

4 Diskussion

4.1 Patienten und Untersuchungsmaterial

Der Umfang des Patienten- bzw. Untersuchungsmaterials betrug insgesamt 49 Katzen. Davon wurden 10 Tiere zur Erprobung verschiedener Methoden untersucht oder präpariert und die optimalen Untersuchungsparameter festgelegt. Diese Vorgehensweise erwies sich als ausgesprochen nützlich, da sich Fehler in der Durchführung minimierten.

Für die computertomographischen Untersuchungen an der normozephalen **Hauskatze** standen 13 Tiere zur Verfügung. Von diesen 13 Tieren zeigten 5 Katzen Veränderungen in der Nasenhöhle und konnten somit für die klinische Bildinterpretation herangezogen werden. Diese erfolgte anhand der erarbeiteten Beurteilungskriterien für die Region Nasen- und Nasennebenhöhlen. Die verbleibenden 8 Tiere wurden für das Studium der Schnittbildanatomie herangezogen. Tiefgefrorenes Tiermaterial wurde außerdem für weiterführende Untersuchungen verwendet.

Von den 49 Katzen gehörten 26 der Rasse der **Perserkatzen** an. Diese hohe Zahl war deshalb unbedingt erforderlich, da noch eine Einteilung der Tiere in vier unterschiedliche Kategorien erfolgte. Auch bei der Perserkatze zeigten 11 Tiere geringe bis hochgradige Veränderungen in der Nasenhöhle, die anhand der Beurteilungskriterien befundet wurden.

Das Untersuchungsmaterial zeigte sich sehr heterogen. Dies liegt vor allem daran, dass sowohl lebende bzw. frisch tote Tiere und tiefgefrorenes Untersuchungsmaterial verschiedenen Alters und Geschlechts verwendet wurden.

4.1.1 Einteilung der Perserkatzen in Kategorien

Aufgrund des unterschiedlichen individuellen phänotypischen Erscheinungsbildes innerhalb der Rasse und den verschiedenen Graden der Brachyzehalie wurden die Perserkatzen in vier verschiedene Kategorien eingeteilt, wobei das Ausmaß der Brachyzehalie mit steigender Kategorie zunahm. Ausschlaggebend für die subjektive Einordnung in eine bestimmte Kategorie waren die Schädelform, die Ausprägung Nase und die Kieferstellung. Die Feststellung von CASE (2003), dass die Perserkatze einen brachyzehalen Kopftyp mit verkürztem Kiefer und dicht stehenden Augen habe, wobei der Unterkiefer den Oberkiefer überrage, konnte bei den Kategorien II bis IV bestätigt werden. OPPEL (2002) untersuchte eine große Population rundköpfiger Katzen und stellte fest, dass die Schädelform dieser Tiere sehr inhomogen ist. Eine Einteilung dieser brachyzehalen Katzen in Kategorien wurde nicht vorgenommen. Sie erscheint jedoch für den Dialog mit Züchtern und einer Diskussion über die gesundheitlichen Probleme der Rasse unbedingt erforderlich, da sich bei den Kategorien III und IV im Vergleich zu den Kategorien I und II gravierende strukturelle Unterschiede herausstellten. Es bleibt zukünftigen Untersuchungen vorbehalten, diese vorläufige Kategorisierung durch morphometrische Untersuchungen am Skelett (wie sie bei OPPEL (2002) bereits einheitlich für brachyzephale Katzen vorgenommen wurden) zu objektivieren und eventuell auch durch bildgebende Verfahren die Einteilung der Kategorien zu verfeinern. Wie die weiteren Ausführungen zeigen werden, eignet sich der Rotationsgrad des Dens Caninus hervorragend dazu, als einfaches Beurteilungskriterium eine objektive Aussage zum Grad der Brachyzehalie und damit zur Zugehörigkeit in eine der Kategorien vorzunehmen.

An dieser Stelle sei jedoch ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die Grade der Brachyzehalie helfen können, das Ausmaß verschiedener struktureller Veränderungen zu

klassifizieren und damit die Prädisposition für Erkrankungen, die im Zusammenhang mit Brachycephalie gesehen werden, zu beschreiben. Jedoch lassen sie keine Rückschlüsse auf das tatsächliche Vorliegen von Erkrankungen zu und können auch keine pauschalisierte Auskunft über ein Individuum geben.

4.2 Methodik

4.2.1 Computertomographische Darstellung

Der erstmalig erarbeitete und begründete **Strahlengang** (vgl. Abb. 138 bis 140) mit einer Ausrichtung von 90° auf das Os nasale erwies sich für die Untersuchungen der Nasen- und Nasennebenhöhlen als optimal. Alle Muscheln können ab ihrem Ursprung besser von Bild zu Bild verfolgt und beurteilt werden. Gerade im Bereich der Lamina cribrosa ist die Darstellung der Siebbeinmuschelursprünge bei diesem Strahlengang vorteilhaft, weil sie übersichtlich abgebildet werden. Der Strahlengang ist dann optimal gewählt, wenn er parallel zur Lamina cribrosa verläuft. Alle bisher publizierten CT-Untersuchungen im Untersuchungsgebiet der Nasen- und Nasennebenhöhlen bei der Katze (HENNINGER, 1997; LOSONSKY et al., 1997; KOCH et al., 2002; KÜNZEL et al., 2002; SHOJAEI et al., 2003) wurden allerdings im perpendikulären Strahlengang mit einer 90° Ausrichtung auf den harten Gaumen angewandt und somit anstandslos vom Hund übernommen (HENNINGER und PAVLICEK, 2001). Dabei blieb jedoch die gegenüber dem Hund unterschiedliche Stellung der Lamina cribrosa und der Nasenmuscheln unberücksichtigt. Dies ist verwunderlich, da bei diesem Strahlengang ein verzerrter und ungeordneter Eindruck der Lamina cribrosa und der Nasenmuscheln entsteht, den man über mehrere Bilder beurteilen muss (vgl. Abb. 139 und 140). Ferner fiel es schwer, Muscheln von Schnitt zu Schnitt zu verfolgen. Es ist aber auch anzumerken, dass der bisher angewendete Strahlengang die Diagnose von Erkrankungen in der Nasenhöhle, beispielsweise einer Rhinitis, nicht wesentlich beeinträchtigt. Der Röntgenologe verschafft sich jedoch bei dem hier vorgeschlagenen Strahlengang einen besseren Überblick im klinisch wichtigen Bereich des Nasenhöhlenfundus. Außerdem gewinnt der Betrachter zusätzliche Informationen aus weiter kaudal gelegenen Bereichen am Kopf, wie z.B. vom Mittelohr, ohne dass zusätzliche Aufnahmen angefertigt werden müssen.

Für den neu erarbeiteten und eingeführten Strahlengang wurde der Kopf mit dem Nasenbein horizontal gelagert, sodass auch ohne Gantryneigung eine perpendikuläre Schnitfführung erreicht werden konnte (vgl. Textabb. 16 und 17 S. 51). Dies war deshalb von Vorteil, weil so der Kopf bei der sich anschließenden 3D-Rekonstruktion nicht verzerrt dargestellt wird (vgl. Textabb. 45 und 46 S. 96).

Der **Untersuchungsgang** wurde bis zur vollständigen Darstellung aller Nasennebenhöhlen vorgenommen. Da die Keilbeinhöhle im Kopf der Katze weiter kaudal als die Stirnhöhle zu liegen kommt, muss bei einem Strahlengang von 90° auf das Os palatinum die Schnittplanung nach kaudal bis zum Ende der Keilbeinhöhle erweitert werden. Daran sollte bei einem Vorgehen in Anlehnung an den für den Hund erstellten Leitfaden von HENNINGER und PAVLICEK (2001) gedacht werden, da hier die Ausläufer der Stirnhöhle als kaudale Begrenzung angegeben werden. Da die Schnittebene von 90° auf das Os nasale einen kaudoventralen Verlauf hat kann die Stirnhöhle der **Hauskatze** problemlos als kaudale Begrenzung beim Planen der Schnitfführung dienen. Bei brachycephalen Katzen muss jedoch beachtet werden, dass sich die Keilbeinhöhle mit zunehmendem Grad der Brachycephalie weiter kaudal ausdehnt, als dies bei Hauskatzen der Fall ist.

Als **Rekonstruktionsalgorithmus** hat sich die Verwendung von „Edge“ (CT-Gerät Wien) bzw. „Sharp, S10“ (CT in Fürstenwalde) für die knöchernen Strukturen in der Nase bewährt. Hierbei kann die Rekonstruktion aus einer bestehenden Weichteilaufnahme erfolgen und für die spezielle Knochendarstellung zunehmend härter werden (Bsp. Wien: Soft → Standard → Detail → Bone → Edge → Performance). Da in Wien genügend Bildspeicherkapazität vorhanden war, konnte vorerst ein weicherer Aufnahmealgorithmus (Detail) gewählt werden. Aus diesem Rohdatensatz wurden anschließend alle Bilder bei der Nachbearbeitung im "Edge"-Algorithmus rekonstruiert. Bei dem älteren CT-Gerät (Fürstenwalde) mussten wegen der geringen Bildspeicherkapazität die CT-Aufnahmen direkt mit der "Sharp S10"-Einstellung erfolgen, was sich bei einer chronischen Rhinitis aufgrund der schlechten Beurteilbarkeit (Artefakte siehe unten) im Weichteilfenster nachteilig auswirken kann. Deshalb wurde in diesem Falle die erste CT-Serie mit einer weichen Einstellung (smooth) aufgenommen und im Anschluss daran noch eine Serie mit dem scharfen Rekonstruktionsalgorithmus (sharp), sofern dies nicht mit einer Narkosenachdosierung verbunden war (wachte das Tier bereits wieder auf, wurde auf weitere Serien verzichtet). Es sei erwähnt, dass sich bei einer Darstellung im "Edge-" oder "Sharp-" Algorithmus die Weichteile körnig und grob, aber die Knochen scharf und detailliert darstellen. Im "Detail"-Algorithmus fehlt die Schärfe der knöchernen Strukturen, aber die Weichteile stellen sich homogen und auch weich dar. Deshalb wird die Verwendung des „Edge“ oder „Sharp, S10“ Rekonstruktionsalgorithmus in idealer Weise nach erfolgter weicherer Aufnahme empfohlen, damit bei Bedarf auf beide Serien zurückgegriffen werden kann.

Die **Aufnahmeparameter** wurden weitgehend konstant gehalten (vgl. Tab. 11). Die Schichtdicke betrug, in Abhängigkeit vom Gerät, ein oder zwei Millimeter. Die schnittbildanatomischen Arbeiten von LIPPERT (1992), LOSONSKY et al. (1997), KOCH et al. (2002), KÜNZEL et al. (2002) und SHOJAEI et al. (2003) zeigen eine hohe Varianz der Schichtdicken, die zwischen 2 und 10mm liegen. Teilweise war es vor allem bei dem etwas älteren CT-Gerät nicht möglich, die mAs auf über 60 zu erhöhen, da das Gerät dann überlastet und die Kapazität schnell erschöpft war. In einigen Fällen kam es zu unerwarteten Verzögerungen durch Abstürze des CT-Gerätes. Das machte eine Weiterführung der Untersuchung unmöglich.

Es zeigte sich, dass die Darstellung in einem modifizierten **Knochenfenster** (WW 2500, WL 50) zur Demonstration der normalen Anatomie am Kopf in den meisten Fällen als ausreichend erachtet werden konnte, weshalb in der vorliegenden Arbeit mit Ausnahme der Lymphknoten nur vereinzelt Strukturen im Weichteilfenster abgebildet wurden. Es ist aber zu bedenken, dass dieses modifizierte Knochenfenster ein geringeres Window-Level zeigt und die Nasenhöhle und deren Nebenhöhlen als lufthaltige Strukturen sogar in einer **Lungenfensterung** sehr gut zu beurteilen sind (beispielsweise zur Betrachtung der Nasenschleimhaut). Wichtig war bei der Bildbeurteilung in bestimmten Fenstern jedoch immer, dass ein einmal gewähltes Fenster für einen Bereich am Tierkörper auch in Zukunft beibehalten wird, um eine gleichbleibende Befundung zu gewährleisten.

Röntgenkontrastmittel wurden bei der computertomographischen Untersuchung dann verwendet, wenn sich nach der Nativ-Untersuchung pathologische Veränderungen (weichteildichte Verschattung, Schwellung) im Bereich der Nasen- oder Nasennebenhöhlen zeigten (vgl. Abb. 134 und 135, 1. Fallbeispiel). Im Falle einer **Kontrastmittelapplikation** wurden die Nasenhöhlen und die regionalen Lymphknoten nochmals im Weichteilfenster beurteilt. Vor allem bei dem älteren Gerät war dies mitunter problematisch, da es durch die

vorhergehende Nativ-Serie überlastet war und auch abstürzte. Somit bestand keine Sicherheit bei der Applikation von Kontrastmittel, nach der Nativ-Serie noch eine Kontrast-Serie aufnehmen zu können.

Mit dieser Arbeit konnte ein vollständiger computertomographischer Untersuchungsablauf erarbeitet werden, der den Bedürfnissen am normo- und brachyzephalen Katzenkopf entspricht und der uneingeschränkt empfohlen werden kann.

4.2.2 Darstellung der ableitenden Tränenwege

Einer der Schwerpunkte der vorliegenden Arbeit war die präparatorische, zeichnerische, computertomographische und dreidimensionale Darstellung der ableitenden Tränenwege bei der Perserkatze im Vergleich zur Hauskatze. Hierzu wurden insgesamt 9 Nativ-CT-Serien von normozephalen und 25 Nativ-CT-Serien von brachyzephalen Katzen mit insgesamt drei Kontrast-CT-Serien (1 Hauskatze, 1 Perserkatze Kategorie II, 1 Perserkatze Kategorie IV) und diversen anatomischen Präparaten (Korrosionsausgüssen, mazerierten Schädeln und präparatorischen Modellen) verglichen. Es konnte eine praktikable Methode erarbeitet werden, um die Anteile und Begrenzungen der ableitenden Tränenwege im CT mit und ohne Kontrastmittel zu identifizieren.

Die Kontrastmittelapplikation in die ableitenden Tränenwege für die entsprechenden CT-Aufnahmen erfolgte bei einer Hauskatze und zwei Perserkatzen der Kategorien II und IV mit einem Gemisch aus Bariumsulfat und grün angefärbtem Silikon. Diese Vorgehensweise entsprach der Methodik von BREIT et al. (2003). Die Anzahl der kontrastmittelmarkierten Tiere mit drei Katzen ist eher klein gewählt, da nicht die Fragestellung des Vorliegens einer Atresie oder Agenesie geklärt werden sollte, sondern das Ziel verfolgt wurde, die in der Literatur beschriebenen Strukturen übersichtlich darzustellen und zu identifizieren. Für die Fragestellung des Vorliegens einer Atresie oder Agenesie wären zusätzliche Untersuchungen mit einer größeren Anzahl an Tiermaterial erforderlich.

Vor und nach der Kontrastmittelapplikation wurden alle drei Tiere computertomographisch untersucht und 3D-Modelle des Verlaufs der ableitenden Tränenwege erstellt. Die Modelle dienen u.a. als „Fräsvorlage“ für die sich an die Mazeration anschließende Präparation der Katzenköpfe. Dieses Vorgehen sowie die computertomographische Darstellung der ableitenden Tränenwege bei der Katze wurden in der vorliegenden Arbeit erstmalig durchgeführt und beschrieben. Für die Hauskatze wurden die Methodik und die resultierenden Ergebnisse aus dieser Arbeit bereits veröffentlicht (NÖLLER et al., 2006). Aufbauend auf den Ergebnissen von BREIT et al. (2003), wurden die ableitenden Tränenwege mit und ohne Kontrastmittel computertomographisch dargestellt und entsprechende 3D-Modelle des Verlaufes bei beiden Katzenrassen entwickelt. Beide Methoden sind der bisherigen röntgenologischen Darstellung (Dacryocytographie) der ableitenden Tränenwege (GELATT et al., 1972; KÜPPER, 1973; BREIT et al., 2003) weit überlegen, da es nicht zu Überlagerungen durch Zähne und durch angrenzende Knochenstrukturen kommt. Die 3D-Modelle haben für den Kliniker den Vorteil, dass dieser sich schnell einen Überblick über die Verlaufsrichtung, umliegende Strukturen und die Durchgängigkeit der ableitenden Tränenwege eines bestimmten Patienten verschaffen kann. Die hier vorgestellte Methode zur Darstellung der ableitenden Tränenwege in der Computertomographie ist in der Verlässlichkeit für die Absicherung der Diagnose allen anderen Methoden überlegen. Am lebenden Tier empfiehlt sich nach ALLGOEWER (2006) zur CT-Dacryocytorhinographie 0,4ml eines jodhaltigen Kontrastmittels (z.B. Imanopaque®

300) mit 1,5ml Methylzellulose Adatocel® (Viscoelastikum) zur okularen Anwendung in einer 2ml Spritze zu vermengen und das Gemisch mittels Braunüle (Neocan Medikit™ 24G, 0,6mm, L 19mm) in das untere Tränenpünktchen zu applizieren. Die Flüssigkeit fließe durch die erhöhte Viskosität weniger schnell in die Nasenhöhle ab und eigne sich hervorragend zur Darstellung der ableitenden Tränenwege in der Computertomographie.

4.2.3 Darstellung der Stirnhöhlen

Die erste Methode, die zur Darstellung der Stirnhöhlen bei Haus- und Perserkatzen angewendet wurde, war die Computertomographie. An sie schlossen sich weiterführende Methoden an. So wurden exemplarisch einige der erhobenen CT-Daten für die Erstellung von 3D-Modellen (bei 3 Hauskatzen und 6 Perserkatzen, vgl. Tab. 9) verwendet. Im Falle der tiefgefrorenen Tiere dienten sie auch als Bohrvorlage für das Mazerationskunststoffausgussverfahren (2 Hauskatzen, 3 Perserkatzen). Anschließend wurde jeweils der virtuell erstellte Ausguss mit dem korrespondierenden, konventionellen Ausguss desselben Tieres verglichen. Auch PEISSNER und FRANK (2001) untersuchten 19 Hunde und 4 Katzen computer- und magnetresonanztomographisch und erstellten 3D-Modelle von Gehirnentrikeln. Sie verglichen jedoch die 3D-Modelle der Hunde mit korrosionsanatomischen Ventrikelausgüssen von anderen Hunden, die nicht aus ihren eigenen Untersuchungen stammten. Daher ist der Wert der Untersuchung eingeschränkt.

Die virtuellen Ausgüsse zeigen die Verhältnisse beider Stirnhöhlen zueinander genauer als die herkömmlichen Ausgüsse und somit eine realistischere Situation. Dies liegt zum einen an der auf Dichtewerten beruhenden Technik, die auch nur den Luftgehalt der Stirnhöhlen markiert. Zum anderen zeigen herkömmliche Ausgüsse artifizielle Blasenbildung und eine Aussparung des Bohrloches. Außerdem konnte beobachtet werden, dass die Trennwand zwischen beiden Höhlen im virtuellen Modell deutlicher hervortrat (vgl. Textabb. 23 S. 57). Dies lässt sich dadurch erklären, dass der Kunststoff wahrscheinlich innerhalb der Höhle expandiert und auch die Nasenschleimhaut der Höhle verdrängt, was eher zu einem zu kleinen Spalt zwischen beiden Höhlen geführt hat. Übereinstimmend mit der Feststellung von JENDRYSIK (1999) können mit Hilfe der Computertomographie gerade luftgefüllte Hohlräume im Kopf sehr gut dreidimensional dargestellt werden. Da diese Technik ein Voxelbasiertes Verfahren ist, werden auf der Grundlage der vorliegenden CT-Daten entsprechende Volumina berechnet. Die Volumenbestimmung bei Stirnhöhlen kann dann wichtig sein, wenn Medikamente in die Stirnhöhlen verabreicht werden müssen. Dies ist beispielsweise bei einer fungiformen Rhinitis (MATHEWS, 2004) der Fall. LECHNER (1932) gibt für das Volumen der Stirnhöhle einen Durchschnittswert von 1000mm³ an. Dieser Wert diente bei den virtuell berechneten Volumina der Stirnhöhlen der Hauskatze, die zwischen 500mm³ und 854mm³ lagen, als Orientierung. Aufgrund der Tatsache, dass der konventionelle Ausguss in seiner Gesamtheit nicht zerstört werden sollte und er als Komplettausguss der Nasenhöhle ein wertvolles Präparat darstellt (vgl. Textabb. 23 S. 57), wurde auf eine Volumenbestimmung der konventionellen Stirnhöhlenausgüsse verzichtet. Auch erscheint der Informationsgewinn hieraus geringer, als dies bei der wesentlich einfacheren und auch genaueren Methode der virtuellen Volumenbestimmung der Fall ist. Im Diskussionspunkt 4.4.3 (Nasennebenhöhlen) werden die virtuell ermittelten Daten untereinander verglichen, da die Methode und die Einstellungen im 3D-Programm zur Ermittlung der Daten bei diesen Tieren gleich waren.

Weitere Vorteile der virtuellen Ausgussmethode gegenüber der konventionellen Methode sind: ein schonender Blick in den Körper ohne Destruktion, die Schnelligkeit in der Durchführung (etwa 2 Stunden gegenüber etwa 2 Tagen), die Reproduzierbarkeit und das nicht bestehende Gesundheitsrisiko für den Anwender (Bsp.: Tensolzement, Komponente B, ist hochgiftig!).

Im Gegensatz zu den Untersuchungen von PEISSNER und FRANK (2001) ließen sich alle anatomischen Strukturen analog zum Ausguss im 3D-Modell darstellen. Übereinstimmend zu den Ergebnissen aus dieser Arbeit entsprachen auch bei HURLEY et al. (2003) die korrespondierten 3D-Modelle den entsprechenden laparoskopischen OP-Befunden. Die gute Darstellbarkeit der Nasennebenhöhlen der Katze im 3D-Modell ist hauptsächlich auf die gute Abgrenzbarkeit luftgefüllter Räume mittels Computertomographie zurückzuführen (JENDRYSIK, 1999). Außerdem sind Stirnhöhlen im Vergleich zu Gehirnventrikeln einfacher und auch größer strukturiert. Nach eigenen Erfahrungen spielen aber auch die Aufnahmeparameter (axiale statt helicale Schichtung, keine Gantryneigung, kleinste mögliche Schichtdicken) eine entscheidende Rolle. Wichtig ist auch das verwendete 3D-Programm. So ist die Schlussfolgerung zu ziehen, dass entgegen der Meinung von PEISSNER und FRANK (2001) an bestimmten Stellen virtuelle Modelle anatomischer Strukturen des Kopfes sehr gut geeignet sind, herkömmliche Ausgusspräparate zu ersetzen. Dies ist insbesondere dann von Vorteil, wenn es sich um seltene oder noch lebende Tiere handelt und wenn die gesundheitliche Belastung des Untersuchers so gering wie möglich gehalten werden soll (beispielsweise im Falle einer Schwangerschaft).

4.2.4 3D-Visualisierung und Fehlerquellen

Die **3D-Modelle** haben sich als realistische Darstellungen erwiesen, die ihren Einsatz vor allem im Anatomieunterricht und auf wissenschaftlichen Fortbildungen finden werden. Für den Kliniker besteht der Vorteil solcher Modelle darin, sich schnell einen Überblick über die schwierigen Verhältnisse am Kopf verschaffen zu können. Sie eignen sich hervorragend dazu, dem ansonsten überforderten Vorstellungsvermögen nachzuhelfen (JENDRYSIK, 1999) und sind in der Humanmedizin Gegenstand diverser Forschungsvorhaben (TSAKIRIDOU, 1999; HOPPER et al., 2000; HURLEY et al., 2003; BRÄUER et al., 2004; SBARBATI et al., 2004). Ferner sind Visible Human-Projekte in Form von CT- und MRT-Bildern sowie 3D-Rekonstruktionen des menschlichen Körpers im Internet verfügbar (ZHANG et al., 2004). Auch in der Veterinärmedizin stehen Visible Animal-Projekte zur Verfügung (BÖTTCHER et al., 1999). Speziell am Schädel der Katze beschreiben BECK et al. (2000) dreidimensionale Rekonstruktionen zur Darstellung komplexer Schädelfrakturen und berichteten über den Vorteil der raschen topographischen Information durch die 3D-Modelle. Da die Ansprüche an die anatomisch-topographische Ausbildung mit der stetigen Weiterentwicklung moderner bildgebender Verfahren steigen, hat unser Fach die bedeutende Aufgabe, nicht nur die Topographie zu vermitteln, sondern auch die Schnittbildanatomie zu veranschaulichen. Da jedoch der ungeübte Betrachter eines Schnittbildes mit der Zuordnung der verschiedenen Strukturen häufig überfordert ist, eignen sich 3D-Modelle hervorragend dazu, diese Schwäche auszugleichen. Dennoch sollten diese Modelle den Anatomieunterricht lediglich ergänzen, aber das „Begreifen“ im wahrsten Sinne des Wortes keineswegs ersetzen.

Dreidimensionale Rekonstruktionen werden in Zukunft auch im klinischen Alltag eine immer größere Rolle spielen. Dies liegt vor allem daran, dass die Datenfülle und Informationen pro

Bild (am Kopf der Hauskatze etwa 80 Schnittbilder pro Tier für die Region der Nasen- und Nasennebenhöhlen pro Serie!) erheblich zunehmen. Auch immer kleiner einstellbare Schichtdicken werden dafür sorgen, dass kaum noch die Zeit für eine gründliche Betrachtung der CT-Bilder bleiben wird. Gerade deshalb erscheint es notwendig, auf **mögliche Fehlerquellen** der 3D-Rekonstruktion hinzuweisen.

Sofern CT-Datensätze mit einer starken Gantry- Neigung für die 3D-Rekonstruktion genutzt wurden, kam es zur Verzerrung des Objektes. Die Folge war, dass die virtuellen Modelle zwar noch den echten Modellen ähnelten, aber nicht mehr identisch mit ihnen waren (vgl. Textabb. 45 und 46 S. 96). Auch PEISSNER und FRANK (2001) beschrieben die Verzerrung des räumlichen Bildes bei Beibehaltung der Teilstrukturen und führten dies auf die Gantryneigung zurück. Deshalb sollten CT-Serien, deren Daten später noch für 3D-Rekonstruktionen verwendet werden, ohne oder nur bei sehr geringer Gantryneigung aufgenommen werden.

Bei der Erstellung der 3D-Modelle aus CT-Schnittbildern war das anatomische Wissen Voraussetzung für die Segmentierung. Dabei werden relevante anatomische Strukturen von weniger wichtigen Bildbereichen getrennt (JENDRYSIK, 1999). Bei dieser Trennung kam es mitunter dazu, dass sich Löcher im knöchernen 3D-Modell befanden, die nach Mazeration des entsprechenden Kopfes am Präparat nicht wiederzufinden waren (vgl. Textabb. 47 und 48 97). Dieser als „Partialvolumeneffekt“ bezeichnete Fehler in der 3D-Konstruktion erschwert die korrekte Segmentierung insbesondere in Randbereichen anatomischer Details (JENDRYSIK, 1999). Normalerweise ordnet ein Segmentierungsverfahren ein Voxel (=Volumenelement, Erläuterung siehe Literatur Punkt 2.3.1) genau einem Objekt zu. Da jedoch ein Voxel häufig an eine Strukturgrenze gerate, ergäbe sein Grauwert nur einen Mittelwert aus den Eigenschaften der zwei benachbarten Strukturen, wodurch die eindeutige Trennung beider Bereiche erschwert werde. Demnach ist die Wahrscheinlichkeit, einen nicht realen Dichtewert eines Gewebes zu ermitteln, umso höher, je größer die Schichtdicke und Matrix gewählt wurde. So führen insbesondere große Schichtdicken zu Unschärfen in der Abbildung. Diese Fehler lassen sich vermeiden, wenn die Schicht möglichst so dünn gewählt ist, dass die Dichteunterschiede im Voxel nicht mehr überaus groß sind. Dennoch kann folglich die Dichte noch kleinerer Strukturen nicht mehr zuverlässig beurteilt werden.

Insgesamt hat sich für CT-Aufnahmen, aus denen später noch 3D-Modelle rekonstruiert werden sollen, folgende Einstellung als optimal erwiesen: axial überlappender Scan ohne Gantryneigung mit der kleinsten möglichen Schichtdicke in einer Standard-Rekonstruktion, aus der dann knochenbetonende Algorithmen (z.B. "bone") in 0,5mm-Schichten rekonstruiert werden können.

Mit Hilfe des **Anaglyphen-Verfahrens** gelingt es, Objekte dreidimensional unter Zuhilfenahme einer zweifarbigen 3D-Brille wahrzunehmen. Der Vorteil einer solchen Methodik liegt vor allem darin, in einem zweidimensionalen Medium (z. B. Dissertationen, Bücher, Poster, wissenschaftliche Publikationen) dennoch einen dreidimensionalen Eindruck zu vermitteln. Da dieses Verfahren sehr weit verbreitet ist, bietet das Internet zu diesem Thema eine Fülle von Informationen an. Einen ersten Überblick vermitteln beispielsweise die Websites www.wikipedia.org oder www.fotocommunity.de.

4.2.5 Scheibenplastination und Polyethylenglykol (PEG)

In der vorliegenden Arbeit dienten vor allem transversale, aber auch sagittale und dorsale Scheibenplastinate (S10- und E12-Technik) und PEG-Scheiben der Identifizierung und

Orientierung anatomischer Strukturen in der Computertomographie. Hierfür wurden CT-Aufnahmen den korrespondierenden Scheiben gegenübergestellt, die in 6 der 10 Fälle vom selben Tier stammten. Auch HERNDL et al. (2004) stellen fest, dass Körperschnitte eine grundlegende Basis zur Bestimmung von anatomischen Strukturen auf CT-Bildern liefern und beim Studium dieser anatomischen Schnittbilder das Verständnis topographischer Zusammenhänge erleichtern. Vor allem knöcherne Strukturen seien auf den Plastinaten wie auch auf CT-Bildern problemlos vergleichbar.

Die Plastination ist ein Verfahren, bei dem es durch den Einsatz verschiedener Kunststoffe zur Herstellung von trockenen und geruchsfreien anatomischen Dauerpräparaten kommt (v. HAGENS, 1979). Hierbei werde den Körperzellen das Wasser entzogen und durch den Kunststoff ersetzt. Das Präparat sei dadurch vor Verwesung geschützt und behalte zum größten Teil seine Form bis in den mikroskopischen Bereich bei. Bei der Vorbereitung der Scheiben zur Plastination stellten sich beim Sägevorgang vorherige Tiefkühltemperaturen von -80°C als günstig heraus, da die Schnitte weniger schnell auftauten.

Die Vorteile der Plastinationstechnik liegen in der Dauerhaftigkeit, Geruchlosigkeit und der Anmutung der Präparate mit hoher Detailgenauigkeit und gutem Kontrast. Die E12-Technik erleichtert durch ihre Durchsichtigkeit zusätzlich das Auffinden auch sehr kleiner anatomischer Strukturen. Darüber hinaus eröffnet der Gebrauch von dreidimensionalen Präpariermikroskopen sehr hohe Vergrößerungsbereiche. Ähnliches berichten auch HERNDL et al. (2004), wo von 4mm dicken E12-Plastinaten hervorragende Aufnahmen mit Lupenvergrößerung erzielt wurden. Von großem Nachteil sind der immense Zeit- und Kostenaufwand bei der Herstellung der Präparate.

Die Durchtränkung mit Polyethylenglykol ist eine kostengünstige Variante der dauerhaften Präparation, die den Vorteil hat, dass die Präparate auch nachträglich ohne Gesundheitsrisiko weiter seziiert werden können. Dies gelingt durch die Anwendung niedrigmolekularer Polyethylenglykole, die eine salbenartige Konsistenz aufweisen (STEINMANN, 1982). Von Nachteil bei der Anwendung dieser Methodik ist, dass eine leichte Geruchsbelastung und ein Nachfetten der Präparate (als Fettschicht auf dem Präparat erkennbar) erfolgt.

4.3 Betrachtungen zur Brachyzehalie der Katze und Aspekte des Tierschutzes

Bei der Betrachtung des brachyzehalen Katzenkopfes als Ganzheit wird eine Dorsorotation des stark verkürzten Gesichtsschädels und der Verdrängung nasaler Strukturen durch Dorsorotation der Zahnkronen festgestellt. Es wird deutlich, dass grundlegende Überlegungen zur Dorsorotation möglich sind und sich als Arbeitshypothesen zur Klärung des Gesamtkomplexes der Brachyzehalie eignen. Darüber hinaus sind zur Bestätigung dieser Beobachtung auch Spezialuntersuchungen mit entsprechenden Messungen im Vergleich zur Hauskatze erforderlich. An isolierten brachyzehalen Schädelknochen sollten der Rotationsgrad, das Ausmaß des Knochenschwundes und das Gesamtvolumen der Nasenhöhle inklusive der Nasennebenhöhlen vergleichend bestimmt werden. Die gewonnenen Parameter könnten schließlich zur objektiven Einteilung in Brachyzehalie-Kategorien genutzt werden, um daraus Schlussfolgerungen für krankhafte Nasenveränderungen zu ziehen. Ferner sollten auch embryonale, fötale und vor allem postnatale Stadien brachyzehaler Katzen mit in die Untersuchungen einbezogen und mit entsprechenden Stadien normozephaler Katzen verglichen werden. Die aus dieser Arbeit gezogenen Schlussfolgerungen in Bezug auf die Brachyzehalie-Kategorien sind aus der

subjektiven Einteilung in vier Kategorien entstanden und können zunächst als Orientierung für Züchter und Tierärzte dienen. Eine systematische Weiterentwicklung der Thesen ist wünschenswert.

Grundlegende osteometrische Untersuchungen an brachycephalen Katzenschädeln im Vergleich zu normozephalen Schädeln wurden von OPPEL (2002) durchgeführt. Bei diesen Untersuchungen erfolgte zwar keine Einteilung der brachycephalen Katzen in Kategorien, jedoch bestätigten die Ergebnisse der Arbeit, dass es sich bei dem am Schädel beobachteten Knochenschwund um eine morphometrisch erfassbare Reduktion der Knochen handelte. Außerdem lieferte sie wertvolle Anhaltspunkte, die hier zur Unterstützung der Beobachtung „Dorsorotation“ herangezogen werden konnten (vgl. Textabb. 28 S. 65).

Laut OPPEL (2002) zeigen brachycephale Katzenschädel verkürzte Gesamtschädellängen. Der **Hirnschädel** verkürze sich gegenüber normozephalen Schädeln um etwa 15%, was auf die Konvexität des Schädeldaches (Kalvaria, Scheitel) zurückzuführen sei. Ebenso überproportional sei der **Gesichtsschädel** verkürzt. Dies läge vor allem an einem stark verkürzten harten Gaumen und dem noch stärker verkürzten Nasenbein. Im Zuge zunehmender Brachyzehalie erfolgt der Knochenschwund an den einzelnen Schädelknochen nicht nach einem einheitlichen Grundmuster, sondern kann disharmonisch und unproportional erfolgen. Ein Beispiel hierfür ist das Os lacrimale, dessen Hauptanteil von einem Knochenschwund betroffen ist, während sich sein Processus frontalis überproportional vergrößert (siehe S. 111).

Kurz nach der Geburt ist der Gesichtsschädel im Verhältnis zum Hirnschädel zunächst sehr klein (SADLER, 2003). Nach der Geburt vergrößert sich der Gesichtsschädel schließlich ausgeprägter als der Hirnschädel (STARCK, 1979). Dies kommt durch das Fehlen fötaler Nasennebenhöhlen und der kleinen Knochenanlagen der Kiefer zustande (SADLER, 2003).

Die Entwicklung des Gesichtsschädels steht ferner in einem engen Zusammenhang mit dem Zwang zur Unterbringung der **Zähne** (STARCK, 1979), da erst mit ihrem Durchbruch das Gesicht seine charakteristische Ausprägung erhält (SADLER, 2003). In einem juvenilen Schädel können folglich aufgrund des zu kurzen Gesichtsschädels noch nicht alle bleibenden Zähne untergebracht werden. Mit dem Wachstum des Gesichtsschädels wird dies im Dauergebiss schließlich möglich. Wenn also, wie LAURUSCHKUS (1942) beschreibt, die Brachyzehalie eine Beibehaltung der neonaten Form darstellt, so scheint bei der Perserkatze eben dieses postnatale Wachstum des Gesichtsschädels verzögert zu sein. Am Kiefer verlaufen der Zahndurchbruch und das Kieferknochenwachstum koordiniert (HENNET und HARVEY, 1992). Bei der Betrachtung des Gebisses bei den untersuchten Perserkatzen fiel auf, dass diese eine relative Engstellung der Zähne aufwiesen, wobei das Diastema im Oberkiefer relativ kleiner wurde (vgl. Textabb. 29 S. 66). Auch CASE (2003) beschreibt Fehlstellungen der Zähne bei „peke-faced“-Perserkatzen. Allerdings wurden die Zähne der Perserkatzen in dieser Arbeit nur ergänzend im Zusammenhang mit der Dorsorotation betrachtet und waren nicht Hauptgegenstand dieser Untersuchung. Für weitergehende Untersuchungen stellt sich neben den Zahnfehlstellungen die Frage, wodurch das Wachstum des Schädels verzögert wird und welche Faktoren daran beteiligt sind.

Am Gesichtsschädel konnte bei allen Perserkatzen ab Kategorie II eine Dorsorotation des **Unterkiefers**, der den Oberkiefer überragt, beobachtet werden (vgl. Textabb. 28 S. 65). Sowohl der Ober- und Unterkiefer als auch die Kaumuskulatur sind bei diesen Tieren sehr breit ausgeformt. Ein vorspringendes, knöchernes Kinn ist ein spezifisches Merkmal des in

der Gegenwart lebenden Menschen (STARCK, 1979). Es käme durch Reduktion der Schneidezähne zustande, wobei aber wahrscheinlich auch die Verbreiterung des Zahnbogens eine Rolle spiele. Die Merkmale eines breit ausgeformten Ober- und Unterkiefers mit entsprechender Kaumuskulatur gehören unter anderem zum Rassestandard der Perserkatze (GCCF, 1995). Anhand dieser Merkmale wird ein typisch menschliches Verhalten deutlich. Der Mensch greift durch züchterische Mittel wahrscheinlich deshalb in das phänotypische Erscheinungsbild einer Rasse ein, um ein mögliches Abbild (oder zumindest Ähnlichkeit) seiner selbst zu erschaffen (Schöpfungsgedanke).

Die Muskulatur spielt neben anderen Weichteilen am Kiefer eine wichtige Rolle für das Wachstum des Gesichtsschädels (HENNET und HARVEY, 1992). So übten die Muskeln der Backen und der Lippen einen der Zunge entgegen gesetzten Druck aus, der zwischen beiden Komponenten in einem Gleichgewicht stehen muss.

Bei der Bildung des sekundären **Gaumens** während der Embryonalentwicklung erfährt der Unterkiefer einen früheren Wachstumsschub als der Oberkiefer. Er wächst nämlich bei dessen Bildung recht schnell, damit sich der Zungenwulst nach ventral absenken und somit die Gaumenspalte verschlossen werden kann (SADLER, 2003).

Am Schädel auftretende mechanische Kräfte werden durch feste Verstreben des Knochens aufgefangen und so verteilt, dass sie am Gehirn, den Sinnesorganen und den Atemwegen vorbei geleitet werden (STARCK, 1979). Entscheidend für die mechanische Leistungsfähigkeit sei hierbei die Massenverteilung der Knochensubstanz. Aufgrund der Annahme, dass nach der Geburt ein Wachstum des Gesichtsschädels bei brachyzephalen Katzen vermindert ist, liegt die Vermutung nahe, dass die Dorsorotation im gesamten Gesichtsbereich eine Folge dieser auftretenden mechanischen Kräfte ist. Somit könnte durch die fehlende knöcherne Stütze im **Oberkieferbereich** (v.a. Reduktion des Os nasale, Os incisivum, Os maxillare) der Unterkiefer nach dorsal rotieren und die noch nicht verknöcherten Knorpel im Oberkieferbereich mit verformen. Untermauert wird diese Hypothese durch die Feststellung von HENNET und HARVEY (1992), dass jegliche Kräfte am Kiefer, die von den normalen Verhältnissen abweichen, einen Einfluss auf dessen Wachstum haben. Am Unterkiefer habe beispielsweise ein zu geringer Druck auf den temporomandibulären Knorpel am Kiefergelenk einen stimulierenden und beschleunigenden Einfluss auf das Wachstum der Mandibula. Ferner spiele auch die normale Kieferstellung ohne jegliche Krafteinwirkung eine Rolle beim Wachstum. So rührten brachyzephaler Abnormalitäten beider Kiefer von einem rostralen Fehlbiss her. Ein brachyzephaler Oberkiefer sei außerdem dadurch gekennzeichnet, dass eine Rotation eines oder mehrerer prämolaren Backenzähne bestehe (HENNET und HARVEY, 1992). Eine auffällige Rotation mehrerer prämolaren Backenzähne nach dorsal kann bei Perserkatzen der Kategorien III und IV (vgl. Abb. 9 und 119) eindrucksvoll bestätigt werden. Beim brachyzephalen Hund ist eine Disharmonie des Kieferwachstums erst einige Wochen post partum voll ausgeprägt, so dass die Welpen in der Regel noch normal saugen können (HERZOG, 2001). Bei brachyzephalen Katzen trete eine Brachygnathia superior bei ausgesprochen kurznasigen Rassen auf und stelle die Folge eines gestörten Kieferwachstums (Wachstumshemmung) dar. Dabei handele es sich um eine Genmutation im Komplex der polygenen normalen Kieferentwicklung.

Es konnte gezeigt werden, dass sich an der weichen Nase (Nares und Naseneingang), an den nasalen Muscheln (v. a. die ventral gelegenen), am Atmungsgang, an der Lamina basalis des Siebbeins, an den Nasennebenhöhlen und an den ableitenden Tränenwegen „**Stauchungszonen**“ mit Ineinanderschieben von Strukturen befinden. OPPEL (2002)

verneint eine Knochenstauchung am brachycephalen Katzenschädel, da es nicht zu größeren Gesamtbreiten käme. Die sehr gute bildliche Vorstellung, dass sich sowohl rostral als auch kaudal zahlreiche Knochen, wie etwa bei einem Autounfall, komprimieren, kann jedoch nicht durch Messungen der Schädelbreite außer Kraft gesetzt werden. Bei einem derartigen Zusammenstoß (wie etwa beim Auffahrunfall) kann es zur Bildung von „Stauchungszonen“ und „Ausbeulungen“ kommen, die im Falle der „Stauchungszonen“ innerhalb des Schädels auszumachen und deshalb nicht zu messen sind.

Der Treffpunkt der Dorsorotationsbewegung scheint zum einen der Übergang zwischen Os frontale und Os parietale zu sein, bei dem es bei einigen der untersuchten Perserkatzen der Kategorie II zur Bildung eines Apfelkopfes („**Ausbeulung**“) kam. Zum anderen tritt bei der brachycephalen Katze eine Ausbeulung dorsal in der Nasenhöhle in Erscheinung, die den Stopp noch unterstreicht. Daraus ergibt sich, dass die Platzverhältnisse im ventralen Bereich der Nasenhöhle sehr beengt und im dorsalen hingegen weiträumig sind (vgl. Textabb. 35 S. 74). Eine zunehmende Konvexität des Schädeldaches bei brachycephalen Katzen beschreiben ebenso KÜNZEL et al. (2003). Gerade im dorsalen Bereich des Hirnschädels gewinnen die Deckknochen besondere Bedeutung als Abschluss des Cavum cranii und wachsen zu großen, flächendeckenden Platten aus (STARCK, 1979). Die Form und Ausdehnung dieser Knochen hänge weitgehend von der Entfaltung des Großhirns ab.

An drei sagittal geschnittenen Scheibenplastinaten von Perserkatzen der Kategorien II und III wurde ein **Vorfall des Kleinhirns** durch das Foramen magnum beobachtet (vgl. Abb. 141). Dieses Hinterhauptloch stellt sich bei Perserkatzen ab Kategorie II hochoval dar und zeigte in einem Fall eine dorsale Einkerbung (Schlüsselloch, Textabb. 30 S. 66). Bei Perserkatzen, die eine rostrale Ausdehnung des Foramen magnum an der Schädelbasis zeigen, könnte es an dieser Stelle zum Vorfall von Kleinhirnmaterial kommen. Auch der von OPPEL (2002) gegenüber der normozephalen Hauskatze beschriebene verkürzte Hirnschädel um 15% kann den Vorfall des Kleinhirns begünstigen.

Auf Katzenrassenausstellungen in Berlin wurde diskutiert, dass Perserkatzenzüchter die extreme Ausprägung „peke-faced“ (entspricht der Kategorie IV) vermeiden wollen. Dieser „**Extremperser**“ gilt auf Katzausstellungen in Deutschland bei den Schiedsgerichten als unharmonisch und eine Katze mit einem „doll-faced“ (Puppenkopf) werde optisch bevorzugt (SCHÜLER, 2003). Diese Standards sind jedoch beim Deutschen Rassekatzen-Verein e.V. nicht schriftlich fixiert. Von den Perserkatzen, die mir freundlicher Weise von Berliner Züchtern anvertraut wurden, ließ sich übereinstimmend auch keine Katze in die Kategorie IV eingliedern. Ein Zuchtverbot besteht laut BMELF (2000) für extrem kurznasige Tiere (der obere Rand des Nasenspiegels läge über dem unteren Lidrand) und für brachycephale Katzen mit Anomalien im Bereich des Gesichtsschädels (Oberkieferverkürzung, Verengung der Tränennasenkanäle oder/ und der oberen Atemwege).

Perserkatzen haben durch ihre frontal orientierten Augen, wie sie für Puppen typisch sind und ihr phenotypisches Erscheinungsbild ein kindchenähnliches Aussehen. Sowohl Menschen als auch Tiere, die diese Charakteristiken aufweisen, lösen beim Betrachter oft automatisch Aufmerksamkeit und Zuwendung aus (FOURNIER, 2002). Trotz aller Vorbehalte ist die Zucht, zumindest für die Kategorien I und II, vernünftig und zeigt eine ausgesprochen niedliche Varianz der Katze als Haustier. Gerade um diese schönen Seiten der Züchtung herauszuheben, soll diese Arbeit eine Grundlage für eine neue kategorisierte Tierschutzdiskussion liefern.

Aufgrund der zunehmenden Dorsorotation und ihrer Folgen (v.a. durch die Verdrängung seitens der Zähne) erscheint bei Tieren der **Kategorie IV** der Tatbestand der **Qualzucht** erfüllt. Jedoch besteht keine Tierschutzrelevanz nur aufgrund der Oberkieferverkürzung, wie sie bei allen Tieren ab Kategorie II der Fall war. Bei Tieren ab **Kategorie III** zeigen sich jedoch die Verkürzung des Oberkiefers und auch die Dorsorotation und damit einhergehendem abgeknickten Atmungs- und Tränennasengang besonders deutlich. In die Kategorie III wurden immerhin 4 der 8 Zuchttiere eingeteilt. So kann als Empfehlung für Züchter brachyzephaler Katzen an dieser Stelle gesagt werden, dass züchterische Gegenmaßnahmen zur Vermeidung dieser Disproportionen bereits ab Kategorie III getroffen werden sollten. Ferner soll an dieser Stelle der Vorschlag unterbreitet werden, brachyzephele Katzen generell zu kategorisieren (I bis IV) und diese auch für die Beschreibung der Qualzucht im Sinne §11b des Tierschutzgesetzes zu verwenden. Eine Qualzucht scheint zweifelsfrei dann vorzuliegen, wenn ein brachyzephaler Atemnotsyndrom vorliegt, das womöglich witterungs-, temperatur- und belastungsabhängig ist und mit zumindest temporärer Panik und Todesangst einhergehen dürfte.

4.4 Klinisch funktionelle Anatomie der Hauskatze und Besonderheiten bei der Perserkatze

Das vorliegende Untersuchungsmaterial an toten und lebenden Tieren war so umfangreich, dass es einerseits zur Beschreibung der Nasen- und Nasennebenhöhlen sowie der ableitenden Tränenwege bei der normo- und auch brachyzephalen Katzen ausreichte und andererseits ein sehr umfangreiches und aussagekräftiges Methodenspektrum mit CT, 3D-Modellen, anatomischen Schnittbildern und Kunststoffausgüssen eingesetzt werden konnte. LOSONSKY et al. (1997) berichteten, dass es bis 1997 noch kein publiziertes Material der normalen Anatomie der Katzennase mittels Computertomographie gab und dokumentierten die Anatomie von drei lebenden Hauskatzen mit gleicher Kopfform. Zu diesem Zeitpunkt lag jedoch im deutschsprachigen Raum schon eine umfangreiche schnittbildanatomische Arbeit zur Anatomie der Nasen- und Nasennebenhöhlen, sowie der ableitenden Tränenwege bei der Hauskatze mittels direktvergrößernder Mikrofokus-Röntgentechnik von LIPPERT (1992) vor. LOSONSKY et al. (1997) wiesen außerdem schon 1997 darauf hin, dass sich die anatomischen Verhältnisse der Nasen- und Nasennebenhöhlen bei der Perserkatze von entsprechenden Strukturen bei normozephalen Katzen unterscheiden würden. Im Jahre 2002 erarbeiteten KOCH et al. morphologische Dokumentationen der Nasennebenhöhlen der Katze im CT und gingen in ihrer Studie insbesondere auf Geschlechtsunterschiede, nicht aber auf brachyzephele Tiere ein. KÜNZEL et al. (2002) und OPPEL (2002) untersuchten zwar die anatomischen Besonderheiten bei brachyzephalen Katzen am Kopf, zeigten allerdings nur zwei computertomographische Bilder einer Perserkatze aus dem Bereich der Stirn- und Keilbeinhöhle, da die Untersuchungen eher morphometrischer und nicht schnittbildanatomischer Natur waren. Somit liegt bis jetzt noch keine spezielle schnittbildanatomische Arbeit für die brachyzephele Katze vor.

Obwohl über die normozephele Katze schon schnittbildanatomische Arbeiten publiziert wurden, sind diese für die Region der Nasen- und Nasennebenhöhlen im CT noch unvollständig (vgl. Tab. 3-7). Darstellungen und Beschreibungen der peripheren Bereiche wie der regionalen Lymphknoten und der ableitenden Tränenwege fehlen bisher ganz, obwohl die klinische Notwendigkeit hierfür gegeben ist. Ebenso gibt es keine CT-Aufnahmen nach venöser Kontrastmittelinjektion. Unvollständig sind die Angaben an der weichen Nase

(Nasenknorpel), der Maxilla, des Siebbeins (v.a. der Lamina basalis) sowie der Endo- und Ektoturbinalia.

Jedoch hat sich die CT zur Diagnostik und Abklärung chronischer Nasenerkrankungen in hohem Maße bewährt, da ihre Genauigkeit bezüglich knöcherner Strukturen sehr hoch ist und eine überlagerungsfreie Darstellung gelingt (CODNER et al., 1993; MERTENS, 2002; OHLERT und KASER-HOTZ, 2001).

In der vorliegenden Arbeit wurde deshalb durch die genaue Beschreibung der Anatomie und der Vorgehensweise der Befundung im CT eine gute Grundlage für die Erstellung, Betrachtung und Auswertung der CT-Bilder gegeben. Die so erhobenen Befunde wurden durch Präparation, Scheibenplastination und Scheibenherstellung mit PEG abgesichert.

4.4.1 Äußere Nase und Naseneingang

Mit zunehmender Brachyzephalie werden die Nasenlöcher und der Naseneingang stark eingengt. Anhand von Fotos, Scheibenplastinaten und CT-Bildern konnte gezeigt werden, dass es zu einem Ineinanderschieben und Komprimieren der Strukturen der weichen Nase kommt (Abb. 1 bis 15). Durch die Dorsorotation ragen Oberlippen und sich darauf befindliche Haare anteilig in den Luftstrom und können diesen behindern. Auch HEDLUND und TABOADA (2002), RADFORD et al. (2003) und HENDRICKS (2004) berichten über gelegentlich auftretende stenotische Nasenlöcher bei brachyzephalen Katzen. Diese können in Form einer kongenitalen Missbildung des dorsolateralen Nasenknorpels auftreten. BALLAUF (1996) beschreibt einen sehr engen rostralen Naseneingang bei brachyzephalen Katzenrassen. Der Nasenflügel verlagere sich demnach bei verstärkter Einatmung nach medial in Richtung Philtrum und führe zu einem fast vollständigen Verschluss der Nasenlöcher. Hierbei stellt sich die Frage, ob ein Knorpeldefekt vorliegt und dieser eventuell auf Wachstumshemmungen beruht und nicht vollständig ausgereift ist. Dadurch könnte er, wie dies etwa bei der Trachea dieser Tiere der Fall ist, kollabieren (BALLAUF, 1996).

Die verengten Nasenöffnungen führen bei einigen Perserkatzen zu deutlichen inspiratorischen Atemgeräuschen (RADFORD et al., 2003), die nach eigenen Befunden offensichtlich vom Grad der Brachyzephalie abhängig sind. Brachyzephele Katzen mit Atemproblemen zeigen nach OECHTERING et al. (2005) Dyspnoe in Ruhe, tagsüber ein Schnarchen und stenotische Nasenlöcher mit Stridor nasalis. Bei den hier vorliegenden Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass gerade die Nasenflügel, die bildlich formuliert „schwingen“ sollen, eine erhebliche Einschränkung der Elastizität durch die umliegenden Knochen/Knorpel erfahren. Durch das Ineinanderschieben der weichen Nase, Druck von dorsal durch das Nasenbein und die Cartilago cuneiformis sowie durch die Dorsorotation des Zwischenkieferbeins kann eine Weitstellung der Nasenlöcher bei der Atmung nicht mehr gewährleistet werden. Dies kann, gekoppelt mit anderen Faktoren (Abknickung des Atmungsganges, Hineinragen von Muscheln in den Atmungsgang), zu einer erheblichen Atemnot und zu Erstickungsanfällen, ja vielleicht auch zu Todesängsten bei den betroffenen Tieren führen.

Aus dem Gesagten wird deutlich, wie wichtig eine Einteilung brachyzephaler Katzen in Kategorien ist. So zeigen die Untersuchungen, dass der Naseneingang erst ab Kategorie III eine starke „Stauchungszone“ darstellt. Aus dem Vortrag von OECHTERING et al. (2005) ging ebenfalls hervor, dass es Tiere der Kategorie III und IV sind, die als Patienten mit dem Brachyzephalen Atemnotsyndrom vorstellig werden. Als Konsequenz davon wird empfohlen, nur mit Tieren zu züchten, die den Kategorien I bis II angehören, da bei Tieren ab Kategorie

III die Prädisposition zum Brachycephalen Atemwegssyndrom größer zu werden scheint. Als äußerliche Beurteilungshilfe bei der Einteilung in die Kategorien kann die Ausprägung der Stupsnase und die Hochwölbung der Haut im Bereich der Nasenlöcher herangezogen werden.

4.4.2 Nasenhöhle und knöcherne Nasenkapsel

Unter Punkt 4.3. sind bei der Betrachtung zur Brachyzecephalie einige Knochen der **Nasenkapsel** zur Diskussion aufgeführt, die von einem Knochenschwund betroffen sind. Ergänzend hierzu sei noch folgendes erwähnt:

Das **Os lacrimale** zeigt trotz Knochenschwund mit steigender Brachyzecephalie einen immer deutlicher hervortretenden Processus frontalis, der lateral des oberen Tränenkanälchens liegt. Dabei hat es den Anschein, als ob sich das Material des Tränenbeins in den Fortsatz hinein drängt.

Die Lamina cribrosa des **Siebbeins** richtet sich mit steigender Brachyzecephalie immer deutlicher auf (vgl. Abb. 16) und kann durch den an sie angepassten Strahlengang stets übersichtlich dargestellt werden. Dies ist deshalb besonders wichtig, weil der Bereich der Lamina cribrosa und auch der kaudale Teil der Nasenhöhle (Fundus nasi) klinisch-diagnostisch wichtige Areale darstellen (MATHEWS, 2004). Demnach sei bei einer durch Pilze hervorgerufenen Rhinitis besonders auf eine Lysis der Lamina cribrosa zu achten. Läge diese vor, seien lokale Behandlungen mit Antipilzmitteln durch den eventuellen Kontakt mit dem Gehirn kontraindiziert. Defekte der Lamina cribrosa entstünden jedoch auch durch Tumore oder Entzündungen.

Nach OPPEL (2002) ist die Lamina cribrosa bei brachycephalen Tieren viel weiter rostroventral gelegen, was eine zunehmende Überlagerung des Gesichtsschädels durch den Gehirnschädel deutlich macht.

4.4.2.1 Muscheln der Nasenhöhle

Das Siebbeinlabyrinth verdient seinen Namen nicht nur wegen der vielen kleinen luftführenden Gänge, die es beherbergt, sondern auch wegen seiner Kompliziertheit, die durch den Gebrauch diverser Muschelnamen noch verstärkt wird. Bereits im Literaturteil wurden deshalb die Namen übersichtlich in Tabellenform dargestellt (vgl. Tab. 1 im Anhang) und mit Symbolen, die an entsprechenden Stellen immer wiederkehren, gezeichnet (Textabb. 6 und 7 S. 13). Auch in den folgenden Kapiteln wurde die Übersicht beibehalten und definiert, wann es sich um Nasen-, Siebbeinmuscheln oder alle Muschelstrukturen (nasale Muscheln) handelt. Siebbeinmuscheln sind Neuentwicklungen der Säugetiere (STARCK, 1975). Beschreibungen der Form von Muscheln in der Nasenhöhle reichen in der Literatur von eigenartig gebogenen, lamellenförmigen Vorsprüngen (KILLIAN, 1896) über tütenförmige, mit Luft gefüllte Knochenblasen (ELLENBERGER und BAUM, 1943) bis hin zu aufgerollten Platten bzw. Papierrollen (CROUCH, 1969). Nicht alle Autoren können diese Konfiguration nachvollziehen und finden eine Systematisierung wegen der Unterschiede wenig sinnvoll (LIPPERT, 1992). Nach den vorliegenden Befunden trifft jedoch die Beschreibung der „Papierrolle“ voll ins Schwarze.

Die Platzverhältnisse im ventralen Bereich der Nasenhöhle sind mit steigender Brachyzecephalie sehr beengt, im dorsalen Bereich hingegen viel weiträumiger (Ausbeulung). Dies wird vor allem dorsal des Endoturbinale I durch einen verstärkten Luftgehalt im CT-Bild (Abb. 60, 61 und 67 bis 70) deutlich. Ferner kommt es zu einer Aufrichtung von Muscheln

nach dorsal (vgl. Abb. 16, 20 und 21) und einer Verlagerung nach kaudal (Bildung von **Stauchungszonen**). So füllt das Muschelmaterial entweder Freiräume innerhalb des Kopfes aus (Stirnhöhle, Keilbeinhöhle und Atmungsgang) oder wird gestaucht. Folgende Muscheln sind bei Tieren mit höhergradiger Brachyzehalie (Kategorie III und IV) besonders betroffen und verändern ihre Lage im Vergleich mit der Hauskatze erheblich: Die Ektoturbinalia 2 und 3, die Endoturbinalia II, III und IV sowie die ventrale Nasenmuschel. Auch OPPEL (2002) beschreibt, dass die Platzverhältnisse in der Nasenhöhle stark von der Schädelform abhängig sind und bei Katzen mit Brachyzehalie zu erheblichen Beeinträchtigungen für die Siebbein- und Nasenmuscheln führen. Die Siebbeinmuscheln lägen bei normozephalen Katzen auf der Höhe einer gedachten Verbindungslinie durch den ersten molaren Backenzahn, wohingegen sie bei brachyzephalen Katzen weiter kaudal zu liegen kämen, was auf einen verkürzten Gaumen zurückzuführen sei.

Von 26 Perserkatzen zeigten 14 Tiere erhebliche Variationen des Zuganges zur **Stirnhöhle** mit der Ausbildung zusätzlicher Nasennebenhöhlen (vgl. Tab. 13 und 14 S 155 und 156). Da es sich dabei um Veränderungen am **Ektoturbinale 2** handelt, soll der Stirnhöhlenzugang bereits an dieser Stelle diskutiert werden. Spirallamellen einer Muschel, die wieder auf sich selbst treffen, lassen so genannte Bullae entstehen (NICKEL und WILKENS, 1995). Träfe die Spirallamelle auf umliegende Knochen, spräche man vom Sinus. Schon LECHNER (1932) und LOEFFLER (1959) beschreiben ein Hineinragen der lateralen Spirallamelle in die Stirnhöhle mit Hohlräumbildung, die bei Hauskatzen beobachtet wurde. Diese Einrollung der Spirallamelle stelle dabei die Kommunikationsöffnung zur Stirnhöhle dar. Vorwölbungen des Ektoturbinale 2 in die Stirnhöhle beschrieben auch KÜNZEL et al. (2002) und OPPEL (2002). LIPPERT (1992) bestätigt die Beteiligung der Muschel am Stirnhöhlenzugang, verneint jedoch ein Hineinrollen in die Stirnhöhle. Jedoch wurde in dieser Arbeit erstmalig das Hineinragen des Ektoturbinale 2 mit Hilfe eines röntgenologischen Verfahrens dokumentiert. KÜNZEL et al. (2002) stellen ein horizontales Septum innerhalb der Stirnhöhle bei Perserkatzen fest. Dies konnte auch in dieser Arbeit bei einem Tier der Kategorie II (vgl. Tab. 13 Perser Nr. 36) bestätigt werden. Vorsicht ist bei dieser Interpretierung jedoch deshalb geboten, weil sich im Querschnitt auch eine separate Muschelhöhle (Abb. 52 und 53, Bildband) so darstellt, als sei der Knochenbalken ein horizontales Septum innerhalb der Stirnhöhle. Diese Konfiguration kann zu Fehlinterpretationen bei der Zugehörigkeit der Struktur führen. Auch beim **Ektoturbinale 3** bildet sich in einem Fall (Kategorie II) eine separate, zusätzliche Nebenhöhle, die auf den ersten Blick wie eine Septierung der Stirnhöhle aussieht.

Bei einigen Perserkatzen der Kategorien III und IV konnte gezeigt werden, dass Muschelmaterial des **Endoturbinale III** (aber auch des **Endoturbinale II**) in den Atmungsgang hineinragt (vgl. Textabb. 38 S. 79). Hierfür waren detaillierte schnittbildanatomische Kenntnisse der normalen Konfiguration der Muscheln auf Höhe der Lamina basalis des Siebbeins essentiell und werden auch für die Hauskatze ausführlich beschrieben. Bei den Perserkatzen, die in Narkose untersucht wurden und ein Hineinragen in den Atmungsgang zeigten, war vorberichtlich eine röchelne Atmung bekannt. Erstmals beschrieb OPPEL (2002) das Hineinragen von Muschelmaterial des Endoturbinale III in den Atmungsgang, wertete diesen Befund jedoch „nur“ als anatomische Variation. Im Moment ist die Brachyzehalie Gegenstand diverser Forschungsobjekte. In ihren Vorträgen über das

Brachycephale Atemnotsyndrom beim Hund und bei der Katze stellen OECHTERING et al. (2005) erstmalig CT-Bilder vor, auf denen Muschelmaterial des Endoturbinale III erhebliche Teile des Atmungsganges und Nasenrachens ausfüllt. Auch diese Tiere zeigen demnach eine Dyspnoe. In diesem Zusammenhang ist jedoch noch ungeklärt, welche Umstände Muscheln dazu bringen, kaudal in den Atmungsrachen zu streben. Vermutlich ist dies von mehreren Faktoren abhängig, die mit steigender brachycephaler Kategorie zunehmen. Durch Proportionsverschiebungen am brachycephalen Katzenschädel kommt der Schluss der Lamina basalis des Siebbeins mit dem Vomer und damit die Trennung zwischen Nasengrund und Nasenrachen erst sehr weit kaudal zustande. Bei der Vergrößerung der Muscheln (Bildung der Spirallamellen höherer Ordnung) nach der Geburt könnten sich somit einzelne Lamellen des Endoturbinale III (aber auch des Endoturbinale II) ungehindert in den Nasenrachen entfalten. Ungeklärt ist außerdem, welchen Einfluss Wachstumsfaktoren auf die Nasenmuscheln haben. Nach dem Prinzip „Form follows function“ ist es denkbar, dass sich die Nasenmuscheln auf Kosten des freien Raumes an anderer Stelle so weit ausbreiten, dass die Riechschleimhaut bestmöglich untergebracht wird. Für die meisten Säugetiere ist der olfaktorische Sinn in vielen Lebensbereichen der primäre und wichtigste Sinneseindruck (AXEL, 1995). Eine Verringerung der Längsausdehnung des Riechfeldes in der Nasenhöhle folgt nur zögerlich einer Verkürzung des Gesichtsschädels (LAURUSCHKUS, 1942). Beim Windhund nehme das Riechfeld ein Drittel der gesamten Nasenlänge ein. Erst wenn die Verkürzung zu einer wesentlichen Einengung des Raumes für die Riechschleimhaut führe, trete eine Abnahme der Riechfeldgröße ein. Dies sei beim brachycephalen Pekinesen der Fall. Ferner muss entsprechend der Funktion auch ein gewisser Prozentsatz der Atmungsschleimhaut untergebracht werden. Es bleibt festzuhalten, dass bei diesen Untersuchungen keine Perserkatze der Kategorien I und II von diesen Veränderungen betroffen war, obwohl die Kategorie II den größten Anteil der untersuchten Tiere ausmachte. Auch an dieser Stelle wird wieder deutlich, dass von Züchtungen der Kategorien III und IV abgesehen werden sollte.

Der Zugang zur **Keilbeinhöhle** erfolgt sowohl bei der Hauskatze, als auch bei der Perserkatze von der Nasenhöhle aus über die ventrale Spirallamelle des **Endoturbinale IV**, wobei sich diese Spirallamelle unterschiedlich weit nach kaudal ausdehnt. Bei Perserkatzen verlagert sich das Endoturbinale IV nach kaudal und weiter in die Keilbeinhöhle hinein. Es füllte die Keilbeinhöhle bei der Kategorie IV fast ganz aus. Auch bei einigen Vertretern der Kategorie III wird die Nasennebenhöhle sehr stark ausgefüllt. Jedoch zeigen die Perserkatzen insgesamt starke individuelle Schwankungen, die unabhängig von den Kategorien waren. Ein Einstülpen der ventralen Spirallamelle des Endoturbinale IV in die Keilbeinhöhle der Hauskatze bestätigen auch LOEFFLER (1959) und KOCH et al. (2002). Dennoch besteht in der Literatur Uneinigkeit darüber, welche Lamelle in die Keilbeinhöhle hineinragt. Laut KÜNZEL et al. (2002), LIPPERT (1992) und OPPEL (2002) sei es nämlich die dorsale Spirallamelle, die sich in den Sinus sphenoidalis erstreckt und diesen bei brachycephalen Katzen beträchtlich einengt (KÜNZEL et al., 2002; OPPEL 2002). Auffällig ist, dass LIPPERT (1992) im Vergleich zu LOEFFLER (1959) sehr ähnliche Ergebnisse erzielt und angeblich auch mit diesem übereinstimme, letzterer aber von der ventralen Spirallamelle spricht, die sich in die Keilbeinhöhle ausdehne. KÜNZEL et al. (2002) bestätigen die Ausfüllung der Keilbeinhöhle durch das Endoturbinale IV bei brachycephalen Katzen und die im Vergleich zur Hauskatze kaudale Lage der hineinreichenden Muschel. Auf

die klinische Bedeutung der Keilbeinhöhle (KOCH et al., 2002) und die Weite sowie Art des Hineinragens dieser Muschel wird explizit hingewiesen (KÜNZEL et al., 2002; OPPEL, 2002).

Die **ventrale Nasenmuschel** der Perserkatze steht viel steiler in der Nasenhöhle als bei der Hauskatze (vgl. Abb. 72), wobei sich ihr Drehpunkt kaudal des Dens caninus und des Os incisivum befindet. Die Rotation der Muschel nach dorsal scheint in direktem Zusammenhang mit der Stellung des Dens caninus zu stehen. Je ausgeprägter die Dorsorotation bei den brachycephalen Tieren war, desto steiler kommt auch die ventrale Nasenmuschel in der Nasenhöhle zu liegen. Auch KÜNZEL et al. (2002) und BREIT et al. (2003) beschreiben eine Steilstellung der ventralen Nasenmuschel und stellen eine Verbindung zur ebenfalls vorhandenen steilen Ausrichtung des Siebbeins, jedoch nicht zum Dens caninus, her. Bereits SEYDEL dokumentierte 1891, dass die Gestaltveränderung der „Hauptmuscheln“ (= Endoturbinalia) auf eine Lageveränderung der Lamina cribrosa im Raum des Schädels zurückzuführen sei. An dieser Stelle wird vorgeschlagen, den Rotationsgrad des Dens caninus als gut objektivierbares Beurteilungskriterium für den Grad der Brachycephalie (Kategorisierung) heranzuziehen.

Nach TIMM (1987) wird beispielsweise die Form der Schädelbasis von folgenden Faktoren beeinflusst: die Körpergröße, die Hirnentwicklung, die Entwicklung des Kieferskelettes sowie die Größe und Stellung der Augen. All die Lageveränderungen knöcherner Strukturen am Kopf scheinen auf Einwirkungen zurückzuführen zu sein, die den sehr anpassungsfähigen und formbaren Knochen bzw. Knorpel vor allem nach der Geburt beeinflussen. Diese Einflüsse sind wahrscheinlich in erster Linie durch die Kieferentwicklung und -reifung bedingt. Auf das Kieferwachstum haben wiederum nach HENNET und HARVEY (1992) jegliche Kräfte, die von den normalen Verhältnissen abweichen, einen Einfluss. Da ein brachycephaler Oberkiefer durch eine Rotation gekennzeichnet ist (HENNET und HARVEY, 1992), werden auch die Nasenmuscheln, hier am Beispiel der ventralen Nasenmuschel demonstriert, durch die Zähne in ihrer Lage beeinflusst. Der Dens caninus verdrängt jedoch nicht nur die ventrale Nasenmuschel, sondern hat auch einen erheblichen Einfluss auf den Verlauf des Tränennasengangs (siehe Punkt 4.4.5).

Insgesamt bedeutet die Entwicklung zur **Brachycephalie** für die Nasenhöhle eine Einengung, vergleichbar mit dem Umzug aus einer 100 m² Wohnung in eine beengte 50 m² Wohnung, wo alle Möbel (nasale Muscheln) unterzubringen sind.

4.4.2.2 Der ventrale Nasengang

Der Verlauf des Atmungsganges wird sowohl bei der Haus- als auch bei der Perserkatze entscheidend von der ventralen Nasenmuschel bestimmt. Richtet sich die Muschel mit steigender Brachycephalie nach dorsal auf, so hat dies eine direkte Auswirkung auf den Verlauf des Atmungsganges (Abb. 20 und 21). Bei der Perserkatze können, wie bereits oben erwähnt, Muscheln in den Atmungs- und auch Nasenrachengang hineinragen und so den Luftstrom erheblich behindern.

Beim brachycephalen Atemnotsyndrom der Katze ist das zentrale Therapieziel eine Rekonstruktion des ventralen Nasenganges mittels endonasaler Laserchirurgie, die erstmals von OECHTERING et al. (2005) beschrieben wurde. Hierbei wird nach vorheriger computertomographischer Dokumentation und Ermittlung der Engstellen in den Nasenhöhlen

ein effizienter, widerstandsfreier Atemweg in der Nasenhöhle geschaffen, indem Anteile der ventralen Nasenmuschel (aber auch der mittleren Nasenmuschel) entfernt werden. Die hier erfolgte detaillierte Aufarbeitung der schnittbildanatomischen Verhältnisse bei der brachycephalen Katze ist eine Grundlage für die Diagnostik und sollte bei der Planung und Durchführung chirurgischer Eingriffe in der Nasenhöhle berücksichtigt werden.

4.4.3 Nasennebenhöhlen

In dieser Arbeit konnte bei der Perserkatze die Bildung **zusätzlicher Nasennebenhöhlen**, die sich in Form von Muschelhöhlen oder Muschelblasen der lateralen oder medialen Spirallamelle des Ektoturbinale 2 darstellen, aufgezeigt werden. Diese kommunizieren entweder über einen separaten Zugang mit der Nasenhöhle oder weisen einen Eingang über die Apertura sinus frontalis auf. Bei vergleichend anatomischen Betrachtungen erinnert die Muschelkonfiguration bei gemeinsamer Mündung der Höhlen in die Apertura sinus frontalis an die Verhältnisse der dorsalen und ventralen Muschelhöhle beim Pferd (NICKEL und WILKENS, 1958). Jedoch sind die Muschelhöhlen bei brachycephalen Katzen nicht mit einer normalen Muschelkonfiguration vergleichbar, sondern eher auf die „Stauchung“ des Schädels zurückzuführen. Schon LECHNER (1932) weist darauf hin, dass sich bei der Hauskatze Ektoturbinalia verschieden stark in die Wand der Stirnhöhle vorwölben. LOEFFLER (1959) beschreibt kleine pneumatische Höhlen, die sich im zentralen Bereich der Spirallamellen der Endo- und auch Ektoturbinalia befinden können und nennt damit schon bei der Hauskatze zusätzliche Nasennebenhöhlen von sehr geringem Ausmaß. Auch OPPEL (2002) erwähnt eine blasenförmige Einrollung des Ektoturbinale 2, bei der sich die Muschel in die Stirnhöhle vorstülpe. Jedoch wurden diese Höhlen bisher nicht als Nasennebenhöhlen angesprochen. Die Entwicklung der Nasennebenhöhlen beginnt beim Menschen früh als blindsackartige Aussackung (STARCK, 1975). Entscheidend für die Identifikation einer Nebenhöhle sei nicht das Knochenterritorium, sondern stets die Lage der Mündung. Eine Entfaltung der Nebenhöhlen erfolge erst postnatal nach Resorption der knorpeligen Anteile der Nasenwand. Zunächst wird ein gallertartiges Gewebe, welches Platzhalterfunktion habe, resorbiert. Danach schiebe sich die Schleimhauttasche weiter in mechanisch nicht beanspruchte Höhlen vor, wobei sie sich auch zwischen tragende Skelettverstreben einschiebe. Aufgrund der eigenen Untersuchungen kann festgestellt werden, dass die Bildung zusätzlicher Nasennebenhöhlen (in erster Linie gebildet durch das Ektoturbinale 2) bei Perserkatzen gehäuft vorkommt und mit bzw. ohne Verbindung zur Apertura sinus frontalis bestehen kann. An dieser Stelle wird deshalb vorgeschlagen, den Begriff der Muschelhöhle (Sinus conchalis des Ektoturbinale 2 und/oder 3), wie er etwa beim Pferd vorkommt, auch für die brachycephale Katze einzuführen.

Im Gesamtgeschehen der Brachycephalie kann die Bildung zusätzlicher Nebenhöhlen als Folge der Dorsorotation gesehen werden, wobei durch die ventrokaudale Stauchungszone in der Nasenhöhle eine Aufwölbung der oberen Siebbeinmuskeln zu Lasten des Platzes in der Stirnhöhle zustande kommt.

Bei Hauskatzen beschreibt LECHNER (1932) einen „Sinus conchofrontalis“, der von den ersten Ektoturbinalia ausgefüllt sei. Damit meinte er jedoch einen **Raum innerhalb der Nasenhöhle**, der sich dorsal des Endoturbinale I und rostral der Stirnhöhle darstellt, jedoch nicht zu letzterer gehört. Bei der Perserkatze ist dies genau der dorsale Bereich in der Nasenhöhle, der vermehrt luftgefüllt ist (Ausbeulung) und den Stopp an der Nase noch

verstärkt. Dennoch hält sich in der Literatur hartnäckig die Meinung, dass es eine rostrale Portion der Stirnhöhle gäbe (LOSONSKY et al., 1997; NEGUS, 1958). Allerdings vertreten nach KOCH et al. (2002) sogar anatomische Lehrbücher diese Ansicht. KOCH et al. (2002) verneinen das Vorhandensein einer solchen Höhle, da es sich lediglich um eine Bucht der Nasenhöhle handele und stimmen damit mit den Befunden dieser Untersuchung überein. STARCK (1975) beschreibt einen Raum dorsal und seitlich der Nasenmuscheln, den er Recessus frontoturbinialis nennt.

Durch die virtuelle „Ausgussmethode“ gelang es erstmalig, sehr genaue Angaben über die **Volumina** der Nasennebenhöhlen vorzulegen (vgl. Tab. 15 im Anhang). Die Volumina der Stirnhöhlen und Keilbeinhöhlen wurden bei 3 Hauskatzen und 5 Perserkatzen (3 der Kategorie II, 1 der Kategorie III und 1 der Kategorie IV) bestimmt. Bei allen 5 Perserkatzen wurde zusätzlich das Volumen der Muschelhöhlen errechnet. Die ermittelten Volumina dienen der Verdeutlichung der veränderten Verhältnisse bei der Perserkatze gegenüber der Hauskatze.

Während bei der Hauskatze die Werte der errechneten Volumina beider Stirnhöhlen nur geringe Schwankungen zeigen, sind diese bei der Perserkatze als deutliche Asymmetrien wahrnehmbar. Da die Perserkatzen hier eine Formvariabilität zeigen, eignen sich die 3D-Modelle hervorragend für eine individuelle Rekonstruktion aller Höhlen (Abb. 78 bis 81). Bei brachyzephalen Katzen geht zudem durch die Ausbildung zusätzlicher Nasennebenhöhlen Platz für die Stirnhöhle verloren. Auch KÜNZEL et al. (2002) bestätigen durch ihre Arbeit die Asymmetrie der Stirnhöhlen bei brachyzephalen Katzen. Im **Röntgenbild** stellen sich die Stirnhöhlen der Hauskatze im laterolateralen Strahlengang als dreieckige, lufthaltige Schatten dar (HARTUNG et al., 2003). Die Stirn bei der Perserkatze hingegen sähe deformiert aus und die Stirnhöhle könne im Röntgenbild nicht gut identifiziert werden.

Im Zusammenhang mit der **chirurgischen Eröffnung (Trepanation)** der Stirnhöhlen weist WINSTANLEY (1974) auf altersabhängige Variationen in der Ausdehnung des Sinus frontalis hin (vgl. Textabb. 9 S. 21) und beschreibt dem Alter entsprechende Trepanationsstellen. Nach DREWS (1933) beginnt mit dem 49. Tag am Katzenembryo die Pneumatisierung des Os frontale. Bei einer Katze von drei bis vier Monaten kann bei einer Trepanation eine erhebliche Schädigung des Gehirns auftreten, wenn Fehler beim Abschätzen der Ausdehnung der Stirnhöhlen passieren (WINSTANLEY, 1974). Schäden können auch durch ungenaue Definitionen von Trepanationsstellen (WINSTANLEY, 1974; BRADLEY, 1984) entstehen, wenn zum Beispiel unberücksichtigt bleibt, dass die vordere Grenze gebogen verläuft (KOCH et al., 2002). Bei einer Eröffnung treffe man dann bestenfalls die Apertura sinus frontalis und deshalb ist die obige Beschreibung nicht geeignet. Eine präzise Stelle zur Eröffnung der Stirnhöhle sei ein Punkt, der sich 5mm rostral einer Linie befände, die die kaudalen Ränder des Processus zygomaticus verbinde (Textabb. 9 S. 21). Man treffe mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit auf das weiteste (laterale Bucht) und tiefste (ventrale Bucht) Areal der Stirnhöhle.

Auch wenn die Trepanation der Stirnhöhle einen eher seltenen chirurgischen Eingriff bei der Katze darstellt, bei dem sicherlich die Veränderungen schon sehr weit fortgeschritten sind, soll an dieser Stelle auf die großen individuellen Schwankungen bei der brachyzephalen Katze hingewiesen werden. Obwohl die Meinung besteht, dass die Trepanation bei Katzen aufgrund der einheitlichen Stirnhöhle problemlos ist und keine Fehler gemacht werden können (MATHEWS, 2004), wird gerade bei brachyzephalen Tieren dringend empfohlen, vor

einem solchen Eingriff eine röntgenologische (ggf. computertomographische) OP-Planung vorzunehmen.

Nach den eigenen Befunden war beim Seitenvergleich auf der Seite mit dem kleineren Stirnhöhlevolumen ventral eine **Muschelhöhle** ausgebildet. Diese hatte im Falle des Vorkommens mehrerer Muschelhöhlen auch die höheren Volumenwerte. KÜNZEL et al. (2002) berichten über flache Stirnhöhlen von geringer Tiefe, der Ausbildung zusätzlicher sagittaler und horizontaler Kompartimentierungen, einer bilateralen und unvollständig horizontalen Septenbildung sowie von einer vollständigen Trennung innerhalb der Stirnhöhlen.

Es liegt die Vermutung nahe, dass bei brachycephalen Katzen mit einer deutlichen Asymmetrie der **Stirnhöhlen** mindestens eine Muschelhöhle ausgebildet ist, die auf der Seite mit dem verringerten Stirnhöhlevolumen zu liegen kommt bzw. im Falle der Bildung mehrerer Muschelhöhlen dort größer ist. Infolgedessen werden auch Abschnitte des Gehirns umfangreicher von den Nasennebenhöhlen umlagert, als dies bei der Hauskatze der Fall ist (vgl. Abb. 54 bis 59). OECHTERING et al. (2005) beschreiben eine Verstärkung des brachycephalen Atemnotsyndroms der Katze bei warmen Umgebungstemperaturen. So bleibt es zukünftigen Arbeiten vorbehalten, abzuklären, welche Auswirkungen die genannten Konfigurationen der Nebenhöhlen auf die Wärmeregulierung des Gehirns haben.

In der einheitlichen Stirnhöhle der Hauskatze zeigten sich kaudal Knochensepten, durch die es zur Ausbildung von kaudal gelegenen Buchten der Stirnhöhle kam (vgl. Abb. 82 und 83). Diese **Skelettverstreungen** sind bei jeder Perserkatze unterschiedlich ausgebildet. Nach STARCK (1975) wirkt sich die individuelle Beanspruchung des Gesichtsskelettes stark auf das morphologische Verhalten der Nasennebenhöhlen aus. So könne sich zum Beispiel das Bild durch Besonderheiten am Kauapparat stark abwandeln. Die am Schädel auftretenden mechanischen Kräfte werden durch feste Verstreungen des Knochens aufgefangen und derart verteilt, dass sie am Gehirn, Sinnesorganen und den Atemwegen vorbeigeleitet werden (STARCK, 1979). Diese Organe liegen somit in mechanisch nicht beanspruchten Regionen des Kopfes. Bei der Perserkatze stellt sich der höchste Punkt (Scheitel) des Schädels eher als Kuppel dar und liegt am Übergang zwischen Os frontale und Os parietale über dem Endhirn (vgl. Textabb. 34 S. 71 mit 3D-Brille). Mit steigender Brachycephalie nimmt ferner die Ausprägung des Stopps (Stupsnase) zu. Bei der Hauskatze hingegen bildet der höchste Punkt des Schädels keine definitive Stelle, sondern eher eine Fläche, die rostral auf Höhe des Processus zygomaticus des Os frontale beginnt und sich nach kaudal bis ins Os parietale zieht (vgl. Textabb. 34 S. 71 mit 3D-Brille). Nach STARCK (1979) gibt es einen mechanischen Grundbauplan, der sich am Zug der Nacken- und Kiefermuskulatur orientiere. Demnach fände sich eine Knochenverstreung in Form eines kräftigen Balkens im Mahlzahnbereich. Bei kräftigen Fangzähnen trete außerdem ein Caninuspfeiler hinzu. Tierartlich vergleichend betrachtet, käme es bei der Ausbildung eines Stirnknickes zu einer Schwächung des Caninuspfeilers und somit dieses Konstruktionselementes am Schädel. Dies ist eine weitere plausible Erklärung für die festgestellte Dorsorotation des Zahnes, der deshalb zu rotieren scheint, weil er ein mechanisches Gegenlager in Form von Knochenmaterial benötigt. Auch der Funktionswandel vom Säugling über den Zahnwechsel zum Dauergebiss geht mit einem Umbau der mechanischen Grundstruktur einher, wobei die tragenden Knochenbalken die pneumatischen Räume umgehen und die Sinnesorgane sowie das Gehirn vor direkter Krafteinwirkung sichern (STARCK, 1979). Dies lässt die Vermutung zu, dass die Mechanik und Statik des Schädels bei der rundköpfigen Perserkatze

wahrscheinlich eine ganz andere ist. Es ist anzunehmen, dass ein asymmetrischer Sinus frontalis und die Muschelhöhlen deshalb in der Art vorkommen, weil sie als Knochenverstrebenungen für die Statik des Schädels und den Schutz von Gehirn und Sinnesorganen vor Kraftereinwirkungen von Bedeutung sind.

Fazit ist, dass die Pneumatisierung der an die Nasenhöhle angrenzenden Knochen in einem direkten Zusammenhang zur Kiefer- und Schädelkonstruktion steht und das mannigfaltige Erscheinungsbild der Stirnhöhle bei der Perserkatze auch auf die gezielte Zucht auf einen massig wirkenden, runden, stupsnasigen Kopf zurückzuführen ist. Eine brachycephale Perserkatze mit massiven Zahnfehlstellungen wird demnach auch immer vom Grundbauplan abweichende Veränderungen an den Nasennebenhöhlen (v. a. an der Stirnhöhle) zeigen.

Bei allen untersuchten Katzen war ein **Recessus maxillaris** in der CT deutlich abgrenzbar und stellte sich zwischen der feinen Lamina orbitalis des Siebbeins und der lateralen Nasenwand (Übergang zwischen Os maxillare und Os lacrimale) dar. Dies deckt sich mit den computertomographischen Befunden von KOCH et al. (2002). Im Röntgenbild ist der Recessus maxillaris der Katze jedoch nach den Angaben von BÖHME (1959), BURK und ACKERMANN (1996) und KOCH et al. (2002) aufgrund des schwachen Kontrastes und anderen überlagernden Knochenelementen nicht darstellbar. Bei der Hauskatze kam die Kieferbucht in Höhe des P4 und bei der Perserkatze weiter kaudal, in Höhe des M1 zu liegen. Der Zugang zum Recessus maxillaris wurde vom Processus uncinatus des Endoturbinale I verdeckt. Dies kann, entsprechend den Angaben von DYCE et al. (1991), NICKEL und WILKENS (1995) sowie KOCH et al. (2002) als Einengung des Zugangs zum Recessus maxillaris gewertet werden. Jedoch ragt der Fortsatz der dorsalen Nasenmuschel nicht in die Kieferbucht hinein, was wiederum den Angaben von LECHNER (1932) und LOEFFLER (1959) entspricht. Der Recessus maxillaris zeigt ferner eine dorsorostrale Ausbuchtung. Rostral des Recessus maxillaris fehlte nur bei der Hauskatze die knöcherne Begrenzung zum Tränensack (vgl. Textabb. 40 S. 89). Diese Beobachtung wird auf Seite 120 diskutiert.

Die **Keilbeinhöhle** stellt sich bei den meisten Katzen asymmetrisch dar und hatte eine enge topographische Beziehung zum Canalis opticus und teilweise auch zur Fissura orbitalis. Bei Perserkatzen verlagerte sich das Endoturbinale IV, unabhängig vom Grad der Brachycephalie, unterschiedlich weit in die Höhle hinein und füllte sie bei Kategorie IV fast ganz aus (vgl. Abb. 20 und 21). Der Keilbeinhöhlenzugang erfolgte von der Nasenhöhle aus durchweg über die ventrale Spirallamelle des Endoturbinale IV, was von einigen Autoren verneint wird (KÜNZEL et al., 2002; LIPPERT, 1992 und OPPEL, 2002; Diskussion siehe unter Punkt 4.4.2.1). LEGENDRE et al. (1981) sprechen von einer eher weiten Zugangsöffnung, durch die Tumore der Nasenhöhle leicht in die Keilbeinhöhle einwachsen können. KOCH et al. (2002) beschrieben ein Lymphom, das sich kaudal in der linken Nasenhöhle befand und auch die linke Keilbeinhöhle vollständig ausfüllte. Neben einem Durchbruch durch das Septum zur gegenüber liegenden Seite zeigte sich auch eine Lysis zur Fissura orbitalis. Somit seien durch die Nachbarschaft zur Keilbeinhöhle jene Gehirnnerven, die durch die Fissura orbitalis zum Auge ziehen (N. oculomotorius, N. trochlearis, N. ophthalmicus und N. abducens), besonders bedroht. Auch bei dem in dieser Arbeit vorgestellten Fall (Abb. 136 und 137) handelt es sich um ein malignes Lymphom, das auch die linke Keilbeinhöhle ausfüllte und bereits angrenzendes Knochenmaterial zerstört hat.

Ferner entwickeln brachycephale Hunde nach KESSLER et al. (2004) weit seltener Nasenhöhrentumore als dolichocephale Rassen. Dies sei auf die stärkere Filterung aerogener Karzinogene bei langnasigen Tieren zurückzuführen.

4.4.4 Nasenschleimhaut und Schwellgewebe

Die Nasenschleimhaut ließ sich computertomographisch nur in den Gebieten darstellen, die vermehrt mit dem Luftstrom in Berührung kamen. Fernab des Luftstromes war die Schleimhaut unter physiologischen Bedingungen so dünn, dass sie nicht im CT abgebildet werden konnte. Mit zunehmendem Grad der Brachycephalie werden die Platzverhältnisse in der Nasenhöhle immer beengter und nasale Muscheln haben kaum Platz, sich zu entfalten. Da die Nasenschleimhaut aber die bedeutende Aufgabe der Klimatisierung der Einatemluft hat (GRAUMANN und SASSE, 2004), ist es denkbar, dass diese Aufgabe bei extremen Temperaturschwankungen nicht mehr ausreichend erfüllt werden kann. Der Wärmeaustausch in der Nase spielt nämlich bei der Katze eine wichtige Rolle bei der Wärmeregulation und bei der Temperaturkontrolle für das Gehirn (BAMFORD und ECCLES, 1983; PARMEGGIANI et al., 1998). Auch bei der Katze ist für die Produktion von Verdunstungskälte das Hecheln eine Maßnahme, bei der Luft durch die Nase eingesogen und durch den Mund wieder abgeatmet wird (www.wikipedia.de, Stichwort: Thermoregulation). Ferner kühlten sich Venen aus dem Nasen- und Maulbereich ab und würden zur Kühlung des Gehirns genutzt. Ein unter dem Brachycephalen Atemnotssyndrom leidender Hund zeigt vermehrte Probleme an warmen Tagen (OECHTERING et al., 2005). In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, welchen Einfluss die Kürze der Nase auf die Thermoregulation des Tieres hat und ob auch brachycephale Katzen höherer Kategorien an warmen Tagen stärker leiden müssen. So dürfte das „Einsaugen“ der Luft beim Hecheln der brachycephalen Tiere durch die verengten Nasenlöcher und den abgeknickten und engen Atmungsangang deutlich erschwert sein.

4.4.5 Darstellung der ableitenden Tränenwege

Die Gegenüberstellung von Kontrastmittel markierten Serien und Nativserien im CT erwies sich als ausgesprochen hilfreich. Es wird deutlich, dass die Anteile der ableitenden Tränenwege, die von umliegenden knöchernen Strukturen begrenzt sind, von einem geschulten Betrachter vorerst auch ohne Kontrastmittel gut zu beurteilen sind. Bei klinischen Fragestellungen, wie zum Beispiel der Tumorabgrenzung oder Abnormalitäten im Bereich der Zahnwurzeln, ist davon auszugehen, dass ein CT ohne Kontrastmittelmarkierung des Tränennasenganges weitgehend ausreichen sollte, um Irritationen der ableitenden Tränenwege erkennen zu können. Jedoch ermöglicht eine zusätzliche Kontrastmittelmarkierung im CT die genaue Lokalisation der Veränderung und gibt außerdem Auskunft über die Form, die Größe und die Begrenzung der tubulären Strukturen. Eine Kontrast-CT-Serie ist deshalb besonders gut geeignet für die Beurteilung des Durchmessers der ableitenden Tränenwege und der nicht von knöchernen Strukturen begrenzten Anteile. Sie kann hilfreiche Informationen darüber geben, ob beispielsweise eine Verengung oder eine Dilatation vorliegt.

Bei der Auswertung der Schnittbilder fiel auf, dass die Hauskatze, deren Kopf zur Kontrastmitteldarstellung genutzt wurde, an einer chronischen Rhinitis litt. Da zwischen den Kontrastmittelaufnahmen und Nativaufnahmen keine substantiellen Unterschiede an den ableitenden Tränenwegen festzustellen waren, wurde diese Serie trotzdem zu

Vergleichszwecken mit den nativen Schnittbildern herangezogen. Allerdings ist es gerade bei einer chronischen Rhinitis denkbar, dass die ableitenden Tränenwege beeinflusst werden können. Durch die Entzündung der Nasenschleimhaut werden die Tränenwege insuffizient und verengen sich (FELSMANN und FELSMANN, 1996).

Von den sechs **Perserkatzen**, bei denen das Fell rund um die Augen bewertet sowie das Vorhandensein der Tränenpünktchen überprüft wurde (1x Kat I, 1x Kat II, 3x Kat III, 1x Kat IV), zeigten die 4 Tiere der Kategorien III und IV Tränenstraßen im Fell und das Fehlen mindestens eines oberen **Tränenpünktchens**. Die Tränenstraßen im Fell deuten darauf hin, dass bereits eine chronische Epiphora vorliegt. Bei einer der Perserkatzen (Kategorie III) gelang auf der Seite mit dem fehlenden Tränenpünktchen auch keine Spülung mit Fluoreszein. Nach BARNETT und CRISPIN (1998) ist dieser Befund eine Indikation für eine röntgenologische Untersuchung der ableitenden Tränenwege (Dacryocystorhinographie, DCG; siehe S. 37). In Zukunft ist es jedoch wahrscheinlich, dass die CT-DCG die bisher angewendete DCG bei der Katze ablösen wird.

Nach FELSMANN und FELSMANN (1996) ist der Tränennasengang schon vor der Geburt durchgängig. Die Aussprossung des Ektoderms schreite schließlich, nach der Ausformung des Tränensackes, weiter nach proximal fort. Angeborene Veränderungen entstünden deshalb auch eher proximal des Tränennasenganges. Dies kann eine Erklärung dafür sein, weshalb bei den untersuchten Perserkatzen überwiegend die oberen Tränenpünktchen fehlen. Auch HERZOG (2001) bestätigt, dass es nicht ungewöhnlich sei, wenn proximale Tränenabflusswege bei kurznasigen Perserkatzen verlegt sind. Auch käme eine kongenitale Atresie bzw. Hypoplasie der Tränenpunkte gehäuft vor, was schließlich zu Verklebungen führe.

Interessant ist außerdem, dass bei der Perserkatze der Kategorie IV, bei der schon beide oberen Tränenpünktchen fehlten, auch keine oberen **Tränenkanälchen** angelegt waren. In nachfolgenden Untersuchungen wäre zu klären, wie häufig das Fehlen eines oberen Tränenpünktchens mit der Abwesenheit des oberen Tränenkanälchens bei brachycephalen Katzen vergesellschaftet ist. Dafür scheint mir die CT-DCG nach vorheriger Adspektion sehr geeignet. Die oberen Tränenkanälchen stellten sich, sofern sie vorhanden sind, nach Kontrastmittelapplikation lateral des Processus frontalis des Tränenbeins dar. Im Gegensatz zur Hauskatze ist bei der **Perserkatze**, je nach Grad der Brachycephalie, der Processus frontalis stärker ausgeprägt. Es hat den Anschein, als ob durch die Reduktion des Gesichtsschädels das Tränenbein kaum noch in den Schädel integriert ist und absteht. Dies ist auch palpatorisch erfassbar und kann als Hilfsmittel bei der Beurteilung des Grades der Brachycephalie herangezogen werden. Bei der Beurteilung der CT-DCG kann der stark ausgeprägte Fortsatz der Perserkatze leicht mit den kontrastmittelmarkierten oberen Tränenkanälchen verwechselt werden.

Sowohl bei der Hauskatze, als auch bei der Perserkatze ist der proximale Abschnitt des **Tränensackes** (der im Tränenrichter liegt) in Höhe des Foramen maxillare lokalisiert. Der distale Teil des Tränensackes (ungefähr 3mm rostral des Recessus maxillaris) ist bei der **Hauskatze** ohne knöcherne Begrenzung und liegt somit direkt der Nasenschleimhaut an (vgl. Abb. 71 und Textabb. 40 S. 89). Auch BREIT et al. (2003) beobachteten in 50% der Fälle in diesem Bereich eine knochenfreie Stelle, die zur Nasenhöhle hin ausschließlich von Nasenschleimhaut bedeckt war. Jedoch ordneten Sie diesen Bereich dem proximalen Abschnitt des Tränennasenganges zu. Diese knochenfreie Stelle wird nach eigenen

Befunden von zwei Knochenkämmen begrenzt. Eine solche Beschreibung der anatomischen Gegebenheiten war auch von FELSMANN und FELSMANN (1996) in der Literatur zu finden. Demnach gehören diese beiden Knochenkämme zur so genannten Tränenpumpe. Diese bestehe aus mehreren Anteilen, die den Transport der Tränen zum Tränensack gewährleisten. Kapillare Kräfte allein reichten nämlich nicht aus, um den Abtransport der Flüssigkeit aus den Tränenpüktchen zu bewerkstelligen. Die Tränenpumpe sei einerseits aus kontraktile Fasern zusammengesetzt, die imstande seien, die Kapazität des Tränensackes einzuengen und die Länge der Tränenkanälchen zu verkürzen und andererseits aus Periost, das sich zwischen einem vorderen und einem hinteren Tränenkamm befände. An diese Tränenkämme hefteten sich ebenfalls kontraktile Fasern, die den Pumpmechanismus unterstützen. Nach eigenen Überlegungen kann jedoch eine Druck-Saug-Pumpe nur funktionieren, wenn eine Klappe vorhanden ist. Hierbei stellt sich die Frage, ob nicht die Tränenpüktchen als Klappe fungieren. Bei einigen **Perserkatzen** fehlte das obere und in einem Fall zusätzlich das untere Tränenpüktchen. Außerdem konnten bei den brachycephalen Katzen keine Tränenkämme bzw. knochenlosen Stellen beobachtet werden. Daher liegt hier die Vermutung nahe, dass neben dem abgelenkten Verlauf der ableitenden Tränenwege auch das Fehlen von wichtigen Bestandteilen der Tränenpumpe eine Ursache für das permanente Tränenträufeln bei brachycephalen Katzen ist. Diese Aspekte sind, gerade im Vergleich zwischen normo- und brachycephalen Rassen, spannende Fragestellungen für nachfolgende Untersuchungen.

Durch den fehlenden knöchernen Schutz bei der **Hauskatze** ist es außerdem gerade in diesem Bereich denkbar, dass es bei Entzündungen oder anderen Erkrankungen der Nasenhöhle von hier aus leichter zu einem Übergreifen des Geschehens auf den Tränensack kommen kann. In den Wänden der ableitenden Tränenwege befindet sich zudem eine Vielzahl lymphatischer Zellen (FELSMANN und FELSMANN, 1996), die im Falle einer Entzündung die Tränenwege verengen können. Werden daher bei der computertomographischen Untersuchung der Nasen- und Nasennebenhöhlen Veränderungen im rostralen Bereich des Recessus maxillaris festgestellt, sollte dies ein Anlass zur genaueren Betrachtung der ableitenden Tränenwege sein.

Bei der **Hauskatze** liegt der **Tränennasengang** in enger Nachbarschaft dorsal bis dorsomedial des Dens caninus und beginnt etwa am dritten prämolaren Backenzahn. Im computertomographischen Bild wird deutlich, dass der Tränennasengang nach zirka 5mm lateral von der Wurzel des Dens caninus flankiert wird. Der Tränennasengang senkt sich auf dieser Höhe in den Nasenknorpel ein (MICHEL, 1955 und KÜPPER, 1973). Er ist auf einer Länge von etwa 2mm nur durch eine dünne Alveolenwand vor der Caninuswurzel geschützt. Da der Abfluss der Tränenflüssigkeit über die Tränenwege von lateral (außerhalb der Nasenhöhle) nach medial (in die Nasenhöhle) erfolgen muss, irritiert die Wurzel des Dens caninus in der Form, dass noch vor dieser die Nasenhöhle erreicht werden muss. Für die Strecke von „außen“ nach „innen“ steht den ableitenden Tränenwegen bei der Hauskatze somit eine Distanz von circa 5mm zur Verfügung (vgl. Abb. 91).

Bei der **Perserkatze** der **Kategorie II** haben die Tränenwege nur noch eine Distanz von etwa 2mm zur Verfügung, um in die Nasenhöhle zu gelangen (vgl. Abb. 106) und bei der Perserkatze der **Kategorie IV** behindert die Wurzel des Dens caninus das Eintreten in die Nasenhöhle vollends (vgl. Abb. 119). Die Wurzel reicht hier bis zum Canalis infraorbitalis heran, sodass sie vom Tränennasengang unterquert werden muss. Bei der Perserkatze der Kategorie IV haben die ableitenden Tränenwege die Form eines „V“. Der Tränennasengang

entspringt an der tiefsten Stelle des „V“ in Höhe des nach dorsal rotierten P4 (vgl. Abb. 122). Durch den Platzmangel im Oberkiefer scheinen die Zähne den Tränennasengang nach kaudal abzudrängen, sodass der Tränennasengang bei der Perserkatze der Kategorie IV erst am P4 entspringt (Hauskatze am P3). Die vermehrte Füllung des Tränensackes auf der rechten Seite (= Dilatation, Abb. 122 und 123) kann ein Hinweis darauf sein, dass eine Abflussbehinderung vorliegt.

Bei der Perserkatze nimmt der Dens caninus einen erheblichen Einfluss auf den Verlauf des Tränennasenganges und bringt diesen zum Abknicken. Durch die Dorsorotation der Zahnkrone gelangt die Wurzel des Dens caninus nach kaudoventral und zieht an dieser Stelle den Tränennasengang in die Tiefe, woraus der „V“-förmige Verlauf mit dem tiefsten Punkt an der Spitze des „V“ resultiert. Es kann gesagt werden, dass der Tränennasengang mit zunehmender Brachyzehalie vom tiefsten Punkt des „V“ immer steiler "bergauf" verlaufen muss. Die Winkelung der ableitenden Tränenwege von etwa 90°, wie sie bei der Hauskatze der Fall ist, wird bei der Perserkatze immer spitzer. Auch BREIT et al. (2003) beschreiben, dass ein spitzwinkliger Verlauf des Tränennasenganges mit einer Verkürzung des Gesichtsschädels assoziiert sei und durch die Steilstellung der ventralen Nasenmuschel bedingt sei. Nach eigenen Befunden ist die Ursache hierfür die Dorsorotation des Dens caninus (vgl. Textabb. 32 S. 67) und die Steilstellung der ventralen Nasenmuschel nur eine Folge davon (vgl. Abb. 72). Es ist denkbar, dass durch die Stauchung auch die knochenfreie Stelle am Tränensack mit den Tränenkämmen verschwindet. Durch die Dorsorotation der ventralen Nasenmuschel wird in Übereinstimmung zu BREIT et al. (2003) der Tränennasengang wegen seiner Lage unter der Basallamelle dieser Muschel zusätzlich abgknickt. Die noch engere topographische Beziehung zwischen Dens caninus und Tränennasengang spielt bei der brachyzehaligen Katze nicht nur als Abflussbehinderung und Ursache für chronisches Tränenträufeln eine Rolle, sondern sollte auch bei Zahnextraktionen berücksichtigt werden.

Es sei hier nochmals betont, dass sich die Fossa sacci lacrimalis sowohl bei der Hauskatze, als auch bei der Perserkatze immer in Höhe des Foramen maxillare befindet. Jedoch kommt die Wurzel des Dens caninus mit kürzer werdender Nase immer näher an die Tränengrube (Fossa sacci lacrimalis) heran. Bei der Perserkatze der Kategorie IV liegt die knöcherne Tränengrube schließlich in direkter Nachbarschaft zur Dens caninus-Wurzel. Bei der Hauskatze verläuft der Tränennasengang stets dorsal bis dorsomedial der Caninuswurzel. Mit zunehmender Brachyzehalie werden jedoch die ableitenden Tränenwege derart beeinflusst, dass sie eine zunehmend steilere Winkelung annehmen. Die bei der Hauskatze eindeutig definierbaren drei Abschnitte des Tränennasenganges verkürzen sich mit zunehmender Brachyzehalie und sind bei dem Perser der Kategorie IV nur schwer abgrenzbar.

Aus den erhobenen Befunden geht hervor, dass die vorliegende Arbeit eine Grundlage zur diagnostischen Beurteilung der ableitenden Tränenwege in der Schnittbilddarstellung ist. Die Anatomie der ableitenden Tränenwege ist in der Vergangenheit schon auf verschiedene Art dargestellt und publiziert worden (GELATT et al., 1972; KÜPPER, 1973; LIPPERT, 1992; OPPEL, 2002; BREIT, 2003). Bisher gab es jedoch nach eigenen Erkenntnissen noch keine computertomographische Darstellung der ableitenden Tränenwege bei der Katze. In der Humanmedizin ist die Nutzung der Computertomographie (CT) zur Darstellung des

ableitenden Tränensystems mit Kontrastmittel gängige Praxis (ASHENHURST et al., 1991; GLATT, 1996; WAITE et al. 1993). In der Veterinärmedizin wird diese Untersuchung beispielsweise beim Hund und Pferd beschrieben (NYKAMP et al., 2004). Die Untersuchung der ableitenden Tränenwege per Computertomographie spielt mit und ohne Kontrastmittel in der Humanmedizin bei der Diagnostik von chronischem Tränenträufeln (WAITE et al., 1993; NYKAMP et al., 2004), Gesichtstraumata (ASHENHURST et al., 1991; GLATT, 1996; NYKAMP et al., 2004), bei Schwellungen der Periorbita (NYKAMP et al., 2004), bei der Beurteilung der Ausdehnung von Tumoren (ASHENHURST et al., 1991; WAITE et al., 1993) und bei der Operationsplanung in diesem Bereich (WAITE et al. 1993) eine bedeutende Rolle. NYKAMP et al. (2004) beschreiben als Vorteil der CT-Schnittbilder eine bessere Auflösung bei der Darstellung der ableitenden Tränenwege, v. a. im relativ langen und schmalen knöchernen Tränennasengang, wie er bei veterinärmedizinischen Patienten vorkommt. Allerdings werde bisher in der Tiermedizin nur die herkömmliche röntgenologische Darstellung der Dakryozystorhinographie genutzt, obwohl die Indikation der Computertomographie bei Tumoren am medialen Augenrand und chronischem Tränenträufeln gegeben sei. Bei den untersuchten Patienten (drei Hunde und ein Pferd) biete die Anwendung der CT-DCG einschlägige Informationen zur Unterstützung der Diagnosefindung, steuerte den Therapieplan und erlaubte eine bessere Beurteilung der Prognose. Indikationen für eine CT-DCG bei der Katze können meines Erachtens sein: die fehlende Durchgängigkeit nach Spülung mit Fluoreszein, eine Fremdkörpersuche, Zahnfisteln, Perforationen, Obturationen durch raumfordernde Prozesse aus der Nase und Bissverletzungen. Die CT-DCG hat dabei den großen Vorteil, dass sich der Verlauf der ableitenden Tränenwege ohne Überlagerung durch Zähne darstellen lässt, Hindernisse genau lokalisierbar sind und detaillierte Aussagen über die Form, Ausdehnung und Wand der tubulären Strukturen möglich sind.

4.4.6 Lymphabfluss aus dem Bereich der Nase

Für die klinische CT-Bildinterpretation wurden neben der eigentlichen Region der Nasen- und Nasennebenhöhlen auch die regionalen Lymphknoten am Kopf der Katze im Weichteilfenster und Kontrast-CT abgebildet und topographisch beschrieben. Bei der Katze "Andy" zeigen sich auf der linken Körperseite vergrößerte mandibuläre Lymphknoten (Abb. 137), die wahrscheinlich auf eine Metastasierung des bereits in der Nasenhöhle manifestierten Lymphoms hindeuten.

In der modernen Bildgebung reicht der Untersuchungsbereich der Nasen- und Nasennebenhöhlen bei Kleintieren von den Nasenlöchern bis zum kaudalen Rand der Stirnhöhle (HENNINGER und PAVLICEK, 2001). Allerdings ist die Mituntersuchung der mandibulären und retropharyngealen Lymphknotenstationen bei chronisch entzündlichen bzw. neoplastischen Veränderungen in der Nasenhöhle angezeigt, wozu eine intravenöse Kontrastmittelverabreichung notwendig ist (HENNINGER, 2001). In der Humanmedizin ist das Lymphknotenstaging mittels Kontrast-CT und MRT gängige Praxis und stellt ein wichtiges Beurteilungskriterium für Tumorerkrankungen dar (BONGERS et al., 1990; SOM, 1992; LELL et al., 2001). Bei neoplastischen Veränderungen am Kopf ergeben sich in Abhängigkeit von der Tumoralisation unterschiedliche Wahrscheinlichkeiten für eine Lymphknotenmetastasierung (SOM, 1992), weshalb in der vorliegenden Arbeit alle drei Lymphzentren am Kopf abgehandelt wurden.

Die Lymphknoten am Kopf der Katze kamen nach Kontrastmittelapplikation zur Abbildung. Die Kontrastmitteldarstellung ist zur Differenzierung von gesundem gegenüber pathologisch verändertem Gewebe notwendig (HENNINGER und PAVLICEK, 2001). Als Zeichen für Lymphknotenmetastasen beim Menschen gelten folgende Befunde: eine inhomogene Kontrastmittelaufnahme (insbesondere mit Ringenhancement, das durch eine zentrale Nekrose bedingt ist), eine Vergrößerung des Durchmessers, die Obliteration einer Lymphknotenregion sowie mehr als drei grenzwertig große Lymphknoten (LELL et al., 2001). Aus dem Grund wurde in dieser Arbeit auch der Lymphknotendurchmesser am Kopf der Katze ermittelt.

Ferner konnte gezeigt werden, dass Lymphknoten mit Hilfe von Strukturen identifiziert werden können, die sich in enger topographischer Beziehung zu ihnen befanden. Dies war hauptsächlich anhand des Verlaufes von Kontrastmittelgefüllten Venen der Fall, da die Lymphknoten eine enge topographische Beziehung zum Gefäßsystem zeigen. Ein lateraler retropharyngealer Lymphknoten konnte nicht nachgewiesen werden, was die Vermutung nahe legt, dass er entweder ganz fehlt oder inkonstant ist. Letzteres ist beim Hund der Fall (BUDRAS et al., 2004).

Im Zuge der Evolution gibt es eine sehr enge Beziehung zwischen dem Lymphsystem und dem Gefäßsystem in Form von lymphovenösen Anastomosen (BUDRAS et al., 2004). Aus mehreren Abflüssen der Lymphknoten in das Venensystem sei schließlich bei den Haussäugetieren nur noch ein Abfluss in das Venensystem erhalten geblieben („Einweg-Lymphsystem“ = in den Venenwinkel, zwischen V. jugularis interna und externa). Beim Vogel hingegen gäbe es noch einen zusätzlichen „Nebenweg“, weshalb er bei phylogenetischer Betrachtung eine Zwischenstellung einnehme. Diese Ausführungen zeigen, dass es in ihrer ursprünglichen Anlage eine sehr enge Beziehung zwischen Gefäßsystem und Lymphsystem gab, die durch die enge topographische Beziehung beider Systeme zueinander erhalten geblieben ist. Aus diesem Grund ist die Bestimmung der Lymphknoten anhand des Blutgefäßsystems einleuchtend und zu empfehlen.

Eine Gewebedichtemessung erfolgte am Nativ-CT. Die Werte hierbei variierten je nach Durchblutung der einzelnen Lymphknoten und stellen keine absoluten Dichtewerte dar. HENNINGER (1997) gibt für die Lymphknoten der oberen Halsgegend Hounsfield-Einheiten im nativen Gewebe an, die von +25 bis +55 HE variierten. Diese stimmen mit den vorliegenden Werten überein.

In der Literatur gibt es nach eigenen Recherchen keine computertomographische Kontrastmitteldarstellung der Lymphknoten am Kopf der Katze. Beschreibungen für das Auffinden der Lymphknoten anhand anderer anatomischer Strukturen im CT fehlen bisher ganz. In dieser Arbeit wurde für die Abbildung der Lymphknoten im CT eine Kontrast-Serie einer narkotisierten Katze verwendet, die einen pathologischen Prozess in der Nasenhöhle aufwies und vergrößerte Lymphknoten zeigte. Dieses klinische Fallbeispiel wurde gewählt, um die Notwendigkeit der Beurteilung der regionalen Lymphknoten auch bei Tieren zu empfehlen und zu unterstreichen. Bei pathologischen Prozessen ist die zusätzliche Verwendung von Kontrastmittel für die vollständige CT-Untersuchung der Region der Nasen- und Nasennebenhöhlen inklusive der Lymphknoten unbedingt erforderlich. Dies ermöglicht eine genaue Bestimmung der Gefäßstrukturen und verbessert die Unterscheidung verschiedener Weichteilstrukturen am Kopf, was für eine eindeutige anatomische Zuordnung ausschlaggebend ist.

4.5 Klinische Bildinterpretation

Bei der klinischen Bildinterpretation wurde deutlich, welche große Bedeutung die Computertomographie für die Region der Nasen- und Nasennebenhöhlen, der ableitenden Tränenwege und der oberen Halsgegend (speziell bei den Lymphknoten) hat. Sie liegt vor allem darin, dass sie zur weiteren Abklärung von mehrdeutigen Geschehen hervorragend geeignet ist. Dies wird durch die überlagerungsfreien, exakten röntgenologischen Darstellungen von Schnittbildern, Gewebedichtemessungen und der Möglichkeit der Kontrastmittelgabe realisiert. Die Schnittbildanatomie ist hierbei eine unverzichtbare Voraussetzung und stellt für die genannten Regionen schon bei der Hauskatze eine Herausforderung dar. Röntgenologisch ist es oft unmöglich, zwischen Nasentumoren, Rhinitis und Fremdkörpern zu unterscheiden (FARROW et al., 1994). Röntgenbilder seien zwar hilfreich beim Ergründen des Vorhandenseins einer Läsion und bei der Bestimmung des Grades der Muschelzerstörung, aber sie lassen oft wichtige Fragestellungen unbeantwortet. Zur Diagnostik und Abklärung chronischer Nasenerkrankungen hat sich die Computertomographie in hohem Maße bewährt, da ihre Genauigkeit bezüglich knöcherner Strukturen sehr groß ist und überlagerungsfreie Darstellungen gelingen (CODNER et al., 1993; OHLERT und KASER-HOTZ, 2001; MERTENS, 2002). Sie ist, im Gegensatz zum Röntgenbild, bei der Beurteilung von tumorbedingten Knochenzerstörungen und der Beurteilung der Ausbreitung von Tumoren innerhalb der Nase ebenfalls genauer (THRALL et al., 1989). Die CT erreicht somit eine viel höhere Sensitivität bei der Lokalisation und der Bestimmung des Ausmaßes einer Erkrankung (SCHOENBORN et al., 2003).

Für die weiterführende Diagnostik der Region der Nasen- und Nasennebenhöhlen sowie der ableitenden Tränenwege ist die Computertomographie nach vorheriger röntgenologischer Übersicht das Mittel der Wahl. In Anbetracht der Vielfalt und Kompliziertheit der anatomischen Strukturen ist eine enge Kooperation zwischen Kliniker und Anatom in der Praxis und vor allem in der Wissenschaft ein logisches und zwingendes Gebot, weil sich so Ziele, Methoden und Kompetenzen ergänzen!