZUNGEN .....</b>	<b>IV</b>
<b>1 EINLEITUNG UND ZIELSTELLUNG .....</b>	<b>1</b>
<b>2 LITERATURÜBERSICHT .....</b>	<b>3</b>
2.1 BRACHYZEPHALIE .....	3
2.1.1 BESONDERHEITEN DER SCHÄDELANATOMIE BRACHYZEPHALER HUNDERASSEN .....	3
2.1.2 EPIPHORA BEI BRACHYZEPHALEN TIEREN .....	4
2.2 ANATOMIE DES TRÄNENAPPARATES DES HUNDES .....	6
2.3 BESONDERHEITEN DER TRÄNENWEGE BRACHYZEPHALER TIERE .....	8
2.4 EMBRYOLOGISCHE ENTWICKLUNG DER TRÄNENWEGE .....	10
2.5 TRÄNENPUMPMECHANISMUS .....	10
2.6 UNTERSUCHUNG DER TRÄNENABLEITENDEN WEGE.....	12
2.6.1 SPALTLAMPENBIOMIKROSKOPIE .....	12
2.6.2 FLUORESZEINTESTUNG .....	12
2.6.3 SONDIERUNG UND SPÜLUNG DES TRÄNENABLEITENDEN SYSTEMS .....	13
2.6.4 DARSTELLUNG MITHILFE BILDGEBENDER VERFAHREN .....	14
2.6.4.1 RÖNTGENDARSTELLUNG.....	14
2.6.4.2 COMPUTERTOMOGRAPHISCHE DARSTELLUNG.....	15
2.6.4.3 MAGNETRESONANZTOMOGRAPHIE .....	19
2.6.4.4 ULTRASONOGRAPHIE .....	20
2.6.4.5 ENDOSKOPIE .....	21
<b>3 MATERIAL UND METHODEN .....</b>	<b>23</b>
3.1 UNTERSUCHTE TIERE.....	23
3.2 DURCHFÜHRUNG DER CT-DAKRYOZYSTOGRAPHIE .....	24
3.3 AUSWERTUNG DER DATENSÄTZE UND ERFASSTE EIGENSCHAFTEN.....	27
3.3.1 VOLLSTÄNDIGKEIT DER TRÄNENABLEITENDEN STRUKTUREN .....	29
3.3.2 BESCHREIBUNG DES VERLAUFS DER EINZELNEN ABSCHNITTE .....	29
3.3.3 DREIDIMENSIONALE DARSTELLUNG .....	29

---

3.3.4	ANGULATION DER TRÄNENWEGE.....	32
3.3.5	RÄUMLICHE ORIENTIERUNG DER TRÄNENWEGE.....	34
3.3.6	LAGEBEZIEHUNG ZWISCHEN OBERKIEFERCANINI UND TRÄNENNASENGANG.....	36
3.3.7	STEIGUNG DES TRÄNENNASENGANGS.....	36
3.3.8	RELATIVE LAGE VON FORAMEN LACRIMALE UND OSTIUM NASOLACRIMALE.....	39
3.3.9	DURCHGÄNGIGKEIT DER TRÄNENABLEITENDEN WEGE.....	39
3.3.10	AKZESSORISCHE ÖFFNUNG UND LOKALISATION.....	39
3.3.11	KONTRASTMITTELPASSAGE AB DER AKZESSORISCHEN ÖFFNUNG.....	40
3.3.12	LÄNGENBESTIMMUNG DER TRÄNENABLEITENDEN WEGE.....	40
3.3.12.1	PRÜFUNG DER MESSMETHODE.....	42
3.4	STATISTISCHE AUSWERTUNG.....	44
<b>4</b>	<b>ERGEBNISSE.....</b>	<b>45</b>
4.1	VOLLSTÄNDIGKEIT DER TRÄNENABLEITENDEN STRUKTUREN.....	45
4.2	VERLAUF DER EINZELNEN ABSCHNITTE.....	45
4.2.1	TRÄNENKANÄLCHEN.....	45
4.2.2	TRÄNENSACK.....	46
4.2.3	ANFANGSTEIL DES TRÄNENNASENGANGS.....	47
4.2.4	MITTELTEIL DES TRÄNENNASENGANGS.....	49
4.2.5	ENDTEIL DES TRÄNENNASENGANGS.....	51
4.2.6	ZUSAMMENFASSUNG.....	51
4.3	ANGULATION DER TRÄNENWEGE.....	54
4.3.1	WINKEL 1 (VORDERER PARTIALWINKEL).....	54
4.3.2	WINKEL 2 (HINTERER PARTIALWINKEL).....	56
4.3.3	WINKEL 3 (OBERER GESAMTWINKEL).....	58
4.3.4	WINKEL 4 (UNTERER GESAMTWINKEL).....	60
4.4	RÄUMLICHE ORIENTIERUNG DER TRÄNENWEGE.....	61
4.5	LAGEBEZIEHUNG ZWISCHEN OBERKIEFERCANINI UND TRÄNENNASENGANG.....	63
4.6	STEIGUNG DES TRÄNENNASENGANGS.....	64
4.7	RELATIVE LAGE VON OSTIUM NASOLACRIMALE UND FORAMEN LACRIMALE.....	66
4.8	DURCHGÄNGIGKEIT DER TRÄNENABLEITENDEN WEGE.....	67
4.9	AKZESSORISCHE ÖFFNUNG UND LOKALISATION.....	67
4.10	KONTRASTMITTELPASSAGE AB DER AKZESSORISCHEN ÖFFNUNG.....	69
4.11	LÄNGENBESTIMMUNG DER TRÄNENABLEITENDEN WEGE.....	70

4.11.1	LÄNGE DES TRÄNENNASENGANGS .....	70
4.11.2	LÄNGE DES ANFANGSTEILS DES TRÄNENNASENGANGS .....	70
4.11.3	GEMEINSAME LÄNGE VON MITTEL- UND ENDTEIL DES TRÄNENNASENGANGS .....	71
4.11.4	LÄNGE DER TRÄNENKANÄLCHEN.....	72
4.11.5	ANTEILIGE LÄNGE DER TRÄNENKANÄLCHEN AM TRÄNENABLEITENDEN SYSTEM .....	72
4.11.6	ANTEILIGE LÄNGEN DES TRÄNENNASENGANGS.....	74
4.12	BEDEUTUNG DER LAGERUNG DES KOPFES FÜR DEN ABFLUSS .....	75
4.13	RELEVANZ DES ANSTIEGS DES TNG FÜR DEN ABFLUSS.....	76
4.14	EINFLUSS DES OBERKIEFERCANINUS AUF DEN ABFLUSS.....	77
4.15	WIRKUNG DES OBERKIEFERCANINUS AUF DEN ANSTIEG DES TRÄNENNASENGANGS ..	77
<b>5</b>	<b>DISKUSSION .....</b>	<b>78</b>
5.1	HYPOTHESEN .....	78
5.2	ERGEBNISSE .....	79
5.2.1	AKZESSORISCHE ÖFFNUNG UND DURCHGÄNGIGKEIT DER TRÄNENWEGE.....	79
5.2.2	STEIGUNG DES TRÄNENNASENGANGS UND EINFLUSS AUF DIE FLIEßDYNAMIK .....	81
5.2.3	EINFLUSS DER OBERKIEFERCANINI AUF DEN TRÄNENNASENGANG.....	84
5.2.4	RELATIVE LAGE VON FORAMEN LACRIMALE UND OSTIUM NASOLACRIMALE.....	86
5.2.5	RÄUMLICHE ORIENTIERUNG DER TRÄNENWEGE .....	86
5.2.6	ANGULATION DER TRÄNENWEGE.....	87
5.2.7	LÄNGE UND LÄNGENVERHÄLTNISSE DER TRÄNENWEGE.....	91
5.3	METHODEN .....	93
5.3.1	RASSE-, GESCHLECHTS- UND ALTERSVERTEILUNG .....	93
5.3.2	DURCHFÜHRUNG DER CT-DAKRYOZYSTOGRAPHIE UND KONTRASTIERUNG .....	93
5.3.2.1	<i>KOPFPOSITIONIERUNG UND PALATUM DURUM ALS RELATIVE EBENE .....</i>	<i>93</i>
5.3.2.2	<i>SONDIERUNG DER TRÄNENKANÄLCHEN .....</i>	<i>94</i>
5.3.3	LÄNGENBESTIMMUNG DER TRÄNENABLEITENDEN WEGE .....	95
5.3.4	WINKELMESSUNG .....	97
5.4	KLINISCHE ASPEKTE.....	97
<b>6</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG .....</b>	<b>100</b>
<b>7</b>	<b>SUMMARY .....</b>	<b>102</b>
<b>8</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS .....</b>	<b>104</b>
<b>9</b>	<b>ANHANG.....</b>	<b>110</b>

## VERZEICHNIS DER ABKÜRZUNGEN

AÖ	Akzessorische Öffnung
BMELV	Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
DCG	Dakryozystographie
EB	Englische Bulldogge
FB	Französische Bulldogge
NZ	Normozephalie
TAS	Tränenableitendes System
TNG	Tränennasengang

# 1 EINLEITUNG UND ZIELSTELLUNG

Brachycephale Hunderassen sind häufige Patienten in der ophthalmologischen Praxis. Unter den vielfältigen Vorstellungsgründen ist chronische Epiphora mit auffälligen, dunklen Tränenstraßen im Fell ein häufiges Anliegen der Besitzer.

Aus der Literatur ist bekannt, dass sich der Verlauf der ableitenden Tränenwege bei der brachycephalen Katze maßgeblich von dem der Hauskatze unterscheidet und mitverantwortlich für das Tränenträufeln bei diesen Rassen gemacht wird. Der gestörte Abfluss der Tränenflüssigkeit resultiert aus einem steilen Ansteigen der Tränenwege bei kurzköpfigen Katzen. Ist die Brachycephalie sehr ausgeprägt, liegt die Mündung des Tränenangangs im Ostium nasolacrimale sogar oberhalb des Niveaus seines Ursprungs im Foramen lacrimale (BREIT et al. 2003, NÖLLER et al. 2006, SCHLUETER et al. 2009). Chronische Epiphora ist eine Folge der, durch die Brachycephalie veränderten, anatomischen Eigenschaften der Tränenwege. Infolgedessen sind die therapeutischen Optionen sehr beschränkt. Eine besondere Rolle spielt daher das Management von Folgeproblemen, die die anhaltende Feuchtigkeit mit sich bringt, wie Hautentzündungen und –infektionen mithilfe pflegender Maßnahmen.

Aufgrund der bisherigen Erkenntnisse bei der brachycephalen Katze soll untersucht werden, ob die gleiche Problematik im Bereich der Tränenwege brachycephaler Hunderassen besteht. Dabei sind auch Rückschlüsse auf die therapeutischen Möglichkeiten beim kurzköpfigen Hund im Vergleich zur brachycephalen Katze von Interesse.

Es ist anzunehmen, dass die Form des Gesichtsschädels auch beim brachycephalen Hund einen entscheidenden Einfluss auf den Verlauf der ableitenden Tränenwege hat. Hieraus resultiert die erste Hypothese:

1. Die ableitenden Tränenwege brachycephaler Hunderassen unterscheiden sich deutlich von denen normozephaler Hunde.

Unter Berücksichtigung des erheblichen Abflusshindernisses, das aus dem Verlauf bei kurzköpfigen Katzen resultiert, ergibt sich folgende zweite Hypothese:

2. Der spezifische Verlauf der Tränenwege brachycephaler Hunde stellt ein mögliches Abflusshindernis für die Tränenflüssigkeit dar.

Das Ziel dieser Arbeit ist die Erfassung und Evaluierung des Verlaufs der ableitenden Tränenwege. Dies soll mithilfe der CT-Dakryozystographie erfolgen:

- bei drei verschiedenen brachyzephalen Hunderassen
- im Vergleich zum normozephalen Hund
- unter Berücksichtigung möglicher Konsequenzen für die Funktion des Tränennasengangs (TNG).



## 2 LITERATURÜBERSICHT

### 2.1 Brachyzephalie

Unter der Bezeichnung Brachyzephalus versteht man formell die Ausbildung des Kopfes als Kurzkopf, bei dem der Längs- dem Querdurchmesser nahekommt (DORNBLÜTH und PSCHYREMBEL 1934). In der Tiermedizin beschreibt der Begriff Brachyzephalie eine durch Zuchtmaßnahmen erhaltene und geförderte Chondrodysplasie der Schädelknochen, die zu einer starken Verkürzung des Kopfes führt (EVANS und MILLER 1993, KOCH et al. 2003). Brachyzephalen Hunderassen unterscheiden sich von normozephalen durch ihren kurzen, breiten Gesichtsschädel und die offene, flache Orbita (EVANS und MILLER 1993, DUPRE et al. 2012). Die mit diesem Erscheinungsbild verknüpfte Erhaltung des „Kindchenschemas“ führt zu einer stetig wachsenden Beliebtheit dieser Hunde. Zu den brachyzephalen Rassen werden Bulldoggen (Englische und Französische Bulldogge), der Mops, Boston Terrier, Pekingese, Shih Tzu und Boxer gezählt (HENDRICKS 1992, REGODON et al. 1993, HENDRICKS 2004). Häufig werden auch weitere Rassen wie Cavalier King Charles Spaniel, Yorkshire Terrier, Chihuahua, Malteser und Miniatur Pinscher als brachyzephal klassifiziert (KOCH et al. 2003, DUPRE et al. 2012).

#### 2.1.1 Besonderheiten der Schädelanatomie brachyzephaler Hunderassen

Brachyzephalen Hunderassen weisen eine starke Verkürzung des Gesichtsschädels und insbesondere der knöchernen Nasenstrukturen, bedingt durch eine Wachstumshemmung auf (BMELV 2005). Diese Reduktion kann bis hin zu einem kaum noch nachweisbaren Os nasale reichen (OECHTERING et al. 2007). Die Nasenhöhle nimmt in ihrer Ausdehnung beim Mops wenig mehr als ein Drittel der Schädelhöhe ein, wobei sie beim normozephalen Hund den doppelten Anteil (zwei Drittel) ausmacht. Als Nase dienen dem Mops fast nur noch die rostralen, weichen Nasenanteile, die zusätzlich häufig stark deformiert sind (OECHTERING et al. 2007).

Unterschiede in den Schädelproportionen bestehen aber nicht nur zwischen normo- und brachyzephalen Hunden, sondern auch zwischen den einzelnen brachyzephalen Hunderassen, während die Proportionen innerhalb einer kurzköpfigen Rasse kaum schwanken. Hierbei weist der Mops den kürzesten Kopf, gefolgt von Französischer und Englischer Bulldogge auf (OECHTERING et al. 2007).

SCHLUETER und Mitarbeiter (2009) beschreiben als Folge des hochgradigen Knochenschwundes im Bereich der Nase eine Dorsorotation der Kieferknochen und nasalen Strukturen bei der brachyzephalen Katze, die bei hochgradiger Ausprägung der Brachyzephalie zu einer nahezu horizontalen Stellung der Oberkiefercanini führt. Die gegenläufige Rotation des kaudalen Schädelbereiches scheint eine Aufwölbung des Os parietale nach sich zu ziehen (NÖLLER 2006). Zu diesen Beobachtungen passt der von REGODON et al. (1993) beschriebene kleinere sogenannte „kraniofaziale Winkel“ bei brachyzephalen im Vergleich zu normozephalen Hunden. Dieser Winkel bezeichnet im Wesentlichen die Ausrichtung der Schädelbasis zum harten Gaumen bzw. des Gehirnschädels zum Gesichtsschädel. Da diese beiden Strukturen bei kurzköpfigen Hunden einen deutlich kleineren Winkel bilden, ist deren Ausrichtung bei ihnen gleichsinniger als bei normozephalen, wie es infolge einer Dorsorotation von Kiefer und Nase zu erwarten wäre.

Zusätzlich sind ein verbreiteter Kiefer mit Ausbildung einer Brachygnathia superior (NÖLLER 2006) und weitere Kieferanomalien typisch (BMELV 2005). Die Verkürzung der Kieferknochen und besonders der unterentwickelte Oberkiefer sind regelmäßig mit ausgeprägten Zahnfehlstellungen assoziiert (DUPRE et al. 2012).

### 2.1.2 Epiphora bei brachyzephalen Tieren

Die Zucht auf besonders große Augen bei brachyzephalen Tieren geht mit anatomischen Abweichungen wie einer flachen Orbita, einer zu großen Lidspalte (Makroblepharon) und einer protrahierten Bulbusstellung einher (BMELV 2005). Epiphora, das Abfließen von überschüssigen Tränen über die Wange (GOTTSCHALK 2008), ist ein häufig beobachtetes Problem bei Hunden brachyzephaler Rassen (RAMSEY 2001). Das Tränenräufeln kann zum einen, in einer überschießenden Tränenproduktion und zum anderen, in einem ungenügenden Abfluss über das tränenableitende System begründet sein (GOTTSCHALK 2008, MILLER 2008, PETERSEN-JONES und STANLEY 2009). Eine **überschießende Produktion** kann beispielsweise durch Irritationen der Hornhautoberfläche bei Trichiasis, Distichiasis, durch ektope Zilienanlagen, Fremdkörper oder Dermoiden verursacht werden. Auch entzündliche Veränderungen der Hornhaut (Keratitis), Konjunktiva (Konjunktivitis) oder des Lides (Blepharitis) führen zu Reiztränenfluss (RAMSEY 2001, MILLER 2008, WALDE et al. 2008). **Ungenügender Tränenabfluss** kann bei vollständigen oder partiellen, angeborenen oder erworbenen Verschlüssen der

Tränenwege auftreten. Diese kommen zum Beispiel durch zu kleine Tränenpünktchen (Micropuncta), Tränenpunktatresien, –aplasiën oder -ektapien, Dakryozystitiden, Fremdkörper, Frakturen oder Neoplasien zustande (MILLER 2008). Bei brachycephalen Katzen wird ein ansteigender Verlauf des Tränennasengangs infolge der starken Gesichtskürzung als Abflusshindernis betrachtet (BREIT et al. 2003, SCHLUETER et al. 2009). Auch Fehlstellungen des Lidrandes durch Fibrosen oder Distorsionen nach perforierenden Verletzungen stören den Transport der Tränenflüssigkeit zu den Tränenpunkten und können so Epiphora auslösen.

Speziell bei Hunden brachycephaler Rassen wird das Tränenträufeln häufig als Folge einer sogenannte „Ursachen-Triade“ aus Unterlidotropium, Trichiasis der Karunkel und des nasalen Lides in Kombination mit strammen Ligamenten des medialen Kanthus beschrieben und unter dem Begriff „tear staining syndrome“ zusammenfasst (GRAHN und WOLFER 1998, RAMSEY 2001, GRAHN und SANDMEYER 2007, MILLER 2008, PETERSEN-JONES und STANLEY 2009). Das **Unterlidotropium**, welches sich zu meist im nasalen Bereich ausprägt, behindert einerseits den Abfluss der Tränen durch Verschluss und Verlagerung des unteren Tränenpünktchens und -kanälchens (CRISPIN 2002). Es verursacht andererseits Reiztränenfluss durch Hornhautirritationen infolge der sekundären Trichiasis (GRAHN und WOLFER 1998). Die **Karunkelbehaarung** bedingt ebenfalls über zwei Wege das klinische Symptom der Epiphora. Zum einen wirken diese Haare wie ein Docht und leiten die Tränenflüssigkeit passiv aus dem Auge heraus, zum anderen erhöhen auch sie über reizenden Hornhautkontakt die Tränenproduktion (GRAHN und WOLFER 1998, PETERSEN-JONES und STANLEY 2009). Die durch die **straffen Ligamente** bedingte Ventralverlagerung des medialen Kanthus begünstigt das Tränenträufeln zusätzlich (GRAHN und WOLFER 1998). Dieses Syndrom wird besonders häufig beim Miniatur- und Toypudel sowie beim Malteser (RAMSEY 2001) gesehen, ist aber auch für andere brachycephale Rassen wie beispielsweise den Mops beschrieben (GRAHN und SANDMEYER 2007, MILLER 2008, PETERSEN-JONES und STANLEY 2009). Die bräunliche Verfärbung des Haarkleides bei anhaltendem Tränenfluss („staining“) soll durch laktoferrinartige Pigmente in der Tränenflüssigkeit zustande kommen (MILLER 2008).

Neben diesen Faktoren spielen weitere anatomische Abweichungen eine Rolle. Hierzu zählen die meist viel zu groß ausgeprägte Lidspalte (Makroblepharon) (RAMSEY 2001) in Kombination mit der protrahierten Bulbusstellung, die eine dauerhafte Expositionske-

ratitis mit Reiztränenfluss und unter Umständen einen gestörten Tränenpumpmechanismus (siehe Abschnitt 2.5) bedingen können (MILLER 2008). Die ausgeprägte Nasenfalte bei vielen Brachycephalen kann ebenfalls durch die Nasenfaltentrichiasis zu verstärktem Tränenträufeln führen (RAMSEY 2001, MILLER 2008).

## 2.2 Anatomie des Tränenapparates des Hundes

Der Tränenapparat des Hundes lässt sich in die zwei großen Abschnitte, sekretorische Drüsen und ableitendes, exkretorisches Kanalsystem einteilen (PFEIFFER et al. 1987, SMOLLICH und MICHEL 1992, FREWEIN und VOLLMERSHAUS 1994). Der **sekretorische Anteil** umfasst die Tränendrüse (Glandula lacrimalis) und die Nickhautdrüse (Glandula palpebrae tertiae). Kleinere zusätzliche Drüsenpakete in der Konjunktiva (Krause- und Wolfringdrüsen), die sich beim Menschen, beim Rhesusaffen und zum Teil beim Kaninchen an der Tränenproduktion beteiligen, sind beim Hund nicht beschrieben (STEPHENS et al. 1989, BERGMANSON et al. 1999). Die **Exkretion** erfolgt über die Tränenpünktchen (Puncta lacrimalia), Tränenröhrchen (Canaliculi lacrimales), den Tränensack (Saccus lacrimalis) sowie den Tränennasengang (Ductus nasolacrimalis).

Die Tränendrüse des Hundes liegt dorsotemporal des Bulbus, innerhalb der Periorbita und mündet mit mehreren Ausführungsgängen in den temporalen Teil der dorsalen Fornix conjunctivae (MICHEL 1955, GIONFRIDDO 2003, GRAHN und SANDMEYER 2007). Die, den Stiel des Blinzknorpels umfassende Nickhautdrüse führt mit zwei bis vier Ausführungsgängen in die Fornix conjunctivae tertiae (MICHEL 1955). Die Nickhautdrüse ist für etwa 30-35 Prozent der produzierten Tränenflüssigkeit verantwortlich (PFEIFFER et al. 1987, GELATT 2007).

Die Tränen werden durch den Blinzelvorgang über die Hornhautoberfläche verteilt und bilden den sogenannten Tränenmeniskus, ein schmales Tränenband direkt auf dem Unterlidrand (DOANE 1981, GIONFRIDDO 2003). Sie gelangen zunächst in den Tränensee, den Lacus lacrimalis, der die Tränenkarunkel umgibt (PFEIFFER et al. 1987, GELATT 2007, WALDE et al. 2008).

An den inneren Lidkanten innerhalb der Konjunktiva etwa zwei bis fünf Millimeter von der Tränenkarunkel entfernt, liegen die Tränenpunkte, Puncta lacrimalia superius und inferius, genau am mukokutanen Übergang (MICHEL 1955, GIONFRIDDO 2003, GRAHN und SANDMEYER 2007). Diese beim Hund spaltförmigen und bei der Katze eher rundli-

chen Öffnungen (GELATT et al. 1972) weisen nach MICHEL (1955) einen Längsdurchmesser von 0,5-1,0 Millimeter und einen Querdurchmesser von 0,2-0,5 Millimeter auf.

Die sich an die *Puncta lacrimalia* anschließenden Tränenröhrchen (*Canaliculi lacrimales*) verlaufen, mit einer Länge zwischen vier und sieben Millimetern und einem Durchmesser von 0,5-1,0 Millimeter (MICHEL 1955, GELATT et al. 1972), von beiden Lidern konvergierend zum *Saccus lacrimalis* (ELLENBERGER und BAUM 1974, GELATT 2007), der als erweiterte Vereinigungsstelle in der *Fossa sacci lacrimalis* des Tränenbeins liegt (MICHEL 1955, ELLENBERGER und BAUM 1974). Der Tränensack verjüngt sich trichterförmig bis zum Eintritt in das knöcherne *Foramen lacrimale*, dem Beginn des Tränennasengangs (GELATT et al. 1972, GIONFRIDDO 2003). Nach MICHEL 1955 ist der *Saccus lacrimalis* 0,2-0,5 Zentimeter lang und 0,05-0,2 Zentimeter breit.

Der *Ductus nasolacrimalis* zieht, beginnend am *Foramen lacrimale*, bogenförmig nach rostral und endet mit dem *Ostium nasolacrimale* im Nasenvorhof. Im Verlauf des Tränennasengangs können drei Teile, ein Anfangs-, ein Mittel- sowie ein Endteil, unterschieden werden (MICHEL 1955, IMMLER 1996).

Der **Anfangsteil** liegt im knöchernen Tränenkanal, dem *Canalis lacrimalis*. Dieser wird gebildet vom *Os lacrimale* und der *Maxilla*, in deren medialem Anteil er verläuft (GELATT et al. 1972, GRAHN und SANDMEYER 2007). Während der Knochenpassage ist der Gang deutlich verengt (GIONFRIDDO 2003, GRAHN und SANDMEYER 2007). Der Anfangsteil erstreckt sich vom *Foramen lacrimale* bis zum *Foramen lacrimale rostrale*, wo er aus dem Knochen austritt und in den **häutigen Mittelteil** übergeht. Dieser beginnt in Höhe des zweiten Prämolaren und verläuft unmittelbar ventral der *Lamina basalis* des *Os conchae nasalis ventralis* von Nasenschleimhaut bedeckt nach rostral bis auf Höhe der *Caninuswurzel* (MICHEL 1955, GELATT et al. 1972, GIONFRIDDO 2003). Das sich anschließende **Endstück** zieht unterhalb der *Plica alaris* entlang und mündet im *Ostium nasolacrimale* kranial der *Plica basalis* und ventral der Flügel falte am Übergang in die seitliche Wand (IMMLER 1996) des Nasenvorhofs etwa einen Zentimeter von den *Nares* entfernt (GELATT et al. 1972, GRAHN und SANDMEYER 2007).

Der Randbereich des *Ostium nasolacrimale* ist wulstartig verdickt (IMMLER 1996). Die Länge des Tränennasengangs beträgt nach GELATT (1972) beim mesozephalen Hund 35 bis 50 Millimeter und beim dolichocephalen Hund 60-100 Millimeter. Nach MICHEL (1955) umfasst der Anfangsteil etwa ein Viertel und das Mittelstück die Hälfte seiner Gesamtlänge.

Nur etwa 75 Prozent der produzierten Tränenflüssigkeit verlassen das Auge tatsächlich über das tränenableitende System. Die verbleibenden 25 Prozent gehen durch Evaporation von der Augenoberfläche verloren (GIONFRIDDO 2003, GRAHN und SANDMEYER 2007). In der Literatur wird vielfältig eine akzessorische Öffnung im Verlauf des häutigen Mittelteils des Tränennasengangs beschrieben. Diese soll sich auf Höhe des Caninus befinden (MICHEL 1955, GELATT et al. 1972, IMMLER 1996) und ist eine spaltförmige Unterbrechung der ventromedialen Wand des Tränennasengangs (IMMLER 1996). Histologisch lässt sich an den Rändern der Unterbrechungsstelle ein kontinuierlicher Übergang des zweischichtigen Zylinderepithels des Tränennasengangs in die Nasenschleimhaut nachweisen (IMMLER 1996). Hunde, denen eine akzessorische Öffnung fehlt, zeigen dennoch an der Stelle, wo sie zu erwarten wäre, einen Wechsel von Zylinder- in mehrschichtiges Plattenepithel, was eine regelmäßige Anlage zur Ausbildung einer Unterbrechungsstelle nahelegt (IMMLER 1996). Die vielfältigen Angaben in der Literatur zur Häufigkeit dieser zusätzlichen Öffnung schwanken zwischen 40 (MICHEL 1955) und 90 Prozent (IMMLER 1996). Bei der Katze konnte von den meisten Untersuchern keine akzessorische Öffnung festgestellt werden (MICHEL 1955, BREIT et al. 2003, NÖLLER et al. 2006).

### **2.3 Besonderheiten der Tränenwege brachyzephaler Tiere**

Umfangreiche Untersuchungen zu den tränenableitenden Wegen liegen vor allem für die Katze vor. In Abhängigkeit von der Schädelform variierende Verläufe der Tränenwege wurden von BREIT und Mitarbeitern (2003) sowie von SCHLUETER und Mitarbeitern (2009) bei normo- und brachyzephalen **Katzen** beschrieben.

Hierbei werde der Verlauf stark von der Schädelform, insbesondere von der Länge des Gesichtsschädels beeinflusst (BREIT et al. 2003). An den tränenableitenden Wegen der normozephalen Katze lassen sich ein deszendierender, rostroventral verlaufender Teil bestehend aus den Canaliculi lacrimales und dem Saccus lacrimalis von einem horizontalen, parallel zum harten Gaumen verlaufenden Anteil, dem Ductus nasolacrimalis unterscheiden (BREIT et al. 2003, NÖLLER et al. 2006, SCHLUETER et al. 2009). Während diese beiden Anteile bei der Hauskatze nahezu rechtwinklig zueinander stehen (NÖLLER et al. 2006), fällt bei brachyzephalen Tieren ein spitzwinkliger Verlauf mit stark ansteigendem horizontalen Teil auf. Da der Kurs des horizontalen Teils unmittelbar von dem der Basallamelle der Concha nasalis ventralis abhängt (SCHLUETER et al. 2009),

ist sein ansteigender Charakter eine unmittelbare Folge des ebenfalls steileren Verlaufs dieser Basallamelle. Dieser wiederum entsteht durch die Dorsorotation der nasalen Strukturen bei kurzköpfigen Katzen (BREIT et al. 2003, SCHLUETER et al. 2009).

Der TNG der normozephalen Katze verläuft in seiner gesamten Länge unterhalb des Niveaus seines Ursprungs, dem Foramen lacrimale. Bei höhergradig brachycephalen Katzen nimmt die Steilheit der Tränenwege so starke Ausmaße an, dass sogar große Teile des Ganges über das Niveau des Foramen lacrimale hinaus ansteigen (BREIT et al. 2003). Die Abnahme des Winkels zwischen vertikalem und horizontalem Anteil hängt direkt mit dem Grad der Gesichtsschädelverkürzung zusammen (BREIT et al. 2003). Aus diesen morphologischen Veränderungen resultiert eine „bergauf“ verlaufende Flussrichtung der Tränen (SCHLUETER et al. 2009), die nun unabhängig vom Durchmesser des TNG ein Abflusshindernis bei brachycephalen Tieren darstellen kann (BREIT et al. 2003). Zusätzlich verlagern sich mit zunehmender Kurzköpfigkeit die Tränenkanälchen vor das (rostral) Foramen lacrimale (SCHLUETER et al. 2009).

Im Zusammenhang mit der Verkürzung der Gesichtsstrukturen kann eine Annäherung der Oberkiefercaninuswurzel an den Tränensack bis hin zur Berührung dieser beiden Strukturen beobachtet werden. Infolgedessen muss der TNG bei schweren Brachycephalieformen sogar v-förmig unterhalb des Caninus verlaufen, um in die Nasenhöhle zu gelangen (SCHLUETER et al. 2009).

Die für brachycephale **Hunde** verfügbaren Daten sind weniger umfangreich. GELATT (1972) ermittelte anhand von Latexpräparaten der tränenableitenden Wege bei kurzköpfigen Hunderassen vier bis fünf Millimeter lange Canaliculi sowie einen zweieinhalb bis drei Zentimeter langen Tränennasengang. IMMLER (1996) beschreibt, ähnlich wie bei der brachycephalen Katze bekannt, einen anfänglich nach kaudoventral also rückwärts gerichteten TNG.

## 2.4 Embryologische Entwicklung der Tränenwege

Die ableitenden Tränenwege entstehen während der Entwicklung des Gesichtes, der Augen und des Prosenzephalons (GIONFRIDDO 2003). Ausgangspunkt der Entwicklung ist die Tränennasenfurche (MICHEL 1995), der Sulcus nasolacimalis, der den lateralen Nasenwulst vom Oberkieferwulst trennt (SCHNORR und KRESSIN 2001, OFRI 2008). Beim Schluss der Gesichtsfalten wächst der Oberkieferwulst über den Sulcus nasolacimalis und fusioniert mit dem Nasenwulst (OFRI 2008). Diese Fusion findet beim Hund zwischen dem 22. und 26. Gestationstag statt (GIONFRIDDO 2003, GRAHN und SANDMEYER 2007). Dabei wird das Oberflächenektoderm als zukünftige Anlage des Tränennasengangs in Form eines soliden epithelialen Stranges in die Tiefe des Mesenchyms verlagert (SCHNORR und KRESSIN 2001, GIONFRIDDO 2003, OFRI 2008). Im Anschluss wachsen aus dem proximalen Ende sprossartig zwei Fortsätze in Richtung der oberen und unteren Lidfalten nahe dem nasalen Kanthus und vereinigen sich mit dem Epithel der Konjunktiva (GIONFRIDDO 2003, OFRI 2008). Das distale Ende tritt in den ventralen Nasengang ein und verbindet sich mit dem Epithel des Nasenvorhofes (MICHEL 1995, OFRI 2008). Mit der Ausbildung eines Lumens entstehen die Tränenröhrchen, der Tränensack und der Tränennasengang (MICHEL 1995, OFRI 2008, WALDE et al. 2008).

## 2.5 Tränenpumpmechanismus

In der Literatur ist einheitlich beschrieben, dass der Abfluss der Tränenflüssigkeit in die Nasenhöhle keine einfache Folge der Gravitation ist. Weniger Einigkeit besteht über die daran beteiligten Mechanismen und anatomischen Strukturen. Maßgeblich verantwortlich für den Abfluss ist ein als Tränenpumpmechanismus („lacrimal pump mechanism“) bezeichneter, sehr komplexer Vorgang (DOANE 1981, FELSMANN und FELSMANN 1996, THALE et al. 1998, PAULSEN et al. 2000, MILLER 2008). Seine genaue Funktionsweise wird in der humanmedizinischen Literatur vielfältig diskutiert und untersucht. So leiden Patienten mit einer Lähmung des Musculus orbicularis oculi in der Regel unter Tränenträufeln und der Tränenabfluss gesunder Menschen ist auch bei invertierter Kopfhaltung ungestört möglich. Diese Beispiele zeigen, dass dem Zinkervorgang eine wichtige Rol-



le beim Abfluss der Tränen zuzukommen scheint und es sich nicht um ein rein passives Geschehen handeln kann (PAVLIDIS et al. 2005).

Die Kontraktion des Musculus orbicularis während des Lidschlusses führt nach PAVLIDIS und Mitarbeitern (2005) zu einer Kompression des menschlichen Tränensacks durch das mediale Kanthusband sowie zu einer Einengung der Tränenkanälchen (DOANE 1981, AMRITH et al. 2005). Dies ermöglicht die Entleerung der Tränenflüssigkeit aus dem Saccus lacrimalis in den Tränennasengang. Mit der anschließenden Öffnung der Lider entspannt sich der Muskel. Damit ist eine Expansion des Tränensacks verbunden, die einen Sog erzeugt. Dieser Sog hält zunächst noch die Tränenpunkte zusammen und bewirkt nach Öffnung der Tränenpunkte und damit des Vakuums nun die erneute Füllung der Canaliculi und des Saccus lacrimalis (DOANE 1981, PAVLIDIS et al. 2005).

Die Flexibilität des Tränensacks liegt im histologischen Aufbau seiner Wand aus Kollagen, elastischen Fasern und retikulären Bündeln begründet (THALE et al. 1998, PAULSEN et al. 2000). Für die Reexpansion des Tränensacks mit Erzeugung eines negativen Druckes und daraus folgender Sogwirkung machen PAVLIDIS und Mitarbeiter (2005) vor allem den elastischen Faseranteil verantwortlich. THALE und Mitarbeiter (1998) beschreiben ein regelrechtes Auswringen des medial fixierten Tränensacks durch eine partielle Auswärtsbewegung bei Lidschluss im Zusammenhang mit einer helikalen Anordnung seiner elastischen und retikulären Fasern.

Ein analoger Tränenpumpmechanismus und seine anatomischen Grundlagen wurden von FELSMANN und FELSMANN (1996) bei Hund und Katze beschrieben. NÖLLER (2006) zeigte allerdings eine teilweise Abwesenheit der von FELSMANN und FELSMANN (1996) aufgezeigten anatomischen Voraussetzungen für diesen Mechanismus bei der brachycephalen Katze. Dieser fehlen im Unterschied zur Hauskatze zwei für den Mechanismus bedeutende Knochenkämme, die den distalen Anteil des Tränensacks säumen. Diese Tränenkämme bilden Insertionsstellen für kontraktile Fasern, die den Tränensack einengen und so die Tränenpumpe unterstützen können. Ob diese anatomische Abweichung den Tränenpumpmechanismus und den Tränenabfluss bei der kurzköpfigen Katze beeinträchtigt ist bisher nicht geklärt.

## **2.6 Untersuchung der tränenableitenden Wege**

Im klinischen Alltag ist die Untersuchung der tränenableitenden Wege hinsichtlich der vollständigen Ausbildung ihrer Einzelkomponenten sowie der Durchgängigkeit möglich.

### **2.6.1 Spaltlampenbiomikroskopie**

Der Untersuchung mithilfe der Spaltlampenbiomikroskopie sind lediglich die Tränenpünktchen zugänglich. Es können deren vollständige Ausbildung, ausreichende Größe (Micropuncta), Lokalisation (Ektopie) und eventuelle Atresien, Stenosen oder Okklusionen (WALDE et al. 2008, PETERSEN-JONES und STANLEY 2009) beurteilt werden. Exsudation aus den Tränenpünktchen ist hinweisend für eine Dakryozystitis, eine Entzündung des Tränensacks oder Tränennasengangs (GIONFRIDDO 2003, PETERSEN-JONES und STANLEY 2009). Zufallsbefunde wie kongenitale Tränensackfisteln können bei dieser Untersuchung offensichtlich werden (WALDE et al. 2008). Auch die regel- und somit funktionsgerechte Lidstellung kann überprüft werden. Dies ist wichtig, da Lidanomalien wie beispielsweise Entropium- oder Ektropiumbildung sowie narbige Distorsionen zur Beeinträchtigung von ursprünglich normal ausgebildeten Tränenpünktchen führen können (CRISPIN 2002).

### **2.6.2 Fluoreszeintestung**

Die Durchgängigkeit des tränenableitenden Systems kann mit dem Farbstoff Fluoreszein, der in den Bindehautsack eingebracht wird, überprüft werden (Jones Test). Dieser Farbstoff ist in Form von Augentropfen oder imprägnierten Papierstreifen erhältlich. Die Nase sollte zur besseren Gewährleistung des Abflusses niedrig gehalten werden. Der Austritt von Farbstoff aus dem Nasenloch beweist die Passierbarkeit (KÜPPER 1973, WALDE et al. 2008). Die Transitzeit beträgt in der Regel eine Minute (RIJNBERK und DE VRIES 2004), kann aber auch drei bis fünf Minuten in Anspruch nehmen (GIONFRIDDO 2003, PETERSEN-JONES und STANLEY 2009). BINDER und HERRING (2010) ermittelten Transitzeiten von bis zu 14 Minuten. Eine eingeschränkte Durchgängigkeit im Bereich der Tränenpünktchen und Canaliculi kann mit diesem Test aber verborgen bleiben, vor allem dann wenn das obere Tränenpünktchen oder –kanälchen betroffen ist (WALDE et al. 2008). Der Grund dafür ist, dass der Farbstoff

auch bei nur einem passierbaren Tränenpüktchen in die Nasenhöhle gelangen kann und dieser Test von nichtquantitativer Natur ist.

Dieses Verfahren kann zudem häufig zu falsch negativen Ergebnissen führen (GIONFRIDDO 2003, PETERSEN-JONES und STANLEY 2009). In solchen Fällen erreicht der Farbstoff den Nasenvorhof, trotz eigentlich durchgängiger Tränenwege, nicht. Die Ursache ist beispielsweise ein Tränennasengang, der vor dem Ostium nasolacrimale mit der Nasenhöhle (akzessorische Öffnung) kommuniziert (MILLER 2008) oder auch durch entropionierte Lider verschlossene Tränenpüktchen (PETERSEN-JONES und STANLEY 2009). Besonders für brachycephale Hunde erwies sich dieses Untersuchungsverfahren als wenig aussagekräftig (BINDER und HERRING 2010).

### **2.6.3 Sondierung und Spülung des tränenableitenden Systems**

Das obere oder das untere Tränenkanälchen werden mit einer Metallsonde oder einem flexiblen Katheter sondiert (GIONFRIDDO 2003, WALDE et al. 2008). Die Applikation eines Lokalanästhetikums ist erforderlich. Die Spülung des tränenableitenden Systems erfolgt beispielsweise mit iodhaltiger Lösung oder physiologischer Kochsalzlösung (GIONFRIDDO 2003, PETERSEN-JONES und STANLEY 2009). Die vollständige Durchgängigkeit beider Tränenkanälchen kann überprüft werden, indem durch Druck auf die Tränensackregion während des Spülvorgangs das Abfließen über den Tränennasengang verhindert wird und die Spüllösung über das nicht sondierte Tränenkanälchen entweicht. Auf diese Weise wird beispielsweise die Atresie eines der Tränenpüktchen erkennbar. Hierbei wölbt sich die Schleimhaut über dem atretischen Punkt durch den Spüldruck deutlich vor (WALDE et al. 2008).

Aus der Nasenöffnung austretende Spülflüssigkeit beweist die Durchgängigkeit des TNG. Der Kopf sollte dabei so positioniert werden, dass die Nase sich unterhalb der Augen befindet, um ein Abfließen aus den Nares zu ermöglichen (PETERSEN-JONES und STANLEY 2009).

Die Sondierung und Spülung erlaubt im Unterschied zum Jones Test (siehe Abschnitt 2.6.2), eine differenziertere Ermittlung der Durchgängigkeit der einzelnen Komponenten des tränenableitenden Systems. Besonders aussagekräftig ist die Kombination des Jones Testes mit der Spülung. Passiert der Farbstoff Fluoreszein die Tränenwege nicht, während die Spülflüssigkeit nach Sondierung problemlos austritt, kann auf funktionelle Einschränkungen im Bereich der Tränenpüktchen und des physiologischen Abflusses

geschlossen werden (PETERSEN-JONES und STANLEY 2009). Diese Situation kann regelmäßig bei Hunderassen mit nasalem Entropium des Unterlides gesehen werden. Das eingerollte Lid engt das Lumen der Tränenpunkte und –kanälchen ein (PETERSEN-JONES und STANLEY 2009).

#### **2.6.4 Darstellung mithilfe bildgebender Verfahren**

Die klinische Untersuchung der Tränenwege erlaubt nur eine Beurteilung der von außen zugänglichen Anteile. Sie ist auf Informationen über deren Durchgängigkeit beschränkt. Genauere Aussagen über Art und Lokalisation einer Pathologie sind nur mithilfe von bildgebenden Verfahren realisierbar. Diese ermöglichen die dafür notwendige Visualisierung des gesamten Systems. Neben den im klinischen Alltag am wachen Patienten leicht durchführbaren Untersuchungsmethoden, sind bildgebende Verfahren ausschließlich in Allgemeinanästhesie möglich.

##### 2.6.4.1 Röntgendarstellung

Bei der Dakryographie (Dakryozystorhinographie, Dakryozystographie, DCG) handelt es sich um die Röntgendarstellung des tränenableitenden Systems mithilfe eines Kontrastmittels (GELATT et al. 1972, KÜPPER 1973). Die DCG war die erste Untersuchungsmethode zur Diagnostik von Pathologien in diesem Bereich (NYKAMP et al. 2004, RACHED et al. 2011) und fand dort breite Anwendung vor allem bei Patienten mit Epiphora (MUNK et al. 1989). Zu Beginn des 20. Jahrhunderts erfolgte die Erstbeschreibung beim Menschen, die Einführung in die Tiermedizin schloss sich 1961 an (GELATT et al. 1972, KÜPPER 1973). Diese Methode erlaubt die Erkennung von akzessorischen Öffnungen, Stenosen beziehungsweise Obstruktionen, Dilatationen, Deviationen, Agenesien, Fisteln oder Neoplasien (GELATT et al. 1972, KÜPPER 1973, MUNK et al. 1989). Nach Applikation eines viskösen Kontrastmediums in das obere Tränenkanälchen (GELATT et al. 1972) bis zum Austritt desselben aus den Nasenöffnungen, werden Aufnahmen im laterolateralen sowie dorsoventralen Strahlengang (GELATT et al. 1972) angefertigt. Limitierend sind bei dieser Untersuchungsmethode vor allem die zahlreichen strukturellen Überlagerungen im Schädelbereich und der kleine Durchmesser der tränenableitenden Wege, die die Auswertbarkeit erheblich beeinträchtigen (LOSONSKY et al. 1997, NYKAMP et al. 2004).

In der Humanmedizin findet die DCG in der Subtraktionstechnik häufige Anwendung (WILHELM et al. 1997). Diese sogenannte Digitale Subtraktions-Dakryozystographie (DS-DCG) wird an einer computerassoziierten Röntgenanlage durchgeführt, die eine Subtraktion der dargestellten Knochenanteile gegenüber der Kontrastmittelfüllung vornehmen kann (WILKE 2008). Der Vorteil liegt also, im Vergleich zur herkömmlichen DCG, in der überlagerungsfreien Visualisierung des tränenableitenden Systems (WILHELM et al. 1997). Eine Echtzeitsubtraktion erlaubt die Kontrolle der fortschreitenden Kontrastierung am Monitor während der Injektion und damit die dynamische Untersuchung der Tränenwege. Somit kann präzise zwischen prä-, intra- und postsakkalen Tränenwegsstenosen einerseits sowie zwischen kompletten, inkompletten und funktionellen Stenosen andererseits differenziert werden (WALTHER et al. 1994).

#### 2.6.4.2 Computertomographische Darstellung

Die Visualisierung der tränenableitenden Strukturen mit transversalen Schnittbildverfahren (Computertomographie) unter Einsatz von Kontrastmitteln findet beim menschlichen Patienten als sogenannte CT-Dakryozystographie (CT-DCG) routinemäßig Anwendung. Sie dient der Diagnostik chronischer Epiphora, von Massen im Tränennasengang, nasalen Kanthustumoren, bei Gesichtstraumata und wird vor chirurgischen Eingriffen eingesetzt (ASHENHURST et al. 1991, NYKAMP et al. 2004, UDHAY et al. 2008).

Mithilfe der CT ist der Informationsgewinn deutlich größer als mit herkömmlicher Röntgendiagnostik (LOSONSKY et al. 1997). Dies liegt zum einen an der Visualisierbarkeit innen liegender Strukturen und zum anderen an der Möglichkeit, Gewebedichten zu erkennen und zu differenzieren (KUEHN 2006). Diese Gewebedichten, angegeben in Hounsfield Units (HU), ergeben sich aus der Abschwächung der Röntgenstrahlenenergie bei der Passage verschiedener Gewebe (KUEHN 2006). Zusätzlich ermöglicht das digitale Format eine optimale Ausnutzung der erhaltenen Detailinformationen durch die Möglichkeit der Nachbearbeitung von Helligkeit und Kontrast sowie der Verwendung verschiedener Rekonstruktionsalgorithmen (LOSONSKY et al. 1997, KUEHN 2006). Der hohe diagnostische Wert der CT bei der Erkennung von intranasalen Erkrankungen wurde bereits mehrfach dokumentiert (LOSONSKY et al. 1997, SAUNDERS et al. 2003).

Im veterinärmedizinischen Bereich beschreiben Nykamp et al. 2004 erstmals die CT-DCG bei Hund, Katze und Pferd. Es folgen detaillierte Untersuchungen dieser Art durch NOELLER et al. 2006 bei der Katze sowie beim Hund durch RACHED et al. 2011. Diese

Untersuchungsmethode liefert zahlreiche Informationen über die umfangreichen knöchernen Begrenzungen des tränenableitenden Systems und erlaubt so eine differenzierte und weitreichende Einschätzung anatomischer und pathologischer Zustände (RACHED et al. 2011). Besonders kleinere Strukturen der tränenableitenden Wege wie die Tränenkanälchen können konstant in der CT-DCG im Unterschied zur DCG visualisiert und beurteilt werden (RACHED et al. 2011).

Ein weiterer großer Vorteil der CT-DCG verglichen mit der DCG liegt in der Möglichkeit der dreidimensionalen Bildrekonstruktion (RACHED et al. 2011). Diese ermöglicht eine farbige Darstellung, die eine sehr gute Unterscheidung zwischen Knochen und umgebendem Weichteil gewährleistet. Außerdem ist sie vorteilhaft bei der Einschätzung von Lagebeziehungen zwischen Strukturen wie Oberkiefercaninuswurzel und Tränennasengang, Fossa sacci lacrimalis und Saccus lacrimalis sowie Plica alaris und Ostium nasolacrimalis (RACHED et al. 2011). Die Schwäche der Darstellung im dreidimensionalen Raum liegt in der teilweise nur mäßigen Beurteilbarkeit der Canaliculi (RACHED et al. 2011). Die CT-DCG gilt als nützliche diagnostische Untersuchungsmethode für das tränenableitende System und kann besonders in Kombination mit der dreidimensionalen Rekonstruktion präoperative Planungsvorgänge optimieren (RACHED et al. 2011).

Da diese Untersuchungsmethode die Grundlage für die vorliegende Arbeit ist, soll auf die Literaturangaben über Patientenlagerung und Kontrastmittelanwendung genauer eingegangen werden.

#### 2.6.4.2.1 Lagerung des Patienten für die CT-Dakryozystographie

Die Patienten werden im Computertomographen in Brust-Bauch-Lage platziert (LOSONSKY et al. 1997, NYKAMP et al. 2004, NÖLLER et al. 2006, RACHED et al. 2011). Der harte Gaumen ist dabei parallel zum Tisch orientiert. Diese Art der Lagerung ermöglicht im Gegensatz zur Rückenlage, eine einfache Sondierung des oberen oder unteren Tränenkanälchens für die Kontrastmittelapplikation (NYKAMP et al. 2004, RACHED et al. 2011).

Die ausgewählten Schichtdicken variierten bei NYKAMP et al. (2004) zwischen zwei und vier Millimetern in Abhängigkeit von der Größe des Patienten im transversalen Strahlengang. Lagerung und Schichtdicke entsprechen so den Empfehlungen in den von HENNINGER und PAVLICEK (2001) erstellten standardisierten Untersuchungsprotokollen für

die computertomographische Untersuchung der Nase und ihrer Nebenhöhlen des Hundes. In diesen Protokollen werden die Scanparameter der Gewichtsklasse des untersuchten Tieres angepasst (HENNINGER und PAVLICEK 2001b). In einer neueren Untersuchung wird eine Schichtdicke von 0,8 Millimetern in Kombination mit einem mAs-Produkt von mindestens 50 gewichtsunabhängig empfohlen (RACHED et al. 2011).

Die Projektion der Röntgenstrahlung erfolgt senkrecht zum harten Gaumen (HENNINGER und PAVLICEK 2001b, RACHED et al. 2011). Bei einer Untersuchung an Katzen erwies sich der zum harten Gaumen senkrecht gerichtete Strahl als nachteilig. Er wird bei dieser Tierart im Unterschied zum Hund senkrecht zum Nasenbein orientiert (NÖLLER et al. 2006). Ein direkter Vergleich dieser beiden Projektionsarten für die Visualisierung der Tränenkanälchen und des Tränensacks beim Hund erbrachte, dass bei dieser Tierart der transversale Strahlengang dem schräg zum Palatum durum verlaufenden deutlich überlegen ist (RACHED et al. 2011). Bei der Darstellung der übrigen Anteile des tränenableitenden Systems zeigten sich keine Unterschiede zwischen diesen beiden Projektionsarten beim Hund (RACHED et al. 2011). Die nun in der transversalen Ebene gewonnenen Daten können im Nachhinein zusätzlich in der sagittalen, dorsalen sowie schrägen Reformation betrachtet werden (LOSONSKY et al. 1997).

#### 2.6.4.2.2 Kontrastmitteleinsatz in der CT-Dakryozystographie

Durch die Verwendung von Röntgenstrahlen liegt die Schwäche der CT in der Darstellung von Weichteilkontrasten. Aus diesem Grund ist der Einsatz von Kontrastmitteln ein hilfreiches Instrument (HENNINGER und PAVLICEK 2001a, NYKAMP et al. 2004). Sie bringen Vorteile bei der Differenzierung normalanatomischer von pathologischen Strukturen sowie bei der Abgrenzung pathologischer Veränderungen gegen ihre Umgebung (HENNINGER und PAVLICEK 2001a).

Die kontrastmittelfreie CT-Untersuchung des Tränenapparates lässt durch die Darstellung von **potenziellen** Hindernissen wie beispielsweise Frakturen, lediglich einen Rückschluss auf den **möglichen** Ort der Obstruktion, nicht aber eine direkte Bestimmung der Obstruktionsstelle selbst zu (RUSSELL et al. 1985). Da die Tränenwege über weite Strecken knöchern umgeben sind, können sie mit ausreichend Übung auch ohne die Verwendung eines Kontrastmittels beurteilt werden (NÖLLER et al. 2006). Die Vorteile der kontrastmittelgestützten Untersuchung aber liegen in der Bestimmbarkeit von Form, Ausdehnung, Begrenzung und Durchmesser der tränenableitenden Wege. Außerdem

sind Dilatationen, Strikturen und Massen in diesem Bereich besser erkennbar (NÖLLER et al. 2006).

Den größten Informationsgewinn bringt die Kombination von herkömmlicher CT-Untersuchung und ihrer kontrastmittelassoziierten Form (CT-DCG) (UDHAY et al. 2008). Die Abgrenzung von Kalzifikationen wie Dakryolithen sowie die korrekte Einschätzung knöcherner Läsionen setzt in jedem Fall ein kontrastmittelfreies Vergleichs-CT voraus (UDHAY et al. 2008).

Im Zusammenhang mit der Kontrastmittelanwendung beim Menschen werden teilweise Missempfindungen in Form von Brennen und unangenehmem Geschmack während und kurz nach der Applikation beschrieben. Häufigkeit und Intensität sind hierbei von der Art des gewählten Kontrastmittels abhängig. Sie werden besonders oft bei wasserlöslichen Substanzen mit hohen Iodkonzentrationen wie zum Beispiel Iopamidol in einer Konzentration von 300 mg Iod/ml beobachtet (MUNK et al. 1989). Öl-basierte Kontrastmittel wie Lipiodol werden als weniger irritierend beschrieben. Treten sie aber bei entzündlichen oder postoperativen Zuständen aus dem tränenableitenden System aus, können sie granulomatöse Entzündungsreaktionen auslösen und zeigen lange Persistenz im Gewebe (MUNK et al. 1989, UDHAY et al. 2008).

In der humanmedizinischen Anwendung wird die tropfenförmige Applikation in den Konjunktivalsack der Sondierung vorgezogen. Auf diese Weise kann die iatrogene Verletzungsgefahr reduziert, ein physiologischerer Abfluss erreicht und Artefakte durch die platzierte Sonde vermieden werden. Außerdem ist hier die wesentlich höhere Akzeptanz von Vorteil und die Methode kann in der Regel selbst bei Kindern ohne vorherige Sedation und ohne speziell geschultes Personal für die Sondierung angewendet werden (UDHAY et al. 2008). Öl-basierte Kontrastmittel sind hier ungeeignet, da ihre erhöhte Viskosität die direkte Applikation in den Bindehautsack unpraktikabel macht und die fehlende Mischbarkeit mit der Tränenflüssigkeit Artefakte erzeugen kann (UDHAY et al. 2008). NYKAMP und Mitarbeiter (2004) konnten keine kontrastmittelassoziierten Nebenwirkungen bei den in Allgemeinanästhesie untersuchten Tieren feststellen. Als Kontrastmittel haben sich für die tiermedizinische Anwendung entweder ein iodhaltiges Medium (NYKAMP et al. 2004, RACHED et al. 2011) oder Bariumsulfat (NÖLLER et al. 2006) als geeignet erwiesen. NYKAMP und Mitarbeiter (2004) beschreiben eine kontinuierliche Instillation von Kontrastmittel, GELATT et al. (1972) den Gebrauch eines ölbasierten und somit visköseren Kontrastmittels, um einen ausreichenden Verbleib innerhalb der trä-



nenableitenden Wege während der gesamten Untersuchung zu gewährleisten. SCHLUETER und Mitarbeiter (2009) applizieren eine Mischung aus iodhaltigem Kontrastmittel mit einem hochviskösen methylzellulosehaltigen Präparat im Verhältnis 1:1, um die Transitdauer soweit zu verlängern, dass während der gesamten Untersuchungszeit die tränenableitenden Wege ausreichend mit Kontrastmedium gefüllt bleiben.

MUNK und Mitarbeiter (1989) beschreiben den Einfluss der Viskosität nicht nur auf die Verweildauer im Tränennasengang, sondern auch deren Bedeutung für die Bildqualität. Ein zu visköses Kontrastmittel kann demnach eine schlechtere Füllung und ein schlechteres Detail bedingen, da kein vollständiger Eintritt in Schleimhautfalten und kleine Öffnungen möglich ist.

Die benötigte Menge an Kontrastmittel lag bei den bisher durchgeführten CT-DCGs bei ein bis zwei Millilitern (NYKAMP et al. 2004, RACHED et al. 2011). RACHED und Mitarbeiter (2011) ebenso wie NYKAMP und Mitarbeiter (2004) injizieren das Kontrastmedium solange, bis dieses aus den Nasenöffnungen austritt und ermitteln auf diese Weise die adäquate Menge.

#### 2.6.4.3 Magnetresonanztomographie

Die Untersuchung der tränenableitenden Wege mithilfe der Magnetresonanztomographie (MR-DCG) birgt vor allem in der Humanmedizin einen wesentlichen gesundheitlichen Vorteil gegenüber der DCG und CT-DCG in sich- es tritt keine ionisierende Strahlenbelastung für die Linse auf (WILHELM et al. 1997, HOFFMANN et al. 1999, MANFRE et al. 2000). Die MRT-basierte Darstellung leistet gute Dienste bei der Einschätzung des die tränenableitenden Wege umgebenden Weichteilgewebes. Dieses findet besonders bei der DCG wenig Berücksichtigung (HOFFMANN et al. 1999, KIRCHHOF et al. 2000, MANFRE et al. 2000). Diese Methode eignet sich zur Differenzierung von Massen im Tränensack wie Tumoren, Dakryolithen und Mucocelen (HOFFMANN et al. 1999).

Die unbefriedigende Darstellung des Knochens ist, neben dem hohen Kostenaufwand (HOFFMANN et al. 1999) und den langen Untersuchungszeiten (WILHELM et al. 1997), ein wesentlicher limitierender Faktor für die routinemäßige Anwendung. Knöcherne Stenosen und Atresien sowie intraluminale Knochenfragmente sind nicht ohne weiteres diagnostizierbar (HOFFMANN et al. 1999, MANFRE et al. 2000).

Ein gadoliniumbasiertes Kontrastmittel kann in den Konjunktivalsack eingetropfelt werden (WILHELM et al. 1997, HOFFMANN et al. 1999) und ist sehr gut verträglich (MANFRE et

al. 2000). Außerdem erlaubt diese Form der Kontrastmittelapplikation Aussagen über die Funktionalität der tränenableitenden Wege (HOFFMANN et al. 1999). Die MRT-Dakryozystographie bietet nach lokaler Applikation gadoliniumhaltiger Augentropfen nicht nur die morphologische Beurteilung des Tränenapparates und der umgebenden Weichteilstrukturen. Sie erlaubt auch eine funktionelle Einschätzung des Schweregrades der Epiphora, da hier der Tränen- beziehungsweise Kontrastmitteltransport unter physiologischen Bedingung erfolgt und dargestellt wird (WILHELM et al. 1997).

Die MRT-Untersuchung bleibt ausgewählten Fragestellungen wie sie beispielsweise bei kongenitalen Veränderungen, Rekonstruktionsplanung nach Trauma oder Tumorverdacht auftreten, vorbehalten (WILHELM et al. 1997, HOFFMANN et al. 1999). Eine besondere Indikation zur Anwendung der Kernspintomographie stellt der Verdacht auf eine Obstruktion im Bereich der Tränenkanälchen dar, da dieser Bereich bei der DCG in der Regel mit Sonden überbrückt wird und somit nicht adäquat beurteilbar ist (UEHARA und OHBA 2002).

RACHED und Mitarbeiter (2007) zeigten in einer Vergleichsuntersuchung von CT-DCG und MR-DCG an Hunden eine höhere Zuverlässigkeit der CT-Untersuchung bei der Darstellung der tränenableitenden Strukturen. Beide Verfahren haben sich aber als geeignete Techniken zur Evaluierung des tränenableitenden Systems herausgestellt. Für die Beurteilung der umgebenden Weichteilstrukturen bestätigt diese Studie ebenso wie humanmedizinische Untersuchungen, die Überlegenheit der MRT. Der erhöhte Zeitaufwand wiegt in der tiermedizinischen Anwendung im Vergleich zur Humanmedizin besonders schwer, da die Untersuchung ausschließlich in Allgemeinanästhesie durchführbar ist und somit eine erhebliche Verlängerung der Narkosedauer notwendig wird.

#### 2.6.4.4 Ultraschalluntersuchung

Die Ultraschalluntersuchung im Bereich der Augen dient in der *Tiermedizin* vor allem der Beurteilung des Augapfels sowie des Retrobulbärraums (GIONFRIDDO 2003). In der *Humanmedizin* ist die Sonographie im A- und B-Mode-Verfahren als nicht-invasive, schmerzlose Möglichkeit zur Diagnostik der tränenableitenden Wege beschrieben (DUTTON 1989, JEDRZYNSKI und BULLOCK 1994). Vermutete Abflusshindernisse lassen sich durch die Darstellung eines dilatierten Saccus lacrimalis bestätigen. Auch entzündliche Exsudate und Strukturveränderungen bei akuter und chronischer Dakryo-

zystitis sowie Dakryozelen sind eindeutig visualisierbar. Diese Methode eignet sich besonders gut zur Anwendung bei Kindern, da sie keiner Sedation bedarf (DUTTON 1989). Die Aussagekraft der Sonographie in diesem Bereich ist aber limitiert auf grobe anatomische Abnormitäten, wobei die funktionelle Integrität der Tränenwege verborgen bleibt (DUTTON 1989, JEDRZYNSKI und BULLOCK 1994). Obstruktionen sind nicht exakt lokalisierbar. Die Tränenkanälchen können nur bei hochgradiger Dilatation visualisiert werden, deshalb bedürfen kombinierte Obstruktionen von Tränennasengang und Kanälchen anderer diagnostischer Verfahren (DUTTON 1989). Trotzdem eignet sich der Ultraschall in der Humanmedizin als sinnvolles Zusatzdiagnostikum in Verbindung mit der klinischen Untersuchung und gegebenenfalls anderen bildgebenden Verfahren (JEDRZYNSKI und BULLOCK 1994).

Während der menschliche Tränennasengang in seiner Gesamtheit darstellbar ist (DUTTON 1989), limitiert der dichte Knochen, der große Teile des tränenableitenden Systems umgibt, die Anwendung der Sonographie in der Tiermedizin (GIONFRIDDO 2003). Zusätzlich führt die beim Tier notwendige Gesichtsrasur zur eingeschränkten Nutzbarkeit im veterinärmedizinischen Bereich (GIONFRIDDO 2003).

#### 2.6.4.5 Endoskopie

Bei der endoskopischen Untersuchung der tränenableitenden Wege können zwei Methoden unterschieden werden. Bei der lakrimalen Endoskopie oder Dakryoendoskopie (WILKE 2008) wird das Endoskop direkt in die Tränenwege eingeführt. Bei der nasalen Endoskopie werden äußerlich die Anteile der Tränenwege durch die Nase inspiziert.

Die **Dakryoendoskopie** wird in der *Humanmedizin* angewendet, um Obstruktionen genau zu lokalisieren und die geeignete Therapieoption zu wählen (MÜLLNER et al. 1999). Mit minimalisierten Endoskopen, die einen Außendurchmesser von weniger als einem halben Millimeter aufweisen, können die Tränenwege von den Canaliculi, über den Tränensack und den Tränennasengang bis in die Nase mit guter Bildqualität visualisiert werden (MÜLLNER et al. 1999). Dieses Verfahren ist eine wenig invasive Methode, um Obstruktionen direkt zu sehen und präzise zu lokalisieren. Es erlaubt partielle von vollständigen Verschlüssen zu unterscheiden, entzündliche Sekrete und Debris von echten Stenosen abzugrenzen und ermöglicht die Wahl der adäquaten chirurgischen oder nicht-chirurgischen Therapie (MÜLLNER et al. 1999). Die lakrimale Endoskopie wird unter Lokalanästhesie mit einer Kombination aus Augentropfen und perikanalikulär und peri-

sakkal appliziertem Xylocain gut toleriert und bedarf nicht zwingend einer Allgemeinanästhesie. Schnelle und effektive Methoden zur Durchgängigkeitsprüfung wie die Fluoreszeintestung und Spülung der tränenableitenden Wege können durch die Endoskopie nicht ersetzt aber sinnvoll ergänzt werden (MÜLLNER et al. 1999).

Die **nasale Endoskopie** wird in der *Humanmedizin* vor allem zur Erkennung und Behandlung der zumeist angeborenen Stenosen der distalen Anteile des Tränennasengangs genutzt und dient dazu, sie von nasalen Abnormitäten zu unterscheiden (MACEWEN et al. 2001). Hierfür werden 2,7-Millimeter- oder 4-Millimeter-Endoskope genutzt (INGELS et al. 1997, GARDINER et al. 2001). Bei der herkömmlichen Methode zur Behebung von Stenosen werden die Tränenwege sondiert und verschlossene Anteile eröffnet. Dabei wird die Sonde über die Tränenkanälchen bis in den Endteil des Tränennasengangs vorgeschoben. Die nasale Endoskopie ergänzt dieses Verfahren durch die direkte Visualisierung der Sonde. Auf diese Weise kann deren Position und Austrittsstelle beeinflusst und so die Schaffung von falsch lokalisierten Öffnungen vermieden und infolgedessen die Prognose verbessert werden (INGELS et al. 1997, MACEWEN et al. 2001). Als vorteilhaft erweist sich die nasale Endoskopie vor allem im pädiatrischen Bereich beim Management der neonatalen Dakryozystitis und intranasalen Tränennasengangzysten (GARDINER et al. 2001).

In der *Veterinärmedizin* haben WHITE und Mitarbeiter (1984) den Nutzen der nasalen Endoskopie zur Diagnose und Behandlung von zystischen Obstruktionen des tränenableitenden Systems bei Hunden beschrieben. Es ist ihnen gelungen mithilfe des Endoskops zystische Läsionen zu sehen und zu fistulieren. Zusätzlich kann die Rhinoskopie nützlich bei der Erkennung und Entfernung von Fremdmaterial oder Dakryolithen in den Tränenwegen sein (SINGH et al. 2004, CASSOTIS und SCHIFFMAN 2006).

## 3 MATERIAL UND METHODEN

### 3.1 Untersuchte Tiere

Untersucht wurden 51 Hunde dreier brachycephaler Rassen, davon 23 Tiere der Rasse Mops, 18 Französische Bulldoggen und zehn Englische Bulldoggen. Die Tiere stammen aus dem Patientengut der Klinik für Kleintiere der veterinärmedizinischen Fakultät der Universität Leipzig. Sie wurden im Zeitraum Oktober 2008 bis April 2011 zur Diagnostik und Therapie des Brachycephalen Atemnotsyndroms vorgestellt.

Die durchgeführten CT-Dakryozystographien ergänzten die streng indikationsgebundene computertomographische Diagnostik des Brachycephalensyndroms in Allgemeinanästhesie. Die Beseitigung der zahlreichen Stenosen der Atemwege kurznasiger Hunderassen erfordert häufig eine umfangreiche chirurgische Intervention. Dabei werden obstruierende Nasenmuscheln laserassistent entfernt (LATE Laserassistierte Turbinektomie) und ein zu enger Naseneingang regelmäßig chirurgisch erweitert (Ala- und Vestibuloplastik) (OECHTERING et al. 2005). Ein wesentlicher Bestandteil der LATE-Operation ist die Resektion der Concha nasalis ventralis, unter der ein Teil des TNG verläuft. Außerdem liegt im Vestibulum nasi, das ebenfalls häufig umfangreiche chirurgische Korrekturen erfordert, die Mündungsstelle des Tränengangs, das Ostium nasolacrimale. Die hier durchgeführten CT-Dakryozystographien hatten zum Ziel, Aufschluss über mögliche Traumatisierungen der Tränenwege im Rahmen der chirurgischen Therapie des Brachycephalen Atemnotsyndroms und deren Folgen zu geben. Von Interesse war hier besonders die präoperative Einschätzung von Resektionsgrenzen bei der LATE und der Vestibuloplastik. Die in diesem Zusammenhang gewonnenen Daten dienen der weiterführenden Untersuchung anatomischer und funktioneller Besonderheiten der Tränenwege brachycephaler Hunderassen in der vorliegenden Arbeit.

Der Vergleich erfolgt mit normozephalen Hunden. Diese Gruppe setzt sich zusammen aus einem Cairn Terrier, einem Beagle, einem Bearded Collie, einem Rhodesian Ridgeback sowie zwei Mischlingen. Die CT-DCG-Datensätze von fünf dieser sechs Hunde lagen bereits vor und sind im Rahmen einer vorhergehenden Studie entstanden (RACHED et al. 2011). Diese Tiere sind aus studienunabhängigen Gründen euthanasiert worden. Die CT-DCG ist innerhalb von 24 Stunden nach Euthanasie erfolgt. Diese Untersuchungen fanden im Zeitraum Januar bis März 2007 statt. Ein Mischlingsrüde wurde

im Rahmen einer CT-Kniegelenksuntersuchung wegen rezidivierender Epiphora zusätzlich einer CT-Untersuchung der Tränenwege unterzogen. Die Tränenwege stellten sich normalanatomisch dar und gehen in die vorliegende Studie ein.

Pathologische Zustände der Augen, in deren Folge es zu einer Verlegung der tränenableitenden Wege kommen kann, werden als Ausschlusskriterium definiert. Das inkludiert vor allem entzündliche Erkrankungen der Konjunktiva (eitrige Konjunktivitis) und tränenableitenden Wege sowie Veränderungen, die Hinweise auf Verwachsungen der Tränenwege geben. Zusätzlich werden Tiere mit fehlenden Oberkiefercanini sowie Tiere, die bereits eine LATE (Laserassistierte Turbinektomie) (OECHTERING et al. 2005) erfahren haben, nicht in die Untersuchungen dieser Arbeit einbezogen. Der abgeschlossene Zahnwechsel ist ebenfalls eine Voraussetzung.

*Tabelle 1 Anzahl, Rasse-, Geschlechts- und Altersverteilung der untersuchten Tiere*

Rasse	Anzahl	Männlich	Weiblich	Alter in Mo. (Q50)
Französische Bulldogge	18	13	5	26 (10-108)
Englische Bulldogge	10	4	6	30 (11- 58)
Mops	23	14	9	38 (10-105)
Brachyzepale gesamt	51	31	20	31 (10-108)
Normozepale	6	3	3	148 (20-168)

### 3.2 Durchführung der CT-DCG

Die CT-Dakryozystographie wird in Allgemeinanästhesie durchgeführt. Für die intravenöse Narkoseeinleitung wird Diazepam in einer Dosierung von 0,5 mg/kg und Levomethadon in einer Dosierung von ebenfalls 0,5 mg/kg verwendet. Die Narkoseerhaltung findet entweder in Form einer Injektionsanästhesie mit Ketamin (3 mg/kg) und Xylazin (0,3 mg/kg) oder als Inhalationsnarkose mit Isofluran nach Intubation statt. Die gewählte Art der Narkoseerhaltung ist abhängig von der, der Diagnostik zugrunde liegenden Erkrankung sowie dem Gesundheitszustand des Patienten. Während der Narkose wird der Patient standardmäßig mit Pulsoxymetrie, Pulsplethysmographie, Kapnometrie und Elektrokardiographie überwacht. Da die Diagnostik des Brachyzephalen Atemnotsyndroms beim intubierten Patienten durch unzureichende Aussagen über Pharynx, Larynx und Trachea eingeschränkt wird, erfolgt bei diesen Tieren die Narkoseerhaltung zeitweise,

sofern mit der Patientensicherheit vereinbar, mithilfe der Injektionsanästhesie unter Verzicht auf Intubation.

Wie schon in der Literatur mehrfach für diese Untersuchungsmethode beschrieben (LOSONSKY et al. 1997, NYKAMP et al. 2004, NÖLLER et al. 2006, RACHED et al. 2011), werden die Patienten im Computertomographen in Brust-Bauch-Lage platziert. Der harte Gaumen befindet sich dabei parallel zur Unterlage. Zu diesem Zweck wird eine Lagerungshilfe mit verstellbarer Höhe verwendet. Diese Art der Lagerung ermöglicht im Gegensatz zur Rückenlage, eine einfache Sondierung des oberen oder unteren Tränenkanälchens für die Kontrastmittelapplikation.

Der flexible Teil eines Venenverweilkatheters der Größe G22 ( $\varnothing$  0,9 mm, L 25 mm; Vygonüle T, Vygon GmbH & CoKG, 52017 Aachen, Deutschland) oder G 24 ( $\varnothing$  0,7 mm, L 19 mm; Vygonüle T, Vygon GmbH & CoKG, 52017 Aachen, Deutschland) wird in das obere Tränenkanälchen eingeführt. In Ausnahmefällen (obstruiertes/atretisches oberes Tränenpünktchen) erfolgt die Sondierung über das untere Tränenkanälchen.

Appliziert wird eine Mischung des flüssigen, iodhaltigen Kontrastmittels Iopamidol (Solutrast 250M; Bracco Imaging Deutschland GmbH, 78467 Konstanz, Deutschland oder Imeron 300M; Bracco Imaging Deutschland GmbH, 78467 Konstanz, Deutschland) mit einem hochviskosen methylzellulosehaltigen Präparat (Methocel 2%; OmniVision GmbH, 82178 Puchheim, Deutschland) im Verhältnis 1:1. Die so erzielte Viskositätserhöhung soll die Transitdauer soweit verlängern, dass während der gesamten Untersuchungszeit die tränenableitenden Wege ausreichend mit Kontrastmedium gefüllt bleiben.

Während der Instillation des Methylzellulose-Kontrastmittelgemisches werden die eingeführten Sonden langsam zurückgezogen und vollständig entfernt. RACHED und Mitarbeiter (2011) ebenso wie NYKAMP und Mitarbeiter (2004) injizierten das Kontrastmedium solange, bis dieses aus den Nasenöffnungen austrat und ermittelten auf diese Weise die adäquate Menge. Dieses Vorgehen ist beim brachycephalen Hund nicht möglich, da hier das Kontrastmittel fast nie in den Nasenöffnungen zu sehen ist. Es werden deshalb standardmäßig je nach Tiergröße zwischen ein und zwei Millilitern appliziert.

Die Computertomographie schließt sich mit konstanten Parametern (Röhrenstrom-Zeit-Produkt: 150-200 mAs, Spannung: 120-140 kV, Schichtdicke 0,6-1 mm) im Mehrzeilen-Spiral-CT (PHILIPS Mx8000 Brilliance, 6 Zeilen) an. Um die Strahlenbelastung für den Patienten bei ausreichend guter Bildqualität gering zu halten, wird nicht der Kopf in voller Länge erfasst sondern lediglich der Bereich der Tränenwege. Da der Untersuchung der

Tränenwege direkt die der Nasenhöhle vorausgeht, wurden deren Parameter und Untersuchungsbereich übernommen.

Die CT-DCG der normozephalen Vergleichsgruppe sind auf die gleiche Weise, ebenfalls im Philips-Mehrzeilen-Spiral-CT der Klinik für Kleintiere der Universität entstanden. Folgende CT-Parameter wurden verwendet: Schichtdicke 0,8 oder 2,0 mm, mAs-Produkt 50 oder 300, Spannung konstant 120 kV.



*Abbildung 3-1 Lagerung des Patienten im Computertomographen. Der horizontale Stab der Lagerungshilfe liegt hinter den Oberkiefercanini und hält den Kopf in unterlagenparalleler Ausrichtung. Die Sonden der Größe G24 befinden sich in beiden Canaliculi lacrimales superiores.*



*Abbildung 3-2 Einführung der Sonde über das obere Tränenpünktchen unter Straffung des Oberlides und somit des oberen Tränenkanälchens.*



### 3.3 Auswertung der Datensätze und erfasste Eigenschaften

Mit dem Programm *eFilm 2.1.0 workstation* (Merge Healthcare) werden die CT-Bilder visualisiert und ausgewertet. Dies ist mithilfe von digitalen Rekonstruktionsmechanismen in mindestens drei Ebenen möglich, transversal, sagittal sowie dorsal. Hauptsächlich werden hierbei die transversale und sagittale Ebene genutzt. Eine optimale Kontrastierung der kontrastmittelgefüllten Bereiche wird in der „Knochenfensterung“ erreicht. Die Abbildung 3-3 a-i gibt einen Überblick über die CT-Anatomie des tränenableitenden Systems in der transversalen Schnittebene bei einem brachycephalen Hund.

Messungen und Visualisierungen im dreidimensionalen Raum können mithilfe des Open-Source Bildbearbeitungsprogramms *ImageJ* realisiert werden. Dieses Java-basierte Programm wurde an den National Institutes of Health (NIH) für die medizinische und wissenschaftliche Bildanalyse entwickelt (ABRAMOFF et al. 2004). Eine große Auswahl an Zusatzmodulen und Makrobefehlen ermöglicht eine breite und differenzierte Anwendung. In der vorliegenden Arbeit werden die Zusatzmodule (Plugins) *3D-Viewer*, *5D-Viewer* sowie ein *3D-Winkelmessmodul* verwendet. Berechnungen finden im Tabellenkalkulationsprogramm *Microsoft Office Excel 2003* statt.

Die Auswertung soll beispielhaft vergleichend an den sechs CT-DCG-Daten normozephaler Hunde erfolgen. Die Unterscheidung normozephaler Hunde in meso- und dolichocephale Rassen bleibt unberücksichtigt. Die für einen derartigen Vergleich benötigten und geeigneten Datensätze der CT-Dakryozystographie normozephaler Hunde sind, bis auf eine Ausnahme, während eines Dissertationsvorhabens in der Klinik für Kleintiere der Universität Leipzig bereits entstanden. Sie werden im Rahmen der vorliegenden Studie vollständig neu ausgewertet und Messverfahren unterzogen.

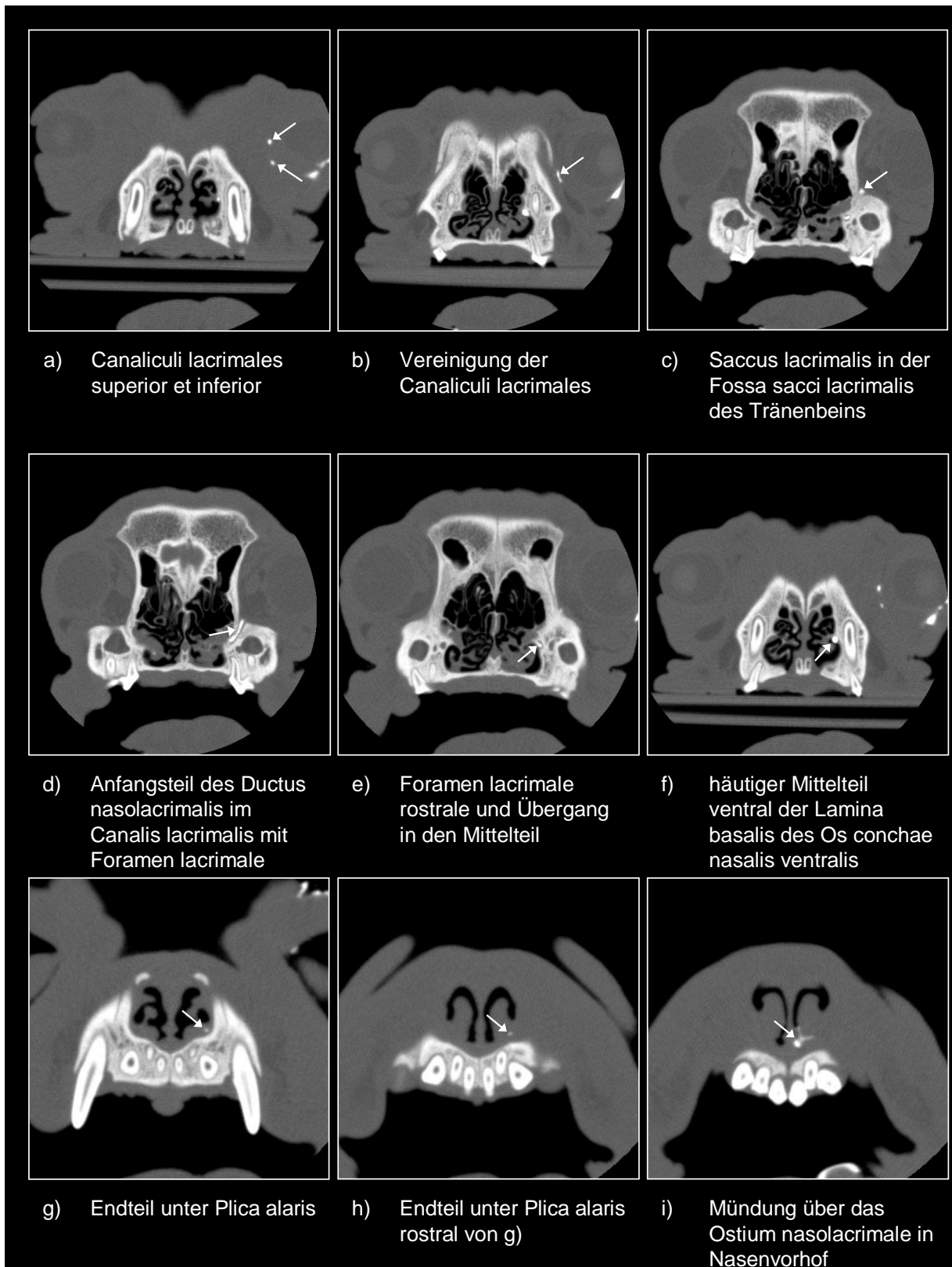


Abbildung 3-3 a-i: Überblick über die einzelnen Abschnitte des kontrastmittelgefüllten tränenableitenden Systems einer Französischen Bulldogge in der transversalen Schnittebene der CT

Die CT-Datensätze werden im Hinblick auf folgende Punkte untersucht:

- 3.3.1 Vollständigkeit der tränenableitenden Strukturen
- 3.3.2 Beschreibung des Verlaufs der einzelnen Abschnitte
- 3.3.3 Dreidimensionale Darstellung
- 3.3.4 Angulation der Tränenwege
- 3.3.5 Räumliche Ausdehnung der Tränenwege
- 3.3.6 Lagebeziehung zwischen Oberkiefercanini und TNG
- 3.3.7 Steigung des TNG
- 3.3.8 Relative Lage von Ostium nasolacrimale und Foramen lacrimale
- 3.3.9 Durchgängigkeit der tränenableitenden Wege
- 3.3.10 Akzessorische Öffnung und Lokalisation
- 3.3.11 Kontrastmittelpassage ab der akzessorischen Öffnung
- 3.3.12 Längenbestimmung der tränenableitenden Wege

### **3.3.1 Vollständigkeit der tränenableitenden Strukturen**

Die Tränenwege sind vollständig, wenn folgende Strukturen vorhanden sind: Puncta lacrimalia superius und inferius, Canaliculi lacrimales superior und inferior, Saccus lacrimalis, Ductus nasolacrimalis und Ostium nasolacrimale. Mitunter kann ein Fehlen eines der beiden Tränenpunkte oder des Tränenkanälchens gesehen werden.

### **3.3.2 Beschreibung des Verlaufs der einzelnen Abschnitte**

Hierbei soll der Verlauf der Tränenwege allgemein und im Verhältnis zu einzelnen Strukturen (z.B. Augen, harter Gaumen) deskriptiv durch Auswertung transversaler CT-Schnittbilder erfasst werden.

### **3.3.3 Dreidimensionale Darstellung**

Mithilfe des Zusatzmoduls *3D-Viewer* des Programms *ImageJ* kann der Verlauf des tränenableitenden Systems ergänzend zur zweidimensionalen Beschreibung, dreidimensional dargestellt werden. Dies ist im Kontext mit seinen umgebenden Strukturen oder losgelöst von ihnen möglich. Dafür muss der 3D-Visualisierung ein aufwendiger sogenannter Segmentierungsvorgang vorangehen, bei dem die Tränenwege in jedem Transversalschnitt manuell farbig markiert werden. Die gesetzten Markierungen können anschließend zusammengefügt in ihrer räumlichen Ausrichtung visualisiert werden. Da die

Houndsfieldeinheiten von Knochen und dem verwandten Kontrastmittel fast ununterscheidbar nahe beieinander liegen, ist eine automatische Segmentierung wie sie beispielsweise bei der Abgrenzung von luftgefüllten Höhlen gegen eine knöcherne Umgebung gut durchführbar ist, nicht möglich.

Diese manuelle, farbige Markierung erfolgt zunächst mithilfe des *Paintbrush Tools* in *ImageJ*. Die Größe dieser kreisförmigen Marker sowie deren Farbe (Farbauswahlfunktion) sind frei wählbar (Abbildung 3-4).

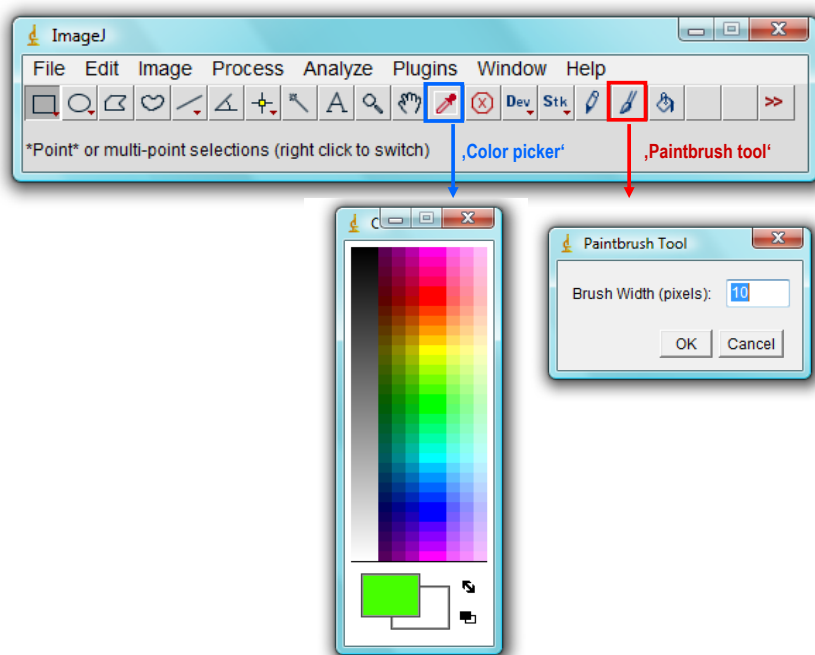
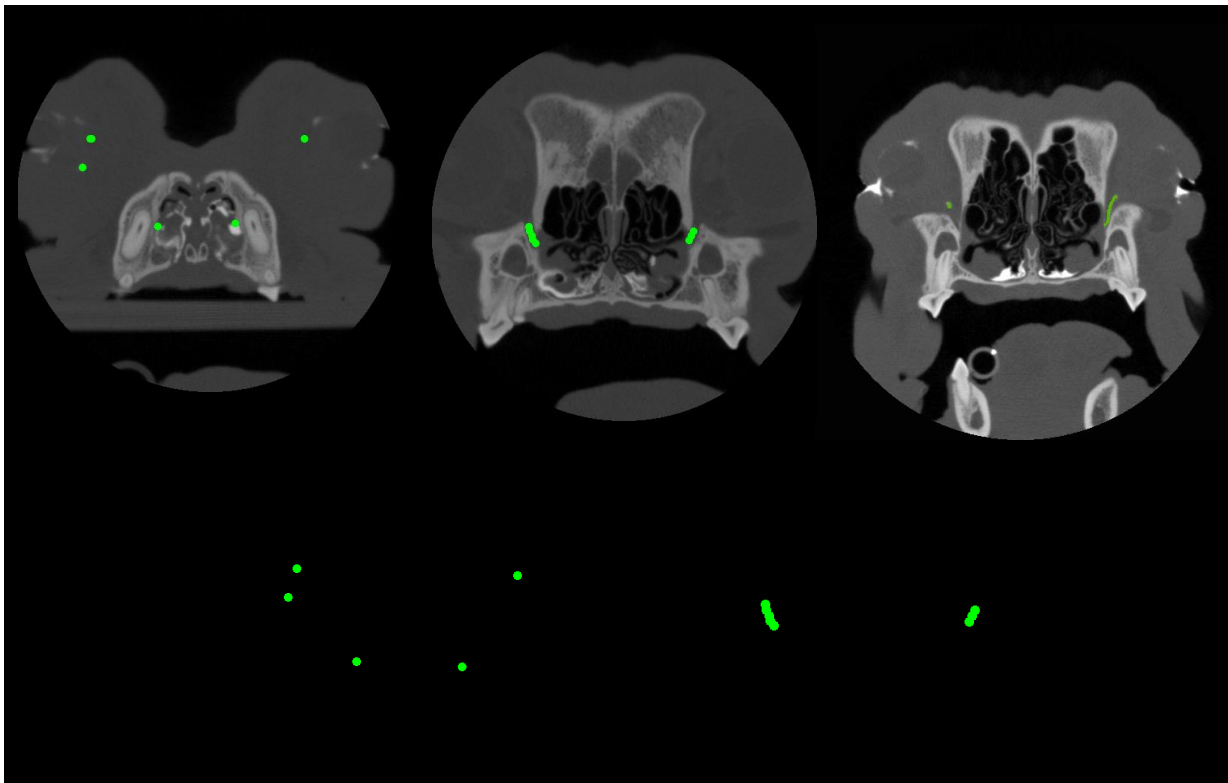


Abbildung 3-4 Benutzeroberfläche von „ImageJ“ für die Segmentierung. Die Größe der gewünschten Markierung ist über das „Paintbrush Tool“ (roter Rahmen) und deren Farbe über den „Color Picker“ (blauer Rahmen) frei wählbar.

Das ursprünglich aus Grautönen bestehende CT-Bild muss zunächst in ein Farbbild umgewandelt werden („RGB-Funktion“). Erst dann können die Markierungen in jedem Bild der Sequenz farbig und gut unterscheidbar gesetzt werden.

Im nächsten Schritt werden alle Farbnuancen, die nicht der Markierung entsprechen (sämtliche Graustufen), entfernt und es bleiben ausschließlich die farbigen Tränenwege übrig (Abbildung 3-5). Hierzu müssen die Farbeinstellungen des Bildes entsprechend variiert werden.



*Abbildung 3-5 Schrittweiser Segmentierungsvorgang in „ImageJ“. Oben sind die farbigen Markierungen der tränenableitenden Wege in ihrem anatomischen Zusammenhang in verschiedenen Schnittbereichen, unten separat nach Entfernung aller Grautöne dargestellt.*

Die Markierungen aller Bilder einer Sequenz können jetzt mithilfe des *3D-Viewers* zunächst separat dreidimensional dargestellt, frei gedreht und bearbeitet werden. Die dreidimensionale Visualisierung der Tränenwege in ihrem anatomischen Zusammenhang gelingt über die Zusammenführung des 3D-Bildes vom Kopf (unmarkiert) und des 3D-Bildes der Tränenwege. Die Trennung und das Wiederausammenfügen von Kopf und Tränenwegen sind unumgänglich, da nur so eine separate Bildbearbeitung möglich ist. In diesem Bildbearbeitungsschritt werden Knochen- und Weichteile in ihrer Transparenz oder wahlweise auch Farbgebung verändert. Nach der Zusammenführung sind die undurchsichtigen, farbintensiven Tränenwege gut durch den transparenten, farbschwachen oder grauen Kopf hindurch sichtbar (Abbildung 3-6).

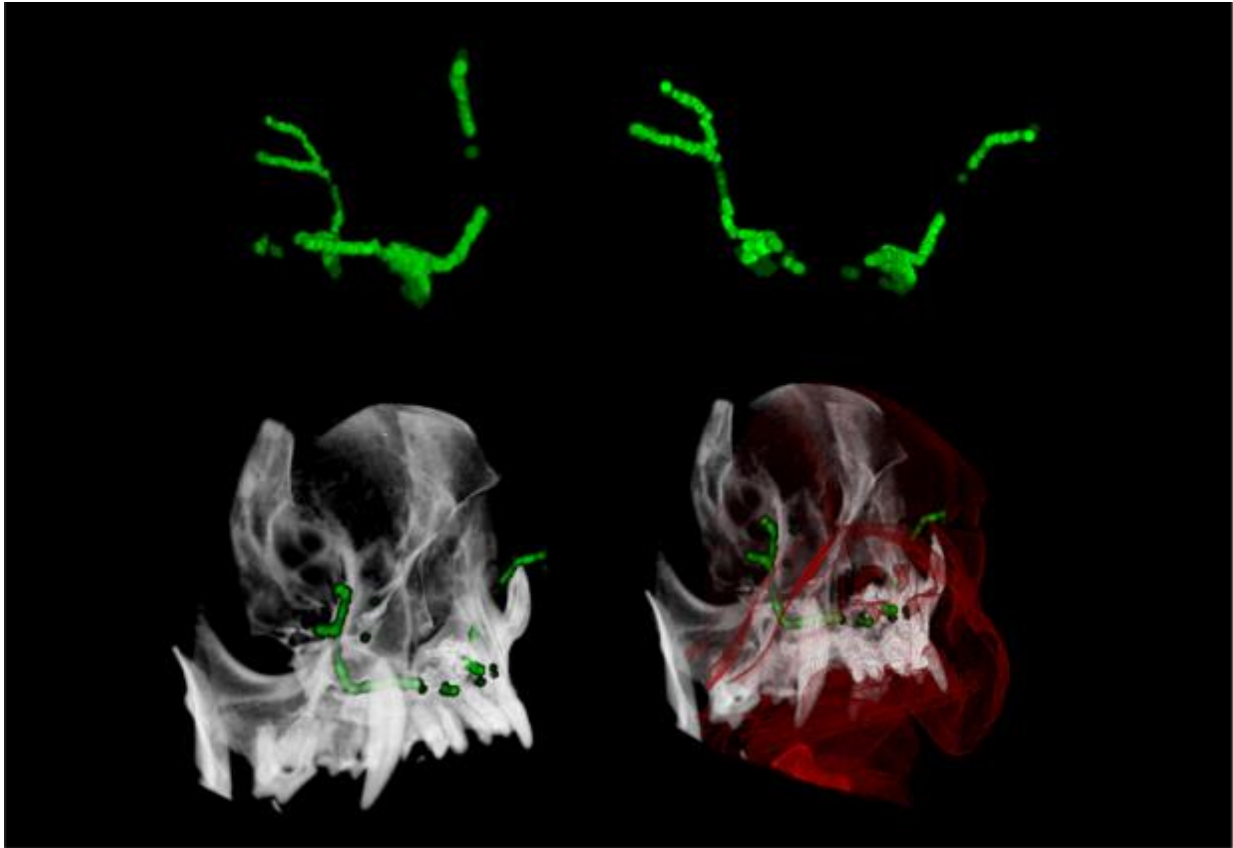


Abbildung 3-6 Dreidimensionale Darstellung der Tränenwege im „ImageJ 3D-Viewer“. Oben sind die Tränenwege einer Französischen Bulldogge separat dreidimensional in zwei verschiedenen Ausrichtungen zu sehen. Unten sind sie nach Zusammenführung mit den bearbeiteten Kopfbildern in ihrem anatomischen Kontext sichtbar, dabei links ohne und rechts mit Weichteilgewebe.

### 3.3.4 Angulation der Tränenwege

Um die Unterschiede im Verlauf der Tränenwege verschiedener Rassen auch metrisch zu charakterisieren, werden mehrere Winkel bestimmt. Winkelmessungen im Raum sind mit der speziellen Funktion *3D-Angle Tool* in *ImageJ* möglich (siehe Abbildung 3-7). Diese Funktion bestimmt den Winkel zwischen drei beliebigen Punkten im dreidimensionalen Raum in Grad, wobei der zweite gewählte Punkt immer als Scheitel definiert wird. Die manuelle Auswahl der Punkte geschieht zwar im zweidimensionalen Schnittbild, die Koordinaten der Punkte werden aber dreidimensional erfasst und für die Winkelberechnung herangezogen. Die Koordinaten und Winkelgrößen werden auch hier in eine Exceltabelle exportiert und stehen dauerhaft zur Verfügung.

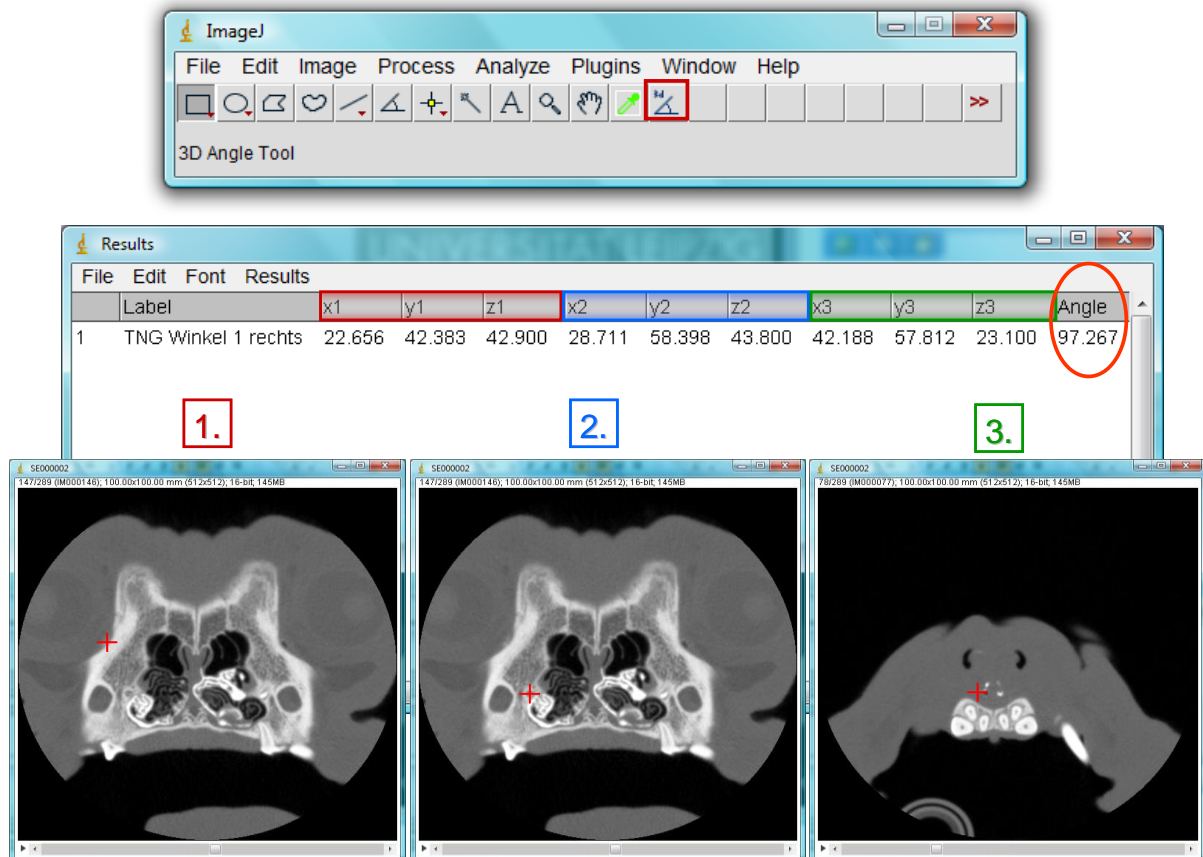


Abbildung 3-7 Benutzeroberfläche des „3D-Angle Tool“ in „ImageJ“. In drei verschiedenen Schnittebenen wird jeweils ein Punkt markiert, dessen Koordinaten gespeichert und für die Winkelberechnung herangezogen werden. Die Winkelbestimmung erfolgt automatisch mit der Wahl des dritten Punktes.

Folgende Winkel werden definiert (Abbildung 3-8):

**Winkel 1 (vorderer Partialwinkel)**

- Punkt 1 Vereinigung der Canaliculi lacrimales
- Scheitelpunkt am meisten ventral liegender Punkt des TNG
- Punkt 3 Ostium nasolacrimale

**Winkel 2 (hinterer Partialwinkel)**

- Punkt 1 Foramen lacrimale
- Scheitelpunkt wie Winkel 1
- Punkt 3 wie Winkel 1

**Winkel 3 (oberer Gesamtwinkel)**

- Punkt 1 Punctum lacrimale superius
- Scheitelpunkt am weitesten kaudal gelegener Punkt des TNG
- Punkt 3 Ostium nasolacrimale

**Winkel 4 (unterer Gesamtwinkel)**

- Punkt 1 Punctum lacrimale inferius
- Scheitelpunkt wie Winkel 3
- Punkt 3 wie Winkel 3

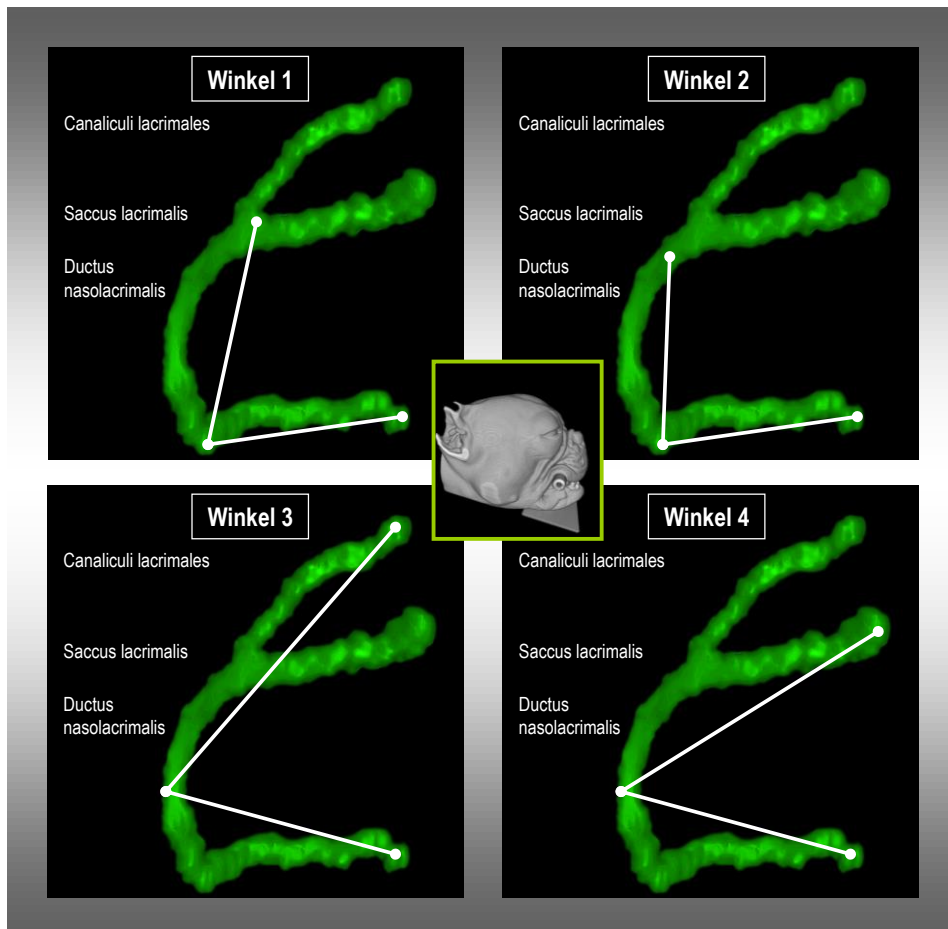


Abbildung 3-8 3D-Modell der Tränenwege (einseitig) einer Französischen Bulldogge. Die verschiedenen Winkel, die zur Charakterisierung bestimmt werden, sind weiß eingezeichnet. Die Ausrichtung des Kopfes und somit der Tränenwege ist mittig dargestellt.

Bei den normozephalen Tieren weichen die Scheitelpunkte etwas von denen in Abbildung 3-8 dargestellten ab. Da bei ihnen im Bereich der Tränenwege kein Punkt kaudal der Tränenkanälchen liegt, dient bei allen vier Winkeln der am weitesten ventrale Punkt als Scheitel.

### 3.3.5 Räumliche Orientierung der Tränenwege

Die Ausdehnung der Tränenwege in der Längsrichtung (als Länge bezeichnet) wird zu der in der horizontalen Richtung (als Breite bezeichnet) ins Verhältnis gesetzt. So kann überprüft werden, ob die Tränenwege bei brachycephalen Hunden aufgrund der Schädelverkürzung und -verbreiterung eine andere räumliche Orientierung annehmen als bei normozephalen Tieren.



Die **Länge** definiert sich in diesem Fall durch die Differenz der am weitesten voneinander entfernt liegenden Koordinaten der Tränenwege auf der Z-Achse im Koordinatensystem in Millimetern. Es handelt sich also um die Strecke zwischen dem am weitesten kaudal und dem am weitesten rostral gelegenen Punkt im Verlauf der Tränenwege. Seine Position in X- und Y-Richtung bleibt unberücksichtigt. Während der am weitesten rostral gelegene Punkt regelmäßig sowohl bei normo- als auch bei brachycephalen Hunden das Ostium nasolacrimale ist, variiert der am weitesten kaudal gelegene Punkt sehr. Dieser befindet sich bei Normozephalen in der Regel im Bereich der Tränenkanälchen, während er bei kurzköpfigen Rassen meist inmitten des Tränennasengangs zu finden ist. Die X- und Y-Koordinaten, also die jeweilige horizontale und vertikale Position der Punkte, finden dabei keine Beachtung, sie werden als gleich angenommen.

Analog dazu ergibt sich die **Breitenausdehnung** der Tränenwege durch die Strecke in Millimetern, welche die am weitesten voneinander entfernt liegenden X-Werte verbindet. Dies entspricht also dem am weitesten lateral und dem am weitesten medial gelegenen Punkt. Hierbei bleiben deren Y- und Z-Koordinaten unberücksichtigt. Abbildung 3-9 soll die Herangehensweise verdeutlichen.

Die Formel für die Berechnung des Verhältnisses von Länge zu Breite lautet:

$$\frac{Z_2 - Z_1}{X_2 - X_1} = \frac{\Delta Z}{\Delta X}$$

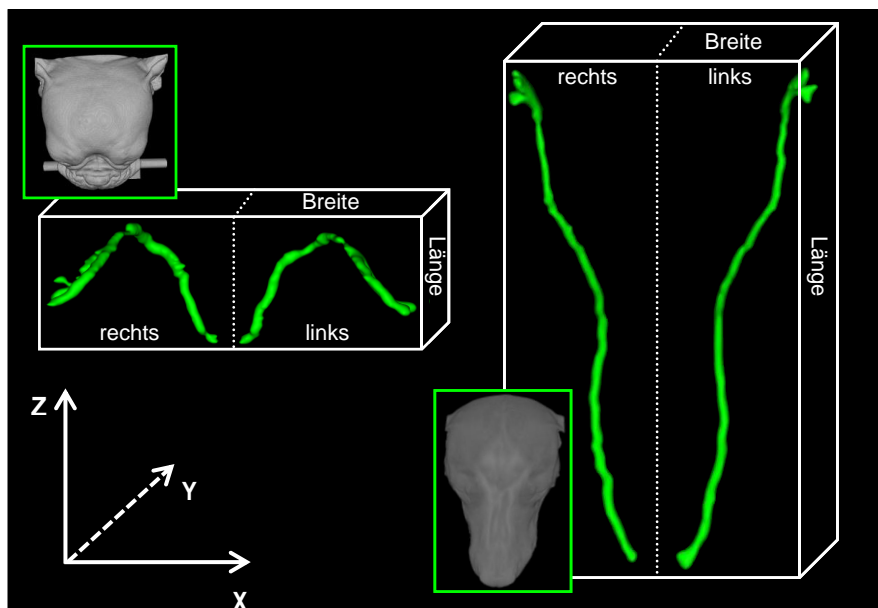


Abbildung 3-9 Längen- und Breitenausdehnung der Tränenwege bei normo- und brachycephalen Hunden im Vergleich. Die Kopfpositionen und Achsenbezeichnungen im Koordinatensystem sind zur Orientierung mit abgebildet.

### 3.3.6 Lagebeziehung zwischen Oberkiefercanini und Tränennasengang

Hierbei soll untersucht werden, ob der TNG wie bei der brachyzephalen Katze (NÖLLER 2006, SCHLUETER et al. 2009), auch beim Hund die Caninuswurzel unterqueren muss, um den Weg in die Nasenhöhle zu finden. Wird der Caninus unterquert, stellt sich der TNG in einem oder mehreren Transversalschnitten ventral oder ventrolateral des Caninuswurzelanschnittes dar (siehe Abbildung 3-10). Das Parodont wird in der vorliegenden Arbeit nicht zum Caninus gezählt.

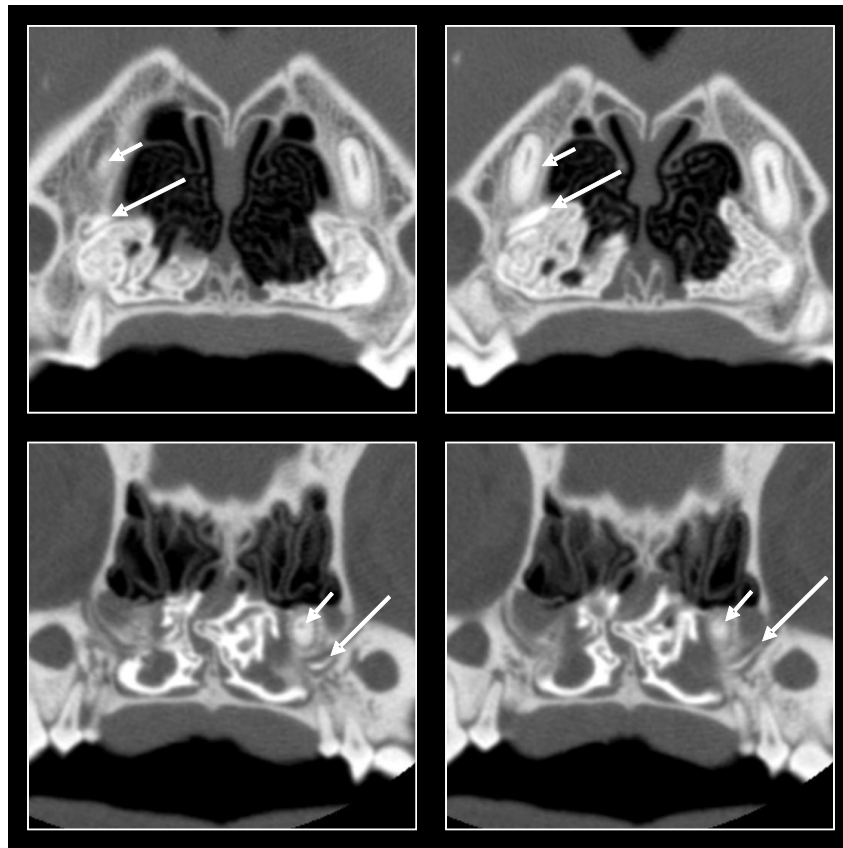


Abbildung 3-10 Computertomographische Abbildung (Transversalschnitt) einer Unterquerung der Caninuswurzel bei einer Französischen Bulldogge (oben) und einem Mops (unten) durch den Tränennasengang. Der lange Pfeil markiert den kontrastmittelgefüllten Ductus nasolacrimalis, der kurze Pfeil den Caninusanschnitt.

### 3.3.7 Steigung des Tränennasengangs

Der Anstieg der Tränenwege wird bestimmt, um zu ermitteln, ob sie beim brachyzephalen Hund einen ähnlich spitzwinkligen Charakter haben, wie es für die kurzköpfige Katze beschrieben ist. Der Anstieg des TNG wird ausgehend von seiner tiefsten Stelle, die sich kurz vor Austritt aus dem Canalis lacrimalis (Scheitelpunkt) befindet, bis zum höchsten Punkt des Mittelteils errechnet. Er wird durch die direkte Messung eines Steigungswin-

kels  $\alpha$  bestimmt. Ausgehend von diesem Messwert kann dann die Steigung beziehungsweise der Anstieg  $m$  in Prozent über die Formel

$$m = \tan(\alpha) \times 100$$

errechnet werden (SCHOLL und DREWS 2001).

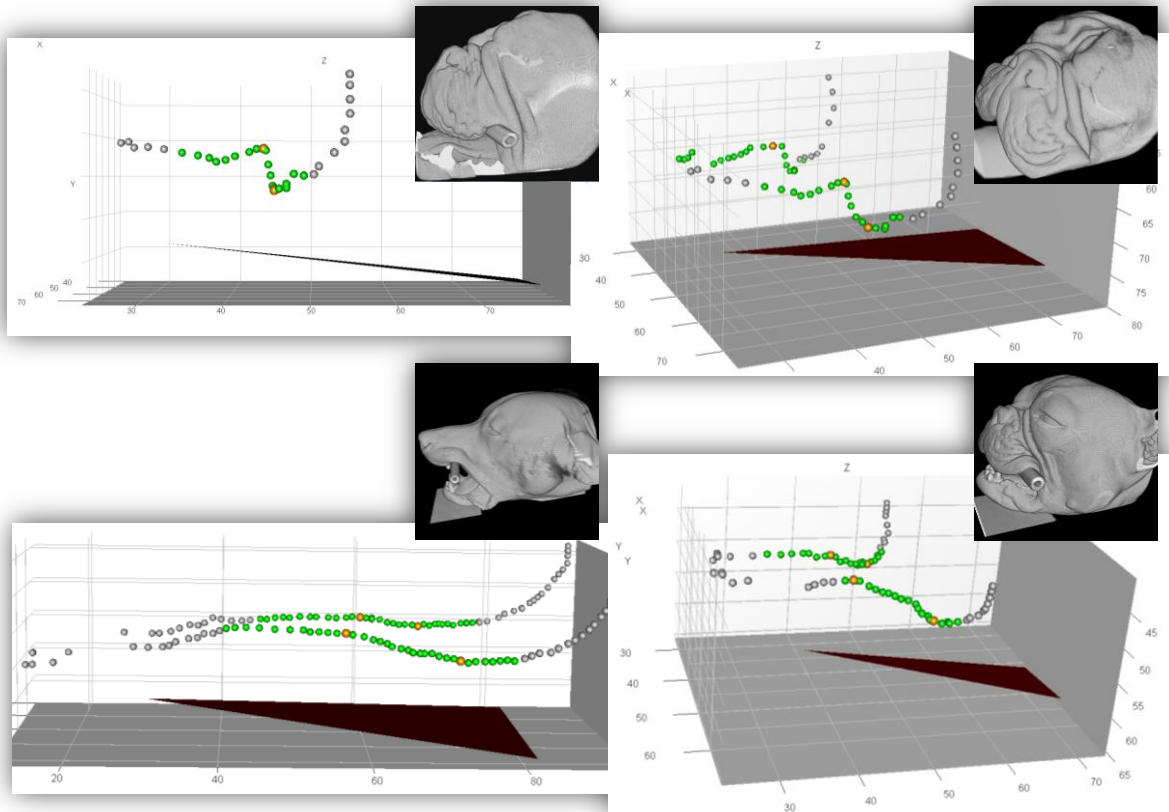
Steigungswinkel und Steigung verhalten sich nicht proportional zueinander. Der Anstieg wird als Steigung einer Geraden berechnet, der kurvenförmige Verlauf bleibt hier unberücksichtigt.

Der Steigungswinkel wird in Relation zur Ebene des harten Gaumens bestimmt. Da dessen Positionierung oft nicht exakt parallel zur horizontalen Unterlage möglich ist, muss seine genaue Schräglage ermittelt und die Messungen an diese angepasst werden. Zu diesem Zweck werden zunächst drei Punkte des Palatum durum im *5D-Viewer* des Programms *ImageJ* markiert und dessen Koordinaten im dreidimensionalen Koordinatensystem, wie im Abschnitt 3.3.12 beschrieben, in eine *Excel*-Tabelle übernommen. Diese drei Punkte definieren nun die Ebene des harten Gaumens, zu der die folgenden Messungen ins Verhältnis gesetzt werden können. Der vordere dieser drei Punkte befindet sich auf Höhe des rostralen Endes des Nasenbeins ventral an der *Sutura palatina mediana* des *Processus palatinus* der *Maxilla*, kurz hinter der *Fissura palatina*. Die hinteren beiden Punkte werden jeweils paramedian kurz vorm Choanenrand an der Horizontalplatte des *Os palatinum* gewählt.

Als Grundlage für die Ermittlung des Anstiegs dienen die Koordinaten des Anfangs-, Mittel- und Endteils des Tränennasengangs. Sie werden im Rahmen der Längenmessungen wie ebenfalls im Abschnitt 3.3.12 beschrieben, erfasst. Bei einem Teil der Patienten waren die Bedingungen für Längenmessungen unzureichend. In diesen Fällen konnte aber die Segmentierung über eine kürzere, für die Steigungswinkelbestimmung jedoch ausreichende, Strecke nachgeholt und verwendet werden. Dies ermöglicht ein umfangreiches Messergebnis.

Mithilfe einer Anwendung in *Gnu R 2.14.1* kann im dreidimensionalen Raum der gau-mennächste und –fernste Punkt bestimmt und direkt dargestellt werden. Der Anstiegswinkel in Grad wird dann im Verhältnis zur Ebene des harten Gaumens angegeben. Auf diese Weise ist die Bestimmung des Steigungswinkels unabhängig von der unterschiedlich schiefen, zumeist nach rostral ansteigenden Positionierung der Köpfe in der Computertomographie.

Zusätzlich wird die genaue Schräglage des harten Gaumens im Verhältnis zur horizontalen Ebene errechnet und als Winkel in Grad ausgegeben. Abbildung 3-11 zeigt die dreidimensionale Visualisierung der Steigungswinkelbestimmung in *GNU R*.



*Abbildung 3-11 Dreidimensionale Visualisierung der Steigungswinkelbestimmung in „GNU R“. Die einzelnen Koordinaten des Tränennasengangs sind als Punkte in einem 3D-Koordinatensystem dargestellt. Die X-Achse ist quer (Breite), die Z-Achse längs (Tiefe) und die Y-Achse vertikal (Höhe) orientiert. Oben sind sie zunächst einseitig (links), dann beidseitig (rechts) bei einer Englischen Bulldogge, unten rechts bei einer Französischen Bulldogge und unten links bei einem normozephalen Hund zu sehen. Die dreieckige rote Fläche stellt die Ebene des harten Gaumens dar. Die grünen Punkte illustrieren den Bereich des TNG, der in die Anstiegsmessung einbezogen wird, wobei die orangefarbene Punkte je den gaumen nächsten und –fernsten Punkt markieren. Die grauen Bereiche werden aus dem Messbereich ausgeschlossen. Zur Orientierungshilfe sind die dazugehörigen Kopfaufrichtungen abgebildet (Programmierung durch M.Sc. Dipl.-Inform. (FH) André Dietrich, für grundlegende Formeln siehe Anhang Tabelle 24).*

### 3.3.8 Relative Lage von Foramen lacrimale und Ostium nasolacrimale

Es wird hier untersucht, ob auch beim Hund das Ostium nasolacrimale oberhalb des Niveaus des Foramen lacrimale zu liegen kommt, wie es bei hochgradig brachyzephalen Katzen beschrieben ist (BREIT et al. 2003, NÖLLER 2006). Als horizontale Grundlage dient wieder das Palatum durum.

Dafür wird der *5D-Viewer (ImageJ)* verwendet. Zunächst werden sowohl das Foramen lacrimale als auch das Ostium nasolacrimale jeweils mit einem farbigen Markierungspunkt versehen. Dafür eignet sich besonders der Transversalschnitt. Anschließend kann man beide Markierungspunkte gleichzeitig und ihre relative Lage zueinander direkt in der sagittalen Ebene im *5D-Viewer* visualisieren und einschätzen (Vergleich Abschnitt 3.3.12.). Im Zweifelsfall kann der konkrete jeweilige Abstand der beiden Punkte vom harten Gaumen bestimmt und verglichen werden. Dafür ist der Übertrag ihrer Koordinaten in *Gnu R 2.14.1* (Vergleich Abschnitt 3.3.7.) erforderlich.

### 3.3.9 Durchgängigkeit der tränenableitenden Wege

Die Tränenwege gelten als durchgängig, wenn der Abfluss von Kontrastmittel in die Nasenhöhle nach Sondierung des oberen oder unteren Tränenkanälchens gegeben ist.

### 3.3.10 Akzessorische Öffnung und Lokalisation

Ist eine solche Öffnung vorhanden, fließt Kontrastmittel in die hintere Nasenhöhle ab. Der zusätzliche Abfluss über das Ostium nasolacrimale in den Nasenvorhof ist variabel. Abbildung 3-12 zeigt Kontrastmittel, das aus der zusätzlichen Öffnung in die hintere Nasenhöhle entweicht.

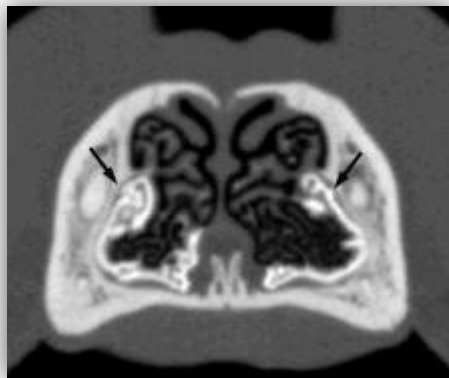


Abbildung 3-12 CT-Querschnitt mit Abfluss von Kontrastmittel in die Nasenhöhle über die akzessorische Öffnung (schwarze Pfeile) auf Höhe der Oberkiefercaninuswurzeln

### 3.3.11 Kontrastmittelpassage ab der akzessorischen Öffnung

Die Information, ob und wieviel Kontrastmittel rostral der akzessorischen Öffnung den TNG füllt und aus dem Ostium nasolacrimale austritt, ermöglicht eine Einschätzung der Bedeutung der zusätzlichen Öffnung für den Abfluss der Tränenflüssigkeit.

### 3.3.12 Längenbestimmung der tränenableitenden Wege

Für die Bestimmung der Länge der Tränenwege wird das Zusatzmodul *5D-Viewer* des Programms *ImageJ* verwendet. Eine ausreichend gute Kontrastierung der Tränenwege ist für diese Methode eine besonders wichtige Voraussetzung. Aus diesem Grund konnten nicht alle CTs für die Messung herangezogen werden. Die Längenbestimmung war an allen zehn Englischen Bulldoggen, der Hälfte der Französischen Bulldoggen (neun) und neun Möpsen möglich. Vergleichend wurden sechs normozepale Hunde untersucht.

Während der Durchmusterung in drei Ebenen (transversal, sagittal, dorsal) werden zahlreiche Punkte (Marker) entlang der Tränenwege markiert. Diese können dann als Koordinaten in einem dreidimensionalen Koordinatensystem (x,y,z) aus dem Programm direkt in *Microsoft Excel* exportiert werden. Jeder zu vermessende Abschnitt des Tränensystems hat eine eigene Markerliste. Diese Listen lassen sich optisch durch unterschiedliche Farbgebung und in der Tabelle durch verschiedene Listennummern voneinander abgrenzen.

Für die Messungen wird das tränenableitende System in die drei Abschnitte Tränenkälchen, Anfangsteil des TNG sowie Mittel- und Endteil als eine Einheit unterteilt. Der Tränensack lässt sich nicht immer zuverlässig abgrenzen, weshalb er für ausreichende Vergleichbarkeit in die Messung des Anfangsteils integriert wird. Auch der Übergang von Mittel- zu Endteil des Tränennasengangs ist nicht präzise genug bestimmbar, sodass diese zwei Abschnitte zusammengefasst werden.

Die Abbildung 3-13 und Abbildung 3-14 zeigen die aneinandergereihten, verschiedenfarbigen Markierungspunkte der einzelnen Abschnitte des Tränensystems im *5D-Viewer*. Die Marker werden möglichst eng gestreut, um den natürlichen Verlauf der Tränenwege ausreichend genau abzubilden. Um dies zu ermöglichen, wird jeder Abschnitt des Tränensystems in nahezu allen seinen Schnittbildern markiert. Die Abbildungen vermitteln eine Vorstellung von der ungefähren Anzahl an gesetzten Markern pro Abschnitt.

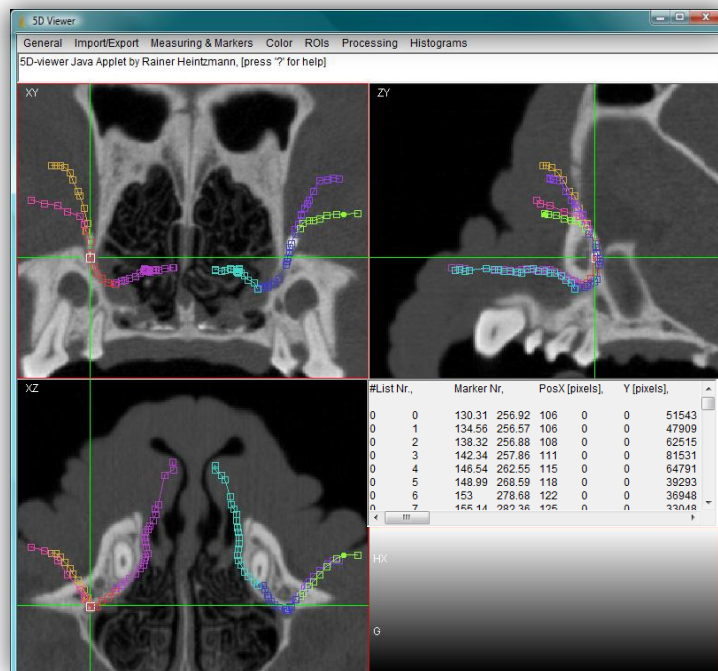


Abbildung 3-13 Markierung der Tränenwege im „5D-Viewer“ („ImageJ“). Die Marker sind für jeden Abschnitt in unterschiedlichen Farben und in drei verschiedenen Ebenen dargestellt. Das grüne Fadenkreuz dient dem Setzen der Marker, die in jeder der drei verschiedenen Ebenen platziert werden können. Jedem Abschnitt wird eine eigene Markerliste zugeordnet, die beispielhaft rechts im Bild zu sehen ist.

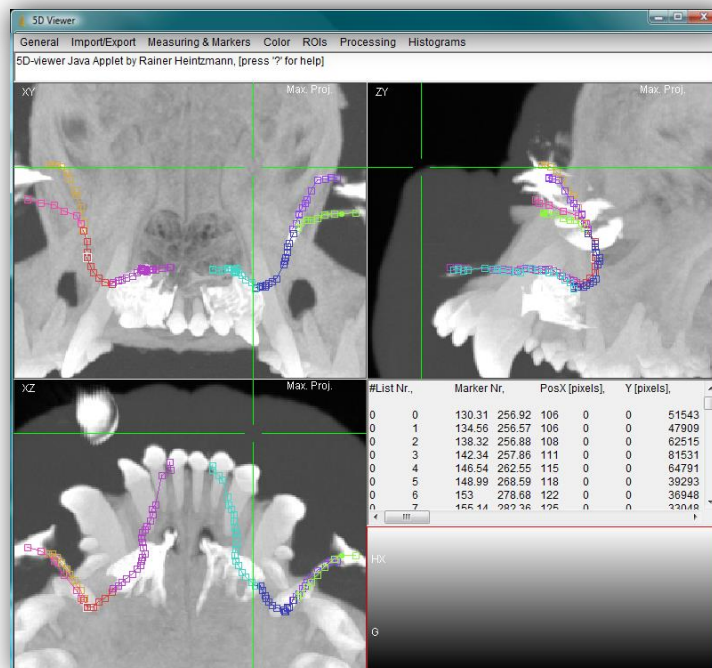


Abbildung 3-14 Darstellung des Hundes aus in einer Summationsprojektion im „5D-Viewer“ („ImageJ“)

Die Berechnung der Länge erfolgt außerhalb des Viewers mit dem Kalkulationsprogramm *Excel*. Da die Koordinaten nicht nur in Pixeln, sondern zusätzlich in Millimetern ausgegeben werden, können sie direkt zur Berechnung genutzt werden.

Die Länge eines Abschnittes wird über die Summierung aller geradlinigen Einzelstreckenlängen zwischen den Markern einer Markerliste ermittelt. Diese Streckenlängen entsprechen dem euklidischen Abstand ( $d$ ) – also dem Abstand zweier Punkte  $P_1(x_1, y_1, z_1)$  und  $P_2(x_2, y_2, z_2)$  im dreidimensionalen Raum- und lassen sich mit der Formel:

$$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}$$

berechnen (BRONSTEIN et al. 2001).

Die Summe aus allen mithilfe dieser Formel erhaltenen Einzelstrecken ergibt die jeweilige Länge des untersuchten Teilstücks des tränenableitenden Systems in Millimetern.

Um die Gesamtlänge des TNG sowie des kompletten tränenableitenden Systems (TAS) zu ermitteln, werden die Längen der Einzelabschnitte aufsummiert. Es handelt sich also um errechnete Größen.

Diese gestückelte Längenbestimmung erlaubt, die verschiedenen Anteile miteinander ins Verhältnis zu setzen. So kann der Anteil der Tränenkanälchen an der Gesamtlänge des tränenableitenden Systems für die verschiedenen Rassen bestimmt und miteinander verglichen werden.

### 3.3.12.1 Prüfung der Messmethode

Zur Überprüfung der angewandten Messmethode wird ein Stück eines Infusionsschlauches (Heidelberger Verlängerung) verwendet (Abbildung 3-15), dessen genaue Länge zunächst unbekannt ist. Aufgrund seines lagerungsbedingten, mehrfach gewundenen Zustandes, erscheint er für eine Probestimmung sehr geeignet, da auch die tränenableitenden Strukturen nicht geradlinig sind.

Der Probeschlauch wird ebenfalls in die Lagerungshilfe eingebracht und ein Nativ-CT angefertigt. Das Setzen der Marker sowie die Berechnungen in *Excel* erfolgen analog zu den Patienten-CTs (Abbildung 3-16).



Abbildung 3-15  
Probeschlauch



## 3 MATERIAL UND METHODEN

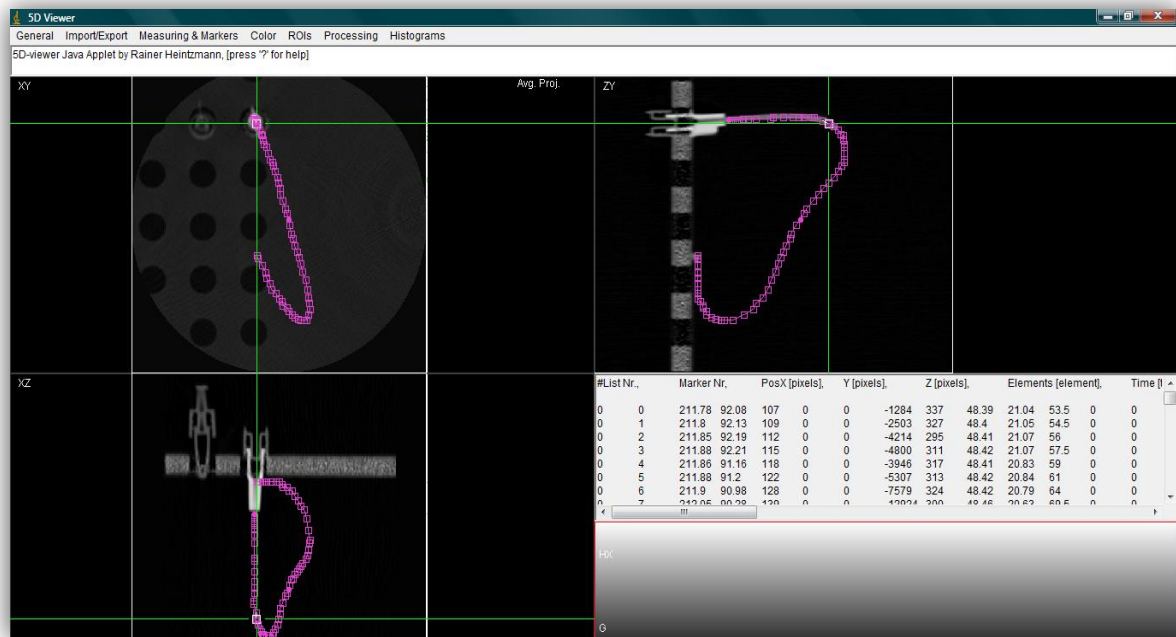


Abbildung 3-16 Marker entlang des Probenschlauches in der Summationsansicht des „5D-Viewers“ („ImageJ“) zur Längenmessung für die Prüfung der Messmethode

Die auf diese Weise ermittelte Länge des Probenschlauches beträgt 175,94 mm. Sie stimmt mit der manuell gemessenen Länge überein (Abbildung 3-17).

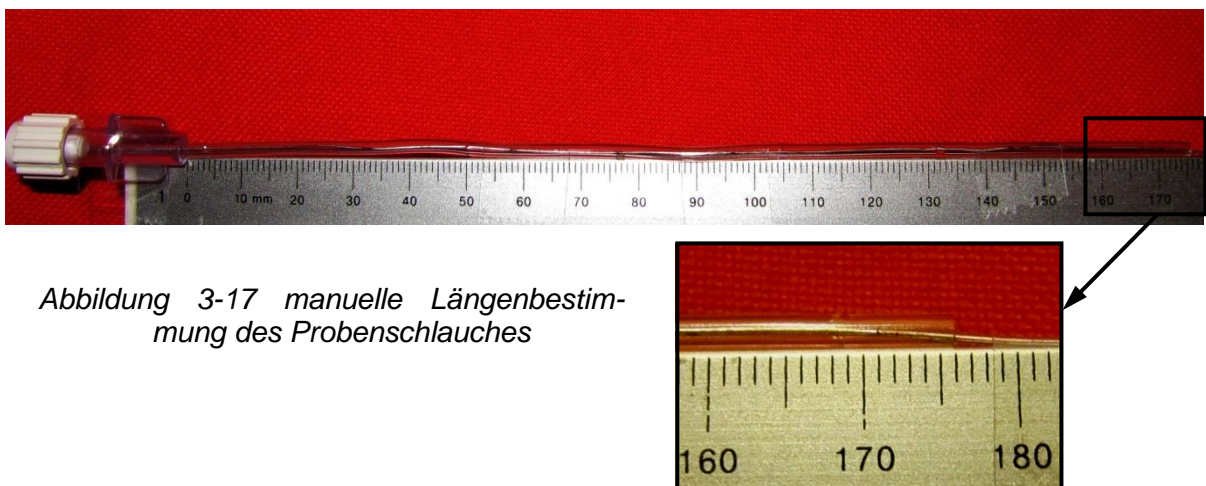


Abbildung 3-17 manuelle Längenbestimmung des Probenschlauches

### 3.4 Statistische Auswertung

Die Messwerte liegen für jedes Tier jeweils rechts- und linksseitig vor. Zunächst wird mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test (KS-Test) überprüft, ob ein statistischer Unterschied zwischen den beiden Kopfhälften besteht. Dieser ergibt zwar ausnahmslos, dass die Werte der rechten und linken Seite derselben Grundgesamtheit entstammen, sie werden aber für die statistischen Tests als abhängig betrachtet und deshalb jede Seite für sich den statistischen Testverfahren unterzogen. Dabei müssen nun die Verfahren für unabhängige Stichproben genutzt werden. Die deskriptive Statistik aber fasst die linke und rechte Seite der Übersichtlichkeit halber zusammen und wird immer ungetrennt für die linke und rechte Seite gemeinsam angegeben.

Mithilfe des Shapiro-Wilk-Testes wird die Normalverteilung überprüft. Dieser Test ist dem KS-Test vorzuziehen, da die untersuchten Datensätze regelmäßig unter 50 Werte beinhalten und dem Shapiro-Wilk-Test bei so kleinen Datensätzen eine größere Testsicherheit zugesprochen wird.

Die Ermittlung von signifikanten Unterschieden zwischen den Gruppen erfolgt ausschließlich nicht parametrisch. Da die Verteilung der einzelnen untersuchten Parameter nicht konstant ist, sondern zwischen Normal- und fehlender Normalverteilung schwankt, wird durchgehend der Mann-Whitney-U-Test für unabhängige Stichproben genutzt. Gruppenvergleiche finden jeweils für beide Seiten zwischen den einzelnen brachyzephalen Rassen sowie zwischen diesen und der normozephalen Vergleichsgruppe statt.

Für den Nachweis von Zusammenhängen zwischen Lagerung und Abfluss werden letztere in zwei Gruppen (Abfluss/ kein Abfluss) unterteilt und auf signifikante Unterschiede mithilfe des Mann-Whitney-U-Testes überprüft. Die Fragestellung ist dabei einseitig.

Auf die gleiche Weise werden Zusammenhänge zwischen Anstieg und Abfluss sowie zwischen Caninusunterquerung und Anstieg der Tränenwege (Gruppeneinteilung Caninusunterquerung ja/nein) untersucht. Nach Abhängigkeiten zwischen Caninusunterquerung und Abfluss wird mithilfe des Chi-Quadrat-Tests gesucht. Abfluss bedeutet in diesen Fällen, dass das Kontrastmittel in den Tränenwegen nach der akzessorischen Öffnung weiterfließt, es also nicht vollständig an dieser Stelle austritt.

Das festgelegte Signifikanzniveau beträgt  $\alpha = 5\%$ . Es wird das Statistikprogramm *SigmaPlot 11.0* (Systat Software, Inc.) verwendet.

## 4 ERGEBNISSE

Untersucht wurden insgesamt 51 brachycephale Hunde, davon 23 der Rasse Mops, 18 Französische Bulldoggen und zehn Englische Bulldoggen. Die Zusammensetzung der Stichprobe variiert leicht in Abhängigkeit vom untersuchten Merkmal. Bei einem Mops gelang die Kontrastierung der Tränenwege nur einseitig.

### 4.1 Vollständigkeit der tränenableitenden Strukturen

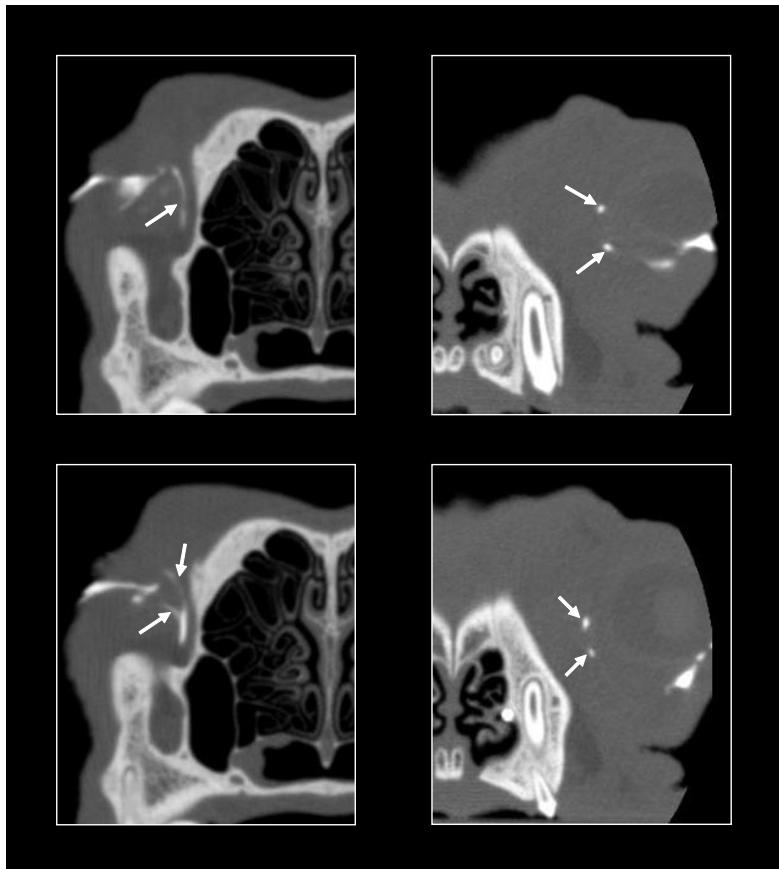
Bei acht von 51 (15,7%) Tieren sind die Tränenwege im Bereich der Tränenkanälchen und –punkte unvollständig ausgebildet. Bei einem Mops füllt sich das rechte untere, bei einer Französischen Bulldogge das rechte obere Tränenkanälchen nicht mit Kontrastmittel. Einer Französischen Bulldogge fehlen beide oberen, einer anderen rechts beide Tränenpunkte. Zwei Möpse haben keine ventralen Canaliculi und zwei Französische Bulldoggen links keine ventralen Tränenkanälchen.

### 4.2 Verlauf der einzelnen Abschnitte

Der Verlauf der Tränenwege beim brachycephalen Hund soll vergleichend zum normozephalen beschrieben werden.

#### 4.2.1 Tränenkanälchen

An das obere und untere Tränenpünetchen schließen sich jeweils die Tränenkanälchen an. Sie verlaufen beim normozephalen Hund bogenförmig in rostroventraler Richtung, bis sie sich zum Saccus lacrimalis vereinigen, der geringgradig erweitert ist. Beim brachycephalen Hund hingegen verlaufen die Tränenkanälchen entgegengesetzt in rückwärtiger Richtung (kaudoventrale Orientierung) und die Tränenpünetchen liegen rostral der Kanälchen. Zusätzlich sind die Kanälchen beim kurzköpfigen Hund infolge der Kaudalbewegung zunächst stark horizontal orientiert, während sie beim normozephalen fast vertikal liegen. Dadurch werden, wie in Abbildung 4-1 zu sehen ist, in der CT die Tränenkanälchen beim normozephalen Kopf zum größten Teil im Längsschnitt abgebildet, während die des brachycephalen Hundes hauptsächlich im Querschnitt zu sehen sind.

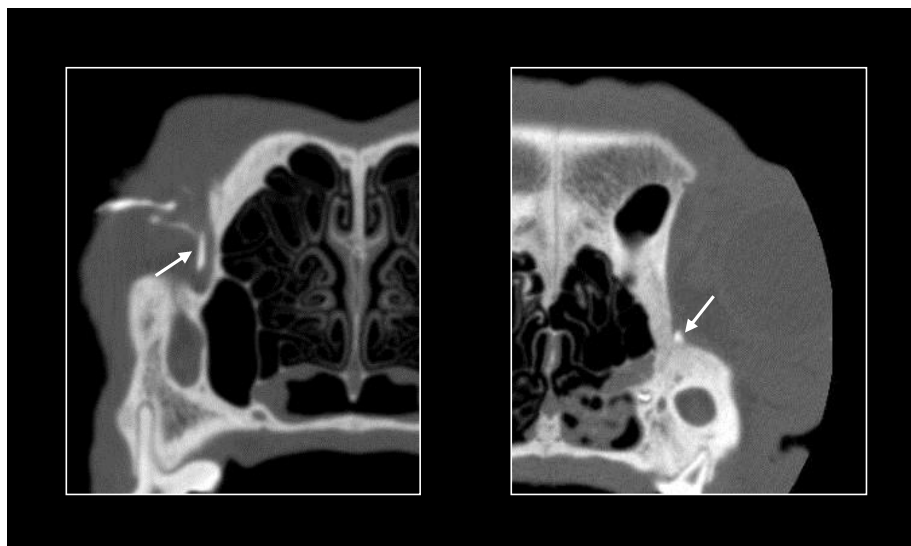


*Abbildung 4-1 Vergleichende Darstellung der Tränenkanälchen in der Computertomographie. Die weißen Pfeile weisen auf die Canaliculi lacrimales, links beim Normozephalen und rechtsseitig beim Brachyzephalen. Es ist erkennbar, dass die Tränenkanälchen beim normozephalen Hund nahezu vertikal verlaufen und sich deshalb im transversalen Schnittbild fast vollständig darstellen, während sie beim brachyzephalen in der horizontalen Ebene orientiert sind und sich infolgedessen nur im Querschnitt zeigen.*

#### **4.2.2 Tränensack**

Beim normozephalen Hund verschmelzen die Tränenkanälchen in der knöchernen Umgebung der Fossa sacci lacrimalis des Tränenbeins zum geringgradig erweiterten Saccus lacrimalis, der sich im Anschluss trichterförmig verjüngt. Auch er ist in seinem Verlauf leicht nach rostral gerichtet. Beim brachyzephalen Hund ziehen die Kanälchen nach ihrer Vereinigung gemeinsam Richtung kaudal, ohne dass regelmäßig eine Erweiterung zu sehen ist, die zuverlässig als Saccus lacrimalis ansprechbar ist. Ist er jedoch sichtbar, erscheint er im normozephalen Vergleich, wo er sich als längliche, tropfenförmige Struktur zeigt, eher als kurze, plumpe Verdickung. Oft entsteht der Eindruck, die Tränenkanälchen gehen nach ihrer Vereinigung nahtlos in den TNG über. Eine Fossa sacci lacrimalis ist ebenfalls beim kurzköpfigen Hund oft nicht auszumachen, während sie beim

normozephalen eine unverwechselbare knöcherne Struktur darstellt. Das Foramen lacrimale lässt sich ebenfalls weniger eindeutig identifizieren als beim langnasigen Hund (Abbildung 4-2).

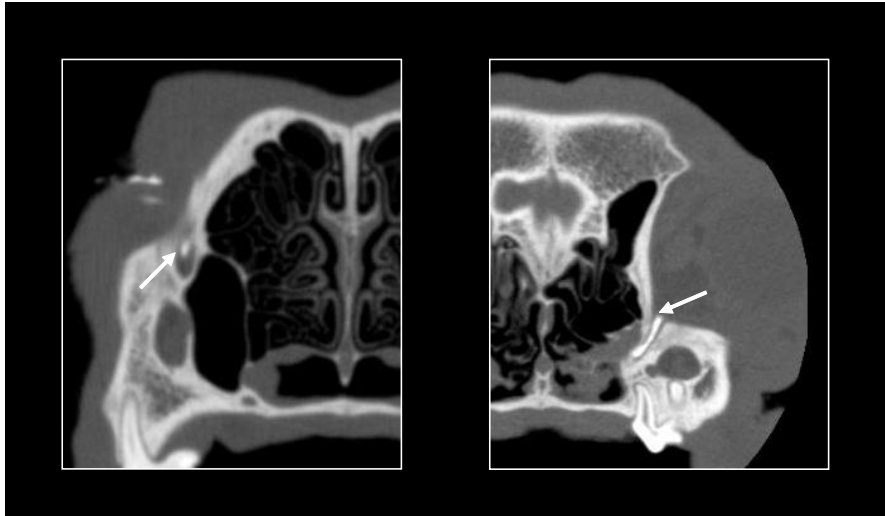


*Abbildung 4-2 Vergleichende Darstellung des Tränensacks in der Computertomographie. Die Pfeile weisen auf den Saccus lacrimalis links beim Normo- und rechts beim Brachyzephalen. Der längliche, gut abgrenzbare Tränensack des Normozephalen steht in direktem Kontrast zu der kurzen, nur wenig abgrenzbaren Gestalt beim Brachyzephalen. Beachtlich ist auch die unterschiedlich deutliche Ausbildung der knöchernen Fossa sacci lacrimalis.*

### 4.2.3 Anfangsteil des Tränennasengangs

Das Foramen lacrimale ist beim brachycephalen Hund im Vergleich zum normozephalen vollkommen anders in der Ebene orientiert. Beim langnasigen Hund zeigt diese Öffnung nach kaudal, beim kurznasigen hingegen öffnet sie sich nach laterodorsal. Deutlich wird dies in den unterschiedlichen Anschnitten in der transversalen Ebene (Abbildung 4-3).

Der Anfangsteil des Tränennasengangs (Abbildung 4-4) im knöchernen Tränenkanal von Os lacrimale und Maxilla (GELATT et al. 1972, WALDE et al. 2004) wendet sich beim Normozephalen anfänglich in einem leichten, nach oben offenen Bogen nach ventrorostral. Anschließend verläuft er in der horizontalen Ebene rostralwärts. In der transversalen Bildsequenz wird er deshalb im Querschnitt gesehen.



*Abbildung 4-3 Vergleichende Darstellung des Foramen lacrimale in der Computertomographie. Die weißen Pfeile zeigen links das Foramen lacrimale beim Normo- und rechts beim Brachyzephalen.*

Beim Brachyzephalen hingegen wird der Anfangsteil aufgrund seiner stark abweichenden Orientierung fast ausschließlich im Längsschnitt dargestellt. Er verläuft bogenförmig vom Foramen lacrimale (lateral) Richtung medial. Unterschiedlich lange Abschnitte sind dabei, wie schon die vorangehenden Teile des tränenableitenden Systems, nach kaudal (bzw. kaudomedial) gerichtet bevor er sich nach rostral (bzw. rostromedial) wendet. Am Ende steigt der Canalis lacrimalis und somit der TNG in einem ausgeprägten kleinen Bogen zum Foramen lacrimale rostrale an (Abbildung 4-4).

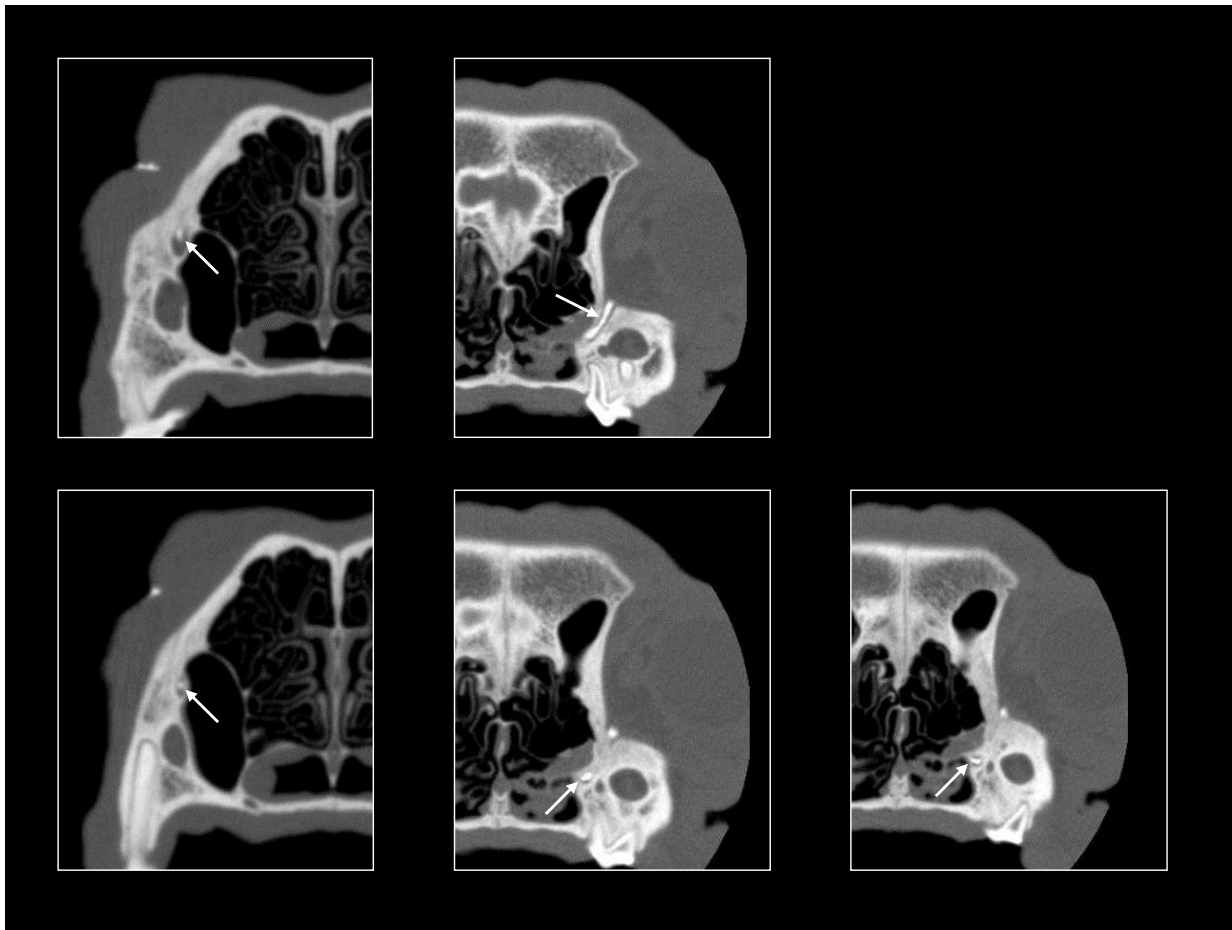
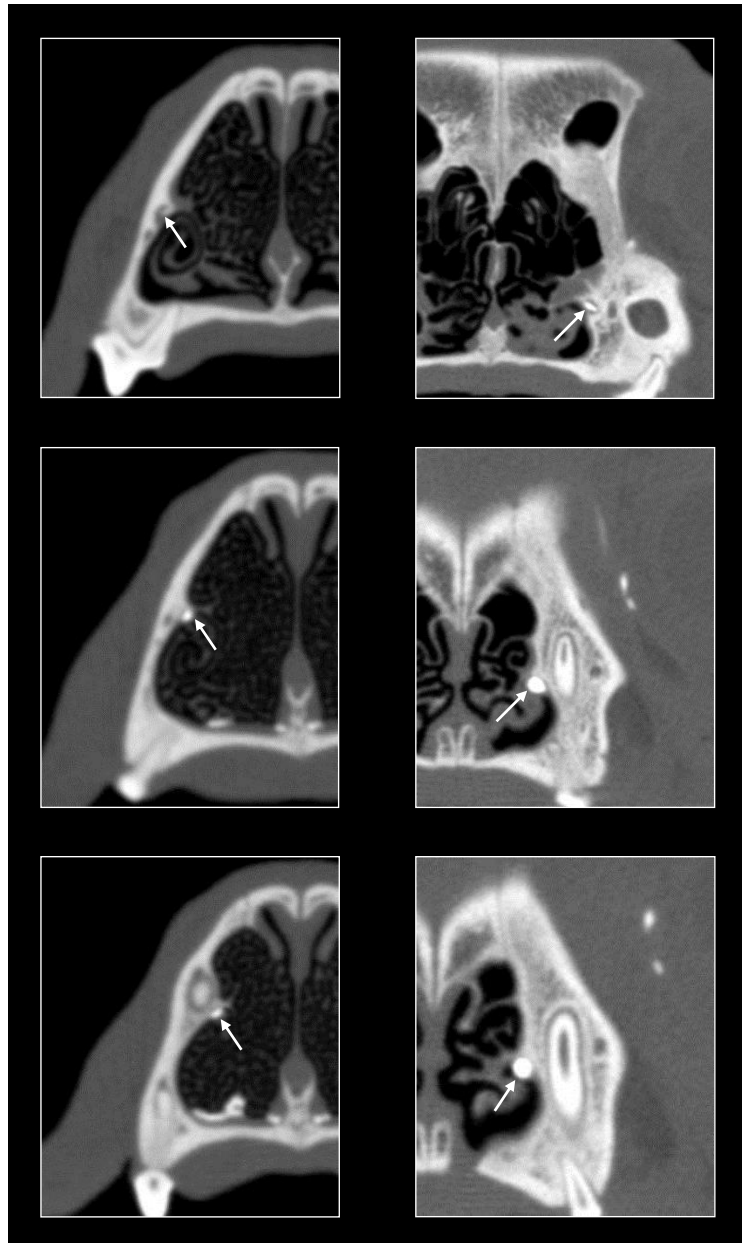


Abbildung 4-4 Vergleichende CT-Darstellung des Anfangsteils des TNG (weiße Pfeile) im knöchernen Canalis lacrimalis, links beim normozephalen und rechts beim brachyzephalen Hund. Links oben ist der anfänglich bogenförmige Abschnitt, links unten der horizontal verlaufende Bereich beim langnasigen Hund zu sehen. Rechts daneben sind die Verhältnisse beim brachyzephalen Hund in verschiedenen Schnittebenen abgebildet. Die lateromediale Orientierung ist oben erkennbar. Unten ist der TNG (Pfeil) gleichzeitig mit dem Tränensack angeschnitten, der dazwischen liegende Bereich läuft in einem kaudalwärtigen Bogen. Auf der dritten Abbildung unten rechts ist das bogenförmige Ende des Canalis lacrimalis beim brachyzephalen Hund kurz vorm Foramen lacrimale rostrale zu sehen.

#### 4.2.4 Mittelteil des Tränennasengangs

Der Mittelteil beginnt nach dem Foramen lacrimale rostrale und verläuft bei normo- und brachyzephalen Hunden sehr ähnlich. Er steigt bei beiden direkt nach seinem Austritt aus dem knöchernen Kanal an, um dann unter die Basallamelle der Concha nasalis ventralis zu treten. Dieser Anstieg fällt bei den kurzköpfigen Hunderassen auffallend steiler aus als bei den normozephalen Tieren. Unterhalb dieser Basallamelle zieht er oberflächlich von Schleimhaut bedeckt nach rostral und fällt nach seinem initialen Anstieg kontinuierlich ab.

Bei beiden hat der Mittelteil ein deutlich größeres Lumen als Anfangs- und Endteil. Die Abbildung 4-5 zeigt die Verhältnisse vergleichend beim normo- und brachyzephalen Hund.

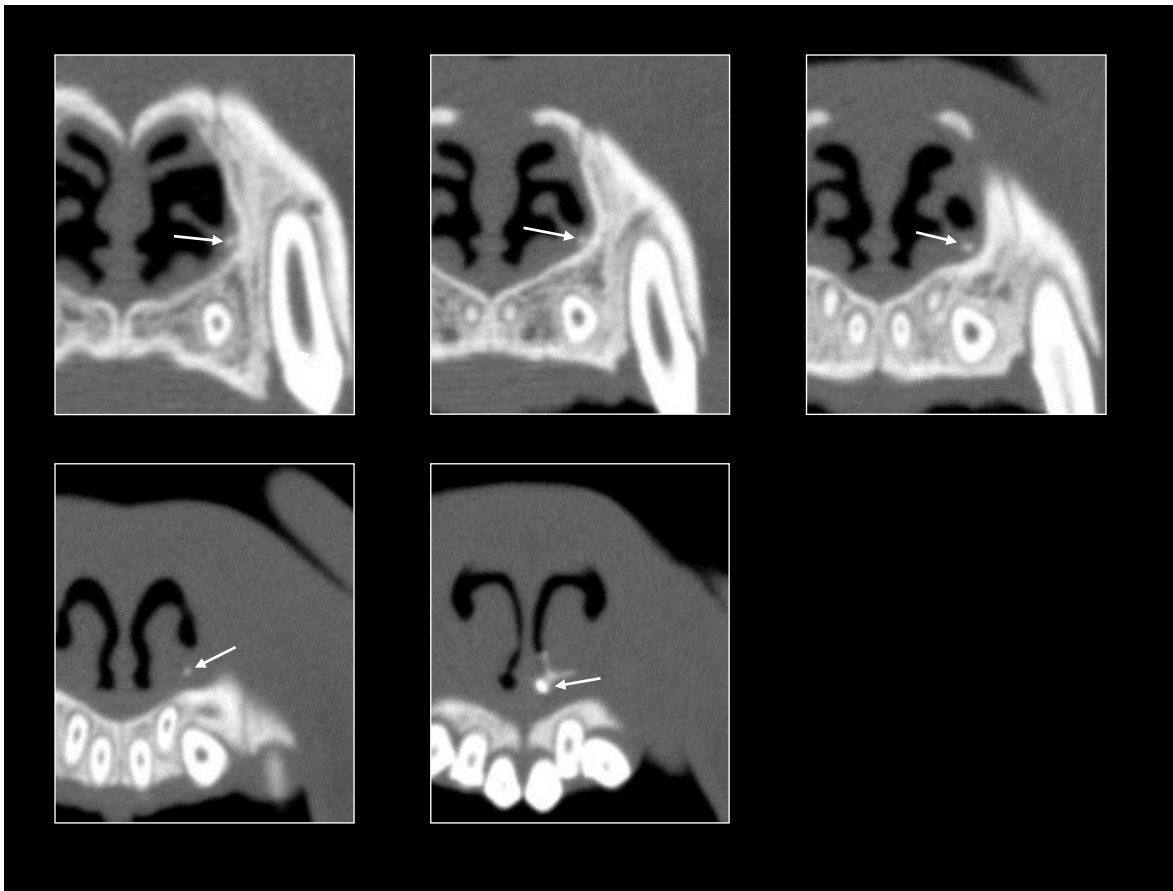


*Abbildung 4-5 Vergleichende CT-Darstellung des Mittelteils des Tränennasengangs (weiße Pfeile). Er ist in verschiedenen Anschnitten von kaudal (oben) nach rostral (unten) beim Normozephalen (links) und beim Brachyzephalen (rechts) dargestellt. Zunächst tritt er aus dem knöchernen Canalis lacrimalis, was beim kurzköpfigen Hund in einem ausgeprägten Bogen geschieht, aus (obere Abbildungen). Danach zieht er unterhalb der gut sichtbaren knöchernen Basallamelle der Concha nasalis ventralis nach vorn (übrige Abbildungen). Das Lumen des TNG nimmt beim Übergang von Anfang- zu Mittelteil deutlich zu, besonders ausgeprägt beim Brachyzephalen sichtbar.*



#### 4.2.5 Endteil des Tränennasengangs

Im weiteren Verlauf fällt der Tränennasengang kontinuierlich, gleichermaßen beim normo- und brachyzephalen Hund, rostralwärts leicht nach ventral ab. Er tritt dann unter die Plica alaris, wo der Endteil beginnt. Hier verläuft er zunächst oberkieferknochennah, also tief in der Schleimhaut, unterhalb dieser Falte. Er taucht dann im Nasenvorhof aus der Schleimhauttiefe auf und endet im Foramen nasolacrimale. Die Abbildung 4-6 stellt den Endteil im Verlauf nach rostral dar.



*Abbildung 4-6 Endteil des Tränennasengangs (weiße Pfeile) beim Brachyzephalen in der Computertomographie. Er ist im rostralen Verlauf (von links nach rechts) bis hin zum Austritt des Kontrastmittels über das Foramen nasolacrimale (Abbildung unten rechts) dargestellt. Der Gang verläuft zunächst tief unterhalb der Schleimhaut und endet im Ostium nasolacrimale des Nasenvorhofs. Wegen des analogen Verlaufs wird auf die Darstellung beim Normozephalen verzichtet.*

#### 4.2.6 Zusammenfassung

Die tränenableitenden Wege des brachyzephalen Hundes verlaufen, ausgehend von den Tränenpünktchen, zunächst in kaudaler Richtung. Sie wenden sich erst im knöchernen Tränenkanal nach rostral. Aufgrund dessen sind beim kurzköpfigen Hund charakteristi-

scherweise oft mehrere kontrastmittelgefüllte Abschnitte des tränenableitenden Systems in einem Transversalschnitt der CT gleichzeitig sichtbar (siehe Abbildung 4-4 und Abbildung 4-5). Meistens stellen sich Tränenkanälchen und Mittelteil sowie Beginn und Ende des Anfangsteils im knöchernen Tränenkanal gemeinsam dar.

In Abhängigkeit von der Rasse ist die Ausprägung dieses teilweise rückläufigen Verlaufes unterschiedlich. Bei der Französischen Bulldogge zeigt sich bei seitlicher Betrachtungsweise ein nahezu nach vorn offener U-förmiger Verlauf der Tränenwege, bei dem sich die Canaliculi lacrimales auf selber Höhe mit dem Mittelteil des Tränennasengangs befinden. Die des Mopses ähneln einem „V“ und bei der Englischen Bulldogge wenden sich die Tränenwege frühzeitig nach rostral und gleichen eher einem kurzen großgeschriebenen „L“. Beim normozephalen Hund liegen die Tränenkanälchen stets kaudal des TNG. Seine Tränenwege erinnern bei seitlicher Betrachtung an ein lang gestecktes, kleines „L“ (siehe Abbildung 4-7 und Abbildung 5-2).

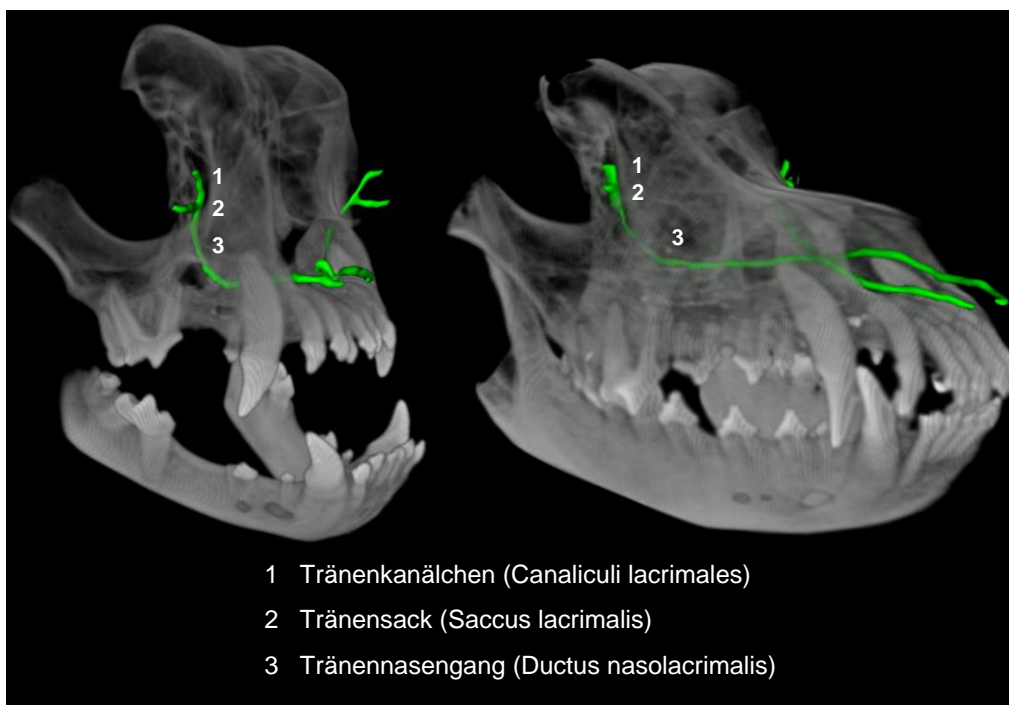
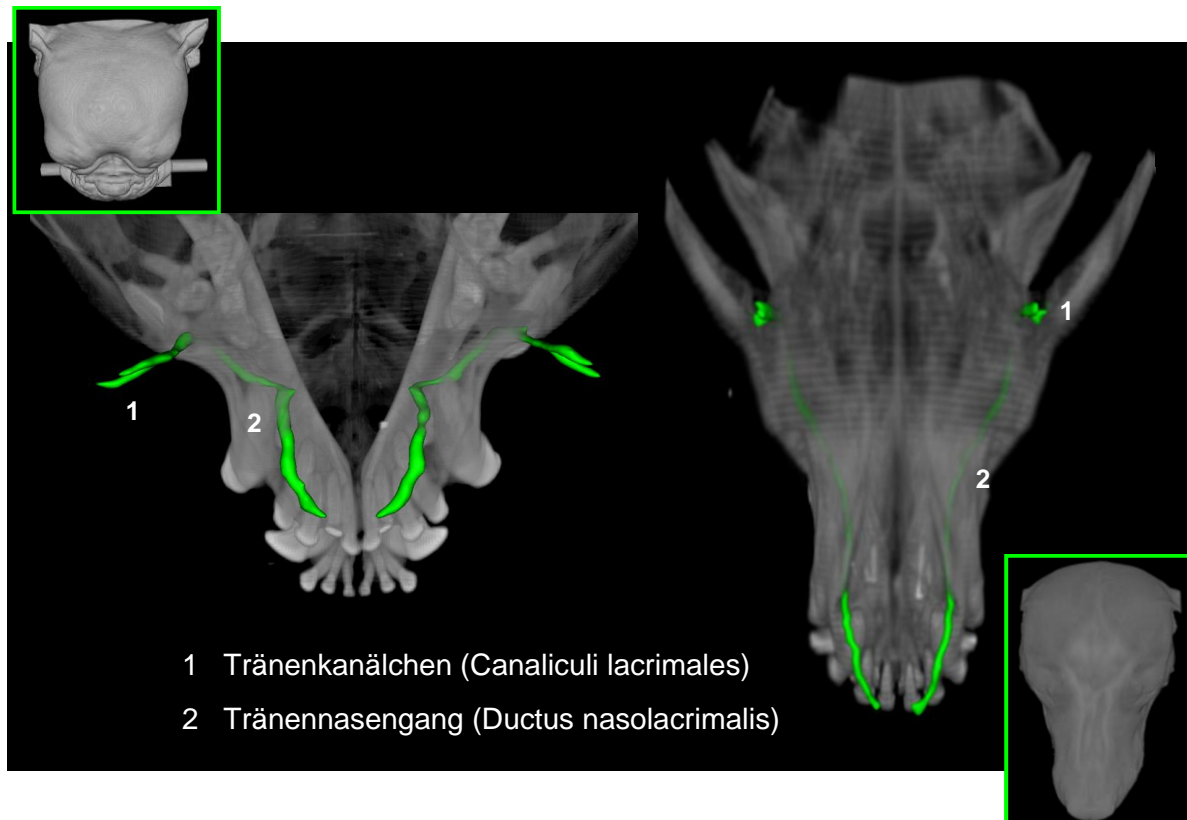


Abbildung 4-7 Dreidimensionale Rekonstruktion der Tränenwege. Links ist bei einer Englischen Bulldogge der rückwärtige Verlauf der Tränenkanälchen und großer Teile des TNG zu sehen. Canaliculi und Mittelteil des TNG befinden sich auf derselben Höhe, sodass bei seitlicher Betrachtung, die Tränenwege einem nach vorn offenen „U“ ähneln. Rechts ist im Vergleich der Verlauf bei einem Rhodesian Ridgeback dargestellt. Die Tränenwege erinnern an ein langgestrecktes „L“. Beachtlich ist der deutlich unterschiedlich große Anteil der Canaliculi an der Gesamtlänge der tränenableitenden Wege beim kurz- und langnasigen Hund. Sie nehmen beim kurzköpfigen Hund einen viel größeren Anteil ein.

Die Tränenkanälchen sind beim brachycephalen Hund anteilmäßig sehr lang im Vergleich zum normozephalen Hund (Abbildung 4-8). Die ableitenden Tränenwege nehmen beim kurzköpfigen Hund einen lateromedialen Verlauf. Beim normozephalen Hund hingegen verlaufen sie deutlich langgestreckt kaudorostral nahezu parallel zur Sagittalebene (Abbildung 4-8).



*Abbildung 4-8 Dreidimensionale Rekonstruktion der tränenableitenden Wege in der Dorsalansicht. Der lateromediale Verlauf der ableitenden Tränenwege einer Französischen Bulldogge (links) unterscheidet sich deutlich vom kaudorostralen Kurs bei einem Rhodesian Ridgeback (rechts). Die Ausrichtung der Köpfe ist zusätzlich dargestellt.*

### 4.3 Angulation der Tränenwege

Während die Anfangs- und Endpunkte der Winkel 1 bis 4 festen anatomischen Gegebenheiten zugeordnet sind und deshalb konstant bleiben, variieren die Scheitelpunkte zwischen den untersuchten Gruppen. Besonders bei den Winkeln 3 und 4 kommt es zwischen den Rassen zu Abweichungen. Der Grund ist, dass ihr Scheitel durch den am weitesten kaudal liegenden Punkt der Tränenwege bestimmt wird. Dieser Punkt weist rassespezifische Schwankungen auf. Bei der Englischen Bulldogge sind die Tränenwege regelmäßig schon ab dem Saccus lacrimalis wieder rostralwärts orientiert. Der kaudalste Punkt liegt also in diesem Bereich. Hingegen ist bei Französischer Bulldogge und Mops üblicherweise das obere Drittel der im Canalis lacrimalis verlaufenden Anteile des TNG am weitesten kaudal gelegen. Beim Mops kann sich der Scheitelpunkt sogar im mittleren oder letzten Drittel des Anfangsteils befinden.

Die Tränenwege normozephaler Hunde verlaufen nicht rückwärtig und somit markieren die Tränenkanälchen gleichzeitig den am weitesten kaudal gelegenen Abschnitt. Um trotzdem Vergleichsmessungen für die Winkel 3 und 4 anfertigen zu können, werden die Scheitelpunkte der Winkel 1 und 2 auch für die übrigen Winkel bei Normozephalen verwendet. Dieser Punkt liegt in der Regel im letzten Drittel des Canalis lacrimalis, am Übergang vom rostroventral verlaufenden in den horizontalen Teil (Vergleiche Abschnitt 3.3.4).

#### 4.3.1 Winkel 1 (vorderer Partialwinkel)

Winkel 1 entsteht zwischen der Vereinigungsstelle der Tränenkanälchen, dem tiefsten Punkt des Tränennasengangs und dem Ostium nasolacrimale. Er hat von der Englischen Bulldogge mit einem Mittelwert von 104,42 Grad (88,31-130,03°, n=17), über die Französische Bulldogge mit 98,05 Grad (80,45-112,25°, n=19), bis zum Mops mit 68,86 Grad (60,54-84,73°, n=31) abnehmende Größen. Bei der normozephalen Vergleichsgruppe weist er deutlich höhere Werte von im Mittel 151,79 Grad (145,37-155,89°, n=12) auf. Dabei lässt sich zwischen Englischer und Französischer Bulldogge kein statistischer Unterschied (rechts  $p=0,450$ , links  $p=0,185$ ) ermitteln. Der Mops hingegen hebt sich von beiden Rassen höchst signifikant ab (jeweils rechts und links  $p<0,001$ ) (Abbildung 4-9). Beim Mops hat der Winkel 1 im Unterschied zu allen anderen Gruppen, einen spitzwinkligen Charakter. Alle drei kurzköpfigen Rassen zeigen einen hoch bis höchst signifikanten Unterschied zur normozephalen Vergleichsgruppe ( $p<0,001$  bis  $p=0,002$ ).

Die Ergebnisse der statistischen Testung sind in Tabelle 15 im Anhang aufgelistet.

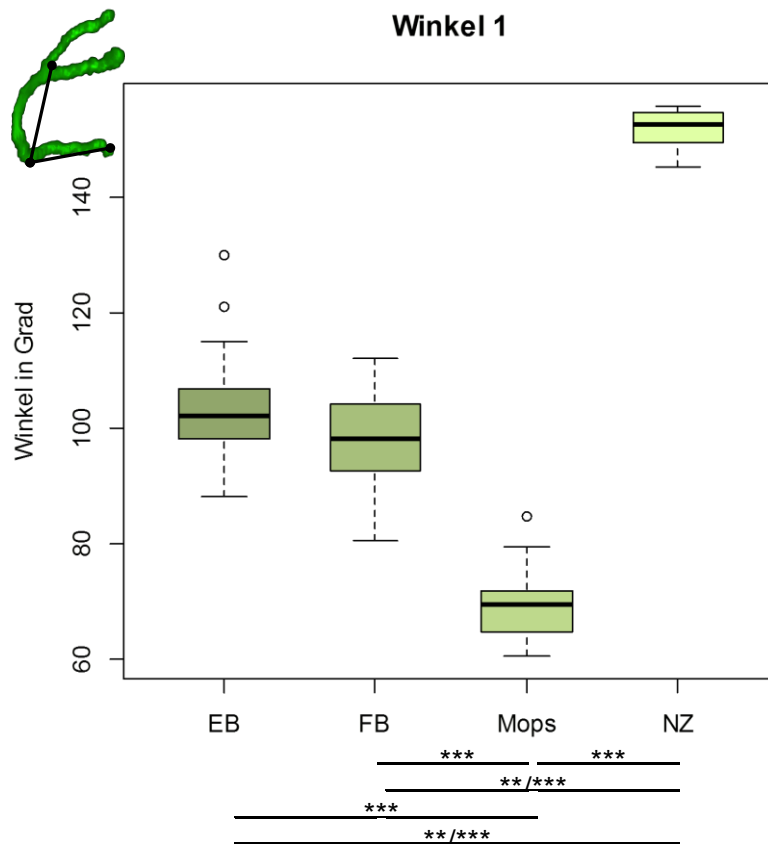


Abbildung 4-9 Boxplots Winkel 1 für die einzelnen brachyzephalen Rassen im Vergleich zur normozephalen Gruppe (NZ). Linke und rechte Seite sind zusammengefasst. Die Signifikanz ist jeweils unterhalb dargestellt (\* signifikant, \*\*hoch signifikant, \*\*\*höchst signifikant, kein Stern bedeutet keine Signifikanz). Dabei wird sie für die Gesichtshälften nur dann getrennt (Schrägstrich) angegeben, wenn ein Seitenunterschied vorhanden ist, wobei die linke Seite links und die rechte Seite rechts steht.

Tabelle 2 Deskriptive Statistik von **Winkel 1** in Grad vergleichend für Englische Bulldogge (EB), Französische Bulldogge (FB), Mops und Normozephalie (NZ)

<b>Winkel 1</b>		EB	FB	Mops	NZ
Normalverteilung		ja	ja	ja	ja
Mittelwert		104,42	98,05	68,86	151,79
Median		102,24	98,06	69,46	152,53
Minimum		88,312	80,45	60,54	145,37
Maximum		130,03	112,25	84,73	155,89
Quartile	25	98,07	92,62	64,77	149,45
	75	108,20	104,78	71,84	154,77

### 4.3.2 Winkel 2 (hinterer Partialwinkel)

Der Winkel zwischen Foramen lacrimale, dem tiefsten Punkt des Tränennasengangs sowie dem Ostium nasolacrimale beträgt bei der Englischen Bulldogge im Mittel 111,10 Grad (97,94-139,46°, n=20), bei der Französischen Bulldogge 114,95 Grad (100,63-135,09°, n=34), beim Mops 97,60 Grad (82,88-123,15°, n=44) und bei den Normozephalen 160,82 Grad (154,33-166,34°, n=12). Auch hier weist der Mops, wie schon bei Winkel 1, den kleinsten Wert auf. Bei der Französischen Bulldogge ist dieser Winkel größer als der der Englischen Bulldogge.

Dieser Winkel nimmt bei allen vier Gruppen einen stumpfwinkligen Charakter an. Englische und Französische Bulldogge unterscheiden sich nicht statistisch signifikant voneinander (rechts  $p=0,167$ ; links  $p=0,183$ ) weisen aber höchst signifikante Unterschiede zum Mops auf ( $p<0,001$ ). Alle drei kurzköpfigen Rassen differieren signifikant von der normozephalen Vergleichsgruppe ( $p<0,001$ ).

Winkel 2 ist bei allen vier Gruppen größer als Winkel 1, der Unterschied zwischen den beiden ist aber bei Mops (28,74°) und Französischer Bulldogge (16,90°) deutlich größer als bei Englischer Bulldogge (6,68°) und den normozephalen Hunden (9,03°). Dieser Unterschied ergibt sich aus einer verschieden ausgeprägten Kaudalbewegung der Tränenwege zwischen Vereinigung der Kanälchen (Ausgangspunkt Winkel 1) und Foramen lacrimale (Ausgangspunkt Winkel 2). Bei Englischer Bulldogge und normozephalem Hund verläuft diese Strecke nahezu vertikal. Bei Mops und Französischer Bulldogge hingegen orientiert sie sich vorwiegend nach hinten. Der kaudal gerichtete Verlauf ist bei diesen beiden brachyzephalen Rassen mit dem Ende der Canaliculi lacrimales noch nicht abgeschlossen. Im Gegensatz dazu wenden sich die Tränenwege der Englischen Bulldogge ab diesem Punkt meist schon wieder rostralwärts.

Der Ausgangspunkt für den Winkel 2 (Foramen lacrimale) liegt bei Mops und Französischer Bulldogge nicht nur unter, sondern vor allem hinter dem für Winkel 1 (Vereinigung der Tränenkanälchen). Daraus resultiert die stärkere Stumpfwinkligkeit bei Winkel 2.

Die Ergebnisse der statistischen Testung sind in Tabelle 16 im Anhang aufgelistet.

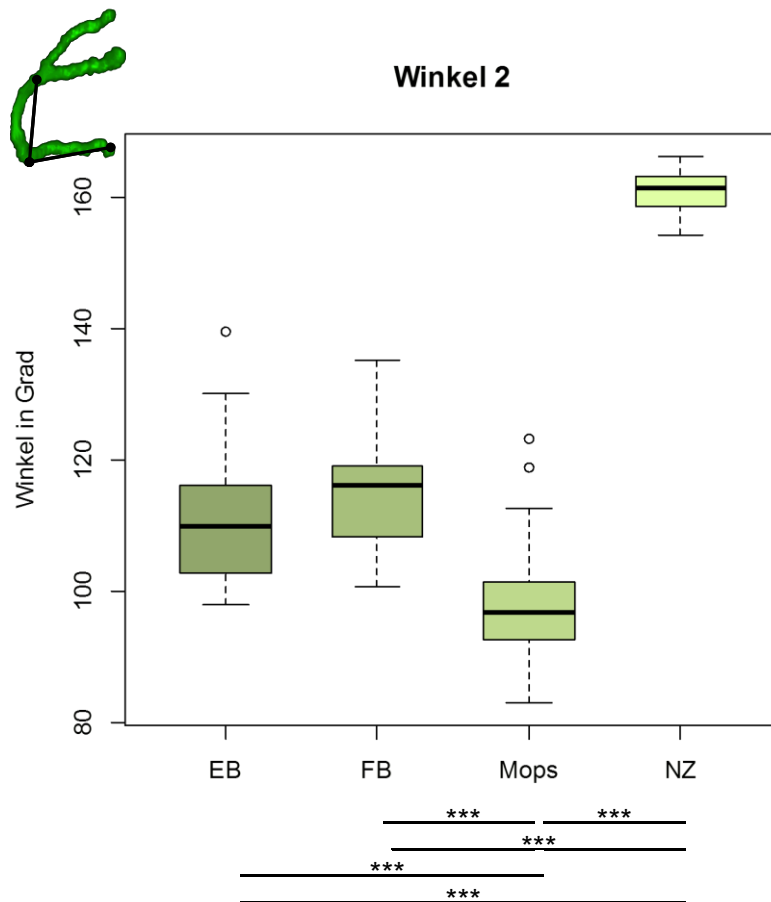


Abbildung 4-10 Boxplots Winkel 2 für die einzelnen brachyzephalen Rassen im Vergleich zur normozephalen Gruppe (NZ). Linke und rechte Seite sind zusammengefasst. Für Erläuterungen zur Angabe des Signifikanzniveaus siehe Abbildung 4-9.

Tabelle 3 Deskriptive Statistik von **Winkel 2** in Grad vergleichend für Englische Bulldogge (EB), Französische Bulldogge (FB), Mops und Normozephalie (NZ)

<b>Winkel 2</b>		EB	FB	Mops	NZ
Normalvertlg.		ja	ja	ja	ja
Mittelwert		111,10	114,95	97,60	160,82
Median		109,76	116,01	96,67	161,40
Minimum		97,94	100,63	82,88	154,33
Maximum		139,46	135,09	123,15	166,34
Quartile	25	102,60	108,33	92,62	158,69
	75	115,98	119,07	101,39	163,39

### 4.3.3 Winkel 3 (oberer Gesamtwinkel)

Er bildet sich zwischen oberem Tränenpünktchen, dem am weitesten kaudal befindlichen Punkt des TNG und Ostium nasolacrimale und hat erneut eine von der Englischen über die Französische Bulldogge zum Mops abnehmende Größe. Erstere weist im Mittel einen Winkel 3 von 84,25 Grad (75,84-96,41°, n=20) und die Französische Bulldogge von 80,41 Grad (67,09-93,28°, n=32) auf. Der Mops zeigt einen deutlich kleineren Wert von nur 59,74 Grad (53,01-69,99°, n=41), der sich von den beiden anderen brachyzephalen Rassen höchst signifikant unterscheidet (p für links und rechts jeweils <0,001).

Die Normozephalen haben mit im Mittel 111,99 Grad (100,62-135,11°, n=12) einen wesentlich größeren Winkel als ihre drei brachyzephalen Vergleichsgruppen (jeweils  $p < 0,001$ ) (Abbildung 4-11). Die Winkel der kurzköpfigen Rassen sind alle spitzwinklig, die der Normozephalen stumpfwinklig. Die Unterschiede zwischen Brachy- und Normozephalen und besonders die hochgradige Kleinheit dieser Winkelung beim Mops, quantifizieren den U-förmigen Verlauf der Tränenwege bei kurznasigen und den eher L-förmigen bei langnasigen Hunden.

Anhand der Werte und der bekannten Lage der Tränenwege im Raum lässt sich erkennen, dass bei den Brachyzephalen große Bereiche des TNG hinter den Tränenkanälchen liegen. Daraus resultiert ein zunächst über weite Strecken kaudal gerichteter Verlauf der Tränenwege. Der stumpfwinkliger Charakter von Winkel 3 bei Normozephalen belegt hingegen, dass dort keine Rückwärtsbewegungen auftreten.

Zusätzlich weisen die sehr kleinen Winkel beim Mops darauf hin, dass die tränenableitenden Strukturen in der Vertikalen mehr gestaucht sind als bei Englischer und Französische Bulldogge (Abbildung 5-1).

Die Ergebnisse der statistischen Testung sind in Tabelle 17 im Anhang aufgelistet.



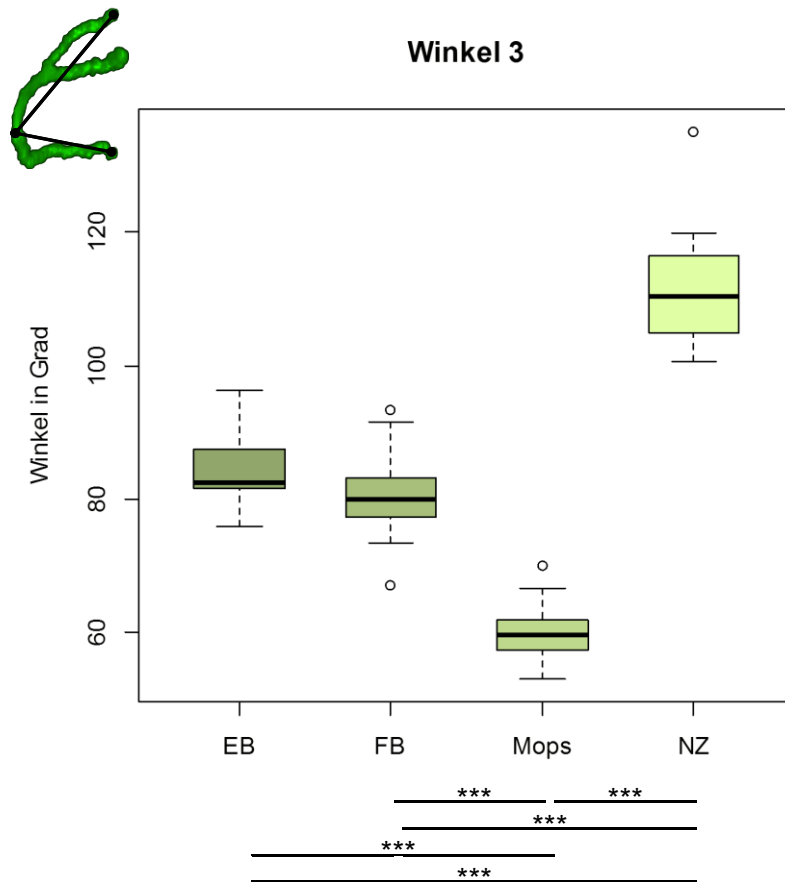


Abbildung 4-11 Boxplots Winkel 3 für die einzelnen brachycephalen Rassen im Vergleich zur normozephalen Gruppe (NZ). Linke und rechte Seite sind zusammengefasst. Für Erläuterungen zur Angabe des Signifikanzniveaus siehe Abbildung 4-9.

Tabelle 4 Deskriptive Statistik von **Winkel 3** in Grad vergleichend für Englische Bulldogge (EB), Französische Bulldogge (FB), Mops und Normozephalie (NZ)

<b>Winkel 3</b>		EB	FB	Mops	NZ
Normalverteilung		ja	ja	ja	ja
Mittelwert		84,25	80,41	59,74	111,99
Median		82,58	79,98	59,59	110,46
Minimum		75,84	67,09	53,01	100,62
Maximum		96,41	93,28	69,99	135,11
Quartile	25	81,51	77,23	57,35	104,81
	75	87,57	83,10	62,05	116,46

#### 4.3.4 Winkel 4 (unterer Gesamtwinkel)

Winkel 4, der im Unterschied zu Winkel 3 vom unteren Tränenpünetchen ausgeht, nimmt etwas niedrigere aber sehr ähnliche Werte an wie Winkel 3. Er verdeutlicht den U-förmigen Verlauf der brachyzephalen Tränenwege dadurch noch stärker. Die Unterschiede zwischen Englischer und Französische Bulldogge zum Mops sowie jeweils zwischen den drei brachyzephalen Rassen und den Normozephalen sind signifikant. Auch hier weist der Mops den im Mittel kleinsten Winkel auf (Abbildung 4-12).

Die Ergebnisse der statistischen Testung sind in Tabelle 18 im Anhang aufgelistet.

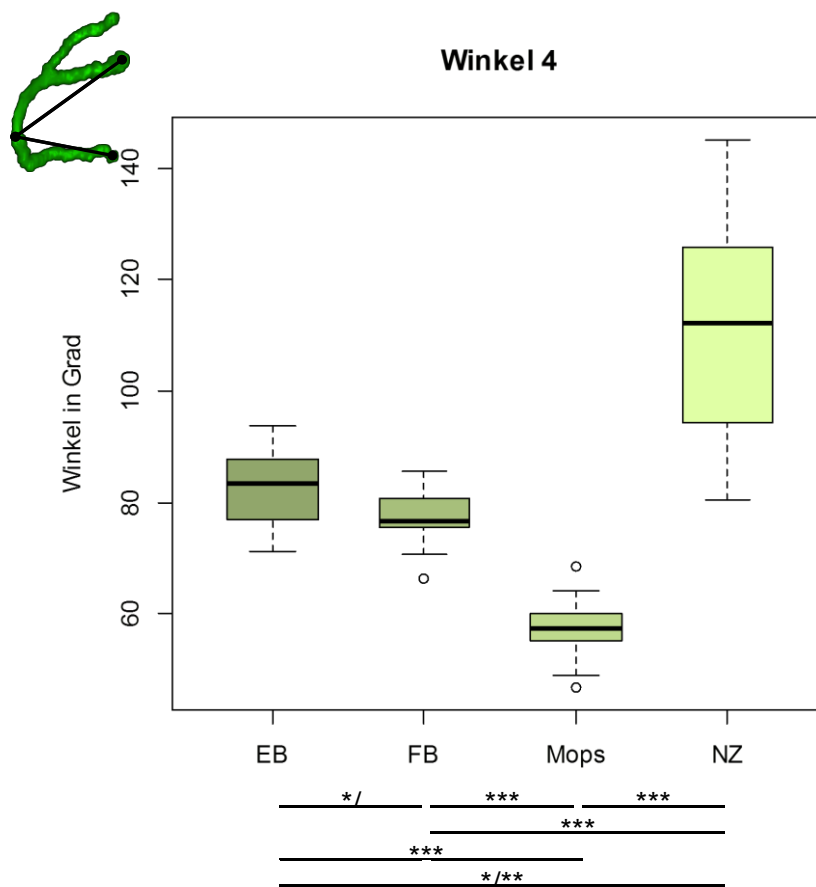


Abbildung 4-12 Boxplots Winkel 4 für die einzelnen brachyzephalen Rassen im Vergleich zur normozephalen Gruppe (NZ). Linke und rechte Seite sind zusammengefasst. Für Erläuterungen zur Angabe des Signifikanzniveaus siehe Abbildung 4-9.

Tabelle 5 Deskriptive Statistik von **Winkel 4** in Grad vergleichend für Englische Bulldogge (EB), Französische Bulldogge (FB), Mops und Normozephal (NZ)

Winkel 4		EB	FB	Mops	NZ
Normalverteilung		ja	ja	ja	ja
Mittelwert		82,60	77,84	57,35	111,66
Median		83,45	76,67	57,45	112,36
Minimum		71,10	66,43	46,73	80,35
Maximum		93,65	85,63	68,41	145,20
Quartile	25	76,95	75,56	55,07	94,18
	75	87,86	80,87	60,34	125,75

#### 4.4 Räumliche Orientierung der Tränenwege

Die räumliche Ausdehnung der Tränenwege in Längsrichtung im Verhältnis zur Breitenausdehnung beträgt median bei der Englischen Bulldogge 1,07 (0,86-1,80, n=20), bei der Französischen Bulldogge im Mittel 1,03 (0,81-1,25, n=35) und beim Mops 1,25 (0,97-1,65, n=42). Bei der normozephalen Vergleichsgruppe hingegen beträgt der Mittelwert 3,77 (3,17-5,02, n=12).

Die Tränenwege verlaufen beim normozephalen Hund vorwiegend in der medialen Ebene, also von hinten nach vorn. Bei den brachyzephalen Hunderassen sind sie entsprechend ihrer verkürzten, verbreiterten Schädelform, etwa so lang wie breit. Sie orientieren sich also über große Strecken in ihrem Verlauf eher lateromedial, d.h. von außen nach innenwärts. Zusätzlich führt der bogenförmige Verlauf zu einer starken Abnahme der Längenausdehnung der Tränenwege im Raum. Für alle drei brachyzephalen Hunderassen lässt sich ein höchst signifikanter Unterschied zu den normozephalen Tieren nachweisen (Abbildung 4-13). Abbildung 4-14 stellt die Unterschiede zwischen den drei kurzköpfigen Rassen vergleichend dreidimensional dar.

Die Ergebnisse der statistischen Testung sind in Tabelle 22 im Anhang aufgelistet.

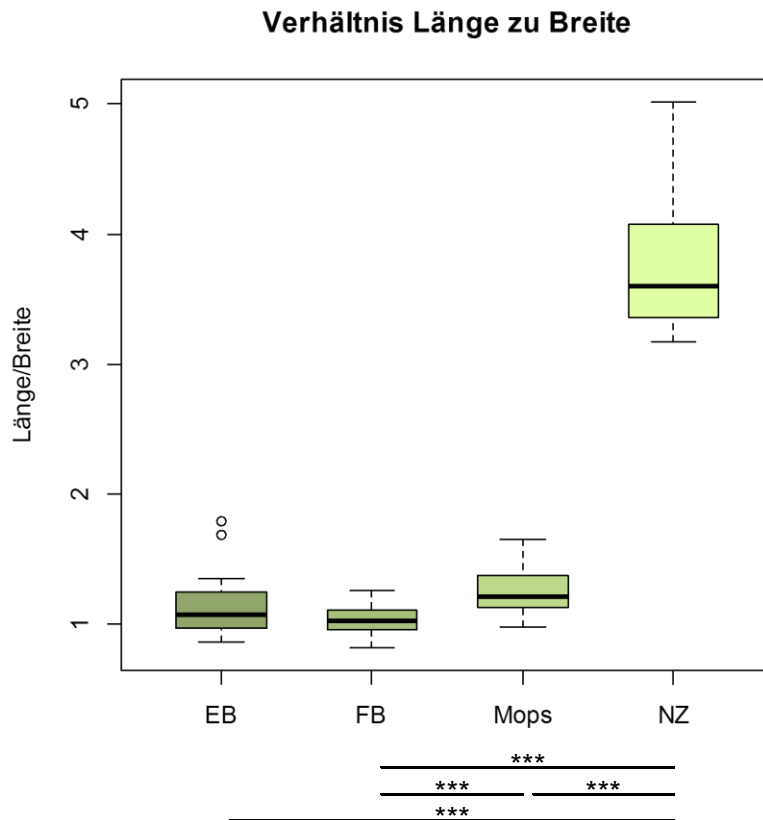


Abbildung 4-13 Boxplots zur räumlichen Orientierung der Tränenwege (Länge/Breite) für die einzelnen brachyzephalen Rassen im Vergleich zur normozephalen Gruppe (NZ). Linke und rechte Seite sind zusammengefasst. Für Erläuterungen zur Angabe des Signifikanzniveaus siehe Abbildung 4-9.

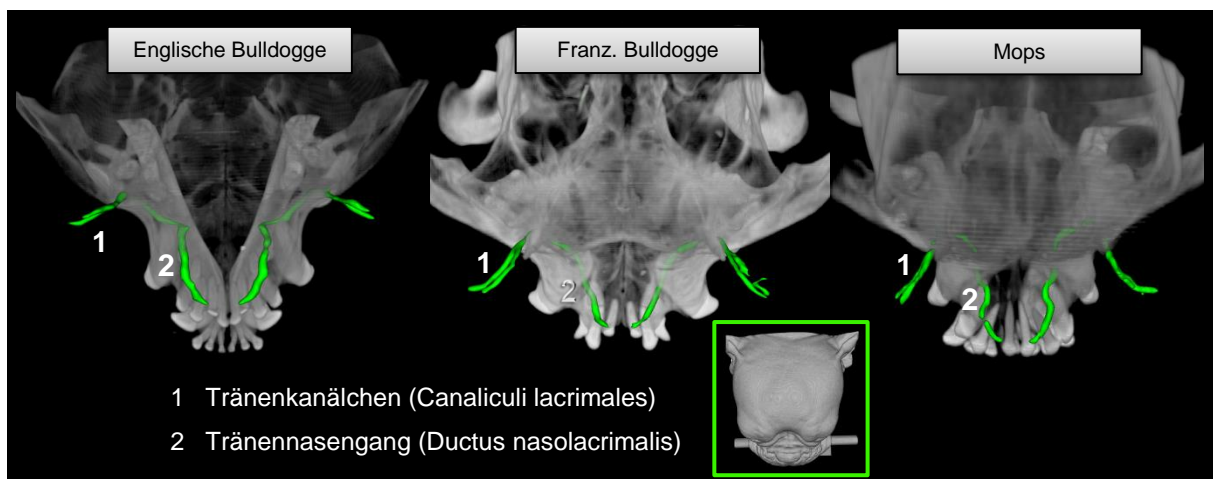
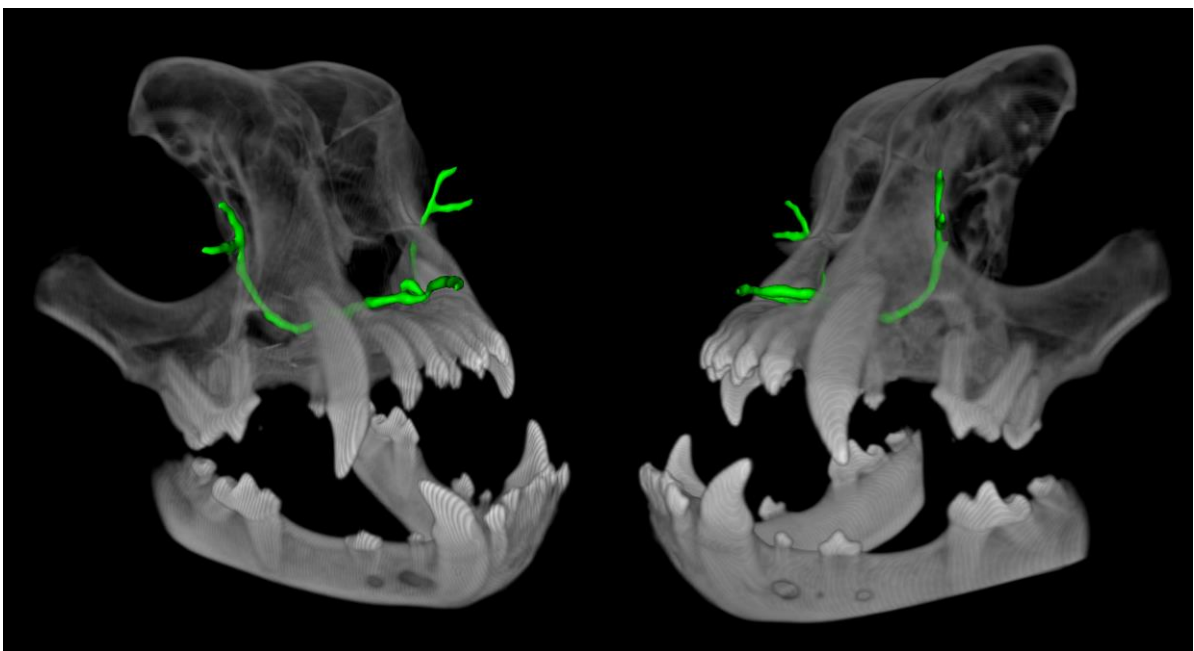


Abbildung 4-14 Dreidimensionale Rekonstruktion der Tränenwege der drei brachyzephalen Hunderassen in der Dorsalansicht. Ihre räumliche Orientierung ist im Vergleich illustriert. Es ist erkennbar, dass die Rückwärtsbewegung anteilig von der Englischen über die Französische Bulldogge bis zum Mops zunimmt. Daraus resultiert eine Stauchung der Tränenwege in der horizontalen Ebene.

#### 4.5 Lagebeziehung zwischen Oberkiefercanini und TNG

Der Einfluss der Oberkiefercanini auf den Verlauf wurde bei 22 Hunden der Rasse Mops, bei 18 Französischen sowie bei zehn Englischen Bulldoggen beurteilt. Bei einem Mops ließ die sehr mangelhafte Kontrastmittelfüllung im Canalis lacrimalis keine Beurteilung zu.

Die Abbildung 4-15 verdeutlicht die anatomischen Verhältnisse, wenn der Tränennasengang den Caninus auf seinem Weg in die Nasenhöhle unterquert.



*Abbildung 4-15 Die dreidimensionale Rekonstruktion zeigt, wie der Tränennasengang bei einer Englischen Bulldogge auf seinem Weg in die Nasenhöhle den Oberkiefercaninus unterquert.*

Die Lagebeziehung von Tränennasengang und Oberkiefercaninus variiert zwischen den einzelnen untersuchten Rassen deutlich. Der TNG muss in 31,8% (7/22) der Fälle beim Mops, dagegen bei 61,1% (11/18) der untersuchten Französischen Bulldoggen und bei nur 10% (1/10) der Englischen Bulldoggen den Caninus unterqueren, um in die Nasenhöhle zu gelangen. In den übrigen Fällen besteht aber besonders bei Mops und Französischer Bulldogge zumeist eine sehr enge Beziehung zum Caninus. Die Abbildung 4-16 zeigt graphisch die Verhältnisse bei den einzelnen Rassen.

Die Unterquerung der Caninuswurzel findet meistens im knöchernen Tränenkanal statt. Im Unterschied dazu hat der TNG beim Normozephalen die Nasenhöhle längst erreicht bevor er zum Caninus gelangt. Er zieht erst mit der zweiten Hälfte seines häutigen Mittelteils dicht medioventral an der Oberkiefercaninuswurzel entlang.

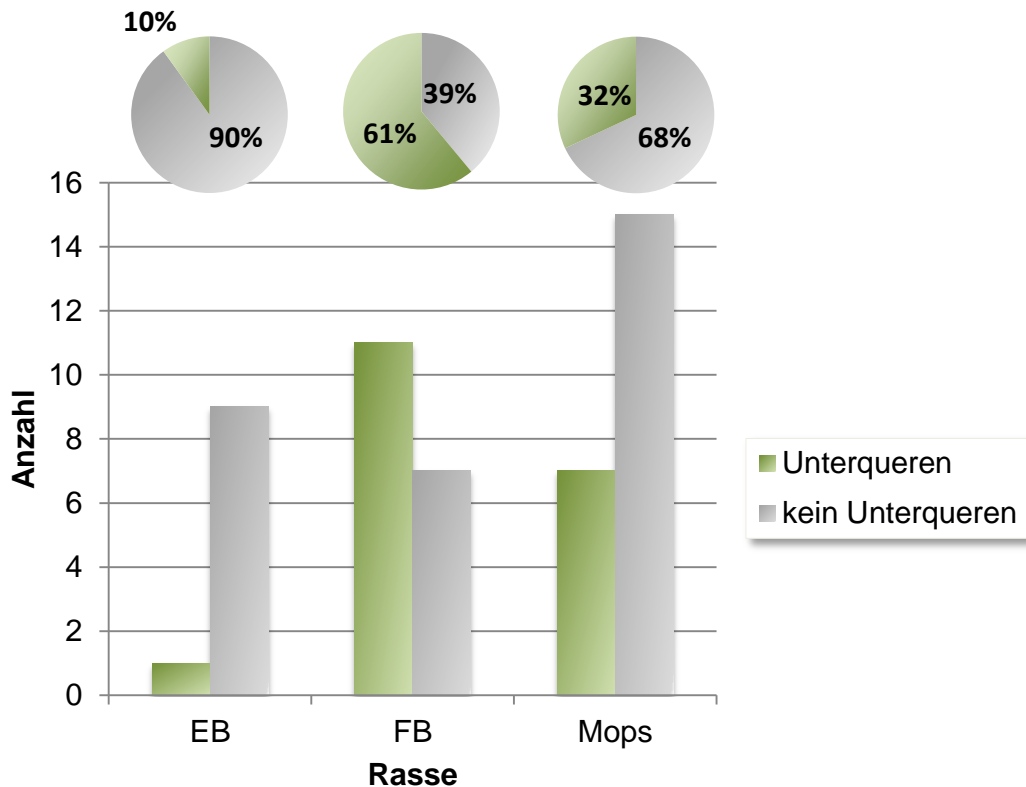


Abbildung 4-16 Das Säulendiagramm stellt die Lagebeziehung des Tränennasengangs zum Oberkiefercaninus bei den drei untersuchten Rassen Mops, Französische Bulldogge (FB) und Englische Bulldogge (EB) in absoluten Zahlen dar. Die dazugehörigen Kreisdiagramme veranschaulichen die prozentualen Verhältnisse.

#### 4.6 Steigung des Tränennasengangs

Für die Ermittlung des Anstiegs war bei zehn Englischen Bulldoggen beidseits, bei 20 Möpsen, 18 Französischen Bulldoggen und bei allen sechs normozephalen Hunden beidseitig die Qualität der Datensätze ausreichend. Bei zwei von den 20 Möpsen und bei einer Französischen Bulldogge war die Auswertung nur einseitig möglich.

Der Tränennasengang steigt in Relation zum Palatum durum bei der Englischen Bulldogge im Mittel um 52,02% (27,01-88,76%, n=20) an. Bei Mops und Französischer Bulldogge liegen die Anstiege mit einem Mittelwert von 32,60% (10,74-54,76%, n=35) bei der Französischen Bulldogge und 32,53% (10,70-64,57%, n=38) beim Mops, sehr nahe beieinander. Die normozepale Vergleichsgruppe liegt mit einer Steigung von im Mittel nur 10,04% (5,36-15,76%, n= 12) höchst signifikant unterhalb der Werte, die durch die brachyzephalen Tiere erreicht werden. Die Englische Bulldogge weist mit Abstand die größte Steigung in der brachyzephalen Gruppe auf. Sie unterscheidet sich sowohl von

der Französischen Bulldogge (rechts  $p=0,013$ ; links  $p=0,001$ ) als auch vom Mops (rechts  $p=0,01$ ; links  $p=0,002$ ) signifikant. Dabei gibt es keinen statistischen Unterschied zwischen Mops und Französischer Bulldogge (rechts  $p=0,988$ ; links  $p=0,740$ ) (Abbildung 4-17).

Die Ergebnisse der statistischen Testung sind in Tabelle 19 im Anhang aufgelistet.

### Steigung des Tränennasengangs

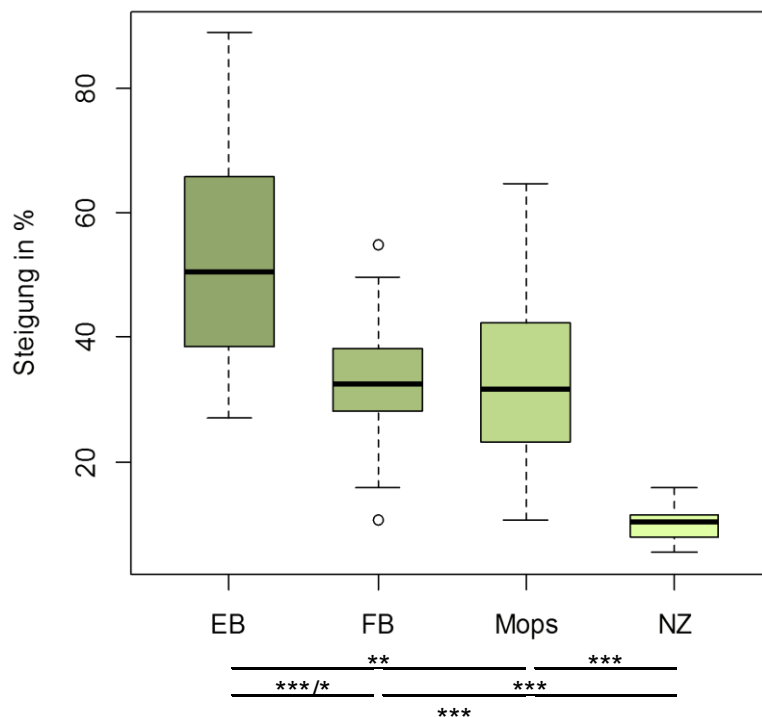


Abbildung 4-17 Boxplots zur Steigung des TNG für die einzelnen brachycephalen Rassen im Vergleich zur normozephalen Gruppe (NZ). Linke und rechte Seite sind zusammengefasst. Für Erläuterungen zur Angabe des Signifikanzniveaus siehe Abbildung 4-9.

Tabelle 6 Deskriptive Statistik des **Anstiegs des TNG** vergleichend für Englische Bulldogge (EB), Französische Bulldogge (FB), Mops und Normozephal (NZ)

Anstieg		EB	FB	Mops	NZ
Normalverteilung		ja	ja	ja	ja
Mittelwert		52,02	32,60	32,53	10,04
Median		50,38	32,44	31,55	10,33
Minimum		27,01	10,74	10,70	5,36
Maximum		88,76	54,76	64,57	15,76
Quartile	25	38,51	28,10	23,07	7,89
	75	65,73	38,35	42,40	11,43

Die Lagerung des harten Gaumens im Verhältnis zur horizontalen Unterlage ist in Abbildung 4-18 für die einzelnen Gruppen im Histogramm dargestellt. Eine Schräglagerung erfolgt zumeist in der Weise, dass der harte Gaumen nasenwärts ansteigend zu liegen kommt. Bei einigen wenigen Tieren fällt er in Richtung Nase ab. Die Englischen Bulldoggen sind zur Hälfte unter zehn Grad verkippt gelagert. Kein Tier liegt über 20 Grad schief und lediglich eine Bulldogge ist um 19,25 Grad ansteigend positioniert. Die Französischen Bulldoggen sind ebenfalls zu etwas mehr als 50 Prozent unter zehn Grad schräg gelagert. Drei von ihnen liegen mehr als 15 Grad schräg, davon ein Tier um 21,76 Grad ansteigend. Beim Mops liegen 15 von 19 untersuchten Tieren weniger als zehn Grad schräg, nur zwei überschreiten 15 Grad, davon hat ein Tier 21,76 Grad Schräglage. Die normozephalen Tiere wurden sämtlich weniger als sieben Grad schräg gelagert. Eine Übersicht über die genaue Schräglage des harten Gaumens in Grad bei den einzelnen Tieren gibt Tabelle 23 im Anhang.

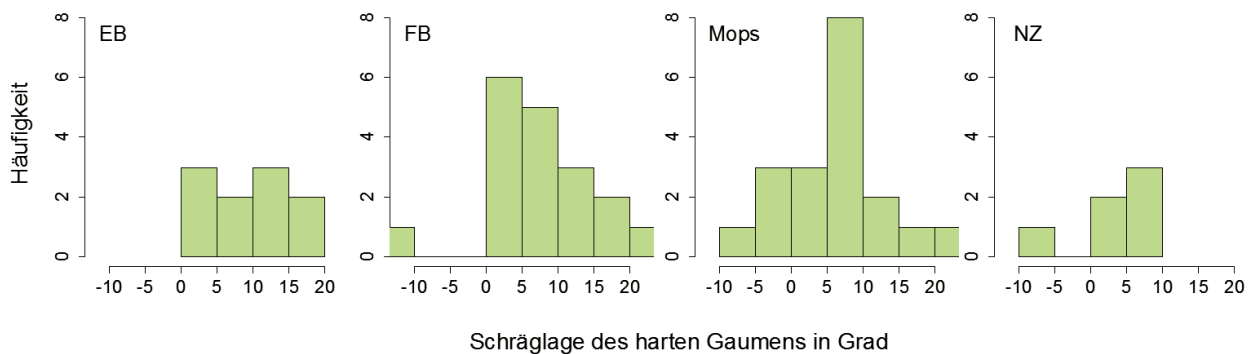


Abbildung 4-18 Die vier Histogramme geben die Schräglage des harten Gaumens in Relation zur horizontalen Unterlage an. Eine positive Gradzahl zeigt eine nach rostral ansteigende Lagerung und eine negative eine nach rostral abfallende Positionierung. Die Skalierung der x-Achse umfasst den Bereich -12 bis +22 Grad.

#### 4.7 Relative Lage von Ostium nasolacrimale und Foramen lacrimale

Die Mündung des Tränennasengangs im Ostium nasolacrimale befindet sich bei nur zwei von 51 untersuchten brachyzephalen Tieren über beziehungsweise auf einem Niveau mit seinem Ursprung im Foramen lacrimale. In beiden Fällen handelt es sich um Hunde der Rasse Mops. Derartige Verhältnisse liegen bei keiner untersuchten Englischen oder Französischen Bulldogge vor. Von diesen beiden Möpsen weist einer keinen



Abfluss rostral der akzessorischen Öffnung, der andere aber linksseitig ein vollständiges Abfließen bis zur Mündung auf.

#### **4.8 Durchgängigkeit der tränenableitenden Wege**

Die Tränenwege sind, bis auf eine Ausnahme, bei allen untersuchten Tieren durchgängig, das heißt, Kontrastmittel fließt nach Sondierung des oberen oder unteren Tränenkanälchens in die Nasenhöhle ab. Bei einem Mops verhindert linksseitig eine Obstruktion im Bereich der Tränenkanälchen den Abfluss. Das Kontrastmittel verlässt insgesamt die Tränenwege hauptsächlich über die akzessorische Öffnung und nur zu einem geringen Teil über das Ostium nasolacrimale.

#### **4.9 Akzessorische Öffnung und Lokalisation**

Eine akzessorische Öffnung konnte bis auf eine Französische Bulldogge bei allen untersuchten Hunden, also in 98% (50/51) der Fälle, nachgewiesen werden. Sie befindet sich meistens ventromedial der Caninuswurzel, kurz nach dem Austritt des TNG aus dem knöchernen Tränenkanal. Die Abbildung 4-19 und Abbildung 4-20 stellen die Verhältnisse graphisch dar.

Bei mehr als der Hälfte der Hunde (54%) ist die akzessorische Öffnung der einzig nachweisbare Abflussweg für das Kontrastmittel in die Nasenhöhle. Bei 14% (7/50) der Tiere besteht zusätzlich beidseits ein Abfluss über das Ostium nasolacrimale in den Nasenvorhof. Variabel einseitig oder nur teilweise füllen sich bei insgesamt 32% (16/50) die Anteile des tränenableitenden Systems nach der zusätzlichen Öffnung.

Alle sechs normozephalen Hunde haben ebenfalls eine derartige Öffnung. Auch bei ihnen ist sie auf Höhe der Oberkiefercaninuswurzel zu finden. Die Eckzahnwurzel aber tritt im Unterschied zum brachyzephalen Hund erst auf etwa der Hälfte des häutigen Mittelteils in anatomische Beziehung zum TNG. Abbildung 4-21 zeigt den Austritt von Kontrastmittel aus der akzessorischen Öffnung dreidimensional.

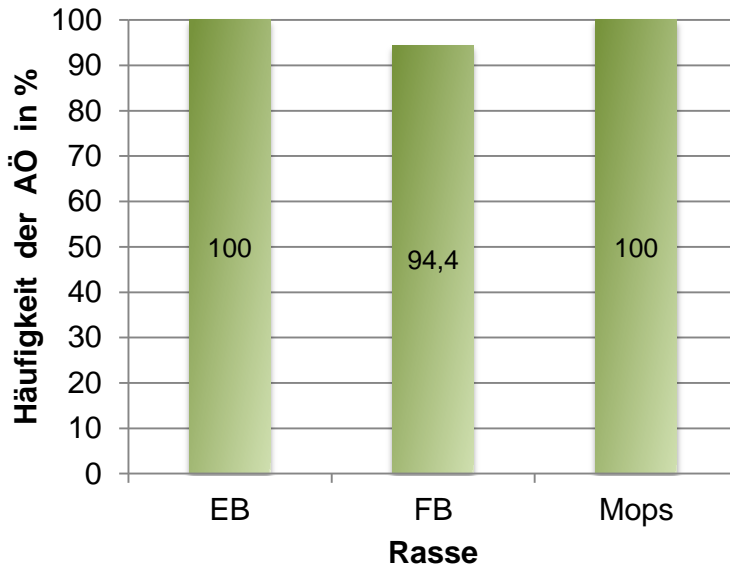


Abbildung 4-19

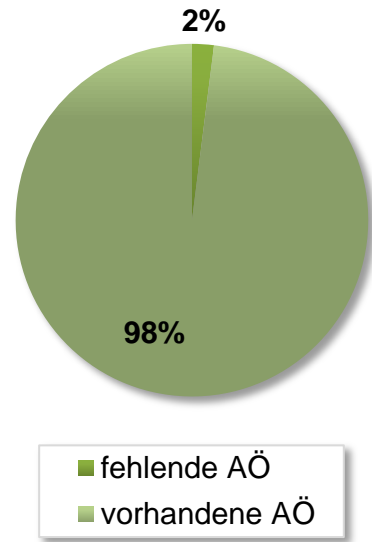


Abbildung 4-20

Die Grafiken stellen die Häufigkeit einer akzessorischen Öffnung dar. Dabei bildet das Säulendiagramm (Abbildung 4-19) die Gesamtheit der untersuchten Tiere und das Kreisdiagramm (Abbildung 4-20) die einzelnen Rassen ab.

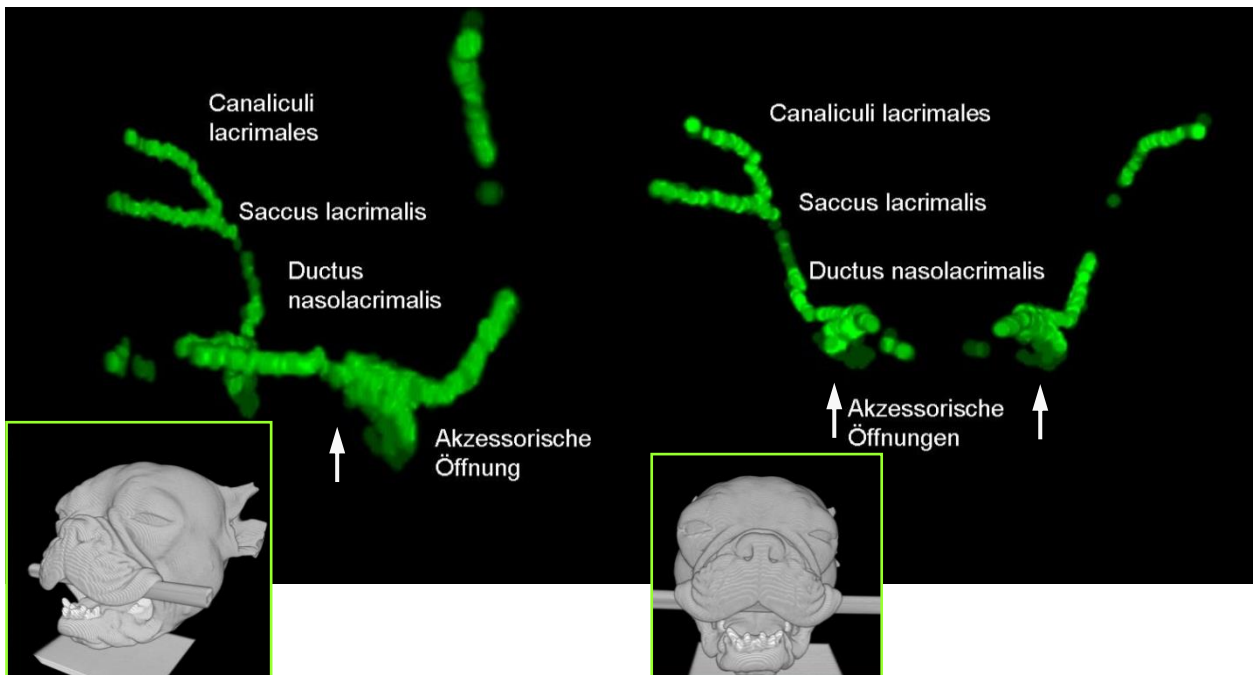


Abbildung 4-21 In dieser dreidimensionalen Rekonstruktion der Tränenwege ist der Austritt von Kontrastmittel aus der akzessorischen Öffnung des Tränen-Nasengangs bei einer Französischen Bulldogge zu sehen. Die Ausrichtung des Kopfes ist unterhalb dargestellt.

### 4.10 Kontrastmittelpassage ab der akzessorischen Öffnung

Die rostral der akzessorischen Öffnung gelegenen Anteile des Tränennasengangs, das heißt sein Mittel- und Endteil, füllen sich bei weniger als der Hälfte der untersuchten Tiere (23/50; 46%) mit Kontrastmittel. Bei den übrigen 27/50 Tieren (54%) entweicht das eingegebene Kontrastmittel vollständig durch die akzessorische Öffnung. Wenn sich die Tränenwege hinter der zusätzlichen Öffnung füllen, kann zwischen der ein- und beidseitigen sowie teilweisen und vollständigen Darstellbarkeit unterschieden werden (Abbildung 4-22). Die teilweise Befüllung ist variabel in ihrer Ausdehnung, das Ostium nasolacrimale wird aber nicht erreicht. Nur bei der vollständigen Darstellung gelangt das Kontrastmittel in den Nasenvorhof. Die untersuchten normozephalen Hunde zeigen sämtlich einen zusätzlichen Abfluss über das Ostium nasolacrimale in den Nasenvorhof. Auch bei ihnen treten aber beachtliche Mengen Kontrastmittel über die akzessorische Öffnung aus.

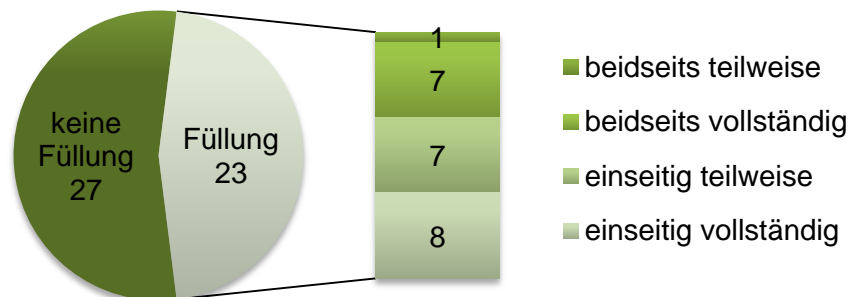


Abbildung 4-22 Das Diagramm zeigt die Füllung der Tränenwege nach der akzessorischen Öffnung (Mittel- und Endteil des TNG) mit Kontrastmittel bei der Gesamtheit der untersuchten brachyzephalen Tiere.

Tabelle 7 Übersicht über die Füllung des TNG hinter der akzessorischen Öffnung (AÖ) bei den drei untersuchten brachyzephalen Hunderassen

Rasse	Kontrastmittelfüllung rostral der AÖ				
	gesamt	vollständig		teilweise	
		beidseitig	einseitig	beidseitig	einseitig
Mops	9/23 (39%)	5 (22%)	3 (13%)	0	1 (4%)
Franz. Bulldogge	9/17 (53%)	2 (12%)	4 (23%)	0	3 (18%)
Engl. Bulldogge	5/10 (50%)	0	1 (10%)	1 (10%)	3 (30%)
Gesamt	23/50 (46%)	7 (14%)	8 (16%)	1 (2%)	7 (14%)

## 4.11 Längenbestimmung der tränenableitenden Wege

Die Länge der Tränenwege wird im Folgenden abschnittsweise dargelegt.

### 4.11.1 Länge des Tränennasengangs

Der Tränennasengang (inklusive Saccus lacrimalis) misst bei der Englischen Bulldogge im Mittel 56,38 mm (48,78-69,88 mm, n=20), bei der Französischen Bulldogge 43,48 mm (39,02-48,99 mm, n=18), beim Mops 39,46 mm (31,51-44,50 mm, n=18) und bei den Normozephalen 95,70 mm (76,41-116,66 mm, n=12).

*Tabelle 8 Deskriptive Statistik der **Länge des TNG** in mm, vergleichend für Englische Bulldogge (EB), Französische Bulldogge (FB), Mops und Normozephal (NZ)*

<b>Länge TNG mm</b>		EB	FB	Mops	NZ
Normalverteilung		ja	ja	ja	ja
Mittelwert		56,38	43,48	39,46	95,70
Median		55,24	43,68	40,06	94,03
Minimum		48,78	39,02	31,51	76,41
Maximum		69,88	48,99	44,50	116,66
Quartile	25	53,52	41,34	37,37	88,93
	75	58,99	45,77	42,37	106,17

### 4.11.2 Länge des Anfangsteils des Tränennasengangs

Der Anfangsteil beinhaltet auch die Länge des Saccus lacrimalis. Er weist bei der Englischen Bulldogge im Mittel eine Länge von 19,86 mm (14,49-24,41 mm, n=20), bei der Französischen Bulldogge von 14,00 mm (10,94-16,32 mm, n=18) und beim Mops im Median von 13,56 mm (11,89-17,95 mm, n=18) auf. Bei den normozephalen Hunden ist er im Mittel 35,48 mm (26,85-43,29 mm, n=12) lang.

*Tabelle 9 Deskriptive Statistik der Länge des **Anfangsteils des TNG** in mm, vergleichend für Englische Bulldogge (EB), Französische Bulldogge (FB), Mops und Normozephal (NZ)*

<b>Anfangsteil mm</b>		EB	FB	Mops	NZ
Normalverteilung		ja	ja	nein	ja
Mittelwert		19,86	14,00		35,48
Median		19,68	14,67	13,56	36,32
Minimum		14,49	10,94	11,89	26,85
Maximum		24,41	16,32	17,95	43,29
Quartile	25	17,96	12,32	12,77	31,61
	75	22,18	15,40	16,23	39,54

#### 4.11.3 Gemeinsame Länge von Mittel- und Endteil des Tränennasengangs

Mittel- und Endteil haben eine gemeinsame Länge von im Median 35,54 mm (29,66-47,24 mm, n=20) bei der Englischen Bulldogge, im Mittel von 29,48 mm (25,72-33,59 mm, n=18) bei der Französischen Bulldogge und 25,10 mm (18,30-28,59 mm, n=18) beim Mops sowie 60,22 mm (48,72-73,59 mm, n=12) bei den Normozephalen.

*Tabelle 10 Deskriptive Statistik der gemeinsamen **Länge von Mittel- und Endteil** des TNG in mm, vergleichend für Englische Bulldogge (EB), Französische Bulldogge (FB), Mops und Normozephal (NZ)*

<b>Mittel-/Endteil mm</b>		EB	FB	Mops	NZ
Normalverteilung		nein	ja	ja	ja
Mittelwert			29,48	25,10	60,22
Median		35,54	29,21	25,30	59,25
Minimum		29,66	25,72	18,30	48,72
Maximum		47,24	33,59	28,59	73,59
Quartile	25	33,84	27,52	24,13	52,55
	75	37,34	31,53	26,68	68,18

#### 4.11.4 Länge der Tränenkanälchen

Die Canaliculi lacrimales superiores und inferiores der Englischen Bulldogge sind im Mittel 18,20 mm (14,26-22,22 mm, n=20) beziehungsweise 16,32 mm (11,75-22,65 mm, n=19) lang, die der Französischen Bulldogge 16,98 mm (12,52-20,37 mm, n=18) beziehungsweise 16,65 mm (14,18-20,18 mm, n= 18). Die Länge der oberen Tränenkanälchen des Mopses beträgt im Mittel 14,39 mm (11,06-17,42 mm, n=18), die der unteren 15,17 mm (11,88-18,93 mm, n=18). Die normozepale Gruppe weist median 7,33 mm (5,28-12,25 mm, n=12) lange obere und im Mittel 5,45 mm (2,94-7,70 mm, n=11) lange untere Kanälchen auf. Im Unterschied zu den anderen drei Gruppen sind die unteren Tränenkanälchen beim Mops im Mittel etwas länger als die oberen (mittlere Differenz 0,78 mm).

Tabelle 11 Deskriptive Statistik der **Länge der Tränenkanälchen** in mm, vergleichend für Englische Bulldogge (EB), Französische Bulldogge (FB), Mops und Normozepale (NZ)

Canaliculi mm		EB		FB		Mops		NZ	
		sup.	inf.	sup.	inf.	sup.	inf.	sup.	inf.
Normalverteilung		ja	ja	ja	ja	ja	ja	nein	ja
Mittelwert		18,20	16,32	16,98	16,65	14,39	15,17		5,45
Median		18,04	15,79	17,15	16,63	14,22	15,32	7,33	5,63
Minimum		14,26	11,75	12,52	14,18	11,06	11,88	5,28	2,94
Maximum		22,22	22,65	20,37	20,18	17,42	18,93	12,25	7,70
Quartile	25	16,08	14,48	15,76	15,37	13,40	13,32	6,36	4,35
	75	20,43	17,02	18,68	18,05	15,69	16,61	7,98	6,39

#### 4.11.5 Anteilige Länge der Tränenkanälchen am TAS

Die oberen Tränenkanälchen machen bei der Englischen Bulldogge zwischen einem Fünftel und einem Drittel der Gesamtlänge des tränenableitenden Systems (TAS) aus (Mittelwert 0,24, 0,19-0,31, n=19). Die Verhältnisse bei den unteren Kanälchen sind mit einem mittleren Anteil von 0,22 (0,17-0,32, n=19) ähnlich. Die Tränenkanälchen der Französischen Bulldogge nehmen im Mittel einen Anteil von 0,28 sowohl oben (0,20-0,32, n=18) als auch unten (0,23-0,34, n=18) an der Länge der Tränenwege in Anspruch. Beim Mops beträgt der Anteil der oberen Canaliculi im Mittel 0,27 (0,21-0,31, n=18), der der unteren 0,28 (0,22-0,35, n=18). Im Gegensatz dazu nehmen die Canaliculi lacrima-

## 4 ERGEBNISSE

les der normozephalen Hunde median nur einen Anteil von 0,07 (0,05-0,12, n=12) superior und im Mittel 0,05 (0,04-0,08, n=11), also ein Zwanzigstel, inferior ein.

Die Unterschiede zu den normozephalen Hunden sind sämtlich signifikant. Unter den brachyzephalen Rassen hat die Englische Bulldogge die anteilig kürzesten Tränenkanälchen. Dieser Unterschied zu den anderen beiden kurzköpfigen Rassen ist größtenteils signifikant (siehe Abbildung 4-23).

Die Ergebnisse der statistischen Testung sind in Tabelle 21 im Anhang aufgelistet.

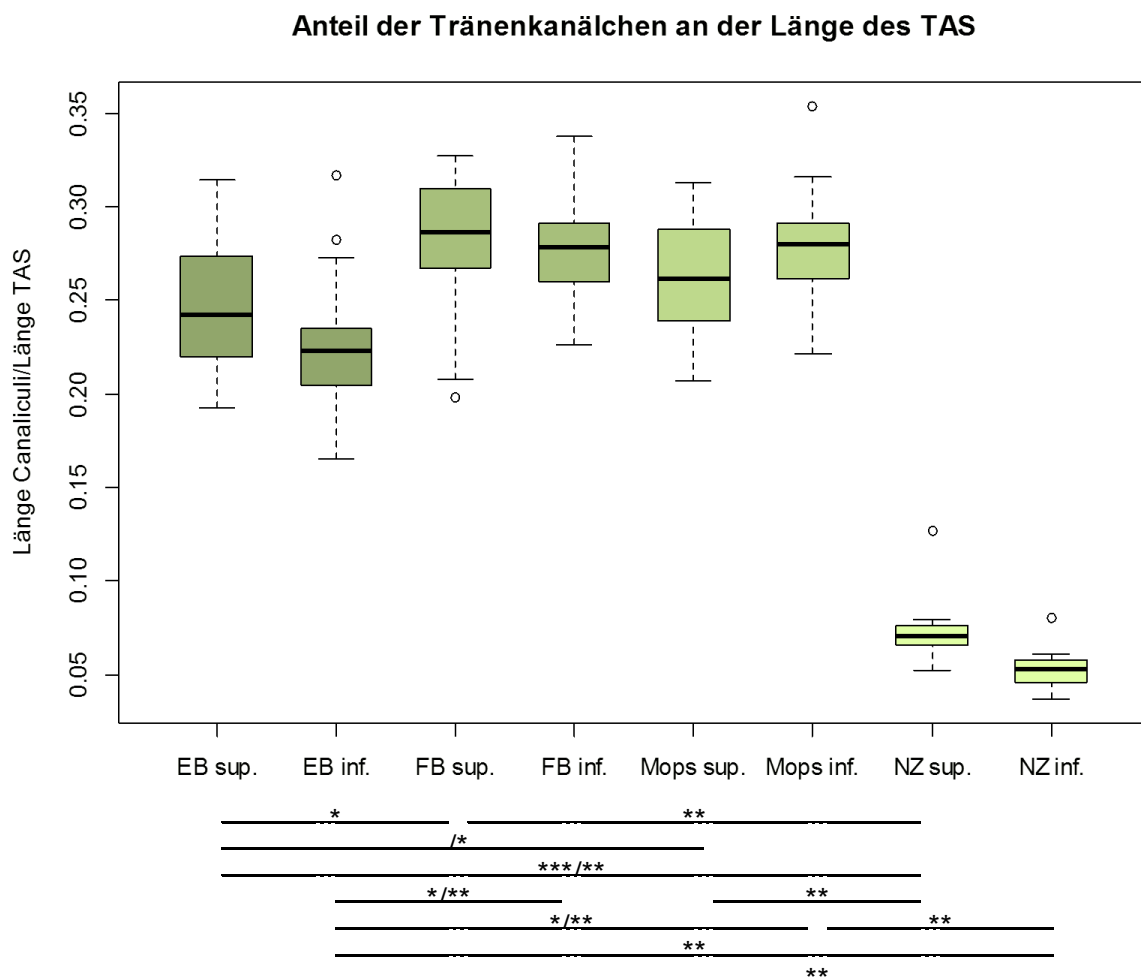


Abbildung 4-23 Boxplots der anteiligen Länge der oberen (sup.) und unteren (inf.) Tränenkanälchen am TAS für die einzelnen brachyzephalen Rassen im Vergleich zur normozephalen Vergleichsgruppe (NZ). Linke und rechte Seite sind zusammengefasst. Für Erläuterungen zur Angabe des Signifikanzniveaus siehe Abbildung 4-9.

Tabelle 12 Deskriptive Statistik der **anteiligen Länge der Tränenkanälchen am TAS** vergleicht für Englische Bulldogge (EB), Französische Bulldogge (FB), Mops und Normozepale (NZ)

Canaliculi/ TAS		EB		FB		Mops		NZ	
		sup.	inf.	sup.	inf.	sup.	inf.	sup.	inf.
Normalverteilung		ja	ja	nein	ja	ja	ja	nein	ja
Mittelwert		0,24	0,22		0,28	0,27	0,28		0,05
Median		0,24	0,22	0,29	0,28	0,27	0,28	0,07	0,05
Minimum		0,19	0,17	0,20	0,23	0,21	0,22	0,05	0,04
Maximum		0,31	0,32	0,32	0,34	0,31	0,35	0,12	0,08
Quartile	25	0,21	0,20	0,27	0,26	0,25	0,26	0,06	0,05
	75	0,26	0,24	0,30	0,29	0,29	0,29	0,08	0,06

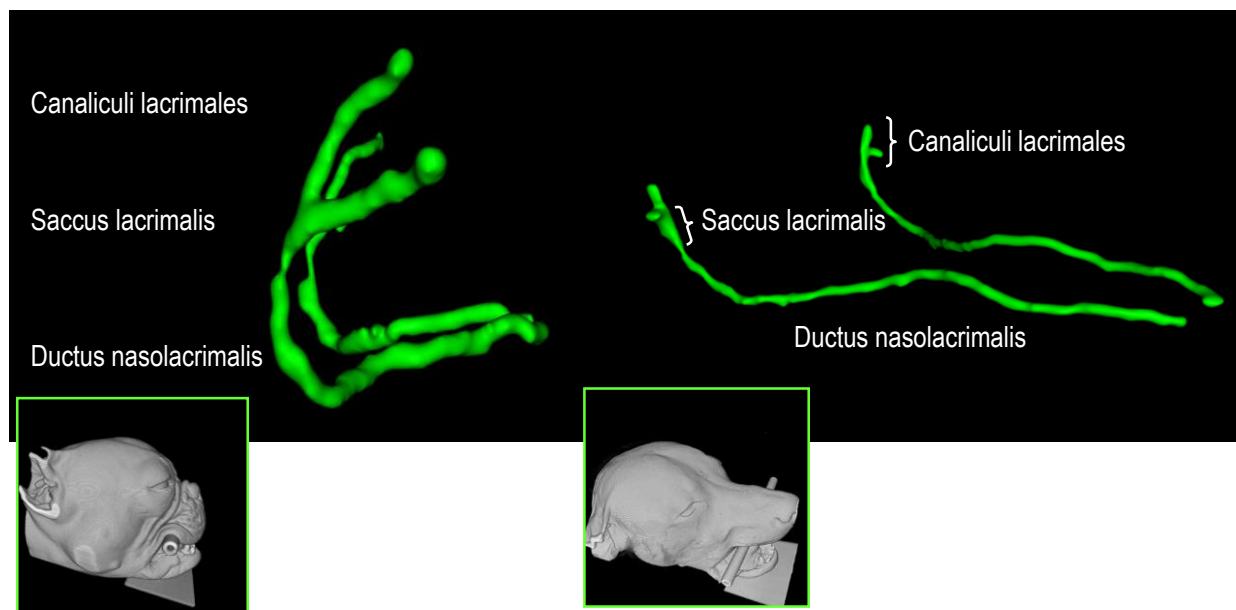


Abbildung 4-24 Die dreidimensionale Rekonstruktion der Tränenwege verdeutlicht den unterschiedlich großen Anteil, den die Tränenkanälchen an der Gesamtlänge des TAS bei brachy- und normozephalen Hunden haben. Links nehmen die Kanälchen einer Französischen Bulldogge etwa ein Drittel, rechts die eines Rhodesian Ridgebacks nur etwa ein Zwanzigstel ein.

#### 4.11.6 Anteilige Längen des Tränennasengangs

Der Anfangsteil macht von der Gesamtlänge des TNG bei der Englischen Bulldogge im Mittel 35,3% (25,9-42,2%, n=20), bei der Französischen Bulldogge 32,2% (26,8-36,7%, n=18), beim Mops im Median 34,8% (32,1-42,2%, n=18) und bei den normozephalen Tieren im Mittel 37,1% (33,0-43,5%, n=12) aus.



Mittel- und Endteil, die nicht sicher voneinander abgegrenzt werden konnten, nehmen demzufolge gemeinsam bei der Englischen Bulldogge im Mittel 64,7% (57,8-74,1%, n=20) ein. Bei der Französischen Bulldogge machen sie im Mittel 67,8% (63,3-73,2%, n=18), beim Mops median 65,2% (57,8-67,9%, n=18) und bei den Normozephalen im Mittel 62,9% (56,5-67,0%, n=12) aus. Die Verhältnisse liegen bei allen vier Gruppen in ähnlichen Bereichen, signifikante Unterschiede lassen sich nur für die Französische Bulldogge nachweisen. Für die Englische Bulldogge und den Mops gibt es keinen statistischen Unterschied zur normozephalen Gruppe (Abbildung 4-25).

Die Ergebnisse der statistischen Testung sind in Tabelle 20 im Anhang aufgelistet.

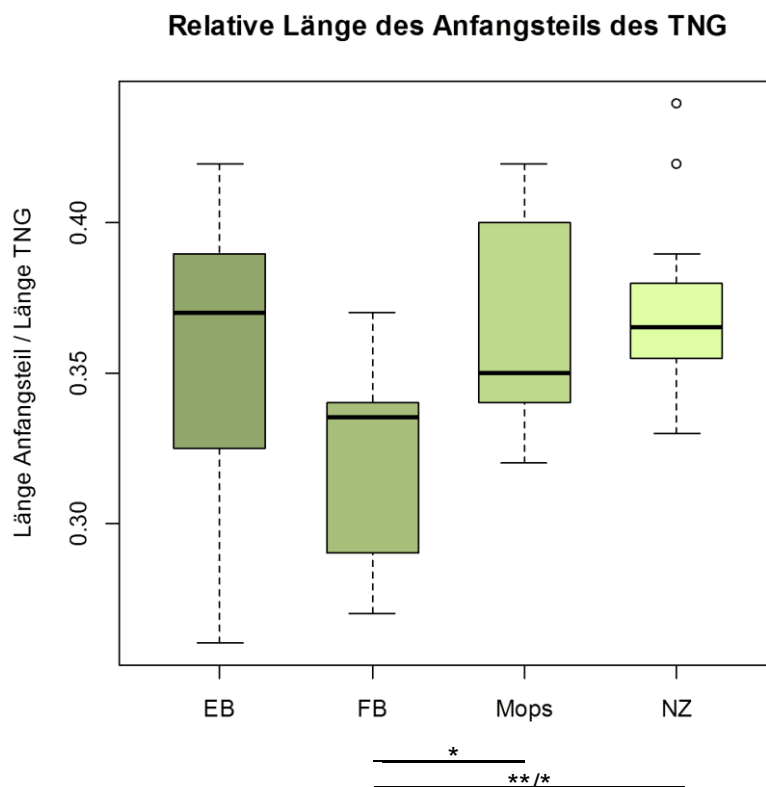


Abbildung 4-25 Boxplots der relativen Länge des Anfangsteils am TNG für die einzelnen brachyzephalen Rassen im Vergleich zur normozephalen Gruppe (NZ). Für Erläuterungen zur Angabe des Signifikanzniveaus siehe Abbildung 4-9.

#### 4.12 Bedeutung der Lagerung des Kopfes für den Abfluss

Abfluss bedeutet in diesem Fall, dass das Kontrastmittel in den Tränenwegen nach der akzessorischen Öffnung weiterfließt. Es tritt also nicht vollständig an dieser Stelle aus. Eine, von der angestrebten parallelen Lagerung des harten Gaumens zur Unterlage, abweichende Position des Kopfes, scheint den Abfluss nicht zu beeinträchtigen.

Weder der Vergleich von drei Gruppen untereinander noch der mit nur zwei Gruppen konnte einen statistischen Zusammenhang zeigen. Bei der Verwendung von drei Gruppen bilden Tiere ohne Abfluss eine Gruppe und Tiere mit partiellem und vollständigem Abfluss je eine weitere (Kruskal-Wallis-Test, rechts  $p=0,976$ ; links  $p=0,136$ ). Für den Vergleich mit zwei Gruppen werden die beiden Gruppen mit teilweisem und vollständigem Abfluss zu einer einzigen Gruppe zusammengefasst (Mann-Whitney-U-Test, rechts  $p=0,971$ ; links  $p=0,608$ ).

### 4.13 Relevanz des Anstiegs des TNG für den Abfluss

Abfluss bedeutet auch in diesem Fall, dass das Kontrastmittel in den Tränenwegen nach der akzessorischen Öffnung weiterfließt. Es tritt also nicht vollständig an dieser Stelle aus. Die gemeinsame Untersuchung der drei brachycephalen Hunderassen zeigt bei Tieren ohne Abfluss nach der akzessorischen Öffnung keinen statistisch nachweisbaren steileren Anstieg des Tränennasengangs und umgekehrt (einseitiger Mann-Whitney-U-Test; rechts  $p=0,111$ ; links  $p=0,228$ ). Der mediane Anstieg liegt jedoch bei den Gruppen mit Abfluss (vollständig oder teilweise) rechtsseitig um 7,48% und linksseitig um 4,98% niedriger als bei den Gruppen ohne Abfluss.

Werden die brachycephalen Rassen getrennt untersucht, zeigt sich beim Mops rechtsseitig (einseitiger Mann-Whitney-U-Test;  $p=0,022$ ) und bei der Französischen Bulldogge auf der linken Seite ( $p=0,039$ ), dass die Tränenwege bei denen Kontrastmittel nach der akzessorischen Öffnung weiterfließt signifikant flacher ansteigen. In den übrigen Fällen ist weder rechts noch linksseitig ein Unterschied zwischen den Gruppen nachweisbar (siehe Tabelle 13).

*Tabelle 13 Ergebnisse der statistischen Testung des Zusammenhangs zwischen Anstieg des TNG und Abfluss nach der AÖ; Gruppe 0 besteht aus Tieren ohne, Gruppe 1 aus Tieren mit vollständigem und teilweisem Abfluss. P gibt das Ergebnis des einseitigen Mann-Whitney-U-Testes an. Der Anstieg wird als Median in Prozent angegeben. Signifikante Ergebnisse sind mit einem Stern gekennzeichnet.*

Rasse	p		Gruppe 0				Gruppe 1			
	rechts	links	rechts		links		rechts		links	
			n	Anstieg	n	Anstieg	n	Anstieg	n	Anstieg
EB	0,089	0,500	8	40,23	6	56,69	2	62,65	4	53,52
FB	0,483	*0,039	10	33,28	13	33,59	8	29,18	4	29,87
Mops	*0,022	0,483	14	36,35	10	30,68	6	21,73	8	32,93

#### 4.14 Einfluss des Oberkiefercaninus auf den Abfluss

Abfluss bedeutet auch für diese Untersuchung, dass das Kontrastmittel in den Tränenwegen nach der akzessorischen Öffnung weiterfließt, es also nicht vollständig an dieser Stelle austritt. Es kann keine Abflussbehinderung durch die Unterquerung des Oberkiefercaninus festgestellt werden (Chi-Quadrat-Test; beidseits  $p=0,448$ ; rechts  $p=0,936$ ; links  $0,501$ ).

#### 4.15 Wirkung des Oberkiefercaninus auf den Anstieg des TNG

Ob die Unterquerung des Oberkiefercaninus einen steileren Anstieg des Tränennasengangs bedingt, wird nur bei Mops und Französischer Bulldogge untersucht. Die Englische Bulldogge bleibt unberücksichtigt, da lediglich ein Tier eine Caninusunterquerung aufweist.

Tränenwege, die unter dem Eckzahn hindurchlaufen, steigen im Median steiler an (Tabelle 14), signifikant ist dieser Unterschied beim Mops auf der linken Seite (einseitiger Mann-Whitney-U-Test;  $p=0,012$ ). Französische Bulldogge und Mops gemeinsam ausgewertet zeigen linksseitig ebenfalls einen signifikanten Zusammenhang ( $p=0,015$ ) und rechts einen deutlichen Trend ( $p=0,051$ ). Bei separater Untersuchung der Französischen Bulldogge lässt sich kein Zusammenhang nachweisen. Bei der Betrachtung der Mediane für die linke Seite der Französischen Bulldogge entsteht der Eindruck, dass der Anstieg in Gruppe 1 im Vergleich zu Gruppe 0 abnimmt. Vergleicht man aber die Mittelwerte (links Gruppe 0  $\bar{x}=30,53$ ; Gruppe 1  $\bar{x}=35,33$ ) bestätigt sich dieses Verhältnis nicht. Zu beachten ist, dass die statistischen Tests trotz gegebener Normalverteilung für den Parameter „Anstieg“ nicht parametrisch ausgeführt wurden (siehe Abschnitt 3.4.).

*Tabelle 14 Ergebnisse der statistischen Testung des Zusammenhangs zwischen Caninusunterquerung und Anstieg des TNG; Gruppe 0 besteht aus Tieren ohne, Gruppe 1 aus Tieren mit Caninusunterquerung, P gibt das Ergebnis des einseitigen Mann-Whitney-U-Testes an. Der Anstieg wird als Median in Prozent angegeben. Signifikante Ergebnisse sind mit einem Stern gekennzeichnet.*

Rasse	p		Gruppe 0				Gruppe 1			
	rechts	links	rechts		links		rechts		links	
			n	Anstieg	n	Anstieg	n	Anstieg	n	Anstieg
FB	0,073	0,294	6	26,93	7	33,59	11	33,58	11	32,44
Mops	0,144	*0,012	14	27,03	12	27,81	5	36,98	5	46,11
FB+ Mops	0,051	*0,015	20	27,03	19	30,22	16	33,83	16	35,36

## 5 DISKUSSION

### 5.1 Hypothesen

Die vergleichenden Untersuchungen dieser Arbeit bestätigen nur die erste der beiden zugrunde gelegten Hypothesen.

1. Die ableitenden Tränenwege brachyzephaler Hunderassen unterscheiden sich deutlich von denen normozephaler Hunde.

Die zweite Hypothese hingegen wird widerlegt.

2. Der spezifische Verlauf der Tränenwege brachyzephaler Hunde stellt ein mögliches Abflusshindernis für die Tränenflüssigkeit dar.

Die Vielfalt der Unterschiede zwischen normo- und brachyzephalen Hunderassen, die die erste Hypothese bestätigen, ist dem Ergebnisteil und deren Diskussion umfangreich zu entnehmen. Lediglich die abzulehnende zweite Hypothese soll noch einmal kurz zusammengefasst diskutiert werden.

Ähnlich wie bereits von SCHLUETER und Mitarbeitern (2009) für die brachyzephe Katze beschrieben, ist ein steiler Anstieg des Tränennasengangs auch für kurzköpfige Hunde charakteristisch. Während bei der Katze aus diesem „bergauf“ Verlauf erhebliche Abflussstörungen mit chronischem Tränenträufeln resultieren, bleibt diese Abweichung beim brachyzephalen Hund in der Regel ohne Folgen für den vollständigen Abtransport der Tränen. Der entscheidende Unterschied liegt im regelmäßigen Vorkommen einer akzessorischen Öffnung beim brachyzephalen Hund. Sie ermöglicht den vollständigen Abfluss in die Nasenhöhle vollkommen unabhängig von der Steilheit der Tränenwege. Alle in dieser Studie untersuchten kurzköpfigen Hunde haben durchgängige Tränenwege. Dabei entweicht bei allen, bis auf eine Französische Bulldogge, das Kontrastmittel entweder ausschließlich oder aber vorwiegend über die akzessorische Öffnung in die Nasenhöhle. Die ansteigenden Tränenwege beim kurzköpfigen Hund resultieren also nicht, wie bei der brachyzephalen Katze, in dauerhafter Epiphora. Dass es zu ähnlichen Abflussstörungen wie bei der Katze käme, wenn diese alternative Entleerungsmöglichkeit fehlen würde, kann nur vermutet werden. Auch wenn keine Messdaten über die Steigung der Tränenwege bei der Katze vorliegen, weisen die Untersuchungen von BREIT und Mitarbeitern 2003 darauf hin, dass die Situation schwerwiegender ist als beim kurzköpfigen Hund. Bei ausgeprägt brachyzephalen Katzen steigt der TNG deutlich

über das Niveau seines Ursprungs im Foramen lacrimale an. Dieser Umstand ist lediglich bei zwei von 51 untersuchten, kurzköpfigen Hunden in deutlich abgeschwächter Ausprägung nachweisbar. Bei einem Mops befindet sich das Ostium nasolacrimale minimal über dem Niveau des Foramen lacrimale. Bei einem weiteren Mops liegen Ursprung und Mündung auf derselben Höhe. Beim brachyzephalen Hund scheint, auch ohne akzessorische Öffnung, die Abflusssituation günstiger zu sein als bei der kurzköpfigen Katze.

Der Abfluss der Tränen von der okulären Oberfläche in die Nase wird beim brachyzephalen Hund vom spezifischen Verlauf der Tränenwege nicht beeinträchtigt. Es erscheint wahrscheinlich, dass der ansteigende Kurs der Tränenwege, die auf die akzessorische Öffnung folgen, den Tränenfluss Richtung Nasenvorhof behindert. Dennoch stellt dies aber kein Abflusshindernis im Sinne der Hypothese dieser Arbeit dar. Die Tränenwege sind trotz allem durchgängig, da ausreichend Flüssigkeit durch die akzessorische Öffnung entweichen kann.

## **5.2 Ergebnisse**

### **5.2.1 Akzessorische Öffnung und Durchgängigkeit der Tränenwege**

Bis auf eine Ausnahme, sind die Tränenwege bei allen untersuchten Tieren durchgängig. Durchgängig bedeutet, Kontrastmittel fließt nach Sondierung des oberen oder unteren Tränenkanälchens in die Nasenhöhle ab. Das Kontrastmittel entweicht dabei hauptsächlich über eine zusätzliche Öffnung ventromedial der Caninuswurzel in die Nasenhöhle. Nur zu einem geringen Teil fließt es über das Ostium nasolacrimale in den Nasenvorhof ab. Diese akzessorische Öffnung ist bis auf eine Französische Bulldogge bei allen untersuchten brachyzephalen Hunden, also in 98% der Fälle, vorhanden.

Die bisherigen Literaturangaben zur Häufigkeit der akzessorischen Öffnung schwanken zwischen 40 Prozent (MICHEL 1955) und 90 Prozent (IMMLER 1996). Die vorhandenen Angaben beziehen sich üblicherweise auf normozepale Hunde. Die prozentuale Häufigkeit in der Arbeit von IMMLER schließt sowohl normo- als auch brachyzepale Tiere ein. Die kurzköpfigen Hunde umfassen eine Englische Bulldogge, zwei Hunde der Rasse Mops sowie vier Pekingesen. Bis auf einen Pekingesen weisen dort alle brachyzephalen Tiere eine akzessorische Öffnung auf.

Die zusätzliche Öffnung befindet sich nach IMMMLER (1996) bei normozephalen Hunden kranial und bei brachycephalen kaudal der Caninuswurzel. Bei den untersuchten Französischen Bulldoggen und Möpsen in dieser Studie ist die Unterbrechungsstelle regelmäßig direkt auf Höhe der Caninuswurzel lokalisiert. Lediglich bei der Englischen Bulldogge ist sie häufig etwas kaudal von ihr zu finden. Bei den sechs normozephalen Tieren in dieser Studie befindet sich die Öffnung entweder direkt auf Höhe der Eckzahnwurzel oder leicht kranial von ihr. Ungeachtet ihrer, sowohl bei normo- als auch brachycephalen Hunden, caninuswurzelnahen Lage, wird diese akzessorische Öffnung doch von unterschiedlichen Abschnitten des TNG ausgebildet. Bei den kurzköpfigen Tieren ist sie regelmäßig kurz nach dem Austritt aus dem knöchernen Tränenkanal am Ursprung des mittleren TNG lokalisiert. Bei Normozephalen findet sie sich viel weiter rostral, etwa auf halber Strecke des Mittelteils. Diese Beobachtung legt den Schluss nahe, dass sich die erste Hälfte des mittleren TNG im Zuge der Reduktion nasaler Strukturen bei Brachycephalen besonders verkürzt.

In der Literatur wird die Länge der akzessorischen Öffnung als variabel beschrieben. Ihr Spektrum reicht von einer kleinen Apertur bis hin zu einem, den Endabschnitt des TNG erreichenden, langen Spalt (IMMMLER 1996). Die Ausdehnung der Unterbrechung ist in der CT-Untersuchung nicht eindeutig bestimmbar. Das liegt daran, dass sich Kontrastmittel nach Austritt in die Nasenhöhle zwischen den Nasenmuscheln und -falten nach vorn bewegt und diese Zwischenräume vollkommen ausfüllt. Es wäre deshalb nicht von Flüssigkeit unterscheidbar, die gleichzeitig aus einer weit nach vorn reichenden akzessorischen Öffnung austritt. Der Beginn der Öffnung liegt bei allen untersuchten brachycephalen Hunden an derselben Stelle, kurz nachdem der TNG den Canalis lacrimalis verlassen hat.

Ihre große Bedeutung zeigt sich darin, dass sie bei mehr als der Hälfte der Hunde (54%) der einzig nachweisbare Abflussweg für das Kontrastmittel in die Nasenhöhle ist. Bei lediglich 14% (7/50) der untersuchten Tiere besteht zusätzlich beidseits ein Abfluss über das Ostium nasolacrimale. Bei 32% (16/50) füllen sich variabel einseitig oder nur teilweise die auf die akzessorische Öffnung folgenden Teile der Tränenwege. In jedem Fall aber entleert sich das Kontrastmittel nahezu vollständig über die akzessorische Öffnung in die hintere Nasenhöhle. Diese Tatsache lässt auf eine nur untergeordnete Bedeutung des Ostium nasolacrimale für den Abfluss der Tränenflüssigkeit bei brachycephalen Hunderassen schließen.

Am wachen Tier wird die Durchgängigkeit der Tränenwege dadurch bestimmt, dass Flüssigkeit (Spülung der Tränenwege) oder der Farbstoff Fluoreszein (Jones-Test) die Tränenwege von den Tränenkanälchen ausgehend passiert und nach Austritt aus dem Ostium nasolacrimale an den Nares sichtbar wird. Bei brachyzephalen Hunden tritt die Tränenflüssigkeit aber vorrangig oder ausschließlich über eine zusätzliche Öffnung in den hinteren Teil der Nasenhöhle aus. Sie gelangt in den Tränenwegen nicht bis in den Nasenvorhof, sondern fließt stattdessen Richtung Nasopharynx. Der fehlende Farbstoff bzw. die fehlende Spülflüssigkeit an den Nasenöffnungen kann leicht als Obstruktion der Tränenwege fehlinterpretiert werden. Da viele kurzköpfige Hunderassen ausgeprägte Epiphora zeigen, kann hier leicht ein unmittelbarer kausaler Zusammenhang vorge-täuscht werden, der das falsche therapeutische Vorgehen nach sich zieht.

Tatsächlich waren die Tränenwege bei nahezu allen untersuchten Tieren durchgängig, von denen viele teils ausgeprägte Tränenstraßen aufwiesen. Somit erscheint der Jones Test für brachyzephal Hunderassen als nicht aussagekräftig bei der Bestimmung der Durchgängigkeit der Tränenwege. Die Spülung der Tränenwege ist hingegen geeignet. Tritt die Spülflüssigkeit aus den Nasenöffnungen aus, ist die Durchgängigkeit erwiesen. Im Gegensatz zu normozephalen Hunderassen tritt bei Brachyzephalen die Spülflüssigkeit häufig etwas verzögert aus den Nares aus. Dafür könnte ein Abfließen über die akzessorische Öffnung in die hintere Nasenhöhle oder ein mechanisches Hindernis durch den engen Naseneingang bei kurzköpfigen Hunden verantwortlich sein. Zum Teil kann die Spülung auch indirekt durch den Schluckreflex, den die über den Nasopharynx entweichende Flüssigkeit auslöst, interpretiert werden. Die Ursache der Tränenstraßen sind in der Regel die für kurzköpfige Hunde typischen Lidanomalien (Makroblepharon, Entropium, Trichiasis), die mit einer chirurgischen Korrektur verbessert werden können.

### **5.2.2 Steigung des Tränennasengangs und Einfluss auf die Fließdynamik**

Für die brachyzephal Katze wurde ein steilerer Verlauf der Tränenwege im Vergleich zu normozephalen Tieren beschrieben (SCHLUETER et al. 2009). Dies kann auch deutlich bei den hier untersuchten kurzköpfigen Hunderassen gezeigt werden. Die Englische Bulldogge hat mit 52,02% (27,01-88,76%, n=20) Steigung den am steilsten verlaufenden Tränennasengang. Auch Mops und Französische Bulldogge weisen mit 32,53% (10,70-64,57%, n=38) beziehungsweise 32,60% (10,74-54,76%, n=35) hohe Anstiege auf, die

weit über denen der normozephalen Vergleichsgruppe mit nur 10,04% (5,36-15,76%, n=12) liegen.

Um die Bedeutung der prozentualen Steigung zu verdeutlichen, wird deren mathematische Herkunft kurz erläutert. Der Anstieg ( $m$ ) einer Geraden gibt an, welche Höhe ( $h$ ) innerhalb einer Wegstrecke ( $l$ ) überbrückt wird. In dem in der Mathematik dafür verwandten Anstiegsdreieck entspricht dies dem Verhältnis von Gegenkathete (Höhe) zu Ankathete (Länge der Wegstrecke). Die Angabe in Prozent ergibt sich durch Multiplikation mit dem Faktor 100. Der Anstieg entspricht dem Tangens des Steigungswinkels  $\alpha$ . Dieser Winkel entsteht zwischen der ansteigenden Geraden und der dazugehörigen Ebene (SCHOLL und DREWS 2001).

$$m = \tan(\alpha) = \frac{h}{l}$$

Eine Steigung von 50 Prozent entspricht beispielsweise einer Höhe von fünf Metern, die über eine Strecke von zehn Metern überbrückt wird, eine 30-prozentige Steigung entspricht drei Metern, eine zehnpromtente dann einem Meter Höhenunterschied. Wie die Formel zeigt, bedeutet eine zunehmende Steigung, dass entweder eine größere Höhe über eine gleichbleibende Strecke überbrückt werden muss oder für dieselbe Höhe weniger Wegstrecke zur Verfügung steht. Der dazugehörige Steigungswinkel, dessen Tangens das Höhen-Längen-Verhältnis beschreibt, verändert sich nicht proportional zum Anstieg. Die Steigung der Tränenwege der Englischen Bulldogge von 52,02% entspricht einem Anstiegswinkel von 27,48 Grad. Die Werte von Mops und Französischer Bulldogge in Höhe von 32,53% und 32,60% haben einen zugehörigen Steigungswinkel von 18,02 beziehungsweise 18,06 Grad. Die normozephalere Vergleichsgruppe weist bei einem Anstieg von 10,04% einen Winkel von 5,73 Grad auf.

Wie schon bei der brachyzephalen Katze angenommen, lässt auch hier der starke Anstieg der Tränenwege auf einen erschwerten Fluss „bergauf“ schließen. Dieser Zustand führt beim kurzköpfigen Hund anders als bei der brachyzephalen Katze **nicht** zu einem klinisch relevanten Abflusshindernis. Der entscheidende Unterschied liegt in dem regelmäßigen Vorkommen einer suffizienten akzessorischen Öffnung bei brachyzephalen Hunderassen, die einen ausreichenden Abfluss der Tränenflüssigkeit in die Nasenhöhle gewährleistet. Diese Öffnung befindet sich in der Regel kurz nach dem Austritt des TNG aus dem knöchernen Tränenkanal. Dieser Bereich fällt mit dem Beginn der starken Stei-



gung der Tränenwege zusammen. Der auf diese Öffnung folgende steile Verlauf kann das nahezu vollständige Entrinnen des Kontrastmittels an dieser Stelle erklären und scheint der Weg des geringsten Widerstandes zu sein. Ein Weiterfließen findet selten, oft nur teilweise und in vergleichsweise kleinen Mengen statt.

Bei normozephalen Hunden hingegen fließt die kontrastmittelhaltige Flüssigkeit in der Regel trotz akzessorischer Öffnung ungehindert bis zum Ostium nasolacrimale weiter. Der auffälligste Unterschied zu den brachyzephalen Rassen ist der um ein Vielfaches flachere Verlauf der Tränenwege.

IMMLER (1996) beschreibt in ihrer Arbeit, dass nach der akzessorischen Öffnung in der DCG kein Weiterfließen von Kontrastmittel zum Ostium nasolacrimale, sowohl beim normo- als auch beim brachyzephalen Hund gesehen werden kann. Sie schließt daraus, dass sich dieses vollständig in die Nasenhöhle entleert. Die Länge der Unterbrechungsstelle des TNG wird hier als sehr variabel und zum Teil sehr lang und den gesamten Mittelteil umfassend beschrieben. Unter diesen Umständen wäre unabhängig von der Steigung des TNG nicht zu erwarten, dass Kontrastmittel weiter nach vorn fließt. Die in der vorliegenden Arbeit verwendeten normozephalen Hunderassen zeigen ein unbeeinträchtigtes Weiterfließen des Kontrastmittels zum Nasenvorhof, obwohl ein erheblicher Teil über die zusätzliche Öffnung entweicht. Diese Beobachtung deckt sich nicht mit denen von IMMLER (1996). Lediglich der Beagle weist eine nur eingeschränkte Füllung nach der Unterbrechung auf. Die tatsächliche Länge der akzessorischen Öffnung kann in der CT-Untersuchung nicht ermittelt werden.

Klinische Beobachtungen lassen nicht vermuten, dass die akzessorische Öffnung auch bei normozephalen Hunden den einzigen Abflussweg für die Tränenflüssigkeit darstellt und das Ostium nasolacrimale nicht erreicht wird. Normozephal Hunde ohne Pathologie der Tränenwege zeigen regelmäßig sowohl bei der Spülung als auch beim Jones-Test (Fluoreszein) einen Abfluss über das Ostium nasolacrimale. Da diese Unterbrechungsstelle bei etwa 90% dieser Hunde nachweisbar ist, müssten die beiden Tests bei gesunden normozephalen Hunden regelmäßig negativ ausfallen, wenn die Tränen vollständig über die Zusatzöffnung entweichen würden. Im Unterschied dazu, fallen Durchgängigkeitsprüfungen beim brachyzephalen Patienten üblicherweise negativ aus, da der Farbstoff die Nares nicht erreicht. Die Spülflüssigkeit tritt oft verspätet aus oder wird deutlich merkbar abgeschluckt.

Auch wenn ein statistischer Zusammenhang lediglich für die rechte Seite beim Mops (einseitiger Mann-Whitney-U-Test;  $p=0,022$ ) und die linke Seite bei der Französischen Bulldogge ( $p=0,039$ ) gezeigt werden kann, ist doch bei der Gesamtheit der untersuchten brachycephalen Hunde der Trend erkennbar, dass eine größere Steigung des TNG den Abfluss Richtung Nasenvorhof erschwert und umgekehrt (einseitiger Mann-Whitney-U-Test; rechts  $p=0,111$ ; links  $p=0,228$ ). Tiere ohne Abfluss Richtung Nasenvorhof haben eine höhere mediane Steigung als die mit vollständigem oder teilweise Abfluss. Diese Anstiegsdifferenzen betragen absolut rechtsseitig 7,48% bzw.  $4,28^\circ$  und linksseitig 4,98% bzw.  $2,85^\circ$ . Der prozentuale Unterschied beläuft sich auf 26,29% rechts beziehungsweise 15,47% links.

Die Patientenzahl ist möglicherweise jedoch zu klein, um statistische Zusammenhänge sicher nachzuweisen oder auszuschließen. Außerdem wird dieser Zusammenhang lediglich in den brachycephalen Gruppen untersucht. Bei diesen steigen die Tränenwege sämtlich sehr steil an und die akzessorische Öffnung ist der Hauptabflussweg der Tränenflüssigkeit. Es wäre daher denkbar, dass sich die vorderen Tränenwege rein zufällig hin und wieder füllen. Selbst wenn sich die Tränenwege vollständig bis zum Ostium nasolacrimale füllen, erfolgt kein nennenswerter Abfluss über den Nasenvorhof sondern der Hauptteil entleert sich dennoch in die hintere Nasenhöhle über die akzessorische Öffnung. Eine Gegenüberstellung von Anstieg und Abfluss über das Ostium nasolacrimale mit den normozephalen Vergleichstieren erfolgt nicht. Sie bräuchte ein hoch signifikantes Ergebnis, da diese bei bedeutend niedrigeren Anstiegswerten ausnahmslos ein Weiterfließen Richtung Nasenvorhof zeigen. Lediglich ein Beagle weist eine nicht ganz vollständige Befüllung auf, was möglicherweise aber einem technischen Fehler zu schulden ist. Da andere Auslöser für die unterschiedlichen Abflussverhältnisse nicht ausgeschlossen sind, würde ein statistischer Vergleich dieser Art von Normo- und Brachycephalen ein verfälschtes Bild vermitteln. Auch wenn der statistische Nachweis mit einer so geringen Tierzahl eingeschränkt ist, erscheint ein Zusammenhang zwischen dem steilen Anstieg der Tränenwege bei kurzköpfigen Hunden und dem reduzierten bis fehlenden Abfluss in den Nasenvorhof schlüssig.

### **5.2.3 Einfluss der Oberkiefercanini auf den Tränennasengang**

SCHLUETER et al. (2009) beschreiben im Zusammenhang mit der Verkürzung der Gesichtsstrukturen bei stark brachycephalen Katzen einen v-förmig verlaufenden Tränen-

nasengang, der unterhalb des Caninus entlanglaufen muss, um in die Nasenhöhle gelangen zu können. Bei diesen Tieren führt der daraus resultierende steile Anstieg zu einem klinisch relevanten Abflusshindernis.

Der Tränennasengang der hier untersuchten brachycephalen Hunde steht besonders bei Mops und Französischer Bulldogge in einer sehr engen räumlichen Beziehung zum Caninus. Regelmäßig muss der TNG den Caninus bei Mops und Französischer Bulldogge (31,8% (7/22) beziehungsweise 61,1% (11/18)) sogar unterqueren, um in die Nasenhöhle zu gelangen. Bei der Englischen Bulldogge ist dies nur in 10% (1/10) der Fälle notwendig und die räumliche Nähe ist deutlich geringer.

Um die Bedeutung der Caninuswurzel einschätzen zu können, wird überprüft, ob die Unterquerung des Eckzahns zu einem steileren Anstieg der Tränenwege und/oder einem Abflusshindernis führt. Der Tränennasengang nimmt, wenn er den Eckzahn unterqueren muss, einen steileren Verlauf. Bei der Französischen Bulldogge steigt er rechtsseitig 6,7% bzw. 3,8° stärker an, das entspricht einer Steigerung um 24,7% (Tabelle 14). Der Mops zeigt linksseitig eine große Zunahme des Anstiegs von 27,8% auf 46,1% bzw. von 15,6° auf 24,8°, der TNG ist also um 65,8% steiler, wenn er unter dem Caninus hindurchlaufen muss. Die Unterschiede sind auf der rechten Seite auch mit 10% bzw. 5,7° mehr Anstieg und somit einer Steigerung um 36,8% weniger aber dennoch deutlich ausgeprägt. Signifikant ist dieser Unterschied beim Mops auf der linken Seite (einseitiger Mann-Whitney-U-Test;  $p=0,012$ ). Bei der Französischen Bulldogge ist auf der rechten Seite ein deutlicher Trend erkennbar ( $p=0,073$ ).

Französische Bulldogge und Mops gemeinsam untersucht zeigen linksseitig ebenfalls einen signifikanten Zusammenhang ( $p=0,015$ ) und rechts einen deutlichen Trend ( $p=0,051$ ). Dieser lässt sich bei der Französischen Bulldogge allein nicht nachweisen.

Ob der Abfluss über das Ostium nasolacrimale von der Caninuswurzel beeinträchtigt wird, wird mithilfe des Chi-Quadrat-Testes untersucht. Es kann hier kein Unterschied festgestellt werden (Chi-Quadrat-Test; beidseits  $p=0,448$ ; rechts  $p=0,936$ ; links 0,501). Die Unterquerung des Caninus bedingt aber einen steileren Anstieg des Tränennasengangs, der wiederum den Abfluss Richtung Ostium nasolacrimale beeinflusst (siehe 5.2.2). Ein direkter kausaler Zusammenhang mit dem eingeschränkten Abfluss in den Nasenvorhof lässt sich aber nicht beweisen.

Trotz des steileren Verlaufs, den die Unterquerung des Eckzahns verursacht, ist dessen Bedeutung für die Durchgängigkeit der Tränenwege gering. Die Höhe des Anstiegs

nimmt erst nach der akzessorischen Öffnung Einfluss auf die Dynamik innerhalb der Tränenwege. Da sich aber die Hauptmenge des Kontrastmittels bereits über diese Öffnung in die Nasenhöhle ergießt, bleibt der Abtransport der Tränenflüssigkeit vom Auge in die Nasenhöhle unabhängig von der Stellung der Oberkiefercanini. Die Situation unterscheidet sich somit grundlegend von der, der brachycephalen Katze. Ausnahmen bilden Tiere ohne zusätzliche Öffnung.

#### **5.2.4 Relative Lage von Foramen lacrimale und Ostium nasolacrimale**

Bei Katzen mit stärkeren Ausprägungsgraden der Brachycephalie kann nach BREIT et al. 2003 der TNG bis über seinen Ursprung im Foramen lacrimale hinaus ansteigen. Derartige Verhältnisse liegen beim brachycephalen Hund deutlich seltener und weniger ausgeprägt vor. Von den hier untersuchten 51 Tieren befindet sich das Ostium nasolacrimale lediglich bei einem Hund etwas über und bei einem anderen auf einem Niveau mit dem Foramen lacrimale. In beiden Fällen handelt es sich um Hunde der Rasse Mops. Diese Situation liegt bei keiner untersuchten Englischen oder Französischen Bulldogge vor. Dass ausschließlich der Mops betroffen ist, passt zu dem von BREIT et al. (2003) beschriebenen Zusammenhang mit dem Ausprägungsgrad der Brachycephalie bei Katzen. Der Mops hat von den drei untersuchten brachycephalen Hunderassen den kürzesten Kopf (OECHTERING et al. 2007). Wie bei der Katze, ist es auch beim Hund wahrscheinlich, dass dieser Zustand die Fließdynamik stört. Da aber die regelmäßig vorkommende akzessorische Öffnung beim brachycephalen Hund einen vollständigen Abfluss der Tränenflüssigkeit ermöglicht, kommt diesen Niveauunterschieden kaum eine Bedeutung zu.

#### **5.2.5 Räumliche Orientierung der Tränenwege**

Das nahezu ausgeglichene Verhältnis von Längen- und Breitenausdehnung bei Englischer (Median 1,07) und Französischer Bulldogge (Mittelwert 1,03) zeigt eine lateromediale Ausrichtung der Tränenwege. Das passt zu der verkürzten und verbreiterten Schädelform dieser Rassen. Diese Orientierung unterscheidet sich stark vom normozephalen Hund. Dessen Tränenwege verlaufen von kaudal nach rostral und sie dehnen sich in der Länge etwa viermal so stark aus wie in der Breite (Mittelwert 3,77) (siehe Abbildung 3-9). Auffällig ist, dass sich der Mops auf scheinbar paradoxe Art von den anderen beiden brachycephalen Rassen unterscheidet. Er weist ein Längen-Breiten-Verhältnis von 1,25

(0,97-1,65, n=42) auf. Da der Mops den kürzesten Kopf unter den drei untersuchten brachyzephalen Rassen aufweist (OECHTERING et al. 2007), würde man ein Ergebnis von unter 1 erwarten. Die im Mittel um 25% stärkere Längen- als Breitenausdehnung bedeutet aber nicht, dass der Mops den Verhältnissen beim normozephalen Hund näher steht als die anderen beiden brachyzephalen Rassen. Dieses Ergebnis ist mit der Form der Tränenwege eines vertikal ausgerichteten, nach rostral offenen „V's“ zu erklären (Vergleiche Abbildung 4-7, Abbildung 3-8). Dieses „V“ ist beim Mops in der vertikalen Ebene sehr viel mehr gestaucht als bei Englischer und Französischer Bulldogge. Die sehr kleinen Winkel 3 und 4 verdeutlichen diese Verhältnisse (siehe Abbildung 4-11 und Abbildung 4-12). Beim Mops verlaufen nur kleine Anteile der Tränenwege in der vertikalen Ebene. Stattdessen orientieren sie sich ab den Tränenpünktchen zunächst sehr stark kaudal- dann rostralwärts unter Formung eines sehr flachen „V's“. Die Kaudalbewegung ist deutlich stärker ausgeprägt. Deshalb nehmen die Tränenwege einen höheren Wert in der Längenausdehnung an als bei den anderen beiden kurzköpfigen Rassen. Bei Englischer und Französischer Bulldogge sind noch größere Anteile der Tränenwege vertikal orientiert. Diese Anteile tragen somit nicht zur räumlichen Längenausdehnung bei (siehe Abbildung 4-14).

### **5.2.6 Angulation der Tränenwege**

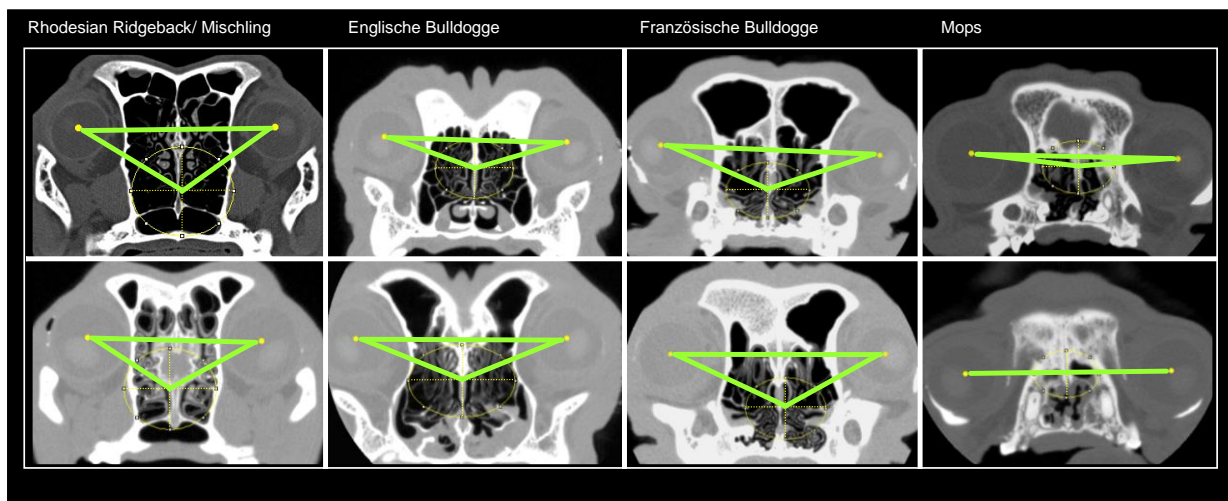
Die vier verschiedenen Winkel charakterisieren den Verlauf der Tränenwege und quantifizieren die Unterschiede zwischen den brachyzephalen Rassen untereinander und die zu den normozephalen Hunden. Alle vier Winkel verdeutlichen einen rückwärtigen Verlauf unterschiedlicher Anteile der Tränenwege bei den brachyzephalen Hunderassen. Eine Winkelung unter 90° (spitzwinklig), wie sie bei kurzköpfigen Hunden regelmäßig vorkommt, ist nur möglich, wenn der Anfangspunkt der Messung (Tränenpünktchen, Vereinigung der Kanälchen, Foramen lacrimale) kranial des Winkelscheitels liegt. Die dazwischen liegenden Anteile der Tränenwege müssen demzufolge ganz oder teilweise einen kaudalwärts gerichteten Verlauf einschlagen. Bei den Brachyzephalen liegen die Tränenkanälchen rostral großer Anteile des Tränennasengangs und sind in ihrem gesamten Verlauf kaudal orientiert. Im Vergleich dazu sind die Kanälchen normozephaler Hunde nahezu vertikal ausgerichtet. Der Vergleich von Winkel 1 und 2 lässt erkennen, dass dieser rückwärtige Verlauf bei Mops und Französischer Bulldogge ausgeprägter ist als bei der Englischen Bulldogge. Die nahezu gleich großen Winkel 1 und 2 der Engli-

schen Bulldogge zeigen, dass zwischen Vereinigung der Kanälchen und Foramen lacrimale kaum noch Kaudalbewegung auftritt. Im Unterschied dazu ist Winkel 2 bei Mops und Französischer Bulldogge deutlich größer als Winkel 1, weil das Foramen lacrimale (Scheitelpunkt von Winkel 2) weit kaudal der Vereinigungsstelle der Tränenkanälchen (Scheitel Winkel 1) liegt. Die Tränenwege der Englischen Bulldoggen sind ab der Vereinigung der Canaliculi bereits nicht mehr rückwärts orientiert und schlagen wieder die vertikale Richtung ein. Bei Mops und Französischer Bulldogge sind die Tränenwege meist bis weit in den Tränenkanal hinein nach kaudal gerichtet.

Die bei kurzköpfigen Hunden stets spitzen Winkel 3 und 4 bezeichnen vor allem den U-förmigen Verlauf der tränenableitenden Wege insgesamt, also von den Tränenpünktchen zum Ostium nasolacrimale. Der Scheitel ist jeweils der am weitesten kaudal gelegene Punkt der Tränenwege. Die beiden Schenkel des „U's“ werden durch die Tränenkanälchen und den ersten Abschnitt des Anfangsteils zum einen und zum anderen durch den Mittel- sowie Endteil gebildet. Der spitzwinklige Verlauf der Tränenwege bei brachyze-phalen Hunden steht in deutlichem Kontrast zum stets stumpfwinkligen Charakter bei Normozephalen. Ihre Tränenwege nehmen somit eher die Form eines kleinen „L's“ an. Dabei symbolisieren die Tränenkanälchen und der Tränensack den kurzen, die übrigen Tränenwege den langen Schenkel des „L's“. Auch in der Arbeit von IMMLER 1996 stellen sich die Tränenwege normozephaler Hunde in der DCG L-förmig dar.

Umso kleinere Werte diese Winkel bei brachyze-phalen Hunden annehmen, desto enger ist das geformte U, dessen Schenkel liegen also näher beieinander. Die tränenableitenden Wege sind in der vertikalen Ebene gestaucht, das bedeutet, dass nur sehr kurze Abschnitte überhaupt vertikal ausgerichtet sind. Der Wechsel zwischen nach hinten und nach vorn gerichtetem Verlauf muss demzufolge schnell erfolgen. Besonders deutlich wird dies an den sehr kleinen Winkeln beim Mops, die noch weit unter denen der Französischen und Englischen Bulldogge liegen. Seine Tränenwege formen eher ein enges „V“. Als anatomisches Korrelat zu dieser Beobachtung kann der Abstand zwischen Augen und Nase herangezogen werden. Im Zuge der von SCHLUETER und Mitarbeitern 2009 beschriebenen Gesichtsschädelverkürzung und Dorsorotation bei brachyze-phalen Tieren nähern sich mit zunehmender Brachyze-phalie Augen und Nase einander an. Bei hochgradig brachyze-phalen Hunden der Rasse Mops kann nicht selten beobachtet werden, dass der Nasenspiegel nahezu auf einer Höhe mit den Augäpfeln liegt (siehe Abbildung 5-1). Je geringer der Abstand zwischen diesen beiden Strukturen ist, desto stärker

müssen die Tränenwege in der Vertikalen gestaucht sein. Dies wird durch die extrem kleinen Winkel 3 und 4 beim Mops quantifiziert. Auch in der Arbeit von IMMLER (1996) wird der Verlauf der Tränenwege in der DCG bei kurzköpfigen Hunderassen als U-förmig beschrieben. Dieser Eindruck eines vertikal liegenden, nach vorn offenen „U’s“ entsteht vor allem bei seitlicher Betrachtung der Tränenwege. In dieser Projektion fällt die Abweichung der beiden Schenkel des „U’s“ in der sagittalen Ebene nicht ins Gewicht. Tatsächlich bewegen sich aber die gesamten Tränenwege in ihrem Verlauf zusätzlich stark von außen nach innen (siehe 5.2.5 Räumliche Orientierung der Tränenwege). Bei Betrachtung von dorsal wiederum, entsteht der Eindruck eines nun horizontal liegenden, ebenfalls nach vorn offenen „U’s“, da hier die tatsächlich in der vertikalen Ebene unterschiedliche Lage der anteiligen Tränenwege nicht sichtbar ist.



*Abbildung 5-1 Vergleichende Illustration des Augen-Nasen-Abstandes in einem CT-Transversalschnitt. Bei jeweils zwei Normozephalen und drei brachycephalen Hunderassen verbinden die Punkte eines Dreiecks das Zentrum der Bulbi oculi mit dem Zentrum des Nasenspiegels. Die Position des Nasenspiegels und sein Zentrum sind durch den gelben Kreis markiert. Die dargestellte Schnittebene befindet sich stets auf Höhe des maximalen Augapfeldurchmessers und die Kopfpositionierung der dargestellten Tiere ist nahezu gleich. Mit abnehmendem Abstand zwischen Nasenspiegel und Augen, wird das eingezeichnete Dreieck stumpfwinkliger. Erkennbar ist der deutliche Unterschied zwischen dem fast rechtwinkligen Dreieck beim normozephalen Hund und dem deutlich stumpfwinkligeren Charakter bei den drei brachycephalen Tieren. Der Mops zeigt dabei unter den kurzköpfigen Rassen den kleinsten Augen-Nasen-Abstand. Im Extremfall (unten rechts) liegen Nasenspiegel und Augäpfel sogar auf einer Linie.*

Mit zunehmender Brachyzephalie sind morphologische Veränderungen der anatomischen Strukturen, mit denen die Tränenwege assoziiert sind, verbunden. Das U-förmige Erscheinungsbild ist eine direkte Folge davon. Die starke Verkürzung des Mittelgesichtes

zusammen mit der protrahierten Stellung der Augäpfel bringt unweigerlich eine gleichermaßen starke Nachvornverlagerung der Tränenkanälchen und eine Rückverlagerung des anfänglichen Tränennasengangs mit sich. Sowohl weit rostral verlagerte Tränenkanälchen als auch ein spitzwinkliger Verlauf des TNG sind bereits als charakteristisch für die brachycephale Katze beschrieben (NÖLLER et al. 2006).

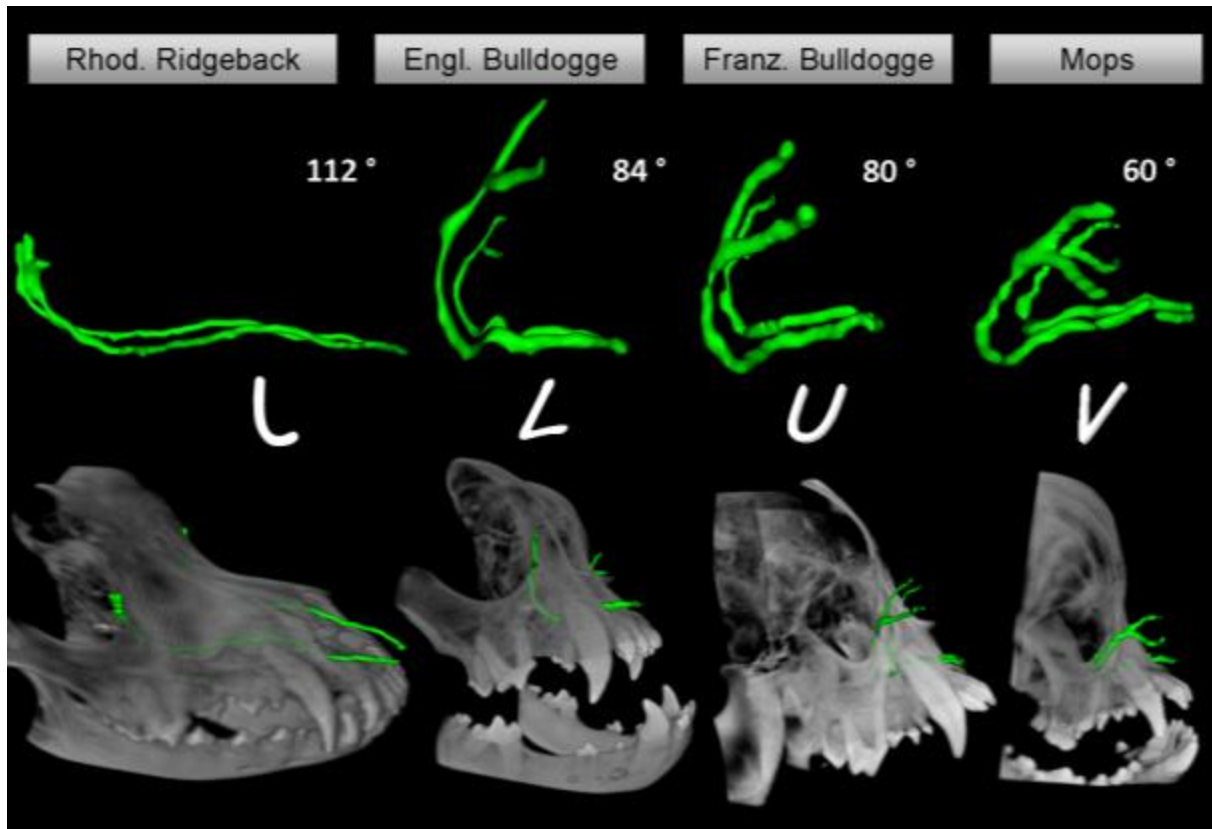


Abbildung 5-2 Vergleichende dreidimensionale Darstellung der Form der Tränenwege beim Rhodesian Ridgeback und den drei brachycephalen Hunderassen in der seitlichen Ansicht. Unten im Bild sind sie von Schädelknochen umgeben, in ihrem anatomischen Gefüge illustriert. Die Gradzahlen zeigen deren Winkelung (gerundete Mittelwerte Winkel 3). Die weißen Buchstaben stellen eine morphologische Analogie des spezifischen Verlaufs der Tränenwege einzelner Rassen dar. Da keine Rückwärtsbewegung des tränenableitenden Systems beim Normozephalen auftritt, ähnelt es einem klein geschriebenen, auf dem Rücken liegenden „L“. Der Winkel ist stumpf und groß. Bei den kurzköpfigen Tieren verlaufen von der Englischen über die Französische Bulldogge bis zum Mops zunehmende Anteile der Tränenwege in rückwärtiger Richtung und formen so spitze Winkel. Die Tränenwege der Englischen Bulldogge gleichen einem kurzen, groß geschriebenen „L“, die der Französischen Bulldogge einem nach vorn offenen „U“ und die, den kleinsten Winkel bildenden, Tränenwege des Mopses kommen einem „V“ am nächsten. Es ist erkennbar, dass der Mops die am stärksten in der vertikalen Ebene gestauchten Tränenwege aufweist- Tränenröhrchen und TNG kommen sich sehr nah.



### 5.2.7 Länge und Längenverhältnisse der Tränenwege

Mit 76,4 bis 116,7 mm liegen die Längen der hier untersuchten Tränennasengänge normozephaler Hunde über den Längenangaben nach GELATT (1972) von 35 bis 50 mm beim mesozephalen Hund und 60 bis 100 mm beim dolichocephalen. Der in die erhaltenen Messwerte inkludierte Saccus lacrimalis (Vergleiche 3.3.12 Längenbestimmung der tränenableitenden Wege) hat nach MICHEL (1955) eine Länge von lediglich zwei bis fünf Millimetern. Er fällt somit nicht stark ins Gewicht. Den kürzesten TNG weisen der Beagle mit 88,8 mm rechts und 89,0 mm links sowie der Cairn Terrier mit 76,5 mm rechts und 76,4 mm linksseitig auf. Beide überschreiten dennoch die von GELATT (1972) angegebenen Werte für mesozephaler Hunde deutlich. Zu beachten ist dabei aber, dass nicht bekannt ist, welche mesozephaler Hunderassen GELATT's Werten zugrunde liegen. Das Körpergewicht und damit die Schädelgröße haben einen erheblichen Einfluss auf die absolute Länge des TNG. Infolgedessen, ist ein Vergleich nur begrenzt aussagekräftig, da letztendlich die Gruppe der mesozephaler Hunderassen recht heterogen sein kann.

Nach MICHEL (1955) und GELATT (1972) sind die Canaliculi lacrimales normozephaler Hunde vier bis sieben Millimeter lang. Die in dieser Arbeit erhaltenen Längen liegen mit im Mittel 5,63 mm (2,94-7,70, n=12) langen unteren und 7,33 mm (5,28-12,25 mm, n=12) langen oberen Tränenkanälchen in ähnlichen Bereichen. Auch für diese Gegenüberstellung gilt die oben bereits beschriebene Restriktion.

Für **brachycephale** Hunde ermittelte GELATT (1972) anhand von Latexpräparaten der tränenableitenden Wege vier bis fünf Millimeter lange Canaliculi sowie einen zweieinhalb bis drei Zentimeter langen TNG. Auch hier liegen keine Informationen über die untersuchten Rassen vor. Die Tränenkanälchen der in der vorliegenden Arbeit untersuchten Englischen Bulldoggen sind zwischen 12 und 23 mm lang, die der Französischen Bulldoggen 13-20 mm und die des Mopses messen 11 bis 19 mm. Diese Zahlen übersteigen die von GELATT ermittelten um ein Vielfaches (mehr als zwei- bis vierfach). Die anatomischen Gegebenheiten bei diesen Rassen lassen wesentlich kürzere Längenmaße nicht erwarten. Die Tränenkanälchen müssen von der Lidspalte aus, die einen typischerweise stark protrahierten Bulbus umschließt, einen langen Weg in rückwärtiger Richtung am straffen nasalen Kanthusband vorbei bis zum Tränenbein zurücklegen. Variable Kanälchenlängen in Abhängigkeit vom rassespezifischen Ausprägungsgrad des Exophthalmus bei anderen kurzköpfigen Hunden sind denkbar. Nicht nur die fehlenden

Informationen über die Rasseverteilung schmälern die Vergleichbarkeit mit der Studie von 1972. Auch der brachycephale Habitus von 40 Jahren zuvor ist vermutlich nicht ohne weiteres für einen Vergleich mit dem heutigen zweckdienlich.

Auch die ermittelten Längen des Tränennasengangs von Englischer und Französischer Bulldogge sowie Mops liegen deutlich über den von GELATT gemessenen 25 bis 30 mm. Er misst bei der Englischen Bulldogge zwischen 49 und 70 mm, bei der Französischen Bulldogge zwischen 39 und 49 mm und beim Mops 32 bis 45 mm. Auch hier ist wie beim normozephalen Hund aus Vergleichsgründen der Saccus lacrimalis inkludiert.

Trotz unterschiedlicher Längen des Tränennasengangs ist das Verhältnis von Anfangsteil zu Mittel- und Endteil bei normo- und brachycephalen Hunden gleich. Der Anfangsteil nimmt etwa ein Drittel, Mittel- und Endteil die übrigen zwei Drittel ein. Nach MICHEL (1955) umfasst der Anfangsteil etwa ein Viertel und das Mittelstück die Hälfte der Gesamtlänge des Tränennasengangs beim normozephalen Hund. Bei den hier untersuchten langnasigen Tieren ist der Anfangsabschnitt mit 37,1% (33,0-43,5%, n=12) etwas umfangreicher.

Starke Unterschiede zwischen normo- und brachycephalen Hunden ergeben sich aber bei der Betrachtung der anteiligen Länge, die die Tränenkanälchen am gesamten tränenableitenden System einnehmen. Während die kurzen Canaliculi lacrimales bei Normozephalen lediglich ein Zwanzigstel bis ein Zwölftel beziehungsweise fünf bis acht Prozent von der Gesamtlänge ausmachen, sind es bei den Brachycephalen ein Sechstel bis ein Drittel (17-35%). Unter den normozephalen Tieren zeigt der Beagle mit elf bis zwölf Prozent im Bereich der oberen Tränenkanälchen deutlich höhere Werte als die anderen normozephalen Hunde. Unter den Brachycephalen zeigt die Englische Bulldogge die anteilig kürzesten Tränenkanälchen mit 17-32% Längenanteil (Mittelwert 0,22 inferior und 0,24 superior). Die Werte von Mops und Französischer Bulldogge liegen in sehr ähnlichen Bereichen zwischen 20 und 35% (Mittelwert superior 0,27 Mops, 0,28 Französische Bulldogge; inferior 0,28 beide).

Während sich die Tränennasengänge bei kurzköpfigen gegenüber etwa gleich großen normozephalen Hunden um etwa die Hälfte verkürzen, verlängern sich entsprechend der anatomischen Gegebenheiten die Tränenkanälchen um das Zwei- bis Dreifache. Die Canaliculi lacrimales haben bei den Brachycephalen eine viel größere Dimension, gestalten die Tränenwege wesentlich mit und sind hauptverantwortlich für deren typische U-förmige Erscheinung.

## **5.3 Methoden**

### **5.3.1 Rasse-, Geschlechts- und Altersverteilung**

Von den 51 untersuchten brachycephalen Hunden gehören 23 Tiere zur Rasse Mops, 18 sind Französische und zehn Englische Bulldoggen. Diese Rasseverteilung spiegelt die Zusammensetzung des Patientengutes mit brachycephalem Atemnotsyndrom in der Klinik für Kleintiere im Untersuchungszeitraum wider.

Die 23 Hunde der Rasse Mops bestehen aus 14 männlichen und neun weiblichen Tieren mit einem medianen Alter von 38 Monaten (10-105 Monate). Die Französischen Bulldoggen setzen sich ebenfalls aus einem höheren Anteil männlicher (13 Tiere) als weiblicher Tiere (fünf Tiere) zusammen. Sie haben im Median ein Alter von 26 Monaten (10-108 Monate; n=18). Die zehn Englischen Bulldoggen bestehen im Unterschied dazu aus vier männlichen und sechs weiblichen, also mehr weiblichen Tieren mit einem medianen Alter von 30 Monaten (11-58 Monate; n=10). Alle Tiere haben den Zahnwechsel zum Zeitpunkt der Untersuchung abgeschlossen. Somit ist eine Beeinflussung der Ergebnisse durch das Milchzahngebiss, den Zahnwechsel und eine juvenile Schädelform ausgeschlossen. Besonders der Einfluss des Oberkiefercaninus auf den Verlauf der Tränenwege kann anhand des Milchzahngebisses nicht beurteilt und mit dem endgültigen Gebiss gleichgesetzt werden.

Die normozepale Vergleichsgruppe ist mit einem Median von 148 Monaten deutlich älter als die Gesamtheit der Brachycephalen mit median 31 Monaten. Hinweise auf eine wesentliche Veränderung der Anatomie der Tränenwege mit zunehmendem Alter sind in der Literatur nicht zu finden. Der Einfluss postmortalen Prozesse auf die Darstellbarkeit der Tränenwege wurde durch das kleine Zeitfenster von 24 Stunden, in dem die CT-DCG nach Eintritt des Todes durchgeführt wurde, klein gehalten. Wesentliche Differenzen zwischen den fünf untersuchten Kadavern und dem untersuchten lebenden Mischlingsrüden haben sich nicht gezeigt.

### **5.3.2 Durchführung der CT-DCG und Kontrastierung**

#### **5.3.2.1 Kopfpositionierung und Palatum durum als relative Ebene**

In dieser Arbeit gilt der Kopf, wie auch in verwandten Arbeiten (NYKAMP et al. 2004, RACHED et al. 2011), als gerade gelagert, wenn der harte Gaumen parallel zur Unterlage ausgerichtet ist. Dieses Vorgehen wurde trotz der unterschiedlichen Schädelkonstel-

lationen bei normo- und brachycephalen Hunden für beide gleich gewählt. Die Lage von Gehirn- und Gesichtsschädel zueinander unterscheidet sich bei ihnen allerdings erheblich. Bei Brachycephalen nimmt der kraniofaziale Winkel im Zuge der Schädelverkürzung deutlich ab (REGODON et al. 1993). Dieser Winkel quantifiziert die Verkippung der Schädelbasis gegen den harten Gaumen und ist beim Normozephalen deutlich größer als beim Brachycephalen. Dadurch bedeutet ein parallel zur Unterlage ausgerichtetes Palatum durum beim normozephalen Hund eine nach rostral ansteigend gelagerte Schädelbasis. Ein gerade gelagerter Gesichtsschädel bedingt also einen schräg liegenden Gehirnschädel. Beim brachycephalen Tier ist das aufgrund der kleineren Winkelung zwischen diesen beiden Strukturen weniger bedeutend. Da sich aber die in dieser Arbeit untersuchten Strukturen auf den Gesichtsschädel beschränken, erscheint diese Form der Lagerung mit dem harten Gaumen als Bezugspunkt sämtlicher Messungen sinnvoll. Möglicherweise resultiert aus diesen anatomischen Unterschieden aber eine unterschiedliche Kopfhaltung der Tiere im Alltag. Damit muss eine Beeinflussung der Fließdynamik in den Tränenwegen zumindest in Betracht gezogen werden. Besonders der Vergleich der Steigung des Tränennasengangs und die daraus abgeleiteten Folgen können von der Kopfhaltung der Tiere bei täglichen Aktivitäten stark beeinflusst werden. Stellt man sich beispielsweise einen Mops mit einer Kopfhaltung vor, bei der die Augen geradeaus gerichtet sind, hätte der harte Gaumen eine nach rostral ansteigende Position. Bei dieser Kopfhaltung würde der errechnete Anstieg des TNG die reelle Situation deutlich unterschätzen. Da sich der Rechenwert auf das Palatum durum in bodenparalleler Ausrichtung bezieht, erhöht sich die Steigung der Tränenwege bei ansteigend liegendem hartem Gaumen. Bei gesenkter Kopfhaltung sind die Verhältnisse umgekehrt.

#### 5.3.2.2 Sondierung der Tränenkanälchen

Um Kontrastmittel in die Tränenwege einzubringen und sie so in der Computertomographie sichtbar zu machen, werden Sonden in die Tränenkanälchen eingebracht und das Kontrastmittel appliziert. Zusätzlich ist es notwendig, die Viskosität des Kontrastmittels heraufzusetzen, um eine ausreichend lange Verweildauer in den Tränenwegen für eine computertomographische Darstellung zu erreichen.

Es ist nicht auszuschließen, dass diese Kombination die natürlichen Fließbedingungen der Tränenflüssigkeit durch die tränenableitenden Wege nicht ausreichend widerspiegelt. Ein wichtiger Unterschied ist, dass Tränenflüssigkeit viel weniger viskös ist als die hier

verwendete Methylcellulose-Iopamidol-Mischung. Somit liegen unter natürlichen Bedingungen andere Fließeigenschaften vor, die sich nicht ohne weiteres übertragen lassen. Zusätzlich gelangt die Tränenflüssigkeit am wachen Tier durch ein feines Zusammenspiel aus Lidschlag und Aktivität der Tränenkanälchen und -säckchen in die tränenableitenden Wege. Dieser Vorgang wird als Tränenpumpmechanismus bezeichnet (siehe Abschnitt 2.5). Am narkotisierten Tier aber ohne Lidbewegung ist dieser Mechanismus außer Kraft gesetzt. Er ist, da es sich um einen aktiven Vorgang unter starker Beteiligung der periokulären Muskulatur handelt, nicht durch passive Lidbewegung imitierbar. Nach Einbringen von Kontrastmittel in den Bindehautsack der narkotisierten Tiere und manuellem Öffnen und Schließen der Augenlider ist keinerlei Kontrastmittel in den Tränenwegen darstellbar.

Eine Möglichkeit, dem natürlichen Tränenabfluss näher zu kommen, wäre das Eingeben des Kontrastmittels in den Bindehautsack am wachen Tier kurz vor der Anästhesie. Da aber die sichere Narkoseeinleitung selbst, die darauf folgende Intubation und der Transport zum sowie die korrekte Lagerung im Computertomographen einige Zeit in Anspruch nehmen, hätte sowohl flüssiges als auch visköses Kontrastmittel die Tränenwege verlassen, bevor eine CT-Darstellung möglich wäre.

Aus diesen Gründen wird bei allen Tieren das Kontrastmittel aus einer Spritze über Sonden direkt in die Tränenkanälchen appliziert. Es ist denkbar, dass dies durch einen beschleunigten Fluss innerhalb der Tränenwege und eine stärkere punktuelle Dehnung am Ende der eingeführten Sonden begleitet wird.

Somit kann nicht ausgeschlossen werden, dass die hier erhaltenen Füllungs- und Abflusszustände der Tränenwege von den natürlichen Gegebenheiten abweichen. Bei kurzköpfigen Hunden erreicht bei Durchgängigkeitsprüfungen der Tränenwege in der Regel keinerlei Farbstoff oder Flüssigkeit die Nares. Diese klinische Beobachtung spricht dafür, dass der in dieser Arbeit gezeigte reduzierte Abfluss von Kontrastmittel nach der akzessorischen Öffnung auf die reelle Situation übertragbar ist.

### **5.3.3 Längenbestimmung der tränenableitenden Wege**

Für die Längenmessung werden viele Einzelstrecken zwischen zahlreichen Punkten entlang der kontrastierten Tränenwege summiert. Die kurvenförmigen Tränenwege werden also durch eine Folge von Liniensegmenten beschrieben.

Die Längenbestimmung ist mit zwei sogenannten Diskretisierungsfehlern behaftet. Der eine ergibt sich bereits aus der Zerlegung der Tränenwege in einzelne Schnittbilder im Computertomographen. Diese Bilder haben eine definierte Schichtdicke, in der Informationen über den Verlauf summiert vorliegen. Je dünner diese Schnittbilder sind, desto weniger Information geht verloren. Für die Untersuchung der Tränenwege sind sehr dünne Schnitte, die größtenteils im Bereich von 0,6-1,0 mm liegen, angefertigt worden und der Informationsverlust ist somit vernachlässigbar klein.

Der zweite Diskretisierungsfehler kommt durch die oben beschriebene Situation zustande, dass eine kurvenförmige Struktur durch aneinander gereihete Liniensegmente beschrieben wird. Die Punkte für diese Einzelstreckenbestimmung liegen möglichst eng beieinander. Da die gemessenen Einzelstrecken Geraden sind, die Tränenwege aber einen kurvigen Verlauf haben, sind die Längenmessungen umso genauer, je kürzer die einzelnen Liniensegmente sind und umgekehrt. In gut kontrastierten Bereichen wird nahezu in jedem einzelnen Schnittbild ein Punkt markiert. In schlecht oder gar nicht kontrastierten Arealen können sie nur mit deutlich geringerer Genauigkeit und deshalb mitunter nur mit größerem Abstand ausgewählt werden. Hier kommt es dann zu einer teilweisen Begradigung kurviger Strecken. Solche Areale sind vor allem die oft schlecht gefüllten Abschnitte, die rostral auf die akzessorische Öffnung folgen. Da hier aber meist ein Teil der Tränenwege auch ohne Kontrastmittelfüllung sichtbar ist und die überbrückten Strecken insgesamt kurz sind, ist die resultierende Abweichung klein.

Es wird neben der Gesamtlänge, die jeweilige Länge der einzelnen Abschnitte der Tränenwege bestimmt. Die Abgrenzung zwischen diesen Abschnitten ist anatomisch definiert, unterliegt aber in der Auswertung computertomographischen Bildmaterials Fehlerquellen. Die Übergänge sind oft nicht auf einen einzigen möglichen Punkt fixierbar, da sich ihre Darstellung häufig über zwei bis drei Schnittbilder ausdehnt. Sie unterliegen so einer subjektiven Auswahl des Betrachters, die minimal von Tier zu Tier schwanken kann. Zusätzlich variiert das Erscheinungsbild etwas in Abhängigkeit von der Lagerung des Kopfes. Bemerkbar macht sich dies vor allem beim Übergang vom Anfangs- zum Mittelteil des Tränennasengangs am Foramen lacrimale rostrale. Diese Austrittsstelle hat bei verschiedenen Tieren ein unterschiedliches Erscheinungsbild und stellt sich selten nur in einem einzigen Schnittbild dar. Da die Schichtdicke aber sehr gering ist, wird auch dieser Fehler als vernachlässigbar betrachtet.

Relevantere Abweichungen können bei der exakten Bestimmung der Länge der Tränenkanälchen und des Anfangsteils des TNG auftreten. Die Stelle, an der sich das obere und untere Tränenkanälchen verbinden, ist in einigen Fällen nicht exakt lokalisierbar. Die Bildauflösung reichte teilweise nicht aus, um deutlich erkennen zu können, ob diese kleinen Strukturen parallel eng nebeneinander verlaufen oder bereits verschmolzen sind.

Bei Füllungsdefekten der Kanälchen ist die genaue Längenbestimmung ebenfalls beeinträchtigt. Der Tränensack kann bei den kurzköpfigen Hunderassen selten eindeutig abgegrenzt werden. Zusätzlich stellt sich das Foramen lacrimale, der eigentliche Beginn des TNG, sehr variabel und als wenig eindeutig definierte Struktur dar. Um einheitliche Ergebnisse zu erhalten, wird der Saccus lacrimalis deshalb in die Länge des Anfangsteils des TNG integriert.

#### **5.3.4 Winkelmessung**

Die Winkelung wird durch drei definierte Punkte im Verlauf der Tränenwege bestimmt. Die planmäßig bodenparallele Lagerung des harten Gaumens ist nicht immer umsetzbar. Da die erhaltenen Werte die Winkelung der Tränenwege im dreidimensionalen Raum darstellen, ist die Interpretation zunächst unabhängig von der Lagerung des Kopfes.

Eine Schräglagerung des Kopfes beeinflusst aber die Wahl des Scheitelpunktes, der für die Winkelmessung herangezogen wird. Für Winkel 1 und 2 dient der am weitesten ventrale Punkt, für Winkel 3 und 4 der am weitesten kaudal gelegene Punkt der Tränenwege als Scheitel. Da dieser ausschließlich in der transversalen Schnittebene bestimmt wird, sind infolge der unterschiedlichen Projektion kleinere lagerungsbedingte Variationen in der Scheitelpunktwahl vorhanden. Die geringe Ausprägung der Lageabweichungen und die geringe Streuung der Werte innerhalb einer Rasse lassen eine nur kleine Beeinflussung vermuten.

### **5.4 Klinische Aspekte**

Der Diskussion bedarf die Frage nach der klinischen Relevanz dieses kaudalen Abflusses in die Nasenhöhle durch die akzessorische Öffnung. Gibt es negative Folgen und wenn ja, welche? Beim normozephalen Hund fließt die Tränenflüssigkeit regelmäßig über den Tag verteilt über das Ostium nasolacrimale nahe dem Naseneingang ab. Kurzköpfige Hunde weisen häufig einen auffallend trockenen und hyperkeratotischen Nasenspiegel auf. Ob die Trockenheit wirklich ursächlich für diese Hyperkeratose ist, ist nach

Wissen des Autors bisher nicht untersucht. Wird davon ausgegangen, dass ein erheblicher Teil dieser Flüssigkeit über die Nares entweicht beziehungsweise dort verdunstet und so einen wesentlichen Teil zur Befeuchtung des Nasenspiegels und –eingangs beisteuert, würde diese fehlende Feuchtigkeit relevant zu der oft ausgeprägten Trockenheit und möglicherweise dadurch zur Hyperkeratose des Nasenspiegels bei diesen Hunden beitragen. Hauptverantwortlich für die Befeuchtung des Naseneingangs sollen aber die medialen Nasendrüsen sein, während die Tränenflüssigkeit eine untergeordnete Bedeutung hat (WILLIAMS 2009).

Folglich ist es wahrscheinlicher, dass ein trockener Nasenspiegel bei diesen Hunden zumindest zum Teil daraus resultieren könnte, dass die medialen Nasendrüsen ihre Wirkung nicht ausreichend entfalten können. Hinderlich können hier die eng aneinander liegenden, obstruierenden Nasenmuscheln (OECHTERING et al. 2007) und der stenotischen Naseneingang sein (KNECHT 1979, KOCH et al. 2003), die Sekrete in der Nasenhöhle zurückhalten.

Hinweise für die geringe Bedeutung der Tränenflüssigkeit für die Befeuchtung des Nasenspiegels findet man bei der Betrachtung von Hunden, die unter verschiedenen Formen der KCS (Keratokonjunktivitis sicca) leiden. Während bei der immunmedierten Form der trockene Nasenspiegel gar nicht oder wenig ausgeprägt als Nebenbefund auffällt, ist ein hochgradig trockener Nasenspiegel ein eindrucksvoller, typischer Befund bei der neurogenen KCS (WILLIAMS 2009). Beide Formen gehen mit einer Reduktion der Tränenproduktion einher, sie verursachen sie aber auf unterschiedliche Weise. Während bei der immunmedierten Form körpereigenes Tränendrüsen Gewebe angegriffen und zerstört und so die Tränenproduktion gedrosselt wird, liegt der neurogenen Form eine Nervenschädigung zugrunde. Der geschädigte parasympathische Nerv versorgt sowohl die mediale Nasendrüse als auch die Tränendrüse (WILLIAMS 2009). Diese Gegebenheit unterstützt die Annahme, dass die mediale Nasendrüse und nicht die Tränenflüssigkeit, die größte Bedeutung für die Befeuchtung des Nasenspiegels hat. Angesichts dessen ist nicht davon auszugehen, dass die fehlende Tränenflüssigkeit im Nasenvorhof, die aus dem alternativen Abflussweg resultiert, beim brachycephalen Hund zu einem klinisch relevanten trockenen Nasenspiegel führt.

Die Ursachen der häufig bei brachycephalen Hunderassen auftretenden Epiphora sind vielfältig und nicht im eigentlichen Verlauf der Tränenwege zu suchen. Vielmehr spielen rasseassoziierte okuläre Abweichungen eine entscheidende Rolle. Eine davon, die sich



direkt auf den Verlauf der tränenableitenden Wege auswirkt, ist das nasale Entropium (GRAHN und WOLFER 1998, GRAHN und SANDMEYER 2007). Diese regelmäßig vorkommende Lidanomalie zieht ein Abknicken der unteren Tränenkanälchen nach sich, was den Abfluss stark beeinträchtigen kann (CRISPIN 2002). Diese spezielle Lidveränderung tritt sehr regelmäßig beim brachyzephalen Hund auf, ist aber nicht auf diese Hunderassen beschränkt. Sie kann deutlich seltener und in etwas abweichender Form auch bei anderen Rassen gesehen werden.

Das Abknicken der Tränenkanälchen ist nicht die einzige Ursache für chronische Epiphora beim kurzköpfigen Hund. Zahlreiche zusätzliche Faktoren wie die protrahierte Bulbusstellung, Makroblepharon und Trichiasis (Unterlid-, Karunkel- und Nasenfalten-trichiasis) führen über eine chronische Expositionskeratitis und Dochtwirkung der Haare zum Tränenträufeln bei brachyzephalen Rassen (GRAHN und WOLFER 1998, RAMSEY 2001). Diese Ursachen für Epiphora sind, da sie aus Lidanomalien resultieren, mit entsprechender Lidchirurgie beeinflussbar. So kann mit der nasalen Kanthusplastik die Karunkelbehaarung behoben, eine Kürzung der Lidspaltenlänge und ein reduziertes Abknicken der Tränenkanälchen erreicht werden. Diese Operation wird häufig mit einer Entropiumkorrektur und variabel mit einer lateralen Kanthusplastik und/oder Nasenfaltenresektion kombiniert. Dies steht in wesentlichem Kontrast zu der Situation bei der brachyzephalen Katze, wo der steil ansteigende TNG als Abflusshindernis gesehen wird.

## 6 ZUSAMMENFASSUNG

Sabine Sahr

### **Vergleichende computertomografische Untersuchungen zur Anatomie der tränenableitenden Wege bei brachyzephalen Hunden**

Klinik für Kleintiere der Veterinärmedizinischen Fakultät der Universität Leipzig

Eingereicht Juli 2013

103 Seiten, 44 Abbildungen, 14 Tabellen, 77 Literaturangaben, 9 Seiten Anhang

Schlüsselwörter: brachyzephaler Hunde, Tränennasengang, Verlauf der Tränenwege, akzessorische Öffnung, Oberkiefercaninus, CT-DCG

Epiphora ist ein alltägliches Problem brachyzephaler Hunde und Katzen. Aus der Literatur ist bekannt, dass sich der Verlauf der ableitenden Tränenwege bei kurzköpfigen Tieren maßgeblich von normozephalen unterscheidet. Bei brachyzephalen Katzen wird ein starkes Ansteigen der Tränenwege mitverantwortlich für das Tränenträufeln gemacht.

Ziel dieser Arbeit ist es, den Verlauf der ableitenden Tränenwege bei drei verschiedenen brachyzephalen Hunderassen zu untersuchen, mit normozephalen Tieren zu vergleichen und mögliche Konsequenzen für die Funktion des Tränennasengangs abzuleiten. Von besonderem Interesse ist dabei, ob aus dem abweichenden Verlauf klinisch relevante Abflussstörungen in ähnlicher Weise wie bei der brachyzephalen Katze resultieren.

Es wird bei 51 Hunden dreier brachyzephaler Rassen, davon 23 Tiere der Rasse Mops, 18 Französische Bulldoggen und zehn Englische Bulldoggen, eine CT-Dakryozystographie durchgeführt und der Verlauf der Tränenwege mithilfe verschiedener Parameter beschrieben. Zum Vergleich dienen sechs normozephaler Hunde verschiedener Rassen.

Die Ergebnisse zeigen, dass brachyzephaler Hunde einen charakteristischen Verlauf ihrer Tränenwege aufweisen. Dieser unterscheidet sich deutlich von dem normozephaler Hunde, er weist jedoch zahlreiche Parallelen zur kurzköpfigen Katze auf.

Im Unterschied zu den normozephaler, verlaufen die Tränenwege bei kurzköpfigen Hunden ausgehend von den Tränenpünktchen zunächst nach kaudal bevor sie sich nach

rostral wenden. Dieser Verlauf resultiert daraus, dass die Tränenkanälchen nach vorn verlagert sind, was wiederum eine direkte Folge der protrahierten Bulbusstellung bei Brachycephalen ist. Zusätzlich ist der anfängliche Tränennasengang durch die starke Verkürzung des Mittelgesichtes kaudalwärts verlagert. Die nasalen Strukturen inklusive des gesamten Ductus nasolacimalis sind extrem reduziert. Weiterhin haben die Tränenkanälchen bei den brachycephalen Rassen eine viel größere Dimension. Während die kurzen Kanälchen bei Normozephalen lediglich ein Zwanzigstel bis ein Zwölftel beziehungsweise fünf bis acht Prozent der Gesamtlänge des tränenableitenden Systems ausmachen, sind es bei den kurzköpfigen Hunden ein Sechstel bis ein Drittel (17-35%). Die Tränenwege der hier untersuchten kurzköpfigen Hunderassen nehmen, wie es schon für die brachycephale Katze beschrieben ist, einen deutlich steileren Verlauf im Vergleich zu normozephalen Tieren. Analog zur Katze muss der Tränennasengang den Oberkiefercaninus regelmäßig bei Mops und Französischer Bulldogge unterqueren, um in die Nasenhöhle zu gelangen. Dies führt auch beim brachycephalen Hund zu einem steileren Anstieg der Tränenwege.

Während bei der Katze aus diesem „bergauf“ Verlauf erhebliche Abflussstörungen mit chronischem Tränenträufeln resultieren, bleibt diese Abweichung beim brachycephalen Hund in der Regel ohne Folgen für den vollständigen Abtransport der Tränen. Der entscheidende Unterschied liegt im regelmäßigen Vorkommen einer akzessorischen Öffnung beim brachycephalen Hund. Diese Öffnung ermöglicht den vollständigen Abfluss in die Nasenhöhle, vollkommen unabhängig von der Steilheit der Tränenwege. Diese zusätzliche Öffnung ist bis auf eine Französische Bulldogge bei allen untersuchten brachycephalen Hunden, also in 98% der Fälle, vorhanden. Sie ist bei allen Hunden der Hauptabflussweg für Kontrastmittel in die Nasenhöhle und bei mehr als der Hälfte (52,9%) der einzig nachweisbare. Das lässt auf eine nur untergeordnete Bedeutung des Ostium nasolacimale für das Ablaufen der Tränenflüssigkeit bei brachycephalen Hunderassen schließen.

Die Ursachen der Epiphora sind bei kurzköpfigen Hunderassen vielfältig. Sie sind im Unterschied zur brachycephalen Katze nicht im steilen Verlauf der Tränenwege zu suchen. Vielmehr spielen eine Vielzahl rassebedingter okulärer Abweichungen, insbesondere Lidfehlstellungen eine wesentliche Rolle.

## 7 SUMMARY

Sabine Sahr

### **Comparative computed tomographic analysis of the anatomy of the lacrimal drainage system in brachycephalic dogs**

Department of Small Animal Medicine  
Faculty of Veterinary Medicine, University of Leipzig

Submitted July 2013

103 pages, 44 figures, 14 tables, 77 references, 9 pages appendix

Keywords: brachycephalic dogs, nasolacrimal duct, course of the lacrimal system, accessory opening, upper canine tooth, CT-DCG

Epiphora is a common problem in brachycephalic dogs and cats. It is known from literature that the course of the nasolacrimal drainage system differs considerably between normo- and brachycephalic animals. In the brachycephalic cat a steep course of the nasolacrimal duct is said to be responsible for watering eyes.

Hence, the present study aims to examine the course of the nasolacrimal apparatus in three different brachycephalic dog breeds in comparison to normocephalic dogs and to draw conclusions on potentially adverse consequences for the functionality of the nasolacrimal duct.

The study included a total of 51 dogs of three brachycephalic breeds, consisting of 23 pugs, 18 french and 10 english bulldogs. Six normocephalic dogs of different breeds served as a comparison. A computed tomographic-dacryocystography (CT-DCG) was performed in all dogs and the nasolacrimal drainage system was described, using different parameters.

The lacrimal system of brachycephalic dogs exhibits a distinctive course, varying substantially from that of normocephalic breeds but showing several similarities to brachycephalic cats.

In contrast to normocephalic dogs the lacrimal system of short-headed ones initially, starting at the lacrimal puncta, follows an inverse direction before turning rostrally. That special course results from the rostrally displaced lacrimal canaliculi, caused by the forward position of the globes in Brachycephalics.

Furthermore, as a result of severe midface shortening, the first part of the nasolacrimal duct is translocated posteriorly and the extreme reduction of nasal structures is accompanied by a nasolacrimal duct of decreased length.

Additionally, the lacrimal canaliculi of brachycephalic dogs have larger dimensions. While the short canaliculi in normocephalic breeds account for as few as a twentieth to twelfth part, or five to eight percent respectively, of the entire length of the lacrimal system, they make up one sixth to a third (17-35%) in brachycephalic dogs.

A steeper course of the nasolacrimal duct as described for the brachycephalic cat compared to the normocephalic one, can also be proven in short-headed dogs examined in this study.

As in the cat, in pugs and french bulldogs the nasolacrimal duct has to cross consistently beneath the upper canine root to reach the nasal cavity. As a consequence, this leads to a steeper course of the lacrimal system in brachycephalic dogs also.

While in the cat this „uphill“ course distinctly interferes with tear drainage and results in chronic epiphora, in the brachycephalic dog it remains without consequences on complete removal of tears from the ocular surface. The crucial difference is the consistently present accessory opening in the short-headed dog, facilitating the complete tear outflow into the nasal cavity regardless of the steepness the lacrimal system exhibits. Such an additional opening can be seen in all brachycephalic dogs examined, with the exception of one french bulldog (98% of cases). In all dogs this orifice represents the main outflow pathway for the contrast medium entering the nasal cavity, being the only detectable one in more than a half of the animals (52,9%). This implicates that the ostium nasolacrimale just plays a subordinate role in tear drainage processes in brachycephalic dogs.

In conclusion there is a wide range of factors causing epiphora in short-headed dog breeds. Unlike in the brachycephalic cat, it's not just a consequence of the steep course their tear drainage system is characterized by, but of a large variety of breed-linked ocular disorders, particularly eyelid anomalies.

## 8 LITERATURVERZEICHNIS

- Abràmoff MD, Magalhães PJ, Ram SJ. Image processing with ImageJ. *Biophotonics Int.* 2004;11(7):36-42.
- Amrith S, Goh PS, Wang SC. Tear flow dynamics in the human nasolacrimal ducts-a pilot study using dynamic magnetic resonance imaging. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.* 2005;243(2):127-31.
- Ashenhurst M, Jaffer N, Hurwitz JJ, Corin SM. Combined computed tomography and dacryocystography for complex lacrimal problems. *Can J Ophthalmol.* 1991;26(1):27-31.
- Bergmanson JP, Doughty MJ, Blocker Y. The acinar and ductal organisation of the tarsal accessory lacrimal gland of Wolfring in rabbit eyelid. *Exp Eye Res.* 1999;68(4):411-21.
- Binder DR, Herring IP. Evaluation of nasolacrimal fluorescein transit time in ophthalmically normal dogs and nonbrachycephalic cats. *Am J Vet Res.* 2010;71(5):570-4.
- Breit S, Kunzel W, Ooppel M. The course of the nasolacrimal duct in brachycephalic cats. *Anat Histol Embryol.* 2003;32(4):224-7.
- Bronstein IN, Semendjajew KA, Musiol G, Mühlig H. Geometrie. In: *Taschenbuch der Mathematik.* 5 Aufl. Frankfurt am Main: Harry Deutsch; 2001. S. 220 (3.360a).
- Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) 2005. Gutachten zur Auslegung von § 11b des Tierschutzgesetzes (Verbot von Qualzuchtungen) vom 26.10.2005:10, <http://www.bmelv.de/SharedDocs/Downloads/Landwirtschaft/Tier/Tierschutz/GutachtenLeitlinien/Qualzucht.pdf>
- Cassotis NJ, Schiffman P. Calcification associated with the nasolacrimal system of a horse: case report and mineralogic composition. *Vet Ophthalmol.* 2006;9(3):187-90.
- Crispin S. The lacrimal system. In: Petersen-Jones S, Crispin S, Hrsg. *BSAVA Manual of Small Animal Ophthalmology.* 2. Aufl. Quedgeley: British Small Animal Veterinary Association; 2002.
- Doane MG. Blinking and the mechanics of the lacrimal drainage system. *Ophthalmology.* 1981;88(8):844-51.
- Dornblüth O, Pschyrembel W. *Klinisches Wörterbuch die Kunstausrücke der Medizin:* de Gruyter; 1934.
- Dupre GP, Oechtering GU, Findji L. Brachycephalics. In: Monnet E, Hrsg. *Small Animal Soft Tissue Surgery:* John Wiley & Sons; 2012.

- Dutton JJ. Standardized echography in the diagnosis of lacrimal drainage dysfunction. *Arch Ophthalmol.* 1989;107(7):1010-2.
- Ellenberger W, Baum H. Handbuch der vergleichenden Anatomie der Haustiere. 18. Aufl. Berlin, Heidelberg, New York: Springer; 1974.
- Evans HE, Miller ME. Miller's anatomy of the dog. 3. Aufl. Philadelphia: W.B. Saunders; 1993.
- Felsmann M, Felsmann MZ. Tear-duct occlusion in dogs and cats. Author's observations. Originaltitel: Niedroznosci dróg łzowych u psów i kotów- obserwacje własne. *Magazyn Weterynaryjny.* 1996;5(5):392-6.
- Frewein J, Vollmershaus B. Anatomie von Hund und Katze. Berlin: Blackwell Wissenschafts-Verlag; 1994.
- Gardiner JA, Forte V, Pashby RC, Levin AV. The role of nasal endoscopy in repeat pediatric nasolacrimal duct probings. *J Aapos.* 2001;5(3):148-52.
- Gelatt KN. *Veterinary ophthalmology.* 4 Aufl. Ames, Iowa: Blackwell Pub.; 2007.
- Gelatt KN, Cure TH, Guffy MM, Jessen C. Dacryocystorhinography in the dog and cat. *J Small Anim Pract.* 1972;13(7):381-97.
- Gionfriddo JR. The nasolacrimal system. In: Slatter DH, Hrsg. *Textbook of Small Animal Surgery.* 3. Aufl.: Saunders Elsevier; 2003.
- Gottschalk K. Augen. In: Schaps KP, Kessler O, Fetzner U, Hrsg. *Das Zweite-kompakt: Gesundheitsstörungen- GK2.* Heidelberg: Springer; 2008.
- Grahn BH, Sandmeyer LS. Diseases and Surgery of the Canine Nasolacrimal System. In: Gelatt KN, Hrsg. *Veterinary Ophthalmology.* 4. Aufl.: Blackwell Publishing; 2007.
- Grahn BH, Wolfer J. Diagnostic Ophthalmology. *Can Vet J.* 1998;39:661-2.
- Hendricks JC. Brachycephalic Airway Syndrome. *Vet Clin North Am Small Anim Pract.* 1992;22(5):9.
- Hendricks JC. Brachycephalic Airway Syndrome. In: King LG, Hrsg. *Respiratory Diseases in Dogs and Cats.* St. Louis, Missouri: Saunders; 2004. S. 310-8.
- Henninger W, Pavlicek M. Konventionelle CT- Untersuchungsprotokolle, erstellt nach Regionen, für den optimalen Kontrastmitteleinsatz beim Hund. Teil 1: Einleitung, Material, Methodik und Ergebnisse. *Kleintierpraxis.* 2001a;46(11):685-98.
- Henninger W, Pavlicek M. Konventionelle CT- Untersuchungsprotokolle, erstellt nach Regionen, für den optimalen Kontrastmitteleinsatz beim Hund. Teil 2: Untersuchungsprotokolle, Diskussion und Literatur. *Kleintierpraxis.* 2001b;46(12):761-72.

- Hoffmann KT, Hosten N, Anders N, Stroszczynski C, Liebig T, Hartmann C, Felix R. High-resolution conjunctival contrast-enhanced MRI dacryocystography. *Neuroradiology*. 1999;41(3):208-13.
- Immler G. Untersuchungen über den Verlauf des Tränennasengangs beim Hund (Dissertation med. vet.). Wien: Veterinärmedizinische Universität Wien; 1996.
- Ingels K, Kestelyn P, Meire F, Ingels G, Van Weissenbruch R. The endoscopic approach for congenital nasolacrimal duct obstruction. *Clin Otolaryngol Allied Sci*. 1997;22(2):96-9.
- Jedrzynski MS, Bullock JD. Lacrimal Ultrasonography. *Ophthalmic Plast Rec*. 1994;10(2):114-20.
- Kirchhof K, Hähnel S, Jansen O, Zake S, Sartor K. Gadolinium-Enhanced Magnetic Resonance Dacryocystography in Patients with Epiphora. *J Comput Assist Tomo*. 2000;24(2):327-31.
- Knecht C. Upper airway obstruction in brachycephalic dogs. *Comp Cont Educ Pract Vet*. 1979;1:25-31.
- Koch DA, Arnold S, Hubler M, Montavon PM. Brachycephalic Syndrome in Dogs. *Comp Cont Educ Pract Vet*. 2003;25(1):48-55.
- Kuehn NF. Nasal computed tomography. *Clin Tech Small Anim Pract*. 2006;21(2):55-9.
- Küpper W. Die Darstellung des Tränennasengangs bei der Katze. *Kleintierpraxis*. 1973;18:42-4.
- Losonsky JM, Abbott LC, Kuriashkin IV. Computed tomography of the normal feline nasal cavity and paranasal sinuses. *Vet Radiol Ultrasound*. 1997;38(4):251-8.
- MacEwen CJ, Young JDH, Barras CW, Ram B, White PS. Value of nasal endoscopy and probing in the diagnosis and management of children with congenital epiphora. *Br J Ophthalmol*. 2001;85(3):314-8.
- Manfre L, de Maria M, Todaro E, Mangiameli A, Ponte F, Lagalla R. MR Dacryocystography: Comparison with Dacryocystography and CT Dacryocystography. *Am J Neuroradiol*. 2000;21(6):1145-50.
- Michel G. Beitrag zur Anatomie der Tränenorgane von Hund und Katze. *Dtsch Tierarztl Wochenschr*. 1955;62(33/34):347-9.
- Michel G. Vergleichende Embryologie der Haustiere: Gustav Fischer Verlag Jena; 1995.
- Miller PE. Lacrimal System. In: Slatter DH, Hrsg. *Slatter's Fundamentals of Veterinary Ophthalmology*. 4. Aufl.: Saunders Elsevier; 2008.
- Müllner K, Bodner E, Mannor GE. Endoscopy of the lacrimal system. *Brit J Ophthalmol*. 1999;83(8):949-52.



- Munk PL, Burhenne LW, Buffam FV, Nugent RA, Lin DT. Dacryocystography: comparison of water-soluble and oil-based contrast agents. *Radiology*. 1989;173(3):827-30.
- Nöller C. Klinisch-funktionelle Anatomie und computertomographische Darstellung der Nase bei normo- und brachyzephalen Katzen (Dissertation med. vet.). Berlin: Freie Universität Berlin; 2006.
- Nöller C, Henninger W, Gronemeyer DH, Hirschberg RM, Budras KD. Computed tomography-anatomy of the normal feline nasolacrimal drainage system. *Vet Radiol Ultrasound*. 2006;47(1):53-60.
- Nykamp SG, Scrivani PV, Pease AP. Computed tomography dacryocystography evaluation of the nasolacrimal apparatus. *Vet Radiol Ultrasound*. 2004;45(1):23-8.
- Oechtering G, Alef M, Kiefer I, Nöller C, Budras KD. Laserchirurgie bei brachyzephalen Hunden mit Atemnot. Jahreskongress der Deutschen Gesellschaft für Kleintiermedizin. 2005;51:274-5.
- Oechtering TH, Oechtering GU, Nöller C. Strukturelle Besonderheiten der Nase brachyzephaler Hunderassen in der Computertomographie. *Tierärztl Prax*. 2007;35(K):177-87.
- Ofri R. Development and Congenital Abnormalities In: Slatter DH, Hrsg. *Slatter's Fundamentals of Veterinary Ophthalmology*. 4. Aufl.: Saunders Elsevier; 2008.
- Paulsen FP, Thale AB, Hallmann UJ, Schaudig U, Tillmann BN. The cavernous body of the human efferent tear ducts: function in tear outflow mechanism. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2000;41(5):965-70.
- Pavlidis M, Stupp T, Grenzebach U, Busse H, Thanos S. Ultrasonic visualization of the effect of blinking on the lacrimal pump mechanism. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2005;243(3):228-34.
- Petersen-Jones SM, Stanley R. Ocular Discharge. In: Peiffer RL, Petersen-Jones SM, Hrsg. *Small Animal Ophthalmology*. 4. Aufl.: Elsevier; 2009.
- Pfeiffer RL, Nasisse MP, Cook CS, Harling DE. Surgery of the canine and feline orbit, adnexa and globe. 4. The nasolacrimal system. *Companion Anim Pract*. 1987;1(5):5-11.
- Rached PA, Canola JC, Schluter C, Laus JL, Oechtering G, de Almeida DE, Ludewig E. Computed tomographic-dacryocystography (CT-DCG) of the normal canine nasolacrimal drainage system with three-dimensional reconstruction. *Vet Ophthalmol*. 2011;14(3):174-9.

- Rached PA, Ludewig E, Oechtering G, Nöller C. CT- and MR- Dacryocystography of the normal canine nasolacrimal drainage system: preliminary results in 15 dogs. Proceedings EAVDI Annual Meeting 2007; 29. Aug- 1. Sep; Thessaloniki, Chalkidiki Griechenland; In: Abstracts from the Annual Conference of the European Association of Veterinary Diagnostic Imaging. Vet Radiol Ultrasound. 2008;49(2):196-219.
- Ramsey DT. Conditions of the Eyelids and Ocular Adnexa in Dogs and Cats. The 25th Annual Waltham/OSU Symposium; 2001 27.-28. Oktober: Veterinary Information Network (VIN); 2001.
- Regodon S, Vivo JM, Franco A, Guillen MT, Robina A. Craniofacial angle in dolicho-, meso- and brachycephalic dogs: radiological determination and application. Ann Anat. 1993;175(4):361-3.
- Rijnberk A, de Vries HW. Anamnese und körperliche Untersuchung kleiner Haus- und Heimtiere. 2. Aufl. Stuttgart: Enke Verlag; 2004.
- Russell EJ, Czervionke L, Huckman M, Daniels D, McLachlan D. CT of the inferomedial orbit and the lacrimal drainage apparatus: normal and pathologic anatomy. Am J Roentgenol. 1985;145(6):1147-54.
- Saunders JH, van Bree H, Gielen I, de Rooster H. Diagnostic value of computed tomography in dogs with chronic nasal disease. Vet Radiol Ultrasound. 2003;44(4):409-13.
- Schlueter C, Budras KD, Ludewig E, Mayrhofer E, Koenig HE, Walter A, Oechtering GU. Brachycephalic feline noses: CT and anatomical study of the relationship between head conformation and the nasolacrimal drainage system. J Feline Med Surg. 2009;11(11):891-900.
- Schnorr B, Kressin M. Embryologie der Haustiere. 4. Aufl. Stuttgart: Enke Verlag; 2001.
- Scholl W, Drews R. Relationen und Funktionen. In: Handbuch Mathematik. München: Orbis Verlag; 2001. S. 268.
- Singh A, Cullen CL, Gelens H, Grahn BH. Diagnostic Ophthalmology. Left dacryocystitis with naso-lacrimal duct obstruction. Can Vet J. 2004;45(11):953-5.
- Smollich A, Michel G. Mikroskopische Anatomie der Haustiere. Jena ; Stuttgart: Gustav Fischer Verlag; 1992.
- Stephens LC, Schultheiss TE, Vargas KJ, Cromeens DM, Gray KN, Ang KK. Glands of the eyelids of rhesus monkeys (*Macaca mulatta*). J Med Primatol. 1989;18(5):383-96.
- Thale A, Paulsen F, Rochels R, Tillmann B. Functional anatomy of the human efferent tear ducts: a new theory of tear outflow mechanism. Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol. 1998;236(9):674-8.

- Udhay P, Noronha OV, Mohan RE. Helical computed tomographic dacryocystography and its role in the diagnosis and management of lacrimal drainage system blocks and medial canthal masses. *Indian J Ophthalmol.* 2008;56(1):31-7.
- Uehara F, Ohba N. External dacryocystorhinostomy combined with mucosal grafting and magnetic resonance imaging. *Jpn J Ophthalmol.* 2002;46(2):183-8.
- Walde I, Nell B, Schäffer EH, Köstlin RG. *Augenheilkunde: Lehrbuch und Atlas Hund, Katze, Kaninchen und Meerschweinchen.* 3. Aufl. Stuttgart: Schattauer 2008.
- Walther EK, Herberhold C, Lippel R. Digitale Subtraktions-Dakryozystographie (DS-DCG) und Ergebnisbilanz endonasaler Tränenwegschirurgie. *Laryngo Rhino Otol.* 1994;73(11):609,13.
- White RAS, Herrtage ME, Watkins SB. Endoscopic management of a cystic nasolacrimal obstruction in a dog. *J Small Anim Pract.* 1984;25(12):729-35.
- Wilhelm K, Keller E, Textor J, Walther E, Schüller H, Schild H. MRT-Dakryozystographie nach Applikation gadoliniumhaltiger Augentropfen. *Fortschr Röntg.* 1997;167(07):58,61.
- Wilke M. Diagnostischer Nutzen der Dakryoendoskopie im Vergleich zur Dakryozystographie und Tränenwegspülung (Dissertation med. vet.). München: Ludwig-Maximilians-Universität 2008.
- Williams D. Keratokonjunktivitis sicca- Cyclosporine and beyond! 55. Jahreskongress der Deutschen Gesellschaft für Kleintiermedizin; 2009 Nov 12-15; Berlin: Verlag der DVG Servie GmbH; 2009.

## 9 ANHANG

Tabellen 15-18 zeigen die statistischen Unterschiede der Winkel 1 bis 4 zwischen den brachycephalen Rassen und im Vergleich zu den Normozephalen. Die Sterne zeigen die Höhe der Signifikanz an (\* signifikant, \*\*hoch signifikant, \*\*\*höchst signifikant).

Tabelle 15

<b>Winkel 1- statistische Unterschiede</b>						
	<b>FB</b>		<b>Mops</b>		<b>NZ</b>	
	<i>rechts</i>	<i>links</i>	<i>rechts</i>	<i>links</i>	<i>rechts</i>	<i>links</i>
<b>EB</b>	0,450	0,185	<0,001	<0,001	<0,001	0,002
			***	***	***	**
<b>FB</b>			<0,001	<0,001	0,001	0,002
			***	***	***	**
<b>Mops</b>					<0,001	<0,001
					***	***

Tabelle 16

<b>Winkel 2- statistische Unterschiede</b>						
	<b>FB</b>		<b>Mops</b>		<b>NZ</b>	
	<i>rechts</i>	<i>links</i>	<i>rechts</i>	<i>links</i>	<i>rechts</i>	<i>links</i>
<b>EB</b>	0,167	0,183	<0,001	0,001	0,001	0,001
			***	***	***	***
<b>FB</b>			<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
			***	***	***	***
<b>Mops</b>					<0,001	<0,001
					***	***

Tabelle 17

<b>Winkel 3- statistische Unterschiede</b>						
	<b>FB</b>		<b>Mops</b>		<b>NZ</b>	
	<i>rechts</i>	<i>links</i>	<i>rechts</i>	<i>links</i>	<i>rechts</i>	<i>links</i>
<b>EB</b>	0,212	0,053	<0,001	<0,001	0,001	0,001
			***	***	***	***
<b>FB</b>			<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
			***	***	***	***
<b>Mops</b>					<0,001	<0,001
					***	***

Tabelle 18

<b>Winkel 4- statistische Unterschiede</b>						
	<b>FB</b>		<b>Mops</b>		<b>NZ</b>	
	<i>rechts</i>	<i>links</i>	<i>rechts</i>	<i>links</i>	<i>rechts</i>	<i>links</i>
<b>EB</b>	0,152	0,037	<0,001	<0,001	0,003	0,015
		*	***	***	**	*
<b>FB</b>			<0,001	<0,001	<0,001	0,001
			***	***	***	***
<b>Mops</b>					<0,001	<0,001
					***	***



Tabelle 22 statistische Unterschiede der räumlichen Ausdehnung (Verhältnis Länge zu Breite). Die Sterne zeigen die Höhe der Signifikanz an (\* signifikant, \*\*hoch signifikant, \*\*\*höchst signifikant).

<b>Länge/Breite - statistische Unterschiede</b>						
	<b>FB</b>		<b>Mops</b>		<b>NZ</b>	
	<i>rechts</i>	<i>links</i>	<i>rechts</i>	<i>links</i>	<i>rechts</i>	<i>links</i>
<b>EB</b>	0,139	0,615	0,108	0,056	0,001	0,001
					***	***
<b>FB</b>			<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
			***	***	***	***
<b>Mops</b>					<0,001	<0,001
					***	***

Tabelle 23 Schräglage des harten Gaumens in Grad nach aufsteigender Größe sortiert, negative Gradzahlen beschreiben eine Richtung Nase abfallende, positive Werte die (üblichere) ansteigende Lagerung des harten Gaumens

<b>Schräglage des harten Gaumens in Grad</b>			
<b>EB</b>	<b>FB</b>	<b>Mops</b>	<b>NZ</b>
3,59	-12,00	-6,62	-6,77
3,82	0,81	-3,98	3,18
4,68	2,31	-2,71	4,43
5,68	3,63	-2,33	6,14
9,33	4,23	3,03	6,15
10,48	4,55	3,55	6,50
12,15	4,98	4,54	
12,73	5,52	5,80	
15,80	5,70	6,24	
19,25	6,49	6,38	
	8,41	7,70	
	9,96	7,70	
	10,51	7,75	
	10,62	9,26	
	12,16	9,68	
	15,71	11,48	
	16,98	12,30	
	21,67	15,88	
		21,76	

Tabelle 24 Übersicht zu den der Anstiegsmessung zugrunde liegenden Formeln

<b>Allgemeine Ebenengleichung (in Komponentenschreibweise)</b>	
$Ax + By + Cz + D = 0$	(BRONSTEIN et al. 2001; (3.373a))
wobei $\vec{N}(A, B, C)$ den Vektor senkrecht zur Ebene bestimmt (Normalenvektor)	(BRONSTEIN et al. 2001; Abschnitt 3.5.3.2.1.b)
<b>Bestimmung der Ebenengleichung durch drei Punkte <math>P_1, P_2, P_3</math></b>	
$P_1(x_1, y_1, z_1), P_2(x_2, y_2, z_2)$ und $P_3(x_3, y_3, z_3)$	
$\begin{vmatrix} x - x_1 & y - y_1 & z - z_1 \\ x_2 - x_1 & y_2 - y_1 & z_2 - z_1 \\ x_3 - x_1 & y_3 - y_1 & z_3 - z_1 \end{vmatrix} = 0$	(BRONSTEIN et al. 2001; (3.376a))
<b>Berechnung des Winkels zwischen zwei Ebenen</b>	
Ebene 1: $A_1x + B_1y + C_1z + D_1 = 0$ und Ebene 2: $A_2x + B_2y + C_2z + D_2 = 0$	
$\cos \varphi = \frac{A_1A_2 + B_1B_2 + C_1C_2}{\sqrt{(A_1^2 + B_1^2 + C_1^2) * (A_2^2 + B_2^2 + C_2^2)}}$	(BRONSTEIN et al. 2001; (3.382a))
(Gleichung für die XZ-Ebene: $0x + 1y + 0z + 0 = 0$ )	(BRONSTEIN et al. 2001; Abschnitt 3.5.3.2.1.b)
<b>Gleichung einer Geraden in Vektorschreibweise durch zwei Punkte <math>P_1, P_2</math></b>	
$P_1(x_1, y_1, z_1)$ und $P_2(x_2, y_2, z_2)$	
$\vec{r} = \vec{r}_1 + \vec{R}t \quad \text{mit} \quad \vec{r}_1 = \begin{pmatrix} x_2 - x_1 \\ y_2 - y_1 \\ z_2 - z_1 \end{pmatrix}$	(BRONSTEIN et al. 2001; (3.388d))
<b>Winkel zwischen zwei Geraden</b>	
$\vec{g} = \vec{r}_1 + \vec{R}_1t$ und $\vec{l} = \vec{r}_2 + \vec{R}_2s$	
$\cos \varphi = \frac{\vec{R}_1 \vec{R}_2}{ \vec{R}_1   \vec{R}_2 }$	(BRONSTEIN et al. 2001; (3.397))
<b>Winkel zwischen der Geraden und der Ebene</b>	
Gerade $\vec{r} = \vec{r}_1 + \vec{R}t$ , Ebene $A_1x + B_1y + C_1z + D_1 = 0$	
$\sin \varphi = \frac{ \vec{R} \vec{N} }{ \vec{R}   \vec{N} }$	(BRONSTEIN et al. 2001; (3.400))

Tabelle 25 Übersicht der Messergebnisse

	Rasse	Pat.-ID	Winkel 1		Winkel 2		Winkel 3	
			rechts	links	rechts	links	rechts	links
1	EB	69401	88.312	99.129	99.269	97.943	75.842	82.576
2	EB	72810	k.M.	k.M.	112.036	103.996	82.330	82.070
3	EB	72904	95.480	98.516	118.860	112.017	83.025	87.397
4	EB	78996	112.145	99.664	111.120	101.133	76.513	76.734
5	EB	79049	102.243	103.521	101.851	105.210	93.645	96.410
6	EB	79088	98.235	96.051	108.397	105.803	82.586	80.951
7	EB	79373	k.M.	106.307	113.009	117.156	87.076	89.497
8	EB	71616	120.993	130.031	130.200	139.458	82.190	77.558
9	EB	70206	106.879	115.106	114.805	126.018	87.740	92.554
10	EB	77407	97.568	104.971	100.302	103.348	82.425	85.772
11	FB	73495	k.M.	k.M.	116.134	105.309	81.037	81.021
12	FB	70774	k.M.	k.M.	112.670	106.122	81.576	81.099
13	FB	70956	98.826	k.M.	109.343	110.901	84.990	85.864
14	FB	71280	98.061	92.616	108.334	106.035	83.485	82.717
15	FB	71393	97.416	102.075	119.899	119.161	78.463	77.157
16	FB	71592	k.M.	90.796	k.M.	114.320	k.M.	79.379
17	FB	72528	k.M.	k.M.	103.539	100.626	k.M.	k.M.
18	FB	73433	k.M.	k.M.	112.616	125.011	78.668	79.241
19	FB	73794	108.707	107.390	117.272	116.876	91.631	93.279
20	FB	75319	95.066	96.867	116.153	118.515	75.904	76.209
21	FB	77466	105.252	112.245	119.069	127.809	87.422	84.672
22	FB	77509	k.M.	k.M.	109.190	105.106	k.M.	79.287
23	FB	72275	88.371	92.642	116.478	115.882	74.018	74.970
24	FB	74368	k.M.	k.M.	117.730	k.M.	80.161	79.789
25	FB	69021	99.755	k.M.	107.141	107.975	82.096	81.646
26	FB	68566	80.445	87.001	130.052	113.833	67.089	73.410
27	FB	69110	k.M.	k.M.	120.847	124.886	73.438	77.294
28	FB	72341	103.346	105.996	118.396	135.089	87.506	78.719
29	Mops	42035	71.075	k.M.	99.993	k.M.	61.785	k.M.
30	Mops	64856	72.759	70.809	92.050	100.604	59.724	61.970
31	Mops	66197	72.054	71.095	91.343	92.752	64.929	62.982
32	Mops	67881	61.712	64.273	103.998	94.741	53.012	54.288
33	Mops	68558	65.846	64.925	98.247	107.297	59.377	60.667
34	Mops	68959	k.M.	k.M.	97.576	98.079	62.308	60.305
35	Mops	69064	61.938	66.934	83.012	91.717	53.779	54.612
36	Mops	69788	69.744	71.654	107.405	100.692	57.540	54.598
37	Mops	70015	k.M.	k.M.	102.094	91.954	60.945	62.350
38	Mops	70034	84.734	79.441	123.153	118.922	64.320	64.570
39	Mops	70112	k.M.	68.738	107.840	103.309	k.M.	56.926
40	Mops	70789	60.536	64.720	86.631	93.860	61.734	58.538
41	Mops	71356	k.M.	k.M.	96.810	92.481	54.656	58.564
42	Mops	72164	65.263	k.M.	95.815	k.M.	56.255	k.M.
43	Mops	72335	64.292	64.590	95.581	88.538	57.392	59.670
44	Mops	72364	70.307	74.677	97.602	103.442	62.452	66.738
45	Mops	73003	k.M.	65.035	83.390	87.135	58.535	59.591
46	Mops	77289	61.641	71.902	82.878	93.240	58.120	58.898
47	Mops	77602	k.M.	71.605	112.545	105.486	69.993	61.797
48	Mops	70323	k.M.	k.M.	96.530	97.096	57.205	59.522
49	Mops	77356	k.M.	k.M.	95.906	99.037	k.M.	k.M.
50	Mops	69783	72.388	67.343	93.281	95.655	58.180	57.134
51	Mops	77112	73.117	69.461	100.098	94.691	62.811	60.429
52	Bearded Collie	33353	153.087	150.260	159.250	154.327	116.957	115.451
53	Beagle	58631	153.534	154.691	163.698	160.167	107.604	100.621
54	Cairn Terrier	59150	151.968	154.865	163.075	164.723	119.862	115.972
55	Mix	19735	148.121	145.365	162.632	159.121	111.373	135.112
56	Rhodesian RB	27925	148.844	150.032	158.267	155.168	109.545	107.116
57	Mix2	65034	155.885	154.856	166.342	163.079	101.775	102.508



Fortsetzung Tabelle 25

	Rasse	Winkel 4		Winkel 5	
		rechts	links	rechts	links
1	EB	76.818	81.996	52.417	39.583
2	EB	77.849	77.076	28.909	23.959
3	EB	83.207	84.745	34.974	28.126
4	EB	72.789	74.659	27.047	26.722
5	EB	93.654	93.394	24.200	21.206
6	EB	87.988	87.731	24.225	28.484
7	EB	84.528	82.643	26.095	33.110
8	EB	71.103	71.875	17.303	18.161
9	EB	92.927	88.539	29.144	26.432
10	EB	83.698	84.758	35.992	35.736
11	FB	82.823	78.482	34.383	26.357
12	FB	76.351	80.109	25.427	29.164
13	FB	85.630	k.M.	11.646	15.226
14	FB	80.850	81.969	17.786	13.713
15	FB	76.348	76.555	20.079	24.584
16	FB	k.M.	75.869	k.M.	21.505
17	FB	75.647	80.917	28.693	35.868
18	FB	77.649	76.336	24.460	26.168
19	FB	84.593	83.183	19.465	23.811
20	FB	74.354	74.810	22.454	19.177
21	FB	81.308	80.592	17.597	18.385
22	FB	76.672	74.699	20.183	27.696
23	FB	70.753	71.883	19.243	25.804
24	FB	79.968	79.222	24.819	25.104
25	FB	77.913	k.M.	27.460	27.158
26	FB	66.433	75.307	24.445	19.271
27	FB	73.689	76.394	27.227	32.175
28	FB	85.546	75.713	16.379	12.658
29	Mops	64.182	k.M.	21.591	k.M.
30	Mops	56.864	60.488	k.M.	k.M.
31	Mops	68.408	61.878	k.M.	k.M.
32	Mops	46.730	51.382	20.648	18.993
33	Mops	57.800	57.243	22.965	18.368
34	Mops	k.M.	k.M.	22.660	20.910
35	Mops	55.052	53.686	k.M.	k.M.
36	Mops	53.056	48.946	18.863	16.079
37	Mops	57.878	k.M.	22.803	23.379
38	Mops	59.889	59.794	35.551	16.856
39	Mops	61.264	61.197	25.488	22.482
40	Mops	55.990	54.575	24.369	29.464
41	Mops	k.M.	k.M.	26.464	32.784
42	Mops	55.120	k.M.	14.904	k.M.
43	Mops	58.788	58.232	27.878	19.472
44	Mops	58.858	60.632	24.954	16.767
45	Mops	55.817	60.860	29.100	30.535
46	Mops	54.819	55.293	28.148	29.953
47	Mops	k.M.	55.510	17.139	26.764
48	Mops	k.M.	56.718	19.069	20.265
49	Mops	k.M.	k.M.	22.533	22.533
50	Mops	57.855	54.177	10.873	18.812
51	Mops	60.925	57.449	21.562	27.873
52	Bearded Collie	113.611	112.531	8.610	11.815
53	Beagle	89.093	80.345	3.897	3.803
54	Cairn Terrier	123.627	127.866	9.125	9.056
55	Mix	145.201	142.264	10.136	9.596
56	Rhodesian RB	104.842	112.188	6.613	8.916
57	Mix2	94.899	93.452	7.261	7.456

Fortsetzung Tabelle 25

	Rasse	Breite		Länge		Länge/ Breite	
		rechts	links	rechts	links	links	rechts
1	EB	28.320	31.055	32.700	29.100	0,94	1,15
2	EB	30.726	26.953	32.700	33.000	1,22	1,06
3	EB	28.844	32.172	36.300	33.000	1,03	1,26
4	EB	29.297	29.296	39.200	39.600	1,35	1,34
5	EB	32.753	32.246	30.800	30.800	0,96	0,94
6	EB	36.816	38.340	31.850	32.900	0,86	0,87
7	EB	29.885	25.705	28.800	30.000	1,17	0,96
8	EB	26.812	28.359	48.000	47.700	1,68	1,79
9	EB	31.543	30.801	33.900	33.000	1,07	1,07
10	EB	32.063	31.840	32.800	33.600	1,06	1,02
11	FB	30.038	28.717	29.000	31.000	1,08	0,97
12	FB	26.172	28.320	29.400	29.700	1,05	1,12
13	FB	31.054	28.711	25.200	25.500	0,89	0,81
14	FB	27.148	25.391	25.200	27.300	1,08	0,93
15	FB	23.632	23.438	23.100	22.200	0,95	0,98
16	FB	k.M.	20.898	k.M.	24.600	1,18	k.M.
17	FB	26.563	28.711	25.200	27.300	0,95	0,95
18	FB	26.172	25.195	27.900	29.100	1,15	1,07
19	FB	26.016	24.434	26.400	28.200	1,15	1,01
20	FB	26.125	24.578	30.000	30.800	1,25	1,15
21	FB	25.136	28.336	25.200	24.400	0,86	1,00
22	FB	25.500	23.707	26.000	25.900	1,09	1,02
23	FB	22.359	21.739	26.400	26.700	1,23	1,18
24	FB	24.714	24.715	25.800	26.400	1,07	1,04
25	FB	22.939	20.303	22.000	22.000	1,08	0,96
26	FB	25.305	28.508	29.000	28.000	0,98	1,15
27	FB	25.197	25.387	21.900	22.200	0,87	0,87
28	FB	24.033	23.809	19.500	21.300	0,89	0,81
29	Mops	20.508	k.M.	20.700	k.M.	k.M.	1,01
30	Mops	15.920	18.712	22.000	21.000	1,12	1,38
31	Mops	18.047	19.594	22.000	21.000	1,07	1,22
32	Mops	14.520	15.996	24.000	24.000	1,50	1,65
33	Mops	17.367	16.758	20.000	22.000	1,31	1,15
34	Mops	17.437	15.258	22.000	23.000	1,51	1,26
35	Mops	17.969	17.773	21.300	21.300	1,20	1,19
36	Mops	15.846	15.845	23.000	24.000	1,51	1,45
37	Mops	18.663	18.662	21.000	20.700	1,11	1,13
38	Mops	18.750	18.360	21.600	21.300	1,16	1,15
39	Mops	19.485	18.813	18.900	20.100	1,07	0,97
40	Mops	18.164	17.871	20.100	20.700	1,16	1,11
41	Mops	14.015	17.430	21.900	22.500	1,29	1,56
42	Mops	17.930	k.M.	24.600	k.M.	k.M.	1,37
43	Mops	19.297	16.047	19.800	21.300	1,33	1,03
44	Mops	19.195	18.351	25.500	24.300	1,32	1,33
45	Mops	17.188	18.390	20.100	19.500	1,06	1,17
46	Mops	18.984	17.754	23.200	25.200	1,42	1,22
47	Mops	14.658	16.510	18.560	22.720	1,38	1,27
48	Mops	16.992	19.336	17.700	21.900	1,13	1,04
49	Mops	k.M.	k.M.	k.M.	k.M.	k.M.	k.M.
50	Mops	16.123	16.620	230.000	22.000	1,32	14,27
51	Mops	18.310	19.189	21.000	22.050	1,15	1,15
52	Bearded Collie	18.012	24.843	90.400	89.600	3,61	5,02
53	Beagle	21.530	21.824	72.000	72.000	3,30	3,34
54	Cairn Terrier	16.340	18.726	64.000	63.000	3,36	3,92
55	Mix	18.906	20.410	79.600	80.800	3,96	4,21
56	Rhodesian RB	29.305	26.398	93.000	95.000	3,60	3,17
57	Mix2	18.945	22.070	79.200	78.300	3,55	4,18

Fortsetzung Tabelle 25 BC= Bearded Collie; CT= Cairn Terrier; RB= Rhodesian Ridgeback

Rasse	Länge Canaliculi (mm)				Länge Anfangsteil TNG		Länge Mittel-/Endteil TNG		Gesamtlänge TNG		Gesamtlänge TAS ab inf. Canaliculi		
	oben		unten		rechts	links	rechts	links	rechts	links	rechts	links	
	rechts	links	rechts	links									
1	EB	15,3	17,3	16,7	21,1	18,4	19,8	35,7	33,9	54,2	53,7	70,9	74,8
2	EB	16,6	15,3	15,3	15,3	19,6	22,0	33,8	30,1	53,3	52,1	68,7	67,4
3	EB	16,9	17,5	18,1	16,7	17,9	18,8	46,6	37,4	64,6	56,2	82,6	72,9
4	EB	15,5	19,2	15,6	14,3	22,6	24,3	35,4	37,3	58,0	61,6	73,6	75,8
5	EB	18,6	15,0	16,3	11,8	17,1	21,7	36,0	33,9	53,1	55,6	69,4	67,4
6	EB	22,1	20,5	22,7	20,5	16,1	14,5	32,9	40,3	48,9	54,8	71,6	75,4
7	EB	20,7	22,2	k.M.	15,8	19,1	22,4	29,7	32,5	48,8	54,8	k.M.	70,6
8	EB	16,7	21,1	13,8	15,8	22,6	15,7	47,2	45,0	69,9	60,7	83,7	76,5
9	EB	14,3	20,4	14,1	17,1	24,4	18,0	35,6	36,4	60,0	54,4	74,0	71,5
10	EB	19,6	19,1	15,0	14,3	21,3	21,0	35,2	35,5	56,5	56,5	71,5	70,8
11	FB	12,5	15,1	14,3	15,5	15,4	13,4	33,6	33,6	49,0	47,0	63,3	62,5
12	FB												
13	FB												
14	FB	15,8	13,0	16,6	14,2	14,9	16,2	29,1	32,0	44,0	48,2	60,7	62,4
15	FB	18,7	15,5	18,1	14,2	11,8	14,6	27,2	25,7	39,0	40,3	57,1	54,5
16	FB												
17	FB												
18	FB												
19	FB	15,8	17,1	16,4	15,4	14,7	16,3	28,0	29,5	42,7	45,8	59,1	61,1
20	FB	17,6	20,4	18,2	16,6	15,0	15,4	29,3	30,4	44,3	45,8	62,4	62,5
21	FB	18,5	20,3	16,8	20,0	16,0	12,3	27,5	31,5	43,5	43,9	60,3	63,9
22	FB												
23	FB	16,7	17,5	16,6	15,4	14,8	13,7	27,3	27,6	42,2	41,3	58,8	56,7
24	FB												
25	FB												
26	FB	18,8	19,3	18,4	17,5	12,3	11,9	29,9	32,4	42,2	44,3	60,5	61,8
27	FB												
28	FB	16,2	17,3	15,3	20,2	10,9	12,3	28,7	27,3	39,6	39,6	54,9	59,8
29	Mops												
30	Mops												
31	Mops												
32	Mops												
33	Mops	13,4	13,7	15,2	16,1	14,1	11,9	26,7	24,1	40,8	36,0	56,0	52,1
34	Mops												
35	Mops												
36	Mops	14,8	15,2	16,7	15,4	17,3	12,7	23,7	24,8	41,0	37,5	57,7	52,8
37	Mops												
38	Mops	13,5	15,7	16,6	18,9	12,5	12,8	23,4	21,8	35,9	34,6	52,5	53,5
39	Mops												
40	Mops	17,1	16,7	16,7	14,6	12,9	13,4	25,2	26,0	38,1	39,3	54,8	54,0
41	Mops												
42	Mops												
43	Mops	13,5	11,7	15,0	14,5	13,4	16,2	25,0	24,7	38,3	41,0	53,3	55,5
44	Mops	17,4	15,0	17,5	15,5	17,6	15,7	25,7	26,7	43,3	42,4	60,8	57,9
45	Mops												
46	Mops	16,9	15,7	13,3	16,6	13,7	14,6	28,3	28,6	42,0	43,2	55,3	59,8
47	Mops												
48	Mops												
49	Mops												
50	Mops	12,5	13,6	12,8	12,7	13,2	16,5	18,3	28,1	31,5	44,5	44,3	57,2
51	Mops	11,7	11,1	13,1	11,9	18,0	12,0	25,6	25,4	43,5	37,4	56,7	49,3
52	BC	7,9	8,0	6,6	6,5	37,6	38,3	68,2	68,2	105,	106,	112,	113,
53	Beagle	12,3	11,3	7,7	k.M.	32,8	35,0	56,1	54,0	88,8	89,0	96,5	k.M.
54	CT	5,3	6,4	2,9	3,6	26,9	27,7	49,6	48,7	76,5	76,4	79,4	80,1
55	Mix	7,8	7,3	4,1	6,1	31,2	32,0	63,4	62,4	94,6	94,4	98,7	100,
56	RB	6,4	7,4	5,6	6,1	43,3	42,4	73,4	73,6	116,	116,	122,	122,
57	Mix2	6,4	6,3	5,2	5,5	40,7	37,8	52,9	52,2	93,6	90,0	98,8	95,5

Fortsetzung Tabelle 25 BC= Bearded Collie; CT= Cairn Terrier; RB= Rhodesian Ridgeback

Rasse	Canaliculi zu Länge TAS				Anfangs- teil/Länge TNG		Mittel/ Endteil/Länge TNG		Bemerkungen	
	oben		unten		rechts	links	rechts	links		
	rechts	links	rechts	links						
1	EB	0,22	0,24	0,24	0,28	0,34	0,37	0,66	0,63	
2	EB	0,24	0,23	0,22	0,23	0,37	0,42	0,63	0,58	
3	EB	0,21	0,24	0,22	0,23	0,28	0,33	0,72	0,67	
4	EB	0,21	0,24	0,21	0,19	0,39	0,39	0,61	0,61	
5	EB	0,26	0,21	0,23	0,17	0,32	0,39	0,68	0,61	
6	EB	0,31	0,27	0,32	0,27	0,33	0,26	0,67	0,74	
7	EB	k.M.	0,29	k.M.	0,22	0,39	0,41	0,61	0,59	
8	EB	0,19	0,26	0,17	0,21	0,32	0,26	0,68	0,74	
9	EB	0,19	0,27	0,19	0,24	0,41	0,33	0,59	0,67	
10	EB	0,26	0,25	0,21	0,20	0,38	0,37	0,62	0,63	
11	FB	0,20	0,24	0,23	0,25	0,31	0,28	0,69	0,72	
12	FB									
13	FB									linkes unteres Kanälchen nicht durchgängig
14	FB	0,26	0,21	0,27	0,23	0,34	0,34	0,66	0,66	
15	FB	0,32	0,28	0,32	0,26	0,30	0,36	0,70	0,64	
16	FB									rechts keine Tränenpunkte
17	FB									bds. keine oberen Tränenpunkte
18	FB									
19	FB	0,27	0,27	0,28	0,25	0,34	0,36	0,66	0,64	
20	FB	0,28	0,31	0,29	0,27	0,34	0,34	0,66	0,66	
21	FB	0,30	0,32	0,28	0,31	0,37	0,28	0,63	0,72	
22	FB									rechts kein oberes Tränenpüktchen
23	FB	0,28	0,30	0,28	0,27	0,35	0,33	0,65	0,67	
24	FB									
25	FB									linkes unteres Kanälchen nicht durchgängig
26	FB	0,31	0,30	0,30	0,28	0,29	0,27	0,71	0,73	
27	FB									
28	FB	0,29	0,30	0,28	0,34	0,28	0,31	0,72	0,69	
29	Mops									
30	Mops									
31	Mops									
32	Mops									
33	Mops	0,25	0,28	0,27	0,31	0,35	0,33	0,65	0,67	
34	Mops									beide unteren Canaliculi nicht gefüllt
35	Mops									
36	Mops	0,26	0,29	0,29	0,29	0,42	0,34	0,58	0,66	
37	Mops									
38	Mops	0,27	0,31	0,32	0,35	0,35	0,37	0,65	0,63	
39	Mops									
40	Mops	0,31	0,30	0,30	0,27	0,34	0,34	0,66	0,66	
41	Mops									untere Canaliculi nicht gefüllt
42	Mops									nur einseitig gefüllt
43	Mops	0,26	0,22	0,28	0,26	0,35	0,40	0,65	0,60	
44	Mops	0,29	0,26	0,29	0,27	0,41	0,37	0,59	0,63	
45	Mops									
46	Mops	0,29	0,27	0,24	0,28	0,33	0,34	0,67	0,66	
47	Mops									rechtes unteres Kanälchen nicht gefüllt
48	Mops									
49	Mops									
50	Mops	0,28	0,23	0,29	0,22	0,42	0,37	0,58	0,63	
51	Mops	0,21	0,23	0,23	0,24	0,41	0,32	0,59	0,68	
52	BC	0,07	0,07	0,06	0,06	0,36	0,36	0,64	0,64	
53	Beagle	0,12	0,11	0,08	k.M.	0,37	0,39	0,63	0,61	
54	CT	0,06	0,08	0,04	0,05	0,35	0,36	0,65	0,64	
55	Mix	0,08	0,07	0,04	0,06	0,33	0,34	0,67	0,66	
56	RB	0,05	0,06	0,05	0,05	0,37	0,37	0,63	0,63	
57	Mix2	0,06	0,07	0,05	0,06	0,44	0,42	0,56	0,58	

Ich danke insbesondere André Dietrich für die umfangreiche Unterstützung bei der Nutzung von ImageJ und der Bilderstellung.

Mein Dank gilt auch den Mitarbeitern der Abteilung für bildgebende Diagnostik der Klinik für Kleintiere der Universität Leipzig, besonders Ines Merseburger.

Vielen Dank an meinen Betreuer Prof. G. Oechtering und an Dr. Claudia Schlüter für die Idee zu meiner Arbeit.

Ganz großer Dank gilt natürlich meiner Mutter für die fortwährend motivierenden Worte und die Unterstützung in den letzten Jahren.