Aus dem Institut für Anatomie und Zellbiologie
(Direktor: Prof. Dr. med. Karlhans Endlich)
der Universitätsmedizin der Universität Greifswald

Wird die Morphologie der Nasenhöhle und der Conchae nasales durch den Sinus maxillaris beeinflusst? Ein biometrischer Vergleich zwischen den Primatenspezies *Macaca fuscata* und *Colobus guereza*.

Inaugural – Dissertation
zur
Erlangung des akademischen Grades
Doktor der Zahnmedizin
(Dr. med. dent.)
der
Universitätsmedizin
der
Universität Greifswald
2022

vorgelegt von: Alfons-Leopold Wenke
geboren am 03.04.1996
in Berlin

Dekan: Prof. Dr. med. Karlhans Endlich

1. Gutachter: Prof. Dr. Thomas Koppe

2. Gutachter: Prof. Dr. Dr. Andreas Prescher

Ort, Raum: Greifswald, Hörsaal des ZZMK, Walther-Rathenau-Str. 42a

Tag der Disputation: 12.05.2023

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung und Fragestellung 1

2. Literaturübersicht 3

2.1 Zur Systematik von *Macaca fuscata* und *Colobus guereza* 3

2.2 Anatomie und Funktion der Nasenhöhle 7

2.2.1 Einflussfaktoren der Nasenhöhlenmorphologie 11

2.2.2 Entwicklung der Nasenmuscheln 14

2.2.3 Morphologie und Funktion der Nasenmuscheln 17

2.2.4 Meatus nasi und Grundlamellen 21

2.3 Der physiologische Nasenzyklus 25

3. Material und Methoden 27

3.1 Material 27

3.2 Methoden 28

3.2.1 Anfertigung der DVT- und CT-Aufnahmen 28

3.2.2 Vermessung der Nasenhöhle 28

3.2.2.1 Vermessung der Gesamtgröße der Cavitas nasi 29

3.2.2.2 Vermessung der Nasenmuscheln 32

3.2.2.3 Größe des Meatus nasi inferior 34

3.2.3 Lineare Schädelmaße 36

3.3 Biostatistische Auswertung 37

4. Ergebnisse 40

4.1 Reproduzierbarkeit der Ergebnisse 40

4.2 Morphologie der Nasenmuscheln 41

4.2.1 Volumina der Nasenmuscheln 46

4.2.2 Volumen-Asymmetrie-Index der unteren und mittleren Nasenmuscheln 48

4.2.3 Vermessung der Grundlamellen 49

4.2.4 Asymmetrie-Index der Grundlamellen 54

4.3 Größe des Meatus nasi inferior 55
4.4 Maße der Cavitas nasi 57
4.5 Schädelmaße 60
4.6 Ergebnisse der Korrelationsanalyse 61
4.7 Ergebnisse der Regressionsanalyse 65
5. Diskussion 71
5.1 Reproduzierbarkeit der Ergebnisse 71
5.2 Nasenmuscheln 72
5.3 Grundlamellen 74
5.4 Einflussfaktoren der Grundlamellen und der Nasenhöhlenmorphologie 81
5.5 Hauptergebnisse 88
6. Zusammenfassung 91
7. Literaturverzeichnis 94
8. Anhang

1. Einleitung und Fragestellung

Die Nasenhöhle weist wichtige physiologische Funktionen wie Olfaktion und die Konditionierung der Atemluft auf. Diese Funktionen sind an die spezialisierten Epithelien der Regio olfactoria und Regio respiratoria gebunden. Die von der seitlichen Wand in das Lumen der Cavitas nasi hervorspringenden Conchae nasales sind mit dem Epithel der Regio olfactoria bzw. Regio respiratoria bedeckt und vergrößern so die funktionelle Oberfläche dieser Schleimhautregionen (Tillmann 2010). Gleichzeitig nehmen sie Einfluss auf die Leitung und Verteilung des Atemluftstroms innerhalb der Cavitas nasi (Mlynski et al. 2001).

Das Vorhandensein der Nasenmuscheln ist ein charakteristisches Merkmal der Säugetiere, wobei eine große Vielfalt in ihrer Ausprägung und Komplexität existiert (Paulli 1900, Moore 1981, Hillenius 1992). Untersuchungen an Fossilien deuten darauf hin, dass die Nasenmuscheln bereits bei den Vorfahren der Säugetiere vorhanden waren (Hillenius 1994). Im Gegensatz zur Nasenhöhle der meisten Säugetiere ist die Nasenhöhle bei den höheren Primaten, einschließlich des Menschen, deutlich kürzer und die Zahl der Nasenmuscheln ist in der Regel auf drei reduziert. So finden sich jeweils zwei Ethmoturbinalia (mittlere und obere Nasenmuschel) und ein Maxilloturbinale (untere Nasenmuschel) (Moore 1981, Smith and Rossie 2006).

Die knöchernen Anheftungen der Nasenmuscheln werden im klinischen Sprachgebrauch als Grund- oder Basallamellen bezeichnet (Stammberger et al. 1997). Das anatomische Verständnis dieser Strukturen ist bedeutsam für die Effektivität von chirurgischen Eingriffen der Nasennebenhöhlen sowie die Verringerung von operativen Komplikationen (Kim et al. 2001, Ogle et al. 2012). Insbesondere die Grundlamelle der Concha nasalis media dient als wichtiger Orientierungspunkt bei Operationen des Siebbeinkomplexes und kann eine große morphologische Vielfalt aufweisen (Stammberger et al. 1997, Daniels et al. 2003, Zinreich et al. 2019, Eördögh et al. 2021). Inwiefern die Anordnung und Ausdehnung dieser Grundlamellen speziesspezifisch sind, ist bisher wenig bekannt.

Zwischen der unteren und mittleren Nasenmuschel befindet sich der mittlere Nasengang, in den der Sinus maxillaris mündet. Hierbei ergibt sich die Frage, ob das Vorhandensein eines Sinus maxillaris die Morphologie der Nasenhöhle und insbesondere der Grundlamellen der Conchae nasales beeinflusst. Während beim Menschen in seltenen Fällen eine Aplasie des Sinus maxillaris auftritt (Aydinlioğlu and Erdem 2004, Schneider 2018), sind bei den colobinen Primaten weder Kieferhöhlen noch andere Nasennebenhöhlen ausgebildet (Rae 1999).

Aus diesem Grund untersuchten wir in der vorliegenden Studie die Schädel der Primatenspezies *Macaca fuscata* und *Colobus guereza*. *Macaca fuscata* besitzt im Gegensatz zu *Colobus guereza* eine Kieferhöhle, was eine Ausnahme innerhalb der Familie der geschwänzten Altweltaffen darstellt (Rae 2008, Fleagle 2013). Morphologische Unterschiede der Nasenmuscheln sowie des gesamten Nasenkomplexes werden bei Säugetieren im Allgemeinen mit klimatischen und thermoregulatorischen Einflüssen in Verbindung gebracht (u.a. Thomson and Buxton 1923, Davies 1932, Shea 1977, Van Valkenburgh et al. 2004, Rae et al. 2003, Balczun 2008, Márquez and Laitman 2008, Noback et al. 2011, Green et al. 2012, Drefs 2013, Marks et al. 2019). Da von den Nasenmuscheln insbesondere die Concha nasalis inferior eine thermoregulatorische Funktion aufweist, haben wir in der vorliegenden Studie weiterhin untersucht, ob sich *Macaca fuscata* und *Colobus guereza* hinsichtlich der Größe und Morphologie dieser Nasenmuschel voneinander unterscheiden. Untersuchungen an nichtmenschlichen Primaten können zu einem besseren Verständnis für morphologische Besonderheiten der menschlichen Nasenhöhle beitragen (Paulli 1900, Cave 1973, Maier 1993).

Diese Arbeit verfolgt dabei im Einzelnen die folgenden Ziele:

1. Erfassung des Volumens und Beschreibung der Morphologie der Concha nasalis inferior und media bei *Macaca fuscata* und *Colobus guereza* anhand von DVT- und CT-Aufnahmen.
2. Vermessung der Grundlamellen der Conchae nasales sowie der Grundmaße der Nasenhöhle beider Primatenspezies.
3. Untersuchung der statistischen Zusammenhänge zwischen ausgewählten Maßen der Nasenhöhle.
4. Diskussion der Bedeutung der Befunde.

2. Literaturübersicht

2.1 Zur Systematik von *Macaca fuscata* und *Colobus guereza*

Die in dieser Arbeit untersuchten rezenten Primatenspezies *Macaca fuscata* und *Colobus guereza* gehören zur monophyletischen Gruppe der Trockennasenprimaten (Haplorrhini). Diese werden den Feuchtnasenprimaten (Strepsirrhini) gegenübergestellt. Die gemeinsamen Merkmale der Primaten sind unter anderem das heterodonte Gebiss mit drei verschiedenen Zahntypen, der Greiffuß mit einer opponierbarer Großzehe (Ausnahme: Mensch) und das Aufweisen eines Sulcus calcarinus im Okzipitallappen des Gehirns (Geissmann 2003). Die Trockennasenprimaten werden weiterhin aufgegliedert in die Infraordnung der Koboldmakis (Tarsiiformes) und die der eigentlichen Affen (Anthropoidea). Entsprechend ihrer Verbreitung werden die Anthropoidea ferner in Neuweltaffen (Platyrrhini) und Altweltaffen (Catarrhini) aufgeteilt. Zu den Altweltaffen zählen die Menschenaffen (Hominoidea) sowie die geschwänzten Altweltaffen (Cercopithecoidea), denen auch *Macaca fuscata* und *Colobus guereza* angehören (Starck 1995, Geissmann 2003).

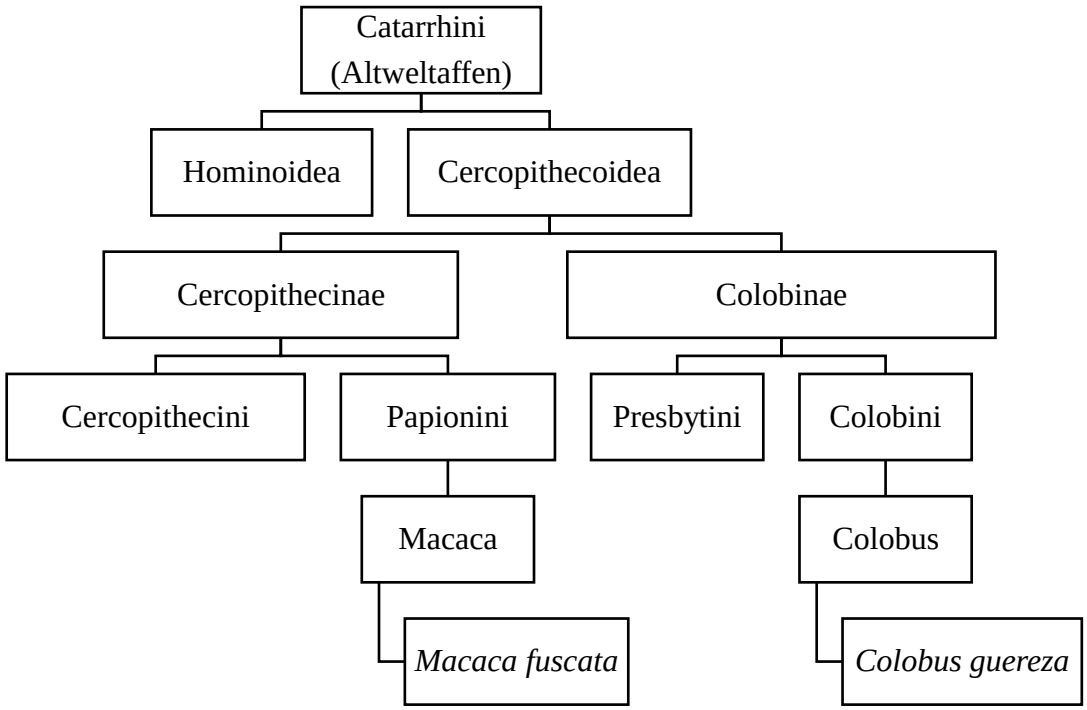

Abb. 1: Systematische Einteilung von *Macaca fuscata* und *Colobus guereza* (in Anlehnung an Geissmann 2003)

Die geschwänzten Altweltaffen (Cercopithecoidea) zählen zu den artenreichsten Familien der rezenten Primaten (Schmidt 2010). Sie bewohnen eine große Anzahl an Klima- und Vegetationszonen und haben sich über weite Teile Asiens und Afrikas verbreitet (Wolfheim 1983, Geismann 2003). Die Vertreter der Cercopithecoidea weisen mehrere anatomische Merkmale auf, welche sie von den Hominoidea unterscheiden. Sehr charakteristisch sind die spezialisierten Molaren mit einer bilophodonten Anordnung der Höcker und die dolchartigen Eckzähne (Swindler 2002). Bei Betrachtung der Schädelanatomie zeigt sich eine kleine Nasenöffnung sowie eine schmale Zahnbogenreihe. Im Gegensatz zu den meisten anderen Primaten fehlen bei den Cercopithecoidea die Kieferhöhlen (Rae 2008, Fleagle 2013). Eine Ausnahme bildet hier die Gattung der Makaken. Die beiden Unterfamilien, Cercopithecinae und Colobinae, unterscheiden sich in verschiedenen Aspekten ihrer Anatomie, wobei viele Unterschiede mit grundlegenden Anpassungen an die Ernährung zusammenhängen. So besitzen die Cercopithecinae, welche sich überwiegend von Früchten ernähren, breitere Incisivi und Molaren mit relativ niedrigen Höckern sowie Backentaschen zur Aufbewahrung der Nahrung. Colobinae hingegen gelten als Blatt- und Samenfresser und haben, neben schmalen Incisivi und Molaren mit hohen Höckern, einen komplexen mehrkammerigen Magen (Swindler 2002, Geissmann 2003, Fleagle 2013).

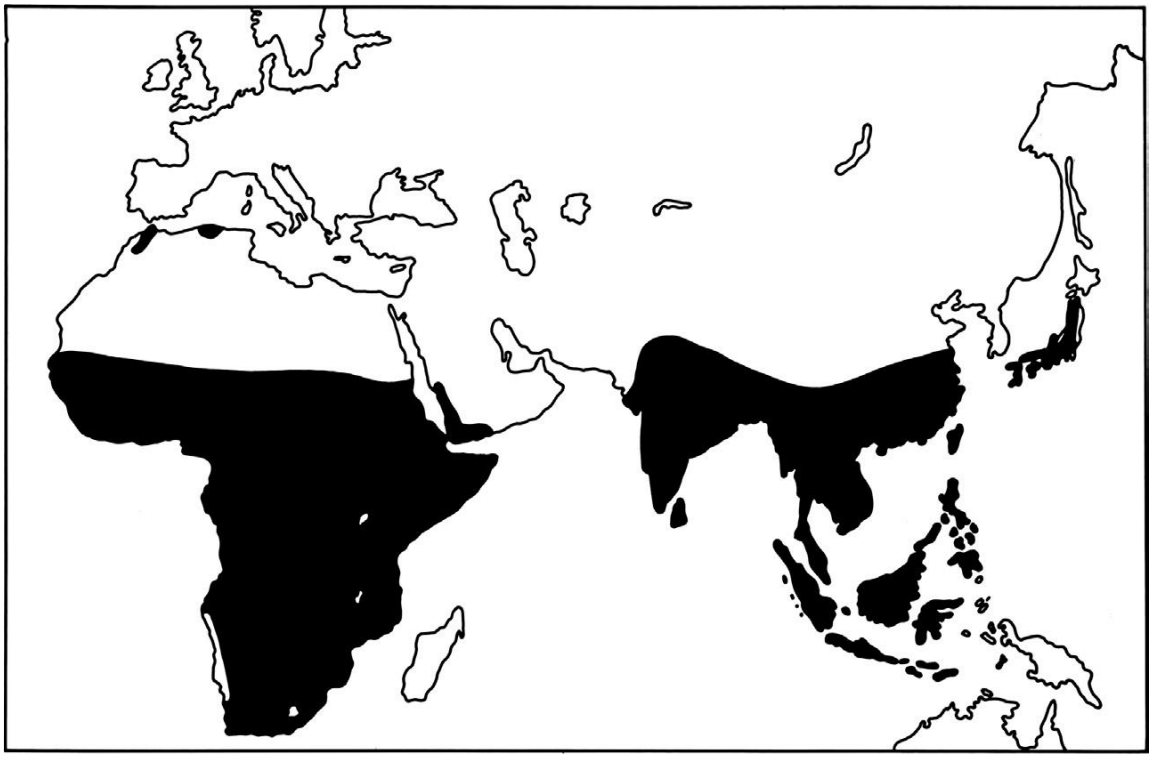

Abb. 2: Verbreitungsgebiet der Cercopithecoidea (Fleagle 2013, Abdruck mit freundlicher Genehmigung des Verlages)

Macaca fuscata

Das größte Verbreitungsgebiet der Cercopithecinae weist die Gattung der Makaken auf. Es erstreckt sich über Nordwest-Afrika und Indien bis nach Japan, Taiwan, den Philippinen und Bali. Neben dem Menschen sind sie damit das am weitesten verbreitete Primatentaxon (Wolfheim 1983, Geissmann 2003, Schmidt 2010). Makaken können in verschiedene Artengruppen eingeteilt werden, jedoch war die Anzahl und Zusammensetzung dieser Gruppen in den letzten 50 Jahren Gegenstand zahlreicher Diskussionen. Anhand morphologischer Unterscheidungsmerkmale wie der Dentition, der äußeren Geschlechtsorganen und des Schädels werden die rezenten Arten der Makaken in vier Gruppen unterteilt (Fooden 1976, Delson 1980). Hierzu zählen die Fascicularisgruppe, die Sinicagruppe, die Silenus- und die Sylvanusgruppe (Delson 1980). Fooden (1976) vereint letztere in der Silenus-Sylvanusgruppe und fügt ergänzend die Arctoidesgruppe hinzu. Die auf DNA-Analyse basierende phylogenetische Studie von Li et al. (2009) unterstützt diese Klassifikationen.

Macaca fuscata, auch Rotgesichtsmakak oder Japanmakak genannt, gehört zur Fascicularisgruppe und ist auf den Inseln Japans endemisch, wo sie von der Shimokita-Halbinsel Honshus im Norden bis zur Insel Yakushima im Süden eine weite Verbreitung aufweisen. Sie sind somit die am nördlichsten vorkommende Affenart der Welt (Hori et al 1977, Muroyama and Yamada 2010). Die Population auf der Insel Yakushima wird als Subspezies *Macaca fuscata yakui* von den restlichen Populationen auf dem japanischen Hauptarchipel abgegrenzt, welche dementsprechend als *Macaca fuscata fuscata* zusammengefasst werden (Yano et al. 2020).

Während die Farbe des Fells von blass gelbbraun über graubraun bis hin zu dunklem goldbraun variiert, ist die dünn beharrte Gesichtshaut rosa bis rötlich gefärbt. Obwohl der Sexualdimorphismus bei dieser Art weniger stark ausgeprägt ist, sind die Männchen etwas größer und schwerer als die Weibchen. Die durchschnittliche Kopfrumpflänge der Männchen beträgt 57 cm bei einem Gewicht von 11,3 kg. Das Weibchen hingegen ist im Durchschnitt 52 cm groß und wiegt 8,4 kg (Fooden and Aimi 2005). Die Ernährung von *Macaca fuscata* ist saisonal unterschiedlich und besteht hauptsächlich aus Früchten, Blättern, Samen und Rinde. Doch auch Pilze, wirbellose Landtiere sowie landwirtschaftliche Produkte in der Nähe von menschlichen Siedlungen können das Nahrungsrepertoire erweitern (Wada and Ichiki 1980, Hill 1997, Nakagawa 1997).

Colobus guereza

Die Colobinae bilden die zweite Unterfamilie der Cercopithecoidea. Sie können hierbei in die zwei monophyletischen Gruppen der afrikanischen Colobini (Stummelaffen) und der asiatischen Presbytini (Schlankaffen) eingeteilt werden (Geissmann 2003, Schmidt 2010). Ein bedeutsames Unterscheidungsmerkmal dieser beiden Gruppen ist das Fehlen des Daumens bei den afrikanischen Colobini (Groves 2007). Die Colobini werden weiterhin in drei folgende Gattungen eingeteilt, welche sich anhand der Färbung des Fells unterscheiden lassen: Schwarz-weiße Colobini (*Colobus*), olivefarbene Colobini (*Procolobus*) und rote Colobini (*Piliocolobus*).

Colobus guereza oder Mantelaffe lässt sich neben *Colobus satanas*, *Colobus angolensis*, *Colobus polykomos* und *Colobus vellerosus* den Schwarz-weißen Stummelaffen zuordnen (Geissmann 2003, Kingdon and Groves 2013). Das Verbreitungsgebiet von *Colobus guereza* erstreckt sich über Äquatorialafrika von Ost-Nigeria bis Äthopien, wo es mit den jeweiligen Unterarten die größte Verteilung aller Schwarz-weißen Stummelaffen aufweist (Fashing and Oates 2013). Hierbei werden die acht Unterarten *Colobus guereza guereza*, *C. g. gallarum*, *C. g. occidentalis*, *C. g. dodingae*, *C. g. matschiei*, *C. g. kikuyuensis*, *C. g. percivali*, and *C. g. caudatus* unterschieden (Hull 1979). Das Grundfell der Mantelaffen ist schwarz gefärbt, während die Schultern, Körperseiten und der Schwanz mit langen weißen Haaren verziert sind. Das schwarze Gesicht ist von einem Ring aus weißem Fell umgeben (Ankel-Simons 2007).

Colobus guereza gehört zu den größten und robustesten Arten der afrikanischen Colobini und weist einen Sexualdimorphismus in der Größe auf. Die Größe der Kopfrumpflänge beträgt bei den Männchen im Durchschnitt 61,5 cm bei einem Gewicht von 9,5 kg. Die Weibchen werden im Durchschnitt 57,6 cm groß und wiegen 7,6 kg (Fleagle 2013, Fashing and Oates 2013). Die Ernährung besteht hauptsächlich aus Blättern und Früchten (Swindler 1998). Jedoch fällt die Aufteilung dieser Nahrungsgrundlagen regional unterschiedlich aus, wobei Blätter bei einigen Gruppierungen zwischen 78,5% und 94% der Ernährung ausmachen können (Harris and Chapman 2007).

2.2 Anatomie und Funktion der Nasenhöhle

Anatomie der Nasenhöhle

Die Nasenhöhle bildet den ersten Teil des oberen Respirationstraktes und ist in ihrer grundlegenden Form bei der großen Mehrheit der Säugetiere gleichermaßen aufgebaut (Paulli 1900, Negus 1958, Moore 1981, Reznik 1990). Entsprechend der menschlichen Anatomie kann die Nasenhöhle in ein kleines, vorderes Vestibulum und die eigentliche Nasenhöhle unterteilt werden. Der Übergang zur eigentlichen Nasenhöhle wird durch eine Änderung des Epithels angezeigt und kann durch einen Grat markiert sein. Ein median liegendes Septum, welches sich posterior aus einem knöchernen und anterior aus einem knorpeligen Anteil zusammensetzt, teilt die Nasenhöhle in eine linke und rechte Hälfte ein (Moore 1981, Smith et al. 2014). Den Boden der Nasenhöhle bildet der harte Gaumen, während das Dach aus einer anterioren Verlängerung der Schädelbasis mit der Lamina cribosa des Os ethmoidale und einem Teil des Os frontale sowie dem Os nasale besteht. Die laterale Begrenzung setzt sich aus dem Os praemaxillare, Os maxillare, Os palatinum, Os frontale, Os lacrimale, Labyrinthus ethmoidalis, Nasoturbinale und Maxilloturbinale zusammen.

Der anteriore Zugang in die Nasenhöhle erfolgt über die Nares. Posterior geht die Nasenhöhle mit den Choanen in den Nasen-Rachen-Raum über (Moore 1981, Schumacher 1997). Ausgekleidet wird das Vestibulum nasi durch ein mehrschichtiges Plattenepithel. Typisch sind weiterhin Nasenhaare (Vibrissae). Die Nasenhaupthöhle weist ein respiratorisches Flimmerepithel auf, das sich in den Nasopharynx fortsetzt (Harkema 1991, Wako et al. 1999). Darüber hinaus befindet sich im oberen hinteren Bereich der lateralen Nasenhöhlenwand, des Septum nasi sowie der oberen Nasenmuschel die Regio olfactoria (Morrison and Costanzo 1992, Leopold et al. 2000). Die Gesamtfläche der respiratorischen Schleimhaut wird zudem durch die Nasenmuscheln vergrößert, welche von der lateralen Wand der Nasenhöhle in das Lumen hineinragen. Aufgrund ihres knöchernen Ursprungs werden diese Nasenmuscheln aus vergleichend-anatomischer Sicht von kaudal nach kranial als Maxilloturbinale, Nasoturbinale und Ethmoturbinale bezeichnet (Moore 1981, Smith and Rossie 2006). Entsprechend ihrer Lage werden die Ethmoturbinalia weiterhin in Endo -und Ektotubinalia eingeteilt. Die Ethmoturbinalia können von oben nach unten nummeriert werden (Paulli 1900). Auf die Morphologie und Funktionen der Nasenmuscheln soll später eingegangen werden.

Säugetiere können in Bezug auf die Entwicklung des Geruchsapparates respektive ihrer Fähigkeiten der Geruchswahrnehmung in makrosmatisch, mikrosmatisch und anosmatisch eingeteilt werden (Turner 1890). Typischerweise trennt bei makrosmatischen Säugetieren eine vom Os sphenoidale ausgehende, horizontal verlaufende Lamelle die Nasenhöhle im posterioren Bereich in ein oberes und ein unteres Kompartiment. Diese Knochenlamelle wird als Lamina transversa ossis sphenoidalis bezeichnet. Während sich das untere Kompartiment als enger Choanalkanal posterior in den Nasen-Rachen-Raum eröffnet, endet das obere Kompartiment blind im sogenannten Recessus olfactorius, wo sich die Ethmoturbinalia befinden (Jankowski 2013). Diese räumliche Aufteilung ermöglicht eine Trennung der eingeatmeten Duftstoffe vom Hauptatemstrom. Der längere Kontakt der Riechpartikel mit dem olfaktorischen Epithel im Recessus olfactorius führt somit zu einer Verbesserung des Geruchssinns (Cave 1967). Innerhalb der Primaten gelten vornehmlich die Strepsirrhini als makrosmatische Tiere. Demgegenüber sind Anthropoidea Mikrosmatiker (Cave 1967).

Die Nasenhöhle der Anthropoidea unterscheidet sich deutlich von denen anderer Säugetiere. Im Vergleich mit den Nicht-Primaten sowie den Feuchtnasenprimaten zeigt sich bei den Anthropoidea eine Reduzierung der anterior - posterioren Ausdehnung sowie eine Höhenzunahme der Nasenhöhle (Cave 1973, Loo 1973, Moore 1981). Letzteres ist insbesondere bei den Hominiden zu beobachten. In der Nasenhöhle der Anthropoiden fehlt die oben beschriebene Lamina transversa ossis sphenoidalis und folglich auch der Recessus olfactorius. Die morphologischen Unterschiede der Nasenmuscheln werden unter dem Punkt *Entwicklung der Nasenmuscheln* erläutert.

Die zunehmende Dominanz des Sehsinns bei Primaten und der damit einhergehenden Frontalstellung sowie Konvergenz der Augen führte zu einer Einengung der Interorbitalregion und damit ebenfalls zu morphologischen Veränderungen der Nasenhöhle hin zu einer eher schmalen und hohen Form (Ross 1996, Jankowski 2013).

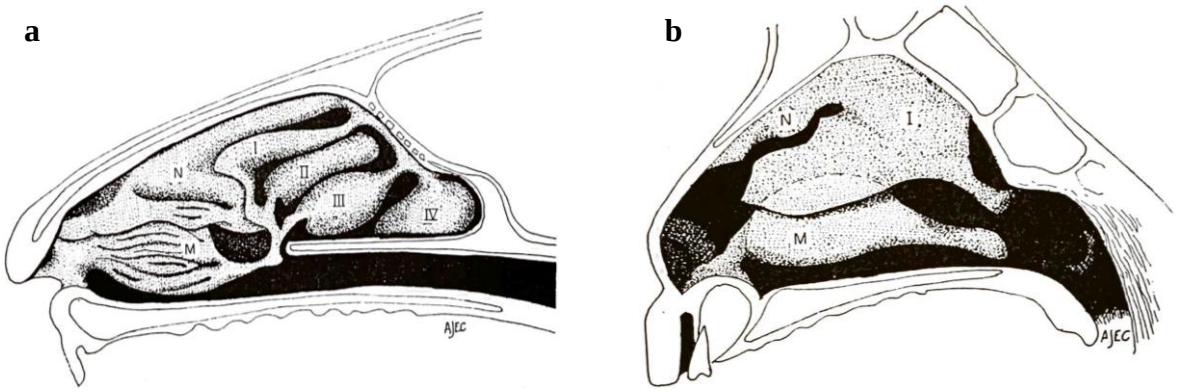

Abb. 3: Schematische Darstellung der Nasenhöhle im Sagittalschnitt. **a** – Nicht-Primat (Eichhörnchen), **b** – Primat (Makak), M – Maxilloturbinale, N – Nasoturbinale,
I - IV – Ethmoturbinalia (Cave 1973, Abdruck mit freundlicher Genehmigung der Oxford University Press im Namen der Linnean Society of London)

Funktion der Nasenhöhle

Die Nasenhöhle stellt eine Verbindung zwischen der Umgebungsluft und dem Atmungssystem her und spielt somit eine entscheidende Rolle in der Konditionierung der eingeatmeten Luft. Damit wird eine unbeeinträchtigte Funktion des alveolären Gasaustauschs in den Lungen gewährleistet. Zur Konditionierung zählt hierbei die Anfeuchtung und Erwärmung sowie die Reinigung und Filtration des Luftstroms (Elad et al. 2008, Keck et al. 2010). Die Nasenhöhle dient außerdem als Resonanzorgan für die Sprachbildung (Geurkink 1983).

Die Atemluft wird durch den mukoziliären Transportmechanismus des respiratorischen Epithels gereinigt, sodass Partikel aus der Luft gefiltert werden können. Hierbei spielen die Kinozilien des Epithels, welche mit einer dünnen Flüssigkeitsschicht auf der Luft zugewandten Seite der Zellen interagieren, eine wichtige Rolle (Negus 1960, Bustamante-Marin and Ostrowski 2017). Der in Richtung Nasopharynx gerichtete Zilienschlag gewährleistet so den Abtransport von Fremdstoffen aus der Atemluft. Diese mukoziliäre Aktivität, einschließlich der Schlagfrequenz der Zilien, kann abhängig von der Körpertemperatur sein (Mercke et al. 1974, Merkus et al. 1998).

Die Nasenhöhle ist weiterhin bedeutsam für die Thermoregulation des Körpers (Hillenius 1992). Die Atemluft wird während der Passage durch die menschliche Nase auf eine Temperatur zwischen 31°C und 34°C erwärmt und auf eine relative Luftfeuchtigkeit von 90 bis 95% angefeuchtet (Ingelstedt and Ivstam 1951, Keck et al. 2000a). Dabei scheint das vordere Nasenhöhlensegment der Hauptbereich für die Erwärmung der eingeatmeten Luft zu sein (Keck et al. 2000b). Ermöglicht wird diese Funktion durch einen Gefäßplexus in der Schleimhaut der Nasenmuscheln, insbesondere des Maxilloturbinale, und des Nasenseptums. Demnach wird die Temperatur durch die Durchblutung der Nasenhöhlenschleimhaut gesteuert (Abbott et al. 2001). Als Folge der Wärmeübertragung und Verdunstung während der Inspiration geht die Wärme an den Oberflächen der Nasenhöhle verloren und die Temperatur sinkt hier unter die Körpertemperatur. Die ausgeatmete Luft wird während der Exspiration wieder abgekühlt, was wesentlich zur Thermoregulation und zur Regulation des Wasserhaushalts beiträgt (Walker et al 1961, Jackson and Schmidt-Nielsen 1964, Hillenius 1992).

Die Geruchswahrnehmung ist für nahezu alle Tiere ein lebenswichtiger Sinn, wobei es auffallende Ähnlichkeiten zwischen verschiedenen Spezies bei der Organisation der Riechbahn und des olfaktorischen ZNS, der Beschaffenheit der Geruchsrezeptoren sowie dem geruchsgesteuerten Verhalten und Gedächtnis gibt (Ache and Young 2005). Die Verarbeitung olfaktorischer Reize unterstützt die Nahrungssuche sowie das Reproduktionsverhalten und hilft bei der sozialen Organisation und der Orientierung. (Albrecht and Wiesmann 2006). Die Riechschleimhaut befindet sich im spezialisierten olfaktorischen Epithel der Regio olfactoria, welche sich jedoch im Laufe der Primatenevolution deutlich reduziert hat. Während das olfaktorische Epithel bei Makrosmatikern große Teile der Nasenhöhle auskleidet, ist es bei den Primaten nur auf Areale im Bereich der oberen Nasenmuscheln und des angrenzenden Nasenseptums begrenzt (Smith et al. 2004, Smith et al. 2007).

Darüber hinaus bildet die Oberfläche des oberen Respirationstraktes oftmals die erste Kontaktstelle zwischen eindringenden Erregern und dem Organismus. Dementsprechend zählen auch die spezifischen und unspezifischen Abwehrmechanismen der respiratorischen Schleimhaut zu den Aufgaben der Nasenhöhle (Ganz 2002, Keck et al. 2010).

Die Nasenschleimhaut ist das am häufigsten infizierte Gewebe im Körper, mit über 200 Virenarten, die vor allem Erkältungsinfekte hervorrufen können (Eccles 1996). Dabei hat sich seit der COVID-19-Pandemie Anfang 2020 gezeigt, dass das neuartige Coronavirus insbesondere über die Nasenschleimhaut in den Organismus eindringt (Sungnak et al. 2020, Ahn et al. 2021). Das Sekret der Schleimhaut trägt maßgeblich zur Abwehr von inhalierten Mikroorganismen und Noxen bei. Es ist reich an antimikrobiellen Faktoren wie Oxidantien, Enzymen, antimikrobiellen Peptiden und Proteaseinhibitoren (Denney and Ho 2018). Mehrere Immunzellpopulationen sind im respiratorischen Epithel ansässig. Dazu zählen spezifische und unspezifische Zellen des Immunsystems wie Makrophagen, Keulenzellen, dendritische Zellen, eosinophile Granulozyten und Lymphozyten (Ganesan et al. 2013, Lüllmann-Rauch 2015). Epithelial gebildetes Stickstoffmonoxid (NO) scheint ebenfalls unterstützend in die nasale Immunabwehr einzuwirken. Ermöglicht wird dies durch NO-Synthasen, welche jedoch in deutlicher höherer Konzentration in den Nasennebenhöhlen vorkommen als in der Nasenhöhle selbst (Lundberg et al. 1995, Xu et al. 2006). Lewandowski (1998) weist darauf hin, dass Arten ohne Nasennebenhöhle, z.B. Mantelpaviane, signifikant niedrigere NO-Konzentrationen in der Nasenhöhle aufweisen. NO erfüllt im Körper ein komplexes Aufgabenfeld, wo es unter anderem als Neurotransmitter im zentralen Nervensystem und als Vasodilatator an der glatten Gefäßmuskulatur wirkt (Snyder and Bredt 1992).

2.2.1 Einflussfaktoren der Nasenhöhlenmorphologie

Die Form der Nasenhöhle ist ein bedeutender Faktor für die Strömungsmechanik des nasalen Luftstroms. Dabei passiert die Atemluft im Wesentlichen drei Bereiche der Nasenhöhle, die als Einströmbereich (Vestibulum und vordere Nasenhöhle), Funktionsbereich (Nasenmuscheln) und Ausströmbereich (hintere Nasenhöhle, Choanen und Nasopharynx) bezeichnet werden können (Mlynski et al. 2001). Da die Maße und Eigenschaften dieser Bereiche den nasalen Luftstrom während der Inspiration und der Exspiration beeinflussen, wirken sich Variationen der Nasenhöhlenmorphologie direkt auf ihre Funktion aus (Noback et al. 2011).

Schumacher (1997) untergliedert die auf die Schädelmorphogenese wirkenden Einflüsse in allgemeine und lokale Faktoren. Zu den allgemeinen, auf den Organismus einwirkenden Faktoren, werden unter anderem genetische Faktoren, die Ernährung, das Geschlecht und die klimatischen Bedingungen gezählt. Zu den lokalen Faktoren zählt Schumacher (1997) die Sinnesorgane, die Dentition, die Muskulatur sowie die Atmung und die Pneumatisation. Auf Faktoren, die einen Effekt auf die Morphologie der Nasenhöhle haben können, soll deshalb im Nachfolgenden eingegangen werden.

Eine wichtige Aufgabe der Nasenhöhle ist die Konditionierung der eingeatmeten Luft, was vermuten lässt, dass klimatische Bedingungen wie Temperatur und Luftfeuchtigkeit einen Einfluss auf diese Funktion haben. Frühe Studien haben gezeigt, dass menschliche Populationen aus trocken-kalten Gebieten eine vergleichsweise schmale und hohe Nase aufweisen, während Populationen aus feucht-warmen Gebieten eine flachere und breitere Nase besitzen (Thomson and Buxton 1923, Davies 1932). Wolpoff (1968) merkte jedoch an, dass der Nasenindex, welcher sich aus der maximalen Breite und Höhe der Nase berechnen lässt, nicht repräsentativ für die Nasenform ist und demnach die Nasenbreite als besserer Indikator für den klimatischen Einfluss auf die Morphologie geeignet ist. Dabei scheint die Breite eher durch die Luftfeuchtigkeit beeinflusst zu werden, während sich die Temperatur auf die Höhe der Nase auswirkt (Franciscus and Long 1991).

Studien von Rae et al. (2003) und Márquez and Laitman (2008) verglichen die Morphologie des Nasenkomplex von *Macaca mulatta* und *Macaca fascicularis*. Obgleich beide Spezies zur Fascicularisgruppe der Makaken gehören, sind sie unterschiedlichen klimatischen Bedingungen ausgesetzt. Die Autoren berichten über kleinere Kieferhöhlen bei *Macaca mulatta*, derjenigen Spezies, die in kälteren Regionen lebt. Darüber hinaus wurden bei Primaten, einschließlich des Menschen, größere Nasenhöhlenvolumina in kälteren Regionen festgestellt (Shea 1977). Balczun (2008) und Drefs (2013) befassten sich ebenfalls mit den Größenverhältnissen der Nasenhöhle von Makaken und Menschen. Die Autoren berichten über größere Nasenhöhlen bei Populationen, die kälteren Temperaturen ausgesetzt sind. Zusammenhänge zwischen den klimatischen Bedingungen und der skelettalen nasalen Protrusion wurden von Carey and Steegman (1981) untersucht. Die Ergebnisse zeigten ein stärkeres Ausmaß der nasalen Protrusion bei niedriger Luftfeuchtigkeit in kalt-trockenen Regionen.

Signifikante Korrelationen zwischen der Nasenhöhlenmorphologie und den klimatischen Bedingungen konnten auch Noback et al. (2011) in ihrer Studie darlegen. Die Nasenhöhlen in kalten und trockenen Regionen sind im Vergleich zu denen aus heiß-feuchten Klimazonen relativ höher und schmaler. Hierbei scheint die knöcherne Nasenhöhle eher mit der Temperatur und der Nasopharynx mit der Luftfeuchtigkeit assoziiert zu sein (Noback et al. 2011).

Biomechanische Einflüsse haben ebenfalls eine bedeutende Wirkung auf die Schädelmorphogenese. So kann stetiger Muskelzug durch eine Stimulierung der Osteogenese die Neubildung von Knochen fördern und somit die Formwerdung des Schädels beeinflussen (Herring 1993, Schumacher 1997). Die von den Kaumuskeln generierten Kaukräfte können dementsprechend über Kaudruckpfeiler den Bau des Gesichtsschädels prägen und so im Zusammenhang mit vertikalen oder transversalen Formabweichungen stehen (Ingervall and Helkimo 1978, Kiliaridis 1995, Toro-Ibacache et al. 2016).

Antón (1996) verglich in ihrer Studie unterschiedliche Arten von *Macaca*, welche verschiedene Ernährungsgewohnheiten aufweisen und stellte Unterschiede in der Schädelmorphologie fest. So soll das vertikal tiefere und anterior-posterior kürzere Gesicht sowie der weiter anterior gelegene Musculus masseter bei *Macaca fuscata* mit einer größeren okklusalen Belastung bei härterer Nahrung zusammenhängen. Ähnliche morphologische Unterschiede weisen auch afrikanische Colobini mit unterschiedlicher Ernährungsweise auf. Koyabu and Endo (2009) berichten, dass Samenfresser unter anderem ein anterior-posterior kürzeres Gesicht, kürzere Zahnreihen und breitere Jochbeinbögen haben, während blattfressende Colobini entgegengesetzte morphologische Tendenzen aufweisen. Den Einfluss der Nahrung auf das kraniofaziale Wachstum untersuchten auch Corruccini and Beecher (1982), indem sie zwei Populationen von Totenkopfaffen mit jeweils harter und weicher Kost fütterten. Ihre Ergebnisse zeigen, dass Populationen mit fester Nahrung deutlich breitere Ober -und Unterkiefer sowie höhere Gaumen aufweisen, also solche, die mit weicher Nahrung gefüttert wurden. Derartige Veränderungen scheinen primär vom Einfluss der Kaumuskulatur als von anderen Komponenten des stomatognathen Systems abhängig zu sein. So führten einseitige Zahnextraktionen und Kieferresektionen bei Tieren mit unterschiedlichen Kautypen zu weniger morphologischen Veränderungen des Schädels als einseitige Kaumuskelresektionen (Schumacher 1968).

Gleichermaßen spielt die Dentition, die an der Ausbildung des Alveolarfortsatzes beteiligt ist, eine Rolle in der Schädelmorphogenese. Auch die Atmung kann die Wölbung des Gaumens beeinflussen und sich somit auf die Formgebung des Nasenbodens auswirken (Schaeffer 1920, Schumacher 1997). So berichten Lee et al. (2007) von signifikanten anatomischen Veränderungen der oberen Atemwege bei Personen mit permanenter Mundatmung. Auch Bresolin et al. (1983) beobachteten schmalere und höhere Gaumen bei Kindern mit nasalen Atemwegsobstruktionen.

2.2.2 Entwicklung der Nasenmuscheln

Das Vorhandensein von Nasenmuscheln ist ein charakteristisches Merkmal der Säugetiere. Zwar gibt es zahlreiche Variationen in ihrer Konfiguration, jedoch ist die Komplexität der Nasenmuscheln im Allgemeinen bei fast allen Säugetieren sehr ausgeprägt (Paulli 1900, Negus 1958, Moore 1981, Hillenius 1992). Während die vollständigen Strukturen der Nasenmuscheln in Fossilien kaum erhalten sind, können ihre knöchernen Anheftungszonen an den lateralen Wänden der Nasenhöhle auf ihr Vorhandensein hinweisen. Diese charakteristischen Grate, im nachfolgenden entsprechend des klinischen Sprachgebrauchs als Grundlamellen bezeichnet, konnten schon bei den Vorfahren der Säugetiere, den Pelycosauriern, nachgewiesen werden (Hillenius 1994). Hillenius (1994) wies darauf hin, dass sie den Grundlamellen der olfaktorischen Naso- und Ethmoturbinalia der heutigen Säugetiere ähneln. Entsprechende Strukturen, die den Grundlamellen der Maxilloturbinalia rezenter Säugetiere ähneln, erschienen bei den Therapsiden, den Nachfahren der Pelycosaurier. Aus den Cynodontia, einer Gruppe der Therapsiden, entwickelten sich vor ca. 215 Millionen Jahren die ersten Säugetiere (Hillenius 1992, Hillenius 1994, Owerkowicz et al. 2015).

Wie oben beschrieben, ist die respiratorische Schleimhaut der Nasenmuscheln bedeutend für die Thermoregulation der Säugetiere und die Verringerung des respiratorischen Wasserverlustes. Im Laufe der Entwicklung kam es zu einer erhöhten Ventilationsrate der Säugetiere, was mit einer Einengung der Nasengänge einherging, um einen optimalen Austausch von Wasser und Wärme zu gewährleisten (Schroter and Watkins 1989). Hillenius (1992) und Owerkowicz et al. (2015) vermuten, dass die Entwicklung der Größe und Komplexität der Nasenmuscheln auf die Kompensation des respiratorischen Wasserverlustes bei gleichzeitig hoher Ventilationsrate während der Entwicklung der Endothermie bei den Säugetieren zurückzuführen ist.

Bei den Primaten, einschließlich des Menschen, kam es jedoch zu einer Reduktion in der Anzahl und Komplexität der Nasenmuscheln. Während das Maxilloturbinale bei den meisten Säugetieren weit ausgedehnt ist und aus mehrfach gefalteten sowie fein verzweigten Lamellen besteht, weist es bei den Primaten eine weitaus geringere Komplexität auf (Proetz 1941, Cave 1973, Smith and Rossie 2006). Es entspricht der Concha nasalis inferior beim Menschen (Abb. 4**a**). Das Nasoturbinale ist bei den Primaten meistens nicht mehr vorhanden oder nur noch rudimentär als schmaler Schleimhautkamm, dem Agger nasi, ausgebildet (Moore 1981). Auch die Anzahl der Ethmoturbinalia hat sich stark verringert. Obwohl bei Nicht-Primaten eine Anzahl von mehr als sieben Paaren der Ethmoturbinalia möglich ist, findet man beim Menschen lediglich die Ethmoturbinalia I und II, welche den Concha nasalis media und superior entsprechen (Paulli 1900, Cave 1973).

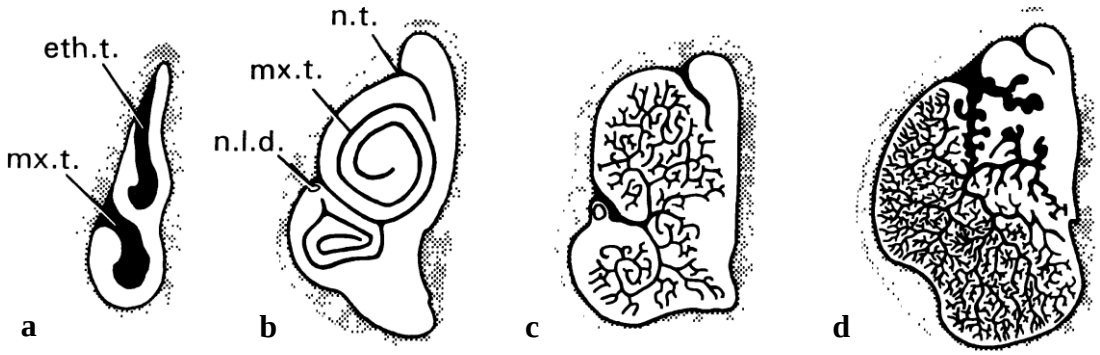

Abb. 4: Schematische Darstellung der anterioren Nasenmuscheln im Frontalschnitt verschiedener Säugetiere. **a** – Mensch, **b** – Afrikanischer Büffel, **c** – Dachs, **d** – Hundsrobbe, **mx.t.** – Maxilloturbinale, **eth.t.** – Ethmoturbinale, **n.t.** – Nasoturbinale, **n.l.d.** – Tränennasengang (Hillenius 1994, Abdruck mit freundlicher Genehmigung des Verlages).

Embryonale Entwicklung der Nasenhöhle

Peter (1913) unterteilt die embryonale Entwicklung der Nasenhöhle in vier Perioden, die nicht strikt nacheinander ablaufen, sondern teilweise ineinander übergreifen. Die erste Periode umfasst die Bildung des Gesichts und des Riechsacks, während die Entwicklung der Nasenmuscheln in der zweiten Periode mit der inneren Ausgestaltung der Nasenhöhle stattfindet. Der Vorgang des Gaumenschluss trennt die Mundhöhle von der endgültigen Nasenhöhle und wird als dritte Periode bezeichnet. Die vierte und letzte Periode beinhaltet die abschließende Formgebung und Ausgestaltung des inneren Baus der Nasenhöhle und endet erst nach der Pubertät (Peter 1913).

Während der zweiten Periode wird die Nasenhöhle von einer knorpeligen Nasenkapsel umgeben, welche mit dem Knorpel der Nasenscheidewand verbunden ist. An den lateralen Seitenwänden entstehen drei mesenchymale Wülste, die das Anlagematerial der späteren Nasenmuscheln bilden (Schumacher 1997, Neskey et al. 2009). Vereinzelt kann noch eine weitere Mesenchymwulst, aus der die Concha nasalis suprema hervorgeht, beobachtet werden. Hierbei handelt es sich nicht um einen Teil der Concha nasalis superior, sondern um eine selbstständige Hauptmuschel (Richter 1953). Peter (1913) berichtet, dass die Herausbildung der Nasenmuscheln im weiteren Verlauf eher durch ein aktives Vordringen des Epithels in das Mesenchym der lateralen Nasenwand, als durch ein Vorwachsen der Mesenchymwülste in das Lumen der Nasenhöhle geschieht. Somit wird das Anlagematerial der Nasenmuscheln aus der Nasenhöhlenwand herausgeschnürt und kann daher als stehengebliebener Rest der Nasenwand betrachtet werden (Peter 1913).

Laut Peter (1912) sind die Ethmoturbinalia Bildungen des Nasenseptums und haben ihren Ursprung im hinteren, oberen Bereich der septalen Wand der Nasenhöhle. Die untere Nasenmuschel hingegen entspringt der lateralen Nasenwand. Richter (1932) konnte diese Beobachtung nicht bestätigen und deutete die Vorwölbungen oberhalb des Maxilloturbinale als Anlagen für die Ethmoturbinalia I und II (Abb. 5). Durch das tiefere Einwachsen von Furchen werden die Nasenmuscheln z.T. weiter unterteilt und ihre Ansatzstellen an der Nasenwand verschmälert. Die so entstandenen Rinnen zwischen den Muscheln bilden die Grundlage für die späteren Nasengänge. Im Bereich des mittleren Nasenganges bildet sich eine taschenförmige Ausbuchtung aus, welche die Anlage für die Kieferhöhle und die unteren, vorderen Siebbeinzellen bildet (Schönemann 1901, Peter 1913, Richter 1932).

Ein bedeutender Unterschied zwischen Primaten und anderen Säugetieren ist die Lage der Nasenhöhle in Bezug zum Gehirn. Bei den meisten Säugetieren liegt die Nasenhöhle größtenteils vor dem Gehirn, was auf eine lang gezogene Schnauze zurückzuführen ist. Auch Primaten können eine solche nach anterior ausgedehnte Nasenhöhle aufweisen, wie es bei vielen Strepsirrhini der Fall ist. Als Beispiel sei hier der Großohr-Riesengalgo genannt (Peter 1912, Smith et al. 2007). Die Riechsäckchen lagern sich hier frühzeitig in der Ontogenese vor das Gehirn und ermöglichen so eine lang gestreckte Entwicklung des Muschelapparates. Die Ethmoturbinalia gelangen auf diese Weise hinter das Maxillo- und Nasoturbinale (Peter 1912).

Bei Primaten, einschließlich des Menschen, kam es hingegen zu einer Entfaltung des Gehirns mit Volumenzunahme des Neurokraniums und einer Abknickung der Schädelbasis. Damit verlagerte sich das Viszerokranium unter das Neurokranium. Die Zone der Nasenmuscheln liegt bei Primaten anfangs unter dem Gehirn und gelangt erst mit der Ausbildung der äußeren Nase etwas nach anterior, was dazu führt, dass sich die Ethmoturbinalia über das Maxilloturbinale lagern und die Nasenhöhle sich in die Höhe entwickelt (Peter 1912, Ross and Ravosa 1993, Swindler 1998).

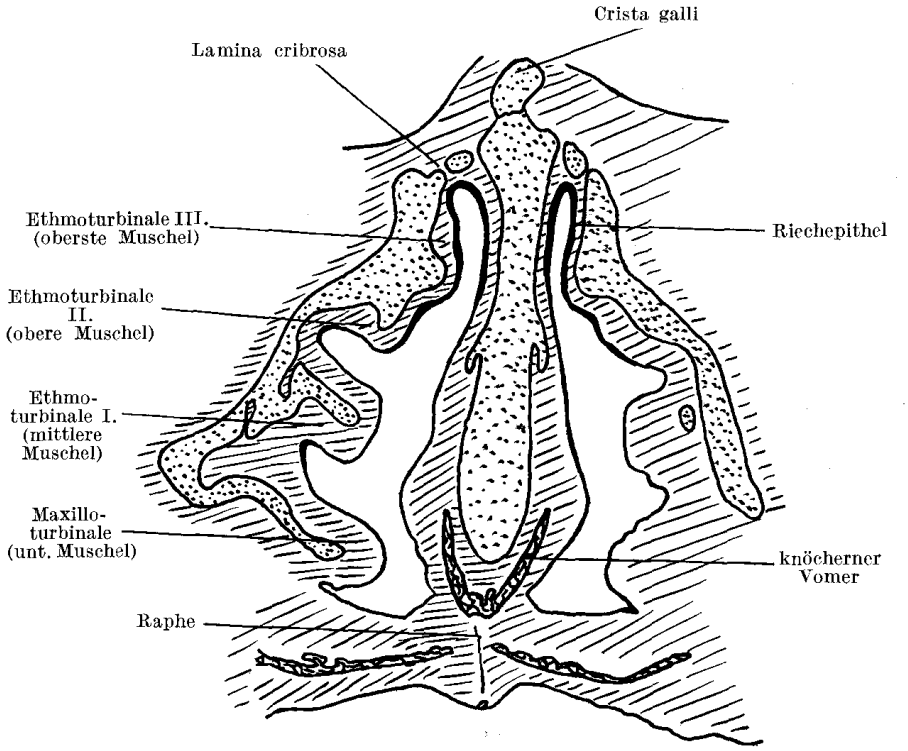

Abb. 5: Schematische Darstellung eines Frontalschnittes im posterioren Bereich der Nasenhöhle eines 10 cm langen menschlichen Embryos (Richter 1932).

2.2.3 Morphologie und Funktion der Nasenmuscheln

Die Nasenmuscheln sind dauerhafte und selbstständige Bildungen der Nasenwände und können nach Grünwald (1914) in Hauptwülste bzw. Hauptturbinalia, Teilwülste, Sekundärwülste und Interturbinalia eingeteilt werden. Als Teilwülste bezeichnet Grünwald (1914) untergeordnete Abspaltungen der Hauptwülste, während die Sekundärwülste temporär existierende Strukturen innerhalb der Ontogenese darstellen.

Die Interturbinalia sind zwischen den Hauptturbinalia stehende Zwischenmuscheln, die den Endo- und Ektoturbinalia von Paulli (1900) entsprechen. Ferner unterscheidet Grünwald (1914) die bereits erwähnten Maxillo-, Naso- und Ethmoturbinalia vom Atrioturbinale, Liminoturbinale und Septoturbinalia. Das s-förmig geschwungene Atrioturbinale befindet sich im anterioren Bereich der Nasenhöhle und ist bei den Säugetieren unterschiedlich stark ausgeprägt, wobei es auch als Teil des Maxilloturbinale gedeutet werden kann. Als Liminoturbinale wird die vordere glatte Nasenmuschel bei Vögeln und Schildkröten bezeichnet, wohingegen die Septoturbinalia oder Scheidewandmuscheln in voller Entfaltung beim Zweifinger-Faultier und dem Ameisenigel vorkommen, jedoch bei anderen Säugetierarten nur rudimentär ausgebildet sind (Grünwald 1914).

Zuckerkandl (1887) unterscheidet die Nasenmuscheln der Säugetiere in Riechwülste, welche den Ethmoturbinalia und dem Nasoturbinale entsprechen, sowie das Maxilloturbinale. Letzteres ist über die sogenannte Haftplatte, im klinischen Sprachgebrauch häufig als Grundlamelle bezeichnet, an der lateralen Nasenwand befestigt und weist verschiedene Erscheinungsformen auf (Abb. 6).

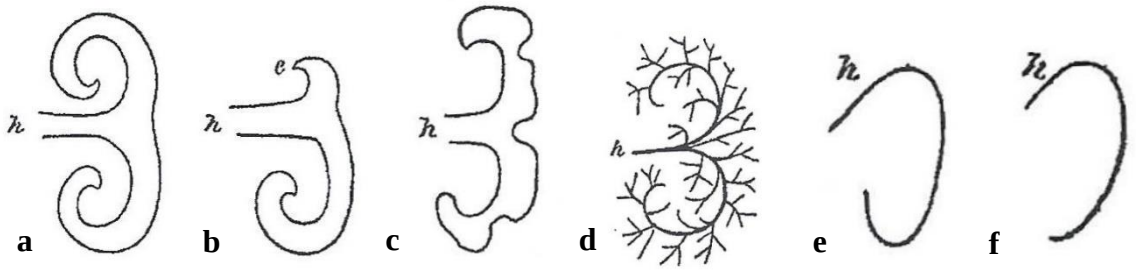

Abb. 6: Schematische Darstellungen des Maxilloturbinale im Frontalschnitt. **h** – Haftplatte, **a** und **b** – doppelt gewundene bzw. eingerollte Form, **c** – gefaltete Form, **d** – verästigte Form, **e** und **f** – einfach gewundene Form, **e** und **f** kommen bei den Primaten vor (Zuckerkandl 1887).

Die Ethmoturbinalia sind vor allem bei den Nicht-Primaten von großer Bedeutung für das Riechen, da sie durch zahlreiche Verzweigungen eine erhebliche Vergrößerung des olfaktorischen Epithels ermöglichen (Zuckerkandl 1887, Moore 1981, Owerkowicz et al. 2015). Sie bestehen aus der Basal- oder Ursprungslamelle, welche die knöcherne Anheftung an der lateralen Wand darstellt, und den End- und Haupteinrollungen sowie seitlich abzweigenden Einrollungen.

Die Basallamellen entspringen an der Lamina cribosa des Os ethmoidale und verlaufen nach anterior in Richtung Nasenhöhle (Seydel 1891). Seydel (1891) teilt die Ethmoturbinalia weiterhin in Haupt- und Nebenmuscheln ein, die den Endo- und Ektoturbinalia von Paulli (1900) entsprechen. Die Endoturbinalia ragen weiter in die Nasenhöhle hinein, sodass ihre Endaufrollungen in enger Nachbarschaft zum Nasenseptum stehen, während die Ektoturbinalia näher zur lateralen Nasenwand liegen (Abb. 7).

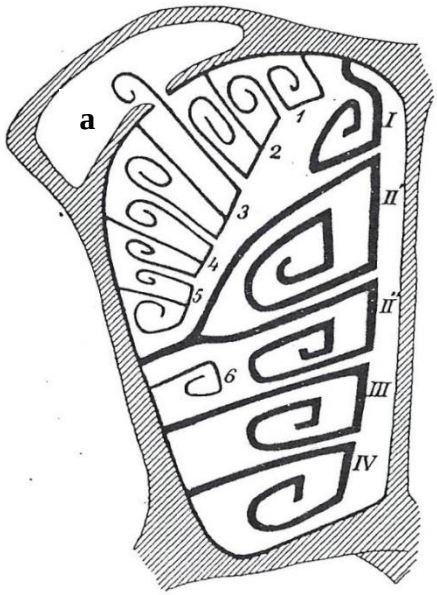

Abb. 7: Schematische Darstellung der Ethmoturbinalia eines Hundes im Frontalschnitt dicht vor der Siebbeinplatte. Römische Ziffern kennzeichnen die Endoturbinalia und arabische Ziffern die Ektoturbinalia, **a** – pneumatischer Raum im Stirnbein (Paulli 1900).

Das Nasoturbinale (I in Abb. 7) verläuft, vom oberen Rand der Lamina cribosa ausgehend, als leisten- oder wulstförmiges Gebilde am Übergang der seitlichen Nasenwand zum Dach der Nasenhöhle und erstreckt sich weit nach anterior, teilweise bis zur äußeren Nasenöffnung heran (Zuckerkandl 1887, Seydel 1891). Bei den Primaten ist es nur noch rudimentär vorhanden und kann dem Agger nasi gleichgesetzt werden (Peter 1902, Moore 1981). Die Anzahl der Ethmoturbinalia hat sich bei den Primaten ebenfalls verringert, wobei die Ektoturbinalia vollständig fehlen oder nur noch rudimentär vorhanden sind. Demzufolge sind bei Primaten nur Endoturbinalia anzutreffen. Ihre Form vereinfachte sich ebenfalls und ist meist auf eine einfache Basallamelle reduziert.

Zudem fehlen bei Primaten Einrollungen oder sekundären Faltungen, wie sie z.B. noch bei Hunden zu beobachten sind (Paulli 1900, Abb. 7). Im Gegensatz zu den meisten Strepsirrhini, bei denen meist vier Paare der Ethmoturbinalia anzutreffen sind, treten bei den Haplorrhini maximal drei Paare von Ethmoturbinalia auf (Cave 1973). Das Maxilloturbinale der Primaten ist klein und nur einfach oder doppelt gewunden (Abb. 6).

Die Bereiche der Nasenmuscheln weisen eine große Schleimhautoberfläche auf und stellen die eigentliche Funktionsfläche der Nasenhöhle dar. Aus aerodynamischer Sicht bilden sie schlitzförmige Räume aus, die durch ihre geringe Breite den Kontakt zwischen der eingeatmeten Luft und der Schleimhaut begünstigen (Mlynski et al. 2001). Durch die enorme Oberflächenvergrößerung der nasalen Schleimhaut werden die oben beschriebenen Funktionen der Nasenhöhle unterstützt. Bei der menschlichen adulten Nasenhöhle umfasst die respiratorische Schleimhaut im Bereich der Nasenmuscheln mit ca. 120 cm² eine etwa doppelt so große Oberfläche wie die Schleimhaut der Luftröhre (Reznik 1990). Elad et al. (2008) verweisen deshalb darauf, dass eine Resektion von Nasenmuscheln zu einer signifikanten Verschlechterung der Konditionierung und Erwärmung der Atemluft führt.

Der Anteil des respiratorischen und olfaktorischen Epithels von der Gesamtoberfläche der Nasenmuschelschleimhaut wird durch die Ausprägung des Geruchssinns der Spezies bestimmt (Reznik 1990). Während das Maxilloturbinale die Oberfläche der respiratorischen Schleimhaut vergrößert, sind die Ethmoturbinalia mit ihrer überwiegend olfaktorischen Schleimhaut an der Geruchsbildung beteiligt (Negus 1958). Beim Menschen hingegen scheint sich die Verteilung des olfaktorischen Epithels nur auf die laterale Oberfläche der oberen Nasenmuschel, die gegenüberliegende Wand des Nasenseptums und das posterior-superiore Dach der Nasenhöhle zu beschränken. Ähnliche Verteilungen konnten auch für Makaken und Seidenäffchen beobachtet werden (Moore 1981, Harkema 1991, Wako et el. 1999).

2.2.4 Meatus nasi und Grundlamellen

Nasengänge

Durch die Projektionen der Nasenmuscheln in die Nasenhaupthöhle werden auf jeder Seite des Nasenseptums drei Nasengänge gebildet, die als Meatus nasi inferior, Meatus nasi medius und Meatus nasi superior bezeichnet werden. Bei den Primaten führen diese Nasengänge über die Choanen in der Nasopharynx (Cave 1973, Ogle et al. 2012). Der Meatus nasi inferior befindet sich zwischen der unteren Nasenmuschel, dem Nasenhöhlenboden und der seitlichen Nasenwand. In diesen Gang mündet der Ductus nasolacrimalis, der die Tränenflüssigkeit in die Nasenhöhle ableitet. Bei den Haplorrhini mündet er weiter posterior als bei den Strepsirrhini (Rossie and Smith 2007). Der Meatus nasi medius liegt zwischen der unteren und mittleren Nasenmuschel und hat bedeutende anatomische Beziehungen zu den Nasennebenhöhlen. Hier sind die Mündungen der Stirnhöhle, der Kieferhöhle sowie der vorderen und mittleren Siebbeinzellen lokalisiert (Tillmann 2010). Der Meatus nasi superior wird vom Nasenhöhlendach, der oberen Nasenmuschel und der mittleren Nasenmuschel begrenzt. Dieser Gang weist Verbindungen zu den hinteren Siebbeinzellen sowie zur Keilbeinhöhle auf (Schumacher 1997, Ogle et al. 2012).

Während der Atmung dienen die Nasengänge der Weiterleitung der eingeatmeten Luft. Studien liefern jedoch unterschiedliche Ergebnisse über die räumliche Verteilung des nasalen Luftstroms (Simmen et al. 1999). Elad et al. (1993) schlussfolgern, dass das größte Volumen des Luftstroms am Boden der Nasenhöhle und somit unterhalb der Concha nasalis inferior verläuft. In anderen Studien wurde hingegen beobachtet, dass der Hauptluftstrom im Bereich des Meatus nasi medius sowie des Meatus nasi communis liegt (Scherer et al. 1989, Simmen et al. 1999, Zhao and Jiang 2014). Detaillierte In-vivo-Messungen stellen aufgrund der komplexen Morphologie und der Unzugänglichkeit der Nasengänge eine Herausforderung dar. Daher sollten Computersimulationen oder In-vitro-Experimente genutzt werden, um den Zusammenhang der anatomischen Form der Nasenhöhle und des nasalen Luftstromes zu untersuchen (Doorly et al. 2008). Die Ergebnisse von Zhao and Jiang (2014) deuten darauf hin, dass Variationen des Hauptströmungsweges innerhalb einer gesunden Bevölkerung normal sind. Der Luftstrom korreliert jedoch im Bereich des Meatus nasi medius signifikant mit der subjektiven Bewertung der Nasendurchlässigkeit (Zhao and Jiang 2014).

Auch Chen et al. (2010) identifizierten den mittleren Bereich der Nasenhöhle als Hauptweg für den Atemluftstrom, welcher von einem diffusen Muster turbulenter Strömungen an der Oberfläche der Nasenschleimhaut begleitet wird. Die Strömungseigenschaften, also die Art der Strömung sowie die Hauptströmungswege, waren in der Studie von Churchill et al. (2004) ebenfalls sehr unterschiedlich innerhalb der Stichprobe. Die Projektion der unteren Nasenmuschel hat einen signifikanten Einfluss auf die Strömungsgeschwindigkeit bzw. die Flussrate, bei der der Atemluftstrom turbulent wird. Dabei wurden bei stärker hervortretenden Nasenmuscheln eher laminare als turbulente Strömungen beobachtet (Churchill et al. 2004).

Inwiefern die Mündungen der Nasennebenhöhlen den nasalen Luftstrom beeinflussen ist noch nicht vollständig geklärt (Ismail et al. 2012). Proetz (1941) wies darauf hin, dass der Luftaustausch zwischen der Nasenhöhle und den Nasennebenhöhlen sehr gering ist. Aust et al. (1994) konnten in ihren Studien zeigen, dass 90% der enthaltenden Luft in den Kieferhöhlen in 5 Minuten ausgetauscht werden. Ismail et al. (2012) stellten zudem fest, dass die Aerodynamik des nasalen Luftstroms bei normaler Atmung hauptsächlich turbulent ist, während eine Obstruktion der Nasennebenhöhlen mit einem laminaren nasalen Luftstrom einhergeht. Weitere Untersuchungen erfassten einen diffus-turbulenten Luftaustausch in den Nasennebenhöhlen mit einer Rate von ungefähr 5 cm/s, unabhängig von den aerodynamischen Prozessen in der Nasenhöhle mit Raten von ca. 10 – 20 m/s (Saied et al. 2011).

Rhinomanometrie als Messverfahren des nasalen Luftstroms

Die Rhinomanometrie stellt einen Funktionstest der Atmung dar, die eine objektive und atemsynchrone Messung der Atemgeschwindigkeit in Abhängigkeit der Druckdifferenz zwischen Naseneingang und den Choanen ermöglicht. Andere Techniken wie der inspiratorische nasale Spitzenfluss (peak nasal inspiratory flow oder PNIF) oder die akustische Rhinometrie können Ergebnisse über den nasalen Luftstrom bei maximaler Anstrengung bzw. über das anatomische Maß der nasalen Querschnittsfläche liefern, während die aktive Rhinomanometrie funktionelle und physiologische Messungen des nasalen Luftstroms registriert (Mlynski and Beule 2008, Eccles 2011).

Das Messprinzip besteht darin, den Widerstand bzw. die Durchgängigkeit der Nase quantitativ zu erfassen. Dafür wird zum einen die Volumenstromgeschwindigkeit des Atems mittels der Fremdstrommethode oder der Eigenstrommethode erfasst und zum anderen wird die Druckdifferenz zwischen dem Naseneingang und den Choanen gemessen. Bei der Fremdstrommethode wird ein vorher definierter Luftstrom durch die Nase gesaugt oder geblasen, während der Patient die Luft anhält. Im Gegensatz dazu kann der Patient bei der Eigenstrommethode selbstständig atmen, wobei der Atemstrom mit Hilfe einer Atemmaske und Messdüsen erfasst wird. Die Messung des Choanaldrucks kann mit der posterioren oder anterioren Methode durchgeführt werden und stellt das eigentliche Messproblem der Rhinomanometrie dar. Bei normalem Epipharynx ist der Druck in der Choane und im Mund annähernd gleich und kann daher bei der posterioren Methode über einen Messschlauch im Mund aufgenommen werden. Alternativ wird der Messschlauch bei der anterioren Methode über einen Nasenadapter luftdicht an einem Nasenloch befestigt. Während der Atmung breitetet sich der Choanaldruck hierbei längs des verschlossenen Nasengangs aus und kann dadurch am Naseneingang gemessen werden (Bachmann 1982, Eccles 2011). Ein Nachteil der posterioren Methode besteht in dem großen Einfluss der Stellung des Velum palatinum zur Rachenhinterwand auf das Messergebnis. Die Beurteilung des Nasenwiderstandes kann hierbei durch die Erhöhung des ermittelten Widerstandes bis hin zur vollständigen Obstruktion verfälscht werden. Mlynski und Beule (2008) können daher die Durchführung der posterioren Rhinomanometrie nicht empfehlen.

Die Ergebnisse der Rhinomanometrie sollten zudem als begrenzt angesehen werden (Mlynski et al 2000). So können sie zwar Aussagen über das Ausmaß einer nasalen Atemwegsobstruktion ermöglichen, jedoch nicht über die Ursachen. Die Werte würden dementsprechend eine funktionelle Verbesserung nach einer Muschelresektion vortäuschen, obwohl die respiratorische Funktion der Nasen dadurch erheblich eingeschränkt wäre (Mlynski et al. 2000, Mlynski and Beule 2008). Einen Einfluss der Nasennebenhöhlen auf die Ergebnisse der akustischen Rhinometrie, eines nicht-invasiven Messverfahrens der nasalen Querschnittsfläche, untersuchte Mlynski in seiner Arbeit (2002). Er stellte fest, dass zu groß dargestellte Querschnittsflächen im posterioren Nasenabschnitt und im Epipharynx unter anderem auf eine Abbildung der Nasennebenhöhlen zurückzuführen ist. Dieser Einfluss ist bei normalen anatomischen Verhältnissen jedoch nur gering (Mlynski 2002).

Grundlamellen

Die Concha nasalis inferior stellt einen eigenständigen Knochen dar und ist über die Crista conchalis des Oberkiefers und die Lamina perpendicularis des Gaumenbeins an der lateralen Wand der Nasenhöhle befestigt. Die Concha nasalis media und Concha nasalis superior gehören hingegen zum Os ethmoidale und sind über ihre Grundlamellen mit diesem verbunden (Schumacher 1997, Ogle et al. 2012). Das Verständnis dieser komplexen Strukturen ist wichtig für die Effektivität bei chirurgischen Eingriffen und für die Senkung von Komplikationen (Kim et al. 2001).

Eördögh et al. (2021) teilen die Concha nasalis media in eine Lamina basalis und eine Lamina recurvata ein. Letztere befindet sich innerhalb der Nasenhöhle und wird als eigentliche Nasenmuschel verstanden. Die Lamina basalis bzw. Grundlamelle bildet die intraethmoidale Wurzel der Concha nasalis media und ist von den Siebbeinzellen umgeben. Sie setzt superior an der Lamina cribrosa des Os ethmoidale und lateral an der Lamina papyracea an (Terrier et al 1985, Sarna et al. 2002, Eördögh et al. 2021). Der posteriore Rand ist an der Lamina perpendicularis des Os palatinum befestigt. Des Weiteren trennt sie die vorderen von den hinteren Siebbeinzellen und ist daher ein wichtiger anatomischer Orientierungspunkt (Daniels et al. 2003, Ogle et al. 2012). Zinreich et al. (2019) weisen darauf hin, dass es eine enge anatomische Beziehung zwischen der Grundlamelle der Concha nasalis media und der Arteria ethmoidalis anterior gibt, was bei endoskopisch geführten Operationen berücksichtigt werden sollte.

Die Ergebnisse von Kim et al. (2001) zeigen, dass die Grundlamelle der Concha nasalis superior ebenfalls an der Lamina cribrosa des Os ethmoidale ansetzt. Dabei ist sie entweder mit der Grundlamelle der Concha nasalis media verschmolzen oder liegt separat hinter dieser. Die Ansätze dieser beiden Nasenmuscheln können als konstante und ineinander überlaufende Strukturen verstanden werden, die mehr hintereinander als übereinander verlaufen (Orlandi et al. 1999, Kim et al. 2001). Die Concha nasalis superior kann als wichtiger Orientierungspunkt bei Operationen wie der posterioren Ethmoidektomie und der Sphenoidotomie genutzt werden (Bolger et al. 1999, Orlandi et al. 1999). So kann ihre Grundlamelle beispielsweise als konstanter Anhaltspunkt für die Höhe des Ostium sphenoidale, einem Zugang zur Keilbeinhöhle und ferner zur Schädelbasis dienen (Eweiss et al. 2012, Gupta et al. 2013).

2.3 Der physiologische Nasenzyklus

Die Schleimhaut der Nasenmuscheln ist daran angepasst, den Eingang des Atmungssystems und damit den nasalen Luftstrom zu kontrollieren. Aus den zuführenden Arterien entspringen Äste zu einem Kapillarnetz in der Lamina propria der Schleimhaut. Von dort fließt das Blut in zwei Schichten von Venengeflechten, die einen Schwellkörper bilden (Proetz 1941). Durch den Einfluss parasympathischer Neurotransmitter und endothelialer Mediatoren kommt es zu einer Dilatation der glatten Muskelzellen der Schleimhaut, was zu einer Gefäßerweiterung und somit zu einem erhöhten Blutfluss in den Nasenmuscheln führt. Gleichzeitig wird der venöse Abfluss durch die Vergrößerung der subendothelialen Muskelpolster in den sinusoidalen Venen gedrosselt. Dadurch kommt es zu einer Erweiterung des Schwellkörpers. Im Gegensatz dazu wird der Blutzufluss durch die synergistische Kontraktion der glatten Muskelzellen gedrosselt und der venöse Abfluss aus den Sinusoiden durch Retraktion der Muskelpolster erhöht, wodurch die Nasenmuschel abschwillt (Riederer et al. 2002).

Dieses wechselseitige An- und Abschwellen der Nasenschleimhaut mit der damit einhergehenden Änderung des nasalen Atemwegswiderstandes wurde erstmals von Kayser (1895) als nasaler Zyklus beschrieben und kommt bei ca. 70% der Menschen vor (Hasegawa 1977, Hollandt et al. 2002). Dieser Zyklus scheint ein universelles Phänomen bei allen Säugetieren zu sein und wurde neben dem Menschen auch bei Hunden, Katzen, Schweinen sowie Kaninchen und Ratten beobachtet (Bojsen-Møller and Fahrenkrug 1971, Eccles 1978a, Bamford and Eccles 1982, Webber et al. 1987, Eccles 1996). In einer Studie von Flanagan und Eccles (1997) wiesen hingegen nur 21% von 52 Probanden ein Luftstrommuster auf, das als nasaler Zyklus definiert werden konnte.

Die Änderung des Schwellungszustandes führt zu einem asymmetrischen Luftstrom durch die Nasenhöhle, was die Arbeitslast der Luftkonditionierung zwischen den Nasengängen aufteilt und damit entsprechende Ruhephasen ermöglicht. Im Gegensatz zu den einzelnen Nasengängen bleibt der Gesamtwiderstand des Luftstroms in der Nasehöhle jedoch konstant (Stoksted 1953, Boyce and Eccles 2006). Über die Dauer des Nasenzyklus gibt es in der Literatur verschiedene Angaben. Zum einen wurden Längen von 1 bis 3 Stunden beobachtet (Stoksted 1952, Hasegawa 1977, Eccles 1978b), zum anderen gab es längere Zeitspannen von ca. 2 bis 7 Stunden (Gilbert and Rosenwasser 1987).

Kahana-Zweig et al. (2016) geben einen Bereich von 15 Minuten bis 10:35 Std an, wobei der Durchschnitt bei 2:15 Std liegt. Dabei scheint der Zyklus im wachen Zustand kürzer zu sein als während des Schlafens. Auch die Körperposition kann den nasalen Zyklus beeinflussen. In entsprechenden Studien (Kahana-Zweig et al. 2016) zeigte die Köperposition eine inverse Korrelation mit der Dominanz eines Nasengangs. So kommt es beim Liegen auf der linken Seite zu einer Verschiebung der Atmung auf die kontralaterale Seite. Darüber hinaus neigt der Atemfluss dazu, sich bei schneller Atmung über die rechten und linken Nasengänge auszubalancieren, während eine langsame Atmung zur Dominanz einer Seite führt (Kahana-Zweig et al. 2016).

3. Material und Methoden

3.1 Material

Entsprechend dem Anliegen dieser Arbeit, den möglichen Einfluss des Sinus maxillaris auf die Morphologie der Nasenhöhle zu untersuchen, wurden hier zwei Spezies der Familie Cercopithecoideae miteinander verglichen. Während den Mantelaffen (*Colobus guereza*) ein Sinus maxillaris fehlt, weisen Japanische Makaken (*Macaca fuscata*) einen Sinus maxillaris auf. Die Untersuchungen erfolgten an 23 adulten Schädeln beiderlei Geschlechts, wobei es sich um 13 Schädel von *Colobus guereza* und 10 Schädel von *Macaca fuscata* handelte. Die Präparate von *Macaca fuscata* umfassten in dieser Studie 3 Schädel der Subspezies *Macaca fuscata fuscata* und 7 Schädel der Subspezies *Macaca fuscata yakui* (Tab. 1).

Tab. 1: Einteilung der verwendeten Primatenschädel

Spezies	Anzahl	Geschlecht	
		m	w
Colobus guereza	13	4	9
Macaca fuscata fuscata	3	0	3
Macaca fuscata yakui	7	5	2

m: männlich, w: weiblich

Die Schädel der Mantelaffen (*Colobus guereza)* entstammen der Sammlung des Institutes für Biologie und Chemie der Universität Hildesheim. Die Schädel der Japanischen Makaken (*Macaca fuscata)* sind Teil der Sammlung des Laboratory of Physical Anthropology der Kyoto University Japan. Den Untersuchungen dieser Arbeit liegen DVT- bzw. CT Datensätze der oben genannten Spezies zugrunde.

3.2 Methoden

3.2.1 Anfertigung der DVT- und CT-Aufnahmen

Die Untersuchungen der Mantelaffen (*Colobus guereza*) basieren auf DVT-Datensätzen, die mittels des 3D Accuitomo F17 CT Morita (J Morita Corp. Kyoto, Japan) bei einer Spannung von 80 kV und einer Stromstärke von 3 mA in der Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie/Zahnärztliche Chirurgie des Zentrums für Zahn- Mund- und Kieferheilkunde der Universitätsmedizin Greifswald erstellt wurden. Die Schnittdicke der Schichtaufnahmen betrug 0,16 mm und 0,48 mm, wobei in dieser Arbeit ausschließlich die Schnittdicke von 0,16 mm verwendet wurde.

Die CT-Datensätze der Japanischen Makaken (*Macaca fuscata*) wurden mit dem Toshiba X-Vision CT (Toshiba Corporation, Tokyo, Japan) bei einer Spannung von 120 kV und einer Stromstärke von 110 mA bzw. 120 mA erstellt. Die Schnittdicke betrug 0,2 mm. Diese Aufnahmen entstanden im Laboratory of Physical Anthropology der Kyoto University Japan.

Alle zu untersuchenden Datensätze lagen im DICOM-Format vor.

3.2.2 Vermessung der Nasenhöhle

Um beide Spezies miteinander vergleichen zu können, wurde zunächst die Gesamtgröße der Nasenhöhle vermessen. Dafür wurde die Breite und Höhe der Cavitas nasi in vier vorher definierten koronaren Ebenen metrisch erfasst. Anschließend untersuchten wir die Morphologie der unteren und mittleren Nasenmuscheln, indem 3D-Rekonstruktionen erstellt und die entsprechenden Volumina berechnet wurden. Des Weiteren wurden die knöchernen Anheftungszonen der Nasenmuscheln an der lateralen Nasenhöhlenwand sowie die Größe des Meatus nasi inferior vermessen. Entsprechend dem klinischen Sprachgebrauch werden diese Anheftungszonen nachfolgend als Grundlamellen bezeichnet.

3.2.2.1 Vermessung der Gesamtgröße der Cavitas nasi

Unter Verwendung des Programms RadiAnt® Dicom Viewer Vers. 5.5.0 (Medixant) wurde die Breite und Höhe der Nasenhöhle in der Frontalebene vermessen. Um alle Schädel vergleichbar vermessen zu können, wurden die Präparate nach vorher bestimmten Referenzpunkten ausgerichtet. Zu diesem Zweck wurde die Programmfunktion **3D MPR** verwendet und die Aufnahmen in einer multiplanaren dreidimensionalen Rekonstruktion dargestellt (Abb. 8).

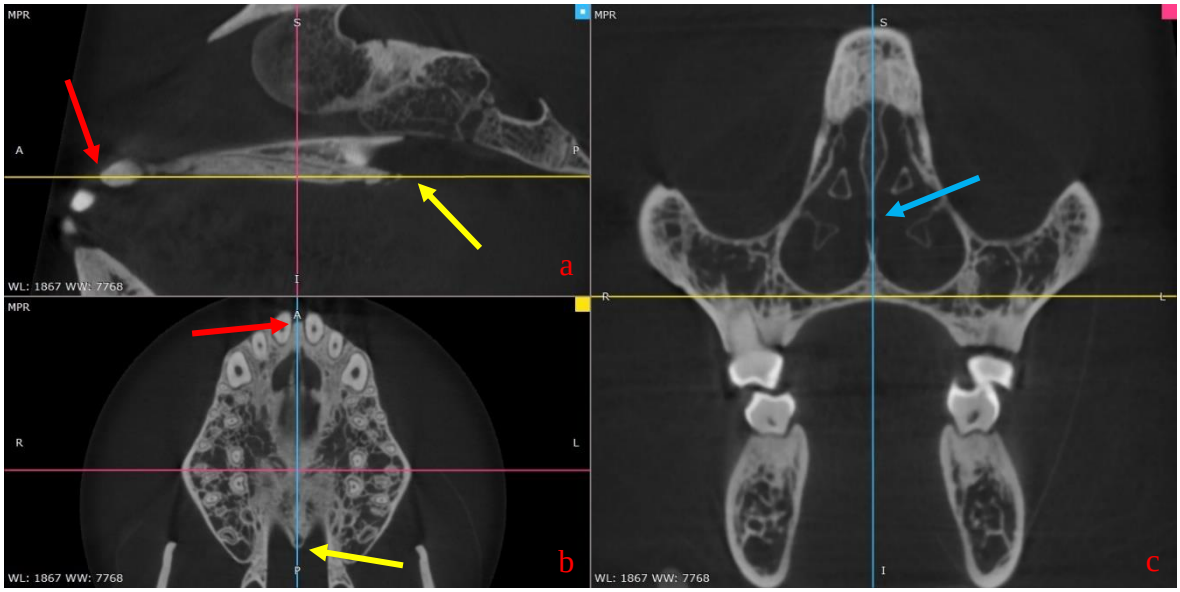

Abb. 8: Benutzeroberfläche des RadiAnt® DICOM Viewers in der 3D MPR Funktion mit Darstellung eines adulten weiblichen Mantelaffens (*Colobus guereza*) mittels multiplanarer Rekonstruktion. Die Abbildung zeigt den Schädel im Sagittalschnitt (**a**), Horizontalschnitt (**b**) und Frontalschnitt (**c**). Die gelbe Linie im Sagittalschnitt (**a**) und Frontalschnitt (**c**) verläuft durch das Prosthion (roter Pfeil) sowie die Spina nasalis posterior (gelber Pfeil) und stellt die ausgerichtete Horizontalebene dar. Sie ist gleichzeitig die horizontale Hilfsebene zur Vermessung der vertikalen Abstände der Grundlamellen und wird nachfolgend als Nasenbodenebene bezeichnet. Die Sagittalebene (blaue Linie in **b** und **c**) verläuft durch das Septum nasi (blauer Pfeil in **c**), das Prosthion (roter Pfeil) und die Spina nasalis posterior (gelber Pfeil).

Da die meisten Messungen in der Frontalebene erfolgten, definierten wir die palatinalen Wurzeln der Oberkieferzähne des zweiten Prämolaren bis zum dritten Molaren als Referenzpunkte für die Positionierung dieser Ebene (Abb. 9).

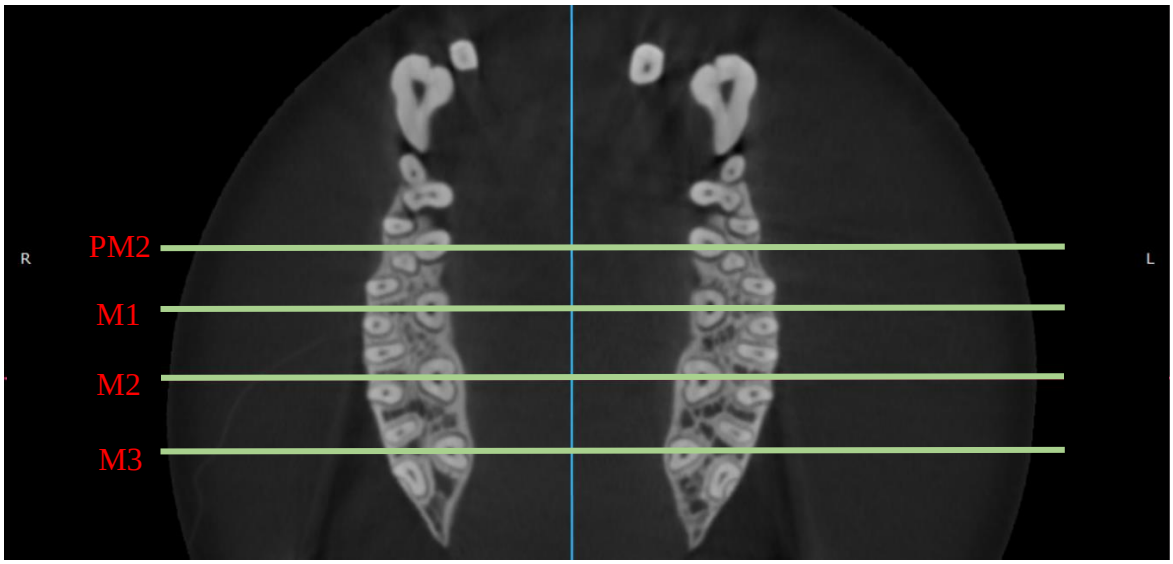

Abb. 9: Horizontale DVT-Schichtaufnahme eines männlichen Mantelaffens (*Colobus guereza*) in Höhe des Alveolarfortsatzes des Oberkiefers mit Darstellung der Zahnwurzeln der Oberkieferzähne. Die grünen Linien entsprechen den Frontalebenen, in denen die Vermessungen der Nasenhöhle erfolgten. Sie verlaufen durch die palatinalen Wurzeln folgender Zähne: zweiter Prämolar (**PM2**), erster Molar (**M1**), zweiter Molar (**M2**), dritter Molar (**M3**).

Um die Positionierung der Frontalebene vornehmen zu können, wurde die zuvor ausgerichtete Nasenbodenebene im RadiAnt® DICOM Viewer parallel bis zu den Wurzeln der Oberkieferzähne verschoben. So konnten die koronaren Messebenen als Frontalschnitte in Höhe der palatinalen Wurzeln des zweiten Prämolaren und der Oberkiefermolaren konstruiert werden. Die Messebenen werden entsprechend der Zähne nachfolgend als **PM2**, **M1**, **M2** und **M3** bezeichnet (Abb. 9, 10, 11, 12, 13). An jeder der so generierten koronaren Schichtaufnahmen wurden zunächst die Breite und Höhe der Nasenhöhle erfasst (Abb. 10). Darüber hinaus wurden diese Schichtaufnahmen dazu genutzt, definierte vertikale Abstände der Grundlamellen in Bezug zur Nasenbodenebene zu vermessen sowie Maße am Meatus nasi inferior zu erheben (s. 3.2.2.2.).

Die Breite der Nasenhöhle wurde mithilfe von Tangenten gemessen, die parallel zur Mediansagittalebene verlaufen und die Nasenhöhle an der größten lateralen Ausdehnung berühren. Entsprechende Tangenten, die den höchsten und tiefsten Punkt der Nasenhöhle treffen und parallel zur ausgerichteten Horizontalebene liegen, wurden für die Messung der Höhe der Nasenhöhle verwendet (Abb. 10).

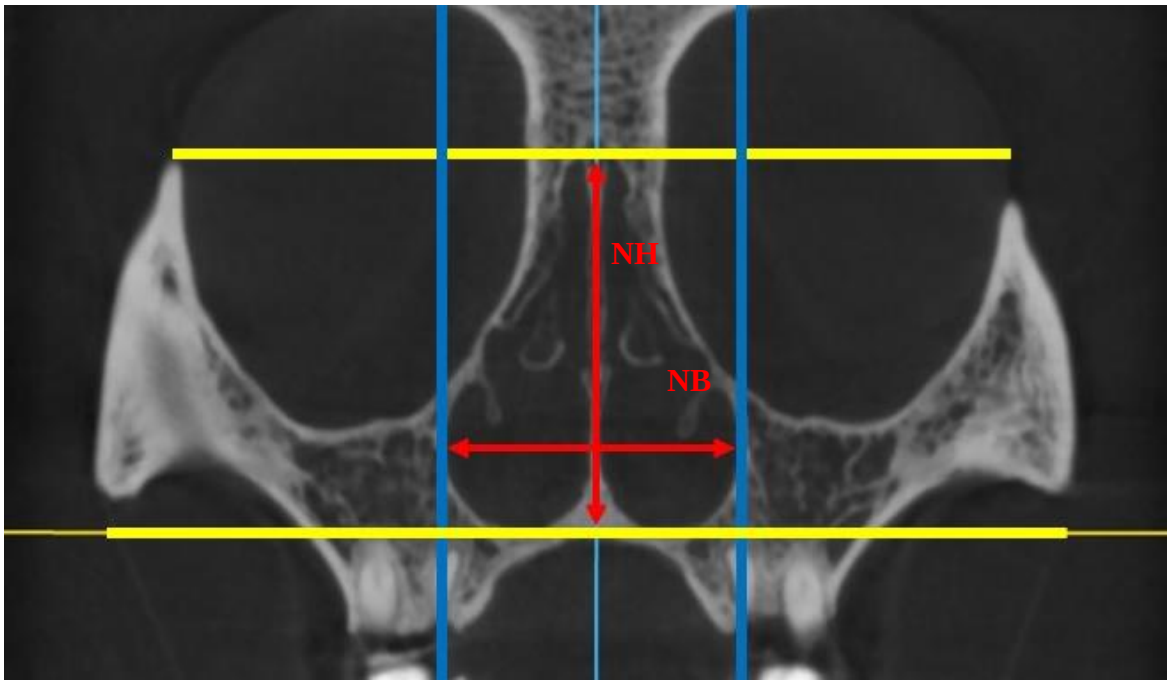

Abb. 10: Messung der Breite und Höhe der Nasenhöhle im Frontalschnitt eines adulten weiblichen *Colobus guereza* in Höhe des zweiten oberen Molaren (M2). Die gelben und blauen Linien stellen die Tangenten dar, mit denen die Maße erfasst wurden.
NH Höhe der Nasenhöhle, **NB** Breite der Nasenhöhle

Folgende Breiten- und Höhenmaße der Nasenhöhle wurden dementsprechend definiert und vermessen:

Cavitas nasi

Breitenmaße

NB1	Breite der Nasenhöhle im Bereich des zweiten Prämolaren
NB2	Breite der Nasenhöhle im Bereich des ersten Molaren
NB3	Breite der Nasenhöhle im Bereich des zweiten Molaren
NB4	Breite der Nasenhöhle im Bereich des dritten Molaren

Höhenmaße

NH1	Höhe der Nasenhöhle im Bereich des zweiten Prämolaren
NH2	Höhe der Nasenhöhle im Bereich des ersten Molaren
NH3	Höhe der Nasenhöhle im Bereich des zweiten Molaren
NH4	Höhe der Nasenhöhle im Bereich des dritten Molaren

3.2.2.2 Vermessung der Nasenmuscheln

Volumetrische Erfassung der Nasenmuscheln

Die dreidimensionale Rekonstruktion der Nasenmuscheln und die Vermessung ihrer Volumina wurde mit dem Programm WinSurf Vers. 4.0 (Lozanoff and Moody) durchgeführt. Dafür wurden zunächst die Frontalschnitte der DVT- und CT-Datensätze aus dem RadiAnt® DICOM Viewer exportiert und im JPEG-Format abgespeichert. Nachdem die Bildbreite der Frontalschnitte mithilfe des Programms ImageJ Version 1.52n (Rasband, National Institutes of Health) ermittelt wurde, konnten die Schnittbilder in WinSurf geöffnet werden. Dabei wurde das Schnittbildintervall für beide Spezies auf 3 festgelegt. Die Nasenmuscheln wurden in allen betreffenden Frontalschnitten mit einem Cursor umrandet. Auf diese Weise konnten 3D-Rekonstruktionen der Nasenmuscheln generiert und die entsprechenden Volumina vom Programm berechnet werden. Die Vorgehensweise ist in Abbildung 11 dargestellt.

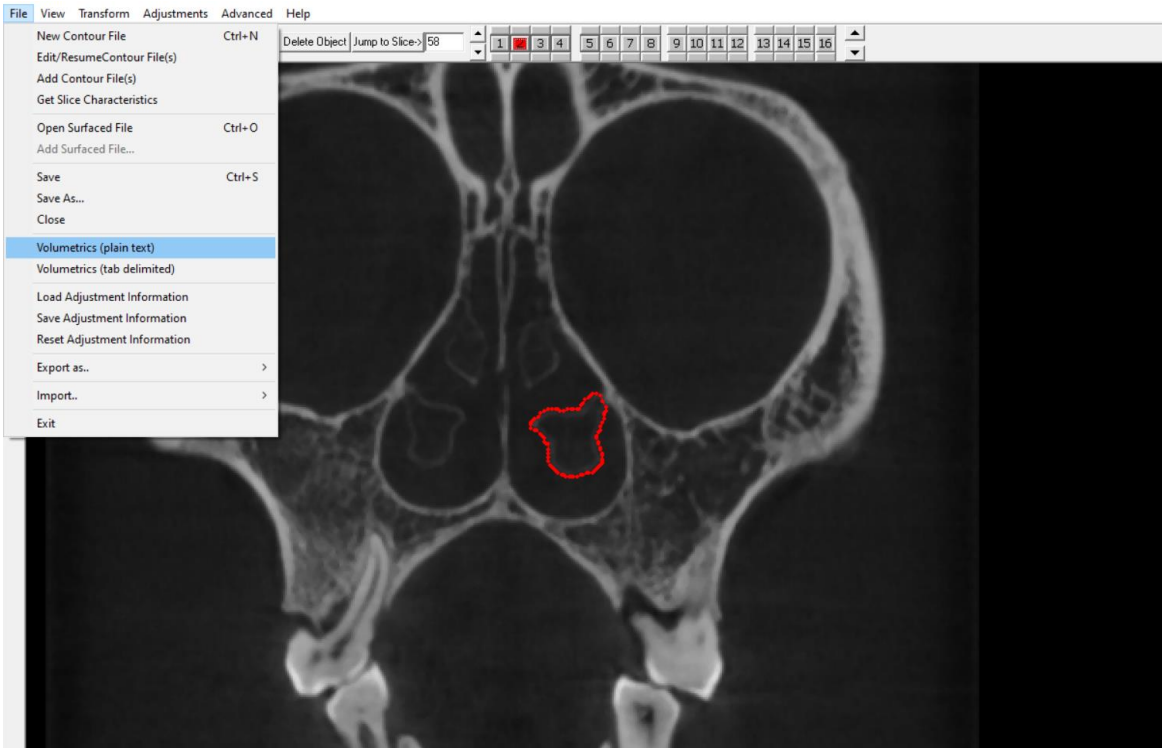

Abb. 11: Benutzeroberfläche von WinSurf mit dem Frontalschnitt eines weiblichen Schädels von *Colobus guereza* in Höhe des zweiten oberen Molaren (M2). Die linke Concha nasalis inferior ist rot umrandet. Unter dem Reiter *File* und *Volumetrics (plain text)* wurden die berechneten Werte abgespeichert.

Bei der volumetrischen Erfassung konzentrierten wir uns auf die unteren und mittleren Nasenmuscheln, da die oberen Nasenmuscheln bei beiden Spezies nur teilweise oder nicht erkennbar waren.

Schließlich wurden für beide Spezies folgende Volumina ermittelt:

Volumina der Nasenmuscheln

CniVr	Volumen der Concha nasalis inferior rechts
CniVl	Volumen der Concha nasalis inferior links
CnmVr	Volumen der Concha nasalis media rechts
CnmVl	Volumen der Concha nasalis media links

Vermessung der Grundlamellen der Nasenmuscheln

Um die Anheftungszonen der Nasenmuscheln an der lateralen Nasenhöhlenwand erfassen zu können, wurden die vertikalen Abstände der Grundlamellen in Bezug zur Nasenbodenebene vermessen (Abb. 12). Als Nasenbodenebene verwendeten wir die in Abbildung 8**a** ausgerichtete Horizontalebene.

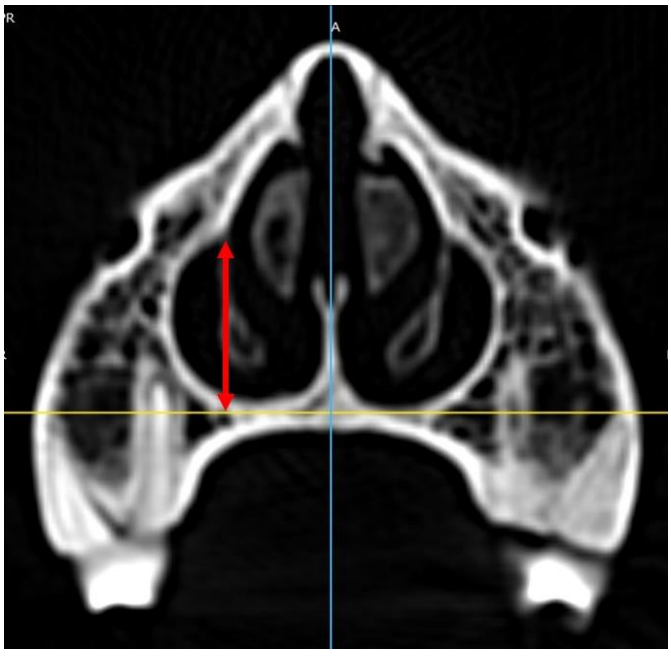

Abb. 12: Frontalschnitt des Schädels eines männlichen Japanischen Makaken der Subspezies *Macaca fuscata fuscata* in Höhe des ersten oberen Molaren (M1). Der rote Pfeil markiert den vertikalen Abstand der Grundlamelle der rechten Concha nasalis inferior zur Nasenbodenebene (gelbe Linie).

Die Messungen der vertikalen Abstände der Grundlamellen der unteren, mittleren und oberen Nasenmuscheln zur Nasenbodenebene wurden in den vier oben definierten koronaren Messebenen vorgenommen (Abb. 9).

Somit konnten folgende Höhenmaße erhoben werden:

Tab. 2: Höhenmaße für die vertikalen Abstände der Grundlamellen zur Nasenbodenebene

Nasenmuschel	Höhenmaße	
	rechts	links
Concha nasalis inferior	CniH1r CniH2r CniH3r CniH4r	CniH1l CniH2l CniH3l CniH4l
Concha nasalis media	CnmH1r CnmH2r CnmH3r CnmH4r	CnmH1l CnmH2l CnmH3l CnmH4l
Concha nasalis superior	CnsH1r CnsH2r CnsH3r CnsH4r	CnsH1l CnsH2l CnsH3l CnsH4l

Beachte: Die in Tabelle 2 verwendeten Bezeichnungen H1, H2, H3 und H4 beziehen sich auf die in Abbildung 9 definierten Frontalebenen.

3.2.2.3 Größe des Meatus nasi inferior

Als Maß für die Größe des Meatus nasi inferior wurde die Fläche unterhalb der Concha nasalis inferior ausgemessen. Für diese Messung wurde das Programm ImageJ Version 1.52n verwendet. Als Begrenzung dieser Fläche definierten wir die laterale Nasenhöhlenwand, den Nasenhöhlenboden und eine zur Mediansagittalebene parallel liegende Linie, die von der Grundlamelle der unteren Nasenmuschel zum Nasenhöhlenboden verläuft (Abb. 13). Die Messungen erfolgten anhand der oben definierten Frontalebenen. Nach der Kalibrierung und Ermittlung der Bildbreite, wurde der zu messende Bereich mit einem Cursor umrandet und die Fläche vom Programm berechnet.

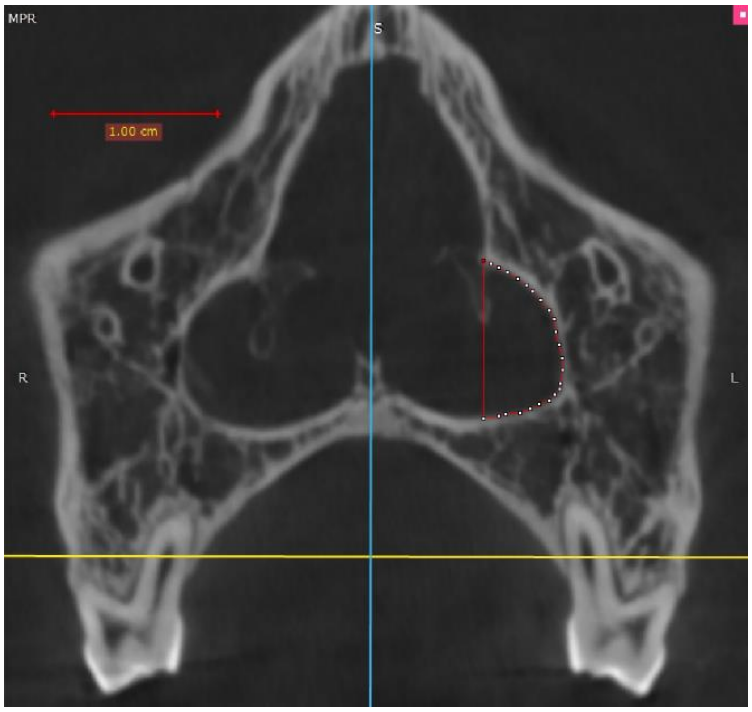

Abb. 13: Benutzeroberfläche von ImageJ Vers. 1.52n mit Darstellung einer koronaren Schichtaufnahme durch den Schädel eines männlichen Mantelaffens *Colobus guereza* auf Höhe des ersten oberen Molaren (M1). Die rote Umrandung markiert die Fläche des linken Meatus nasi inferior.

Folgende Flächenmaße des Meatus nasi inferior konnten wir für die jeweiligen Präparate ermitteln:

Meatus nasi inferior

MniF1r	Fläche auf Höhe des zweiten Prämolaren rechts
MniF2r	Fläche auf Höhe des ersten Molaren rechts
MniF3r	Fläche auf Höhe des zweiten Molaren rechts
MniF4r	Fläche auf Höhe des dritten Molaren rechts
MniF1l	Fläche auf Höhe des zweiten Prämolaren links
MniF2l	Fläche auf Höhe des ersten Molaren links
MniF3l	Fläche auf Höhe des zweiten Molaren links
MniF4l	Fläche auf Höhe des dritten Molaren links

3.2.3 Lineare Schädelmaße

Um die zuvor erhobenen Maße der Nasenhöhle und Nasenmuscheln einordnen zu können, wurden definierte Schädelmaße mit in die Arbeit einbezogen. Die Schädelmaße für *Colobus guereza* übernahmen wir von Paulun (Greifswald). Die Werte für *Macaca fuscata* wurden von Heyde (Greifswald) erhoben. Folgende Maße wurden herangezogen:

GSL	Gesichtsschädellänge (Basion – Prosthion)
SL	Gesamtschädellänge (Prosthion – Opisthokranion)
GL	Gaumenlänge (Orale – Staphylion)
GB	Gaumenbreite (Endomolare – Endomolare)
JBB	Jochbogenbreite (Zygion – Zygion)
MGB	Mittelgesichtsbreite (Zygomaxillare – Zygomaxillare)
MAB	Maxilloalveolarbreite (Ektomolare – Ektomolare)
OGH	Obergesichtshöhe (Nasion – Prosthion)
SBL	Schädelbasislänge (Nasion – Basion)

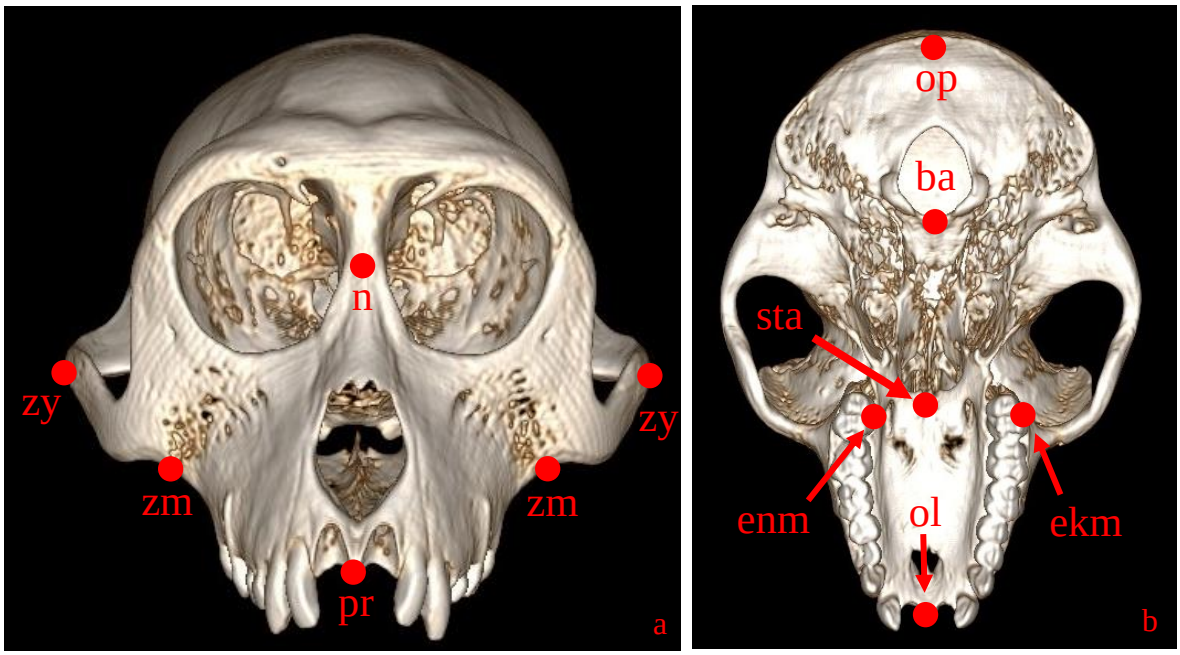

Abb. 14: Schädelrekonstruktion eines adulten weiblichen *Macaca fuscata fuscata.* Ansicht in der Norma frontalis (**a**) und Norma basalis (**b**). Die Schädelmaße wurden anhand folgender Messpunkte ermittelt: Basion (**ba**), Ektomolare (**ekm**), Endomolare (**enm**), Nasion (**n**), Opisthokranion (**op**), Orale (**ol**), Prosthion (**pr**), Staphylion (**sta**), Zygion (**zy**), Zygomaxillare (**zm**)

3.3 Biostatistische Auswertung

Um die Reproduzierbarkeit der vorliegenden Messungen beurteilen zu können, wurde zunächst die zufällige Messabweichung untersucht. Dafür wurden die Messvorgänge zur Erfassung der Breite und Höhe der Nasenhöhle, der Höhenmaße der Grundlamellen sowie der Flächenmaße des Meatus nasi inferior an sechs zufällig ausgewählten Präparaten drei Mal durchgeführt. Entsprechend der Studie von Schlicher et al. (2012) wurde die mittlere Abweichung $\bar{\Delta}$ vom jeweiligen Erwartungswert $\bar{x}$ berechnet. Der Erwartungswert $\bar{x}$ entspricht dem Mittelwert der drei erfassten Werte der entsprechenden Messung. Anschließend wurde der Prozentsatz der Messwerte angegeben, die eine mittlere Abweichung $\bar{\Delta}$ von unter 0,2 mm und unter 0,4 mm bzw. unter 0,15 mm und unter 0,25 mm aufweisen. Ebenso wurde der Prozentsatz der Messwerte für die Erfassung des Meatus nasi inferior ermittelt, die eine mittlere Abweichung $\bar{\Delta}$ von unter 2 mm² und unter 1 mm² besitzen.

Für alle Parameter wurden die Mittelwerte und Standardabweichungen ermittelt und tabellarisch aufgeführt. Ausgewählte Parameter wurden zur grafischen Veranschaulichung in Boxplots dargestellt.

Anschließend wurden die Messwerte mit Hilfe des Shapiro-Wilk-Tests auf Normalverteilung geprüft. Da unsere erhobenen Daten sowohl normalverteilte als auch nicht normalverteilte Werte ergaben, wurden nicht-parametrische Tests für die weitere statistische Auswertung genutzt.

Zum besseren Vergleich der beiden Spezies wurde entsprechend des Nasenindex von Martin (1928) ein Breiten-Höhen-Index der Nasenhöhle (BHI) erstellt.

$$\text{BHI} = \frac{\text{Breite Nasenhöhle}}{\text{Höhe Nasenhöhle}} \text{ x } 100\%$$

Der Mittelwertvergleich zwischen den beiden Spezies erfolgte mittels des Mann-Whitney-U-Tests. Des Weiteren wurden die Symmetrieverhältnisse der jeweiligen Spezies in Anlehnung an Lovich and Gibbons (1992) sowie Koppe and Nagai (1997) untersucht. Dafür wurde der Asymmetrie-Index (AI) der Höhenmaße der Nasenmuscheln sowie ihrer Volumina ermittelt und in einem Streu-/Punkte-Diagramm dargestellt. Der Asymmetrie-Index ist folgendermaßen definiert:

$$\mathrm{AI} = \left[-\left(\frac{\mathrm{GAS}}{\mathrm{KAS}}\right)\right] + 1^{\mathbf{a}}$$

$$\mathrm{AI} = \left[+\left(\frac{\mathrm{GAS}}{\mathrm{KAS}}\right)\right] - 1^{\mathbf{b}}$$

GAS: größere anatomische Struktur

KAS: kleinere anatomische Struktur

a) Formel, bei größerer rechter anatomischer Struktur

b) Formel, bei größerer linker anatomischer Struktur

Um die Volumina der Nasenmuscheln in Bezug zur Schädelgröße setzen zu können, berechneten wir das Gesichtsschädelvolumen (GSV). Mit Hilfe der Schädelbasislänge (SBL), Gesichtsschädellange (GSL), Obergesichtshöhe (OGH) und Mittelgesichtsbreite (MGB) konnte das Gesichtsschädelvolumen unter Verwendung der Heronischen Formel (Bartsch 1984) ermittelt werden. Die Heronische Formel lautet wie folgt:

$$\mathrm{GSV} = \left(\sqrt{\mathrm{s} \cdot (\mathrm{s} - \mathrm{GSL}) \cdot (\mathrm{s} - \mathrm{SBL}) \cdot (\mathrm{s} - \mathrm{OGH})}\right) \cdot \mathrm{MGB}$$

dabei gilt: $\mathrm{s} = \frac{(\mathrm{GSL}+\mathrm{SBL}+\mathrm{OGH})}{2}$

Zudem wurde mit Hilfe der Rangkorrelationsanalyse nach Spearman untersucht, welche erhobenen Merkmalspaare miteinander korrelieren. Falls eine signifikante Korrelation vorlag, wurden die entsprechenden Merkmalspaare in Form einer linearen Regressionsanalyse näher beschrieben. Die Regressionsgeraden wurden in Streudiagrammen dargestellt und nach folgender Gleichung berechnet:

$$y = b \cdot x + a$$

Hierbei beschreiben die Variablen *y* und *x* die korrelierenden Merkmalspaare, *b* beschreibt als Regressionskoeffizient den Anstieg der Regressionsgerade und *a* den Schnittpunkt mit der y-Achse.

Für die biostatistische Auswertung der Messergebnisse wurden die Programme Microsoft Excel ® 2016 und SPSS Statistics Version 17.0.0 der Firma SPSS Inc. verwendet.

4. Ergebnisse

4.1 Reproduzierbarkeit der Ergebnisse

Die dreimalige Vermessung der Höhenmaße der Grundlamellen an sechs zufällig ausgewählten Präparaten in der Frontalebene ergab eine mittlere Abweichung $\bar{\Delta}$ von 0,19 mm vom jeweiligen Erwartungswert $\bar{x}$. Bei den Messungen wichen 56% weniger als 0,2 mm vom Erwartungswert ab und 95% der Messungen weniger als 0,4 mm. Dabei konnten wir mit 0,01 mm die beste Reproduzierbarkeit bei der Vermessung der linken Concha nasalis inferior auf Höhe des zweiten Oberkiefermolaren beobachten, während die größte Abweichung mit 0,64 mm bei der Vermessung der linken Concha nasalis superior auf Höhe des zweiten Oberkiefermolaren lag.

Bei den Messungen der Breiten- und Höhenmaße der Nasenhöhle zeigte sich eine mittlere Abweichung $\bar{\Delta}$ von 0,14 mm. Hierbei wichen 67% der Messungen weniger als 0,15 mm vom jeweiligen Erwartungswert ab und 92% weniger als 0,25 mm. Die geringste Abweichung zeigte sich mit jeweils 0,04 mm bei der Erfassung der Breite und Höhe im Bereich des dritten Oberkiefermolaren. Mit 0,38 mm konnten wir die schlechteste Reproduzierbarkeit bei der Erfassung der Nasenhöhlenbreite auf Höhe des dritten Oberkiefermolaren verzeichnen.

Für die Erfassung des Meatus nasi inferior konnten wir eine mittlere Abweichung $\bar{\Delta}$ von 0,73 mm^2 beobachten. 77% der Messungen wichen weniger als 1 mm^2 vom Erwartungswert ab und 96% der Messungen weniger als 2 mm^2. Der rechte Meatus nasi inferior zeigte auf Höhe des dritten Oberkiefermolaren die beste Reproduzierbarkeit mit 0,08 mm^2. Die größte Abweichung lag mit 2,42 mm^2 bei der Erfassung des linken Meatus nasi inferior auf Höhe ersten Oberkiefermolaren.

4.2 Morphologie der Nasenmuscheln

Unter der Verwendung des Programms WinSurf konnten die Nasenmuscheln beider Spezies graphisch rekonstruiert werden. In Abbildung 15 und 16 sind die räumlichen Beziehungen dieser Strukturen beispielhaft dargestellt. Da *Macaca fuscata* im Gegensatz zu *Colobus guereza* einen Sinus maxillaris aufweist, wurde dieser ebenfalls als 3D-Rekonstruktion mit in die Abbildung 15 einbezogen. Des Weiteren zeigen die Abbildungen 17 und 18 die entsprechend der Oberkieferzähne ausgerichteten Frontalschnitte der DVT -und CT-Aufnahmen.

Für *Macaca fuscata* zeigt sich in der Frontalansicht (**a**) der Abbildung 15 eine enge topografische Beziehung zwischen den paarig angelegten Nasenmuscheln. Die Concha nasalis inferior stellt sich halbmondförmig dar und ist im Vergleich zur Concha nasalis media schmaler und länger ausgeprägt. Die Concha nasalis media wird in ihrem Verlauf nach posterior höher und schmaler. Als kleinste Struktur zeigt sich die Concha nasalis superior, die jedoch bei den meisten Präparaten nicht oder nur teilweise zu erkennen war. Aus der Perspektive der Norma lateralis (Abb. 15 **c**) sind die unterschiedlichen Höhenverhältnisse erkennbar. Die Concha nasalis inferior liegt ungefähr auf der Höhe des Sinus maxillaris und dehnt sich fast bis zur Concha nasalis superior aus. In der Norma basalis (Abb. 15 **b**) wird deutlich, dass sich der Sinus maxillaris weiter nach posterior erstreckt als die Nasenmuscheln.

Eine 3D-Rekonstruktion der Nasenmuscheln von *Colobus guereza* ist in Abbildung 16 dargestellt. Die unterschiedlichen Höhen- und Längenverhältnisse der einzelnen Nasenmuscheln werden aus der Perspektive der Norma lateralis (Abb. 16 **c**) deutlich. Ähnlich wie bei *Macaca fuscata* hat die Concha nasalis inferior die längste Ausdehnung. Auch die Concha nasalis superior stellt sich als kleinste Struktur dar. Es zeigen sich im Vergleich zu *Macaca fuscata* Unterschiede in Form und Lage der Nasenmuscheln. Dabei weist vor allem die Concha nasalis inferior eine andersartige Morphologie auf. Sie stellt sich hier als kompaktere Struktur dar und zeigt eine weniger stark ausgeprägte räumliche Beziehung zur Concha nasalis media. Während sich die Concha nasalis inferior bei *Macaca fuscata* dem Raum zwischen der konvexen Lateralfläche der Concha nasalis media und der seitlichen Nasenhöhlenwand anzupassen scheint, liegt sie bei *Colobus guereza* lediglich unterhalb der Concha nasalis media.

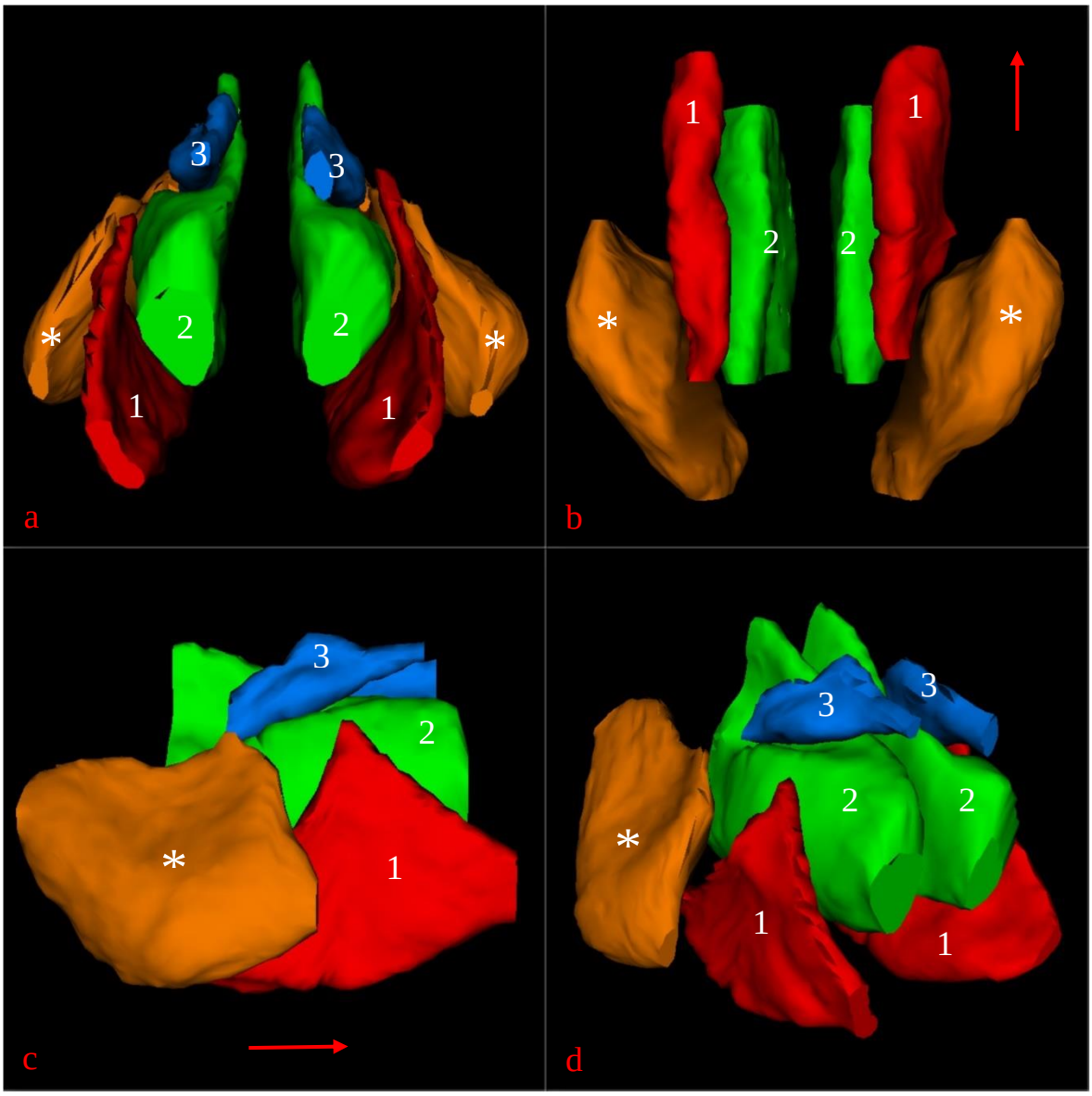

Abb. 15: 3D-Rekonstruktion der Nasenmuscheln und des Sinus maxillaris eines adulten männlichen *Macaca fuscata fuscata*. Ansichten in der Norma frontalis (**a**), Norma basalis (**b**) und Norma lateralis (**c**). In Bild **d** wurde die Rekonstruktion ausgehend von der Frontalansicht um 45° um die Longitudinalachse nach links gedreht und in der Frontalebene nach ventral geneigt. 1: Concha nasalis inferior, 2: Concha nasalis media, 3: Concha nasalis superior, *: Sinus maxillaris. Der rote Pfeil zeigt nach anterior.

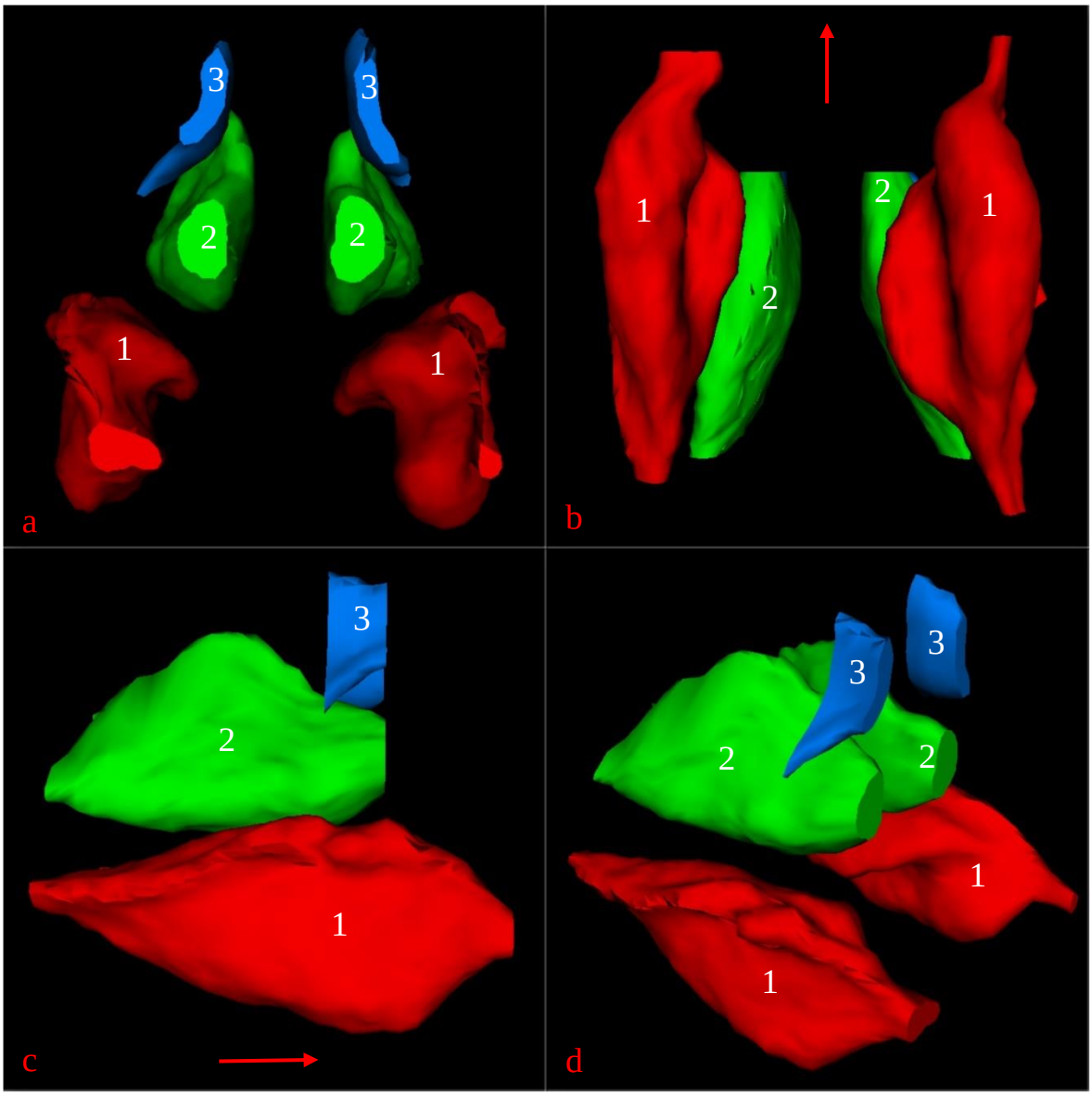

Abb. 16: 3D-Rekonstruktion der Nasenmuscheln eines adulten weiblichen *Colobus guereza*. Ansichten in der Norma frontalis (**a**), Norma basalis (**b**) und Norma lateralis (**c**). In Bild **d** wurde die Rekonstruktion ausgehend von der Frontalansicht um 45° um die Longitudinalachse nach links gedreht und in der Frontalebene nach ventral geneigt.

1: Concha nasalis inferior, 2: Concha nasalis media, 3: Concha nasalis superior. Der rote Pfeil zeigt nach anterior.

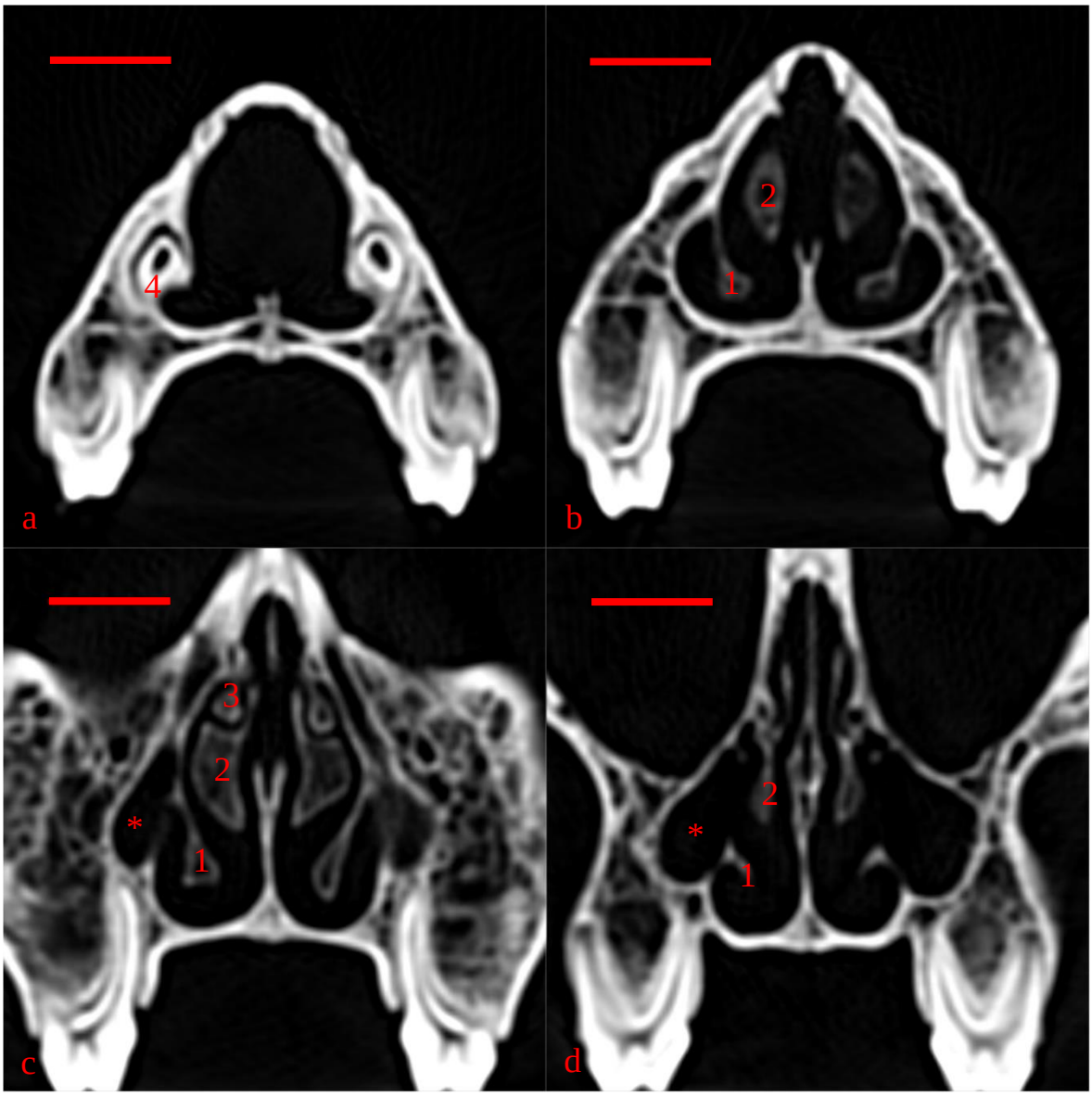

Abb. 17: Frontalschnitte des Schädels eines adulten männlichen *Macaca fuscata fuscata* auf Höhe des zweiten Oberkieferprämolaren (**a**), des ersten Oberkiefermolaren (**b**), des zweiten Oberkiefermolaren (**c**) und des dritten Oberkiefermolaren (**d**). 1: Concha nasalis inferior, 2: Concha nasalis media, 3: Concha nasalis superior, 4: Wurzel des Oberkiefereckzahns, *: Sinus maxillaris. Balkenlänge: 1 cm.

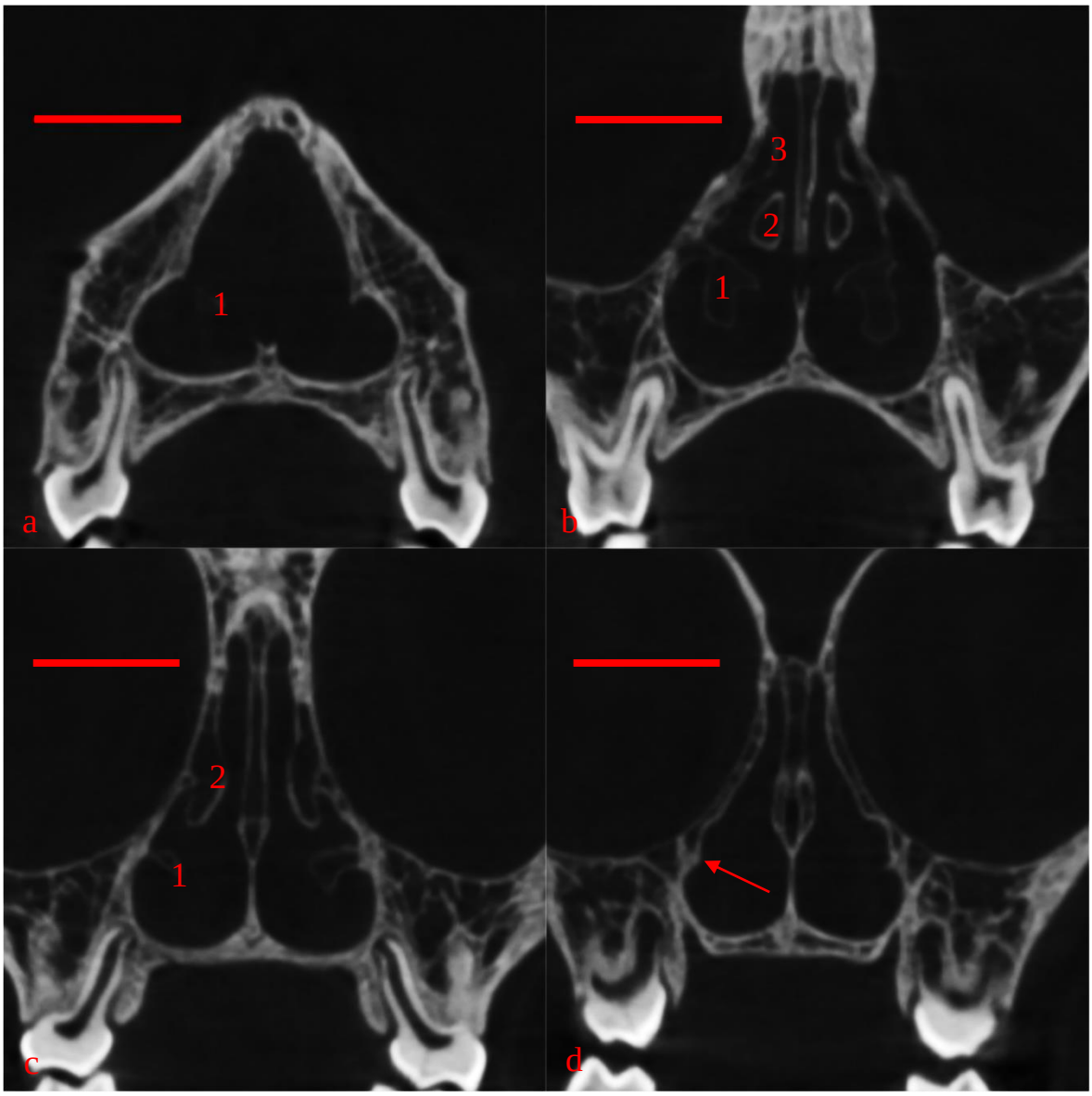

Abb. 18: Frontalschnitte des Schädels eines adulten weiblichen *Colobus guereza* auf Höhe des zweiten Oberkieferprämolaren (**a**), des ersten Oberkiefermolaren (**b**), des zweiten Oberkiefermolaren (**c**) und des dritten Oberkiefermolaren (**d**). 1: Concha nasalis inferior, 2: Concha nasalis media, 3: Concha nasalis superior. Der Pfeil in **d** markiert das posteriore Ende der Concha nasalis inferior. Balkenlänge: 1 cm.

4.2.1 Volumina der Nasenmuscheln

In der folgenden Tabelle 3 sind die Mittelwerte und Standardabweichungen der Volumina der Concha nasalis inferior und der Concha nasalis media beider Spezies aufgeführt. Wie zuvor erwähnt, war die Concha nasalis superior bei den meisten Präparaten nicht deutlich oder gar nicht zu erkennen. Dementsprechend wurde sie nicht mit in die Auswertung einbezogen. Die Ergebnisse des Mann-Whitney-U-Tests als Mittelwertvergleich sind ebenfalls aufgeführt.

Die Werte zeigen signifikant größere Volumina der Nasenmuscheln bei *Macaca fuscata* ($p < 0,01$). Während das Volumen der mittleren Nasenmuscheln bei *Colobus guereza* im Vergleich zu den unteren Nasenmuscheln abnimmt, weist *Macaca fuscata* größere Volumina bei den mittleren Nasenmuschel auf.

Tab. 3: Mittelwerte ($\bar{x}$) und Standardabweichungen (SD) der Volumina der Concha nasalis inferior und media im Vergleich beider Spezies, unabhängig von Geschlecht und Alter. Angaben in mm^3.

	Colobus guereza			*Macaca fuscata*			Mann-Whitney-U-Test
	n	$\bar{x}$	SD	n	$\bar{x}$	SD	
CniVr	10	126,85	61,71	8	227,66**	49,83	0,003**
CniVl	12	116,77	60,32	8	230,27**	52,77	0,002**
CnmVr	13	69,49	22,40	7	665,50***	189,08	0,000***
CnmVl	13	74,35	34,22	7	609,51***	204,84	0,000***

CniVr: Volumen der rechten Concha nasalis inferior, CniVl: Volumen der linken Concha nasalis inferior, CnmVr: Volumen der rechten Concha nasalis media, CnmVl: Volumen der linken Concha nasalis media, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$.

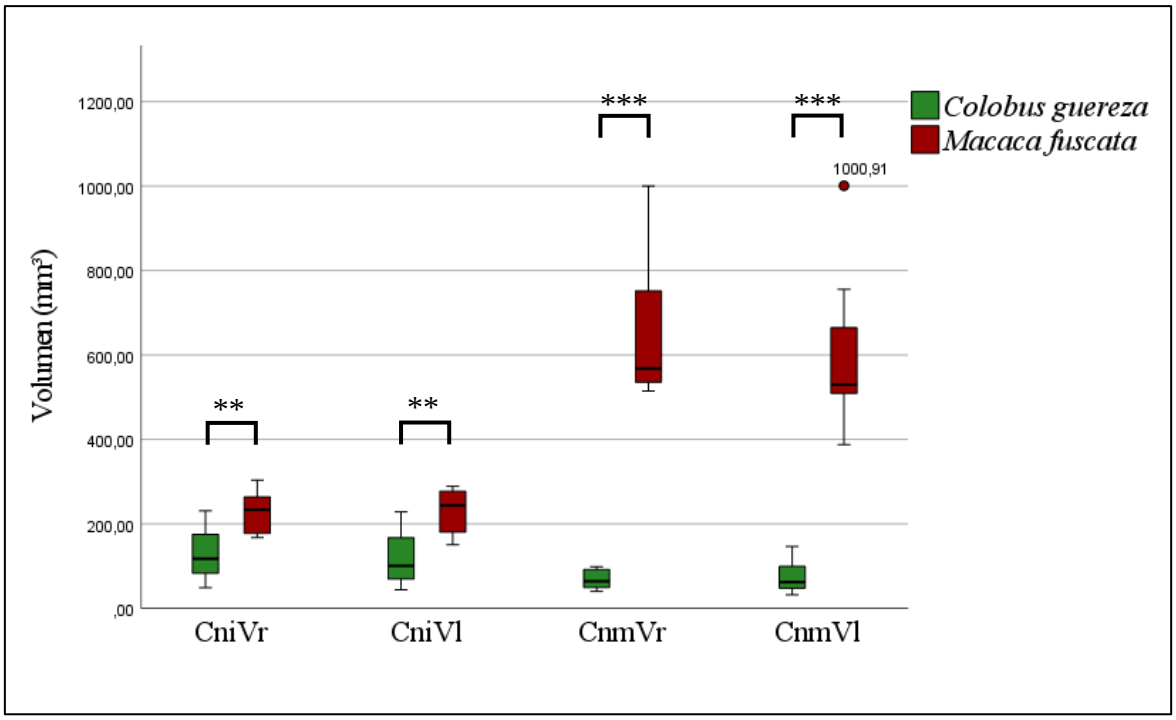

Abb. 19: Boxplots zur Darstellung der Volumina der Nasenmuscheln beider Spezies. CniVr: Volumen der rechten Concha nasalis inferior, CniVl: Volumen der linken Concha nasalis inferior, CnmVr: Volumen der rechten Concha nasalis media, CnmVl: Volumen der linken Concha nasalis media. ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$.

Das Diagramm in Abbildung 19 zeigt für die unteren Nasenmuscheln ähnlich große Interquartilsabstände bei beiden Spezies, wobei die Streuung bei *Colobus guereza* größer ist. Die Volumina sind bei *Macaca fuscata* signifikant größer und auch der Medianwert liegt höher als bei *Colobus guereza*. Der Größenunterschied wird auch bei den mittleren Nasenmuscheln deutlich. Hier sind die Interquartilsabstände und die Streuung bei *Macaca fuscata* größer und *Colobus guereza* zeigt signifikant kleinere Nasenmuscheln. Bei der linken Concha nasalis media von *Macaca fuscata* ist ein Ausreißer bei 1000,91 mm^3 zu verzeichnen.

4.2.2 Volumen-Asymmetrie-Index der unteren und mittleren Nasenmuscheln

Die Symmetrieverhältnisse der Nasenmuscheln wurden mit Hilfe des Asymmetrie-Index untersucht und in den Diagrammen (Abb. 20 und 21) grafisch dargestellt. Die Verteilung der Asymmetrien der unteren Nasenmuscheln erscheint bei beiden Spezies zufällig und kann somit als fluktuierende Asymmetrie bezeichnet werden (Abb. 20). Auch die Ergebnisse für die mittleren Nasenmuscheln zeigen bei *Colobus guereza* eine zufällige Verteilung. Im Gegensatz dazu sind nahezu alle Werte bei *Macaca fuscata* zugunsten der rechten Concha nasalis media verteilt. Lediglich ein Wert befindet sich auf der Höhe der Mittellinie (Abb. 21).

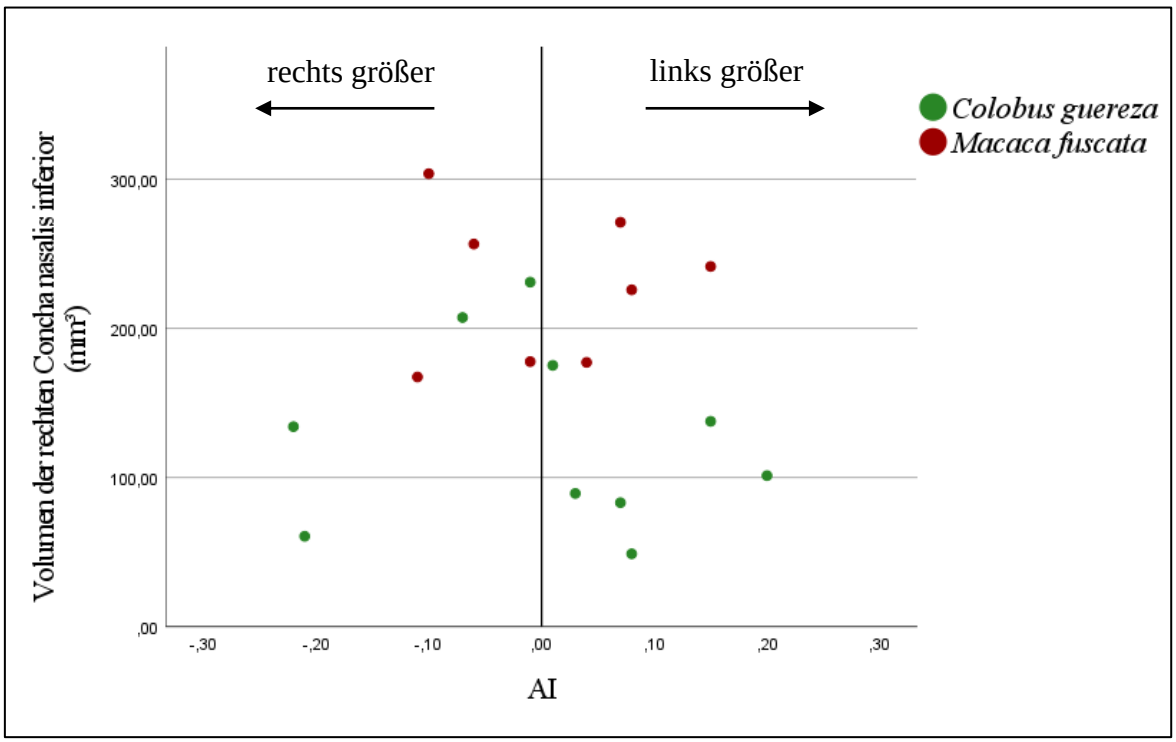

Abb. 20: Darstellung des Asymmetrie-Index (AI) der Volumina der unteren Nasenmuscheln von *Macaca fuscata* und *Colobus guereza*.

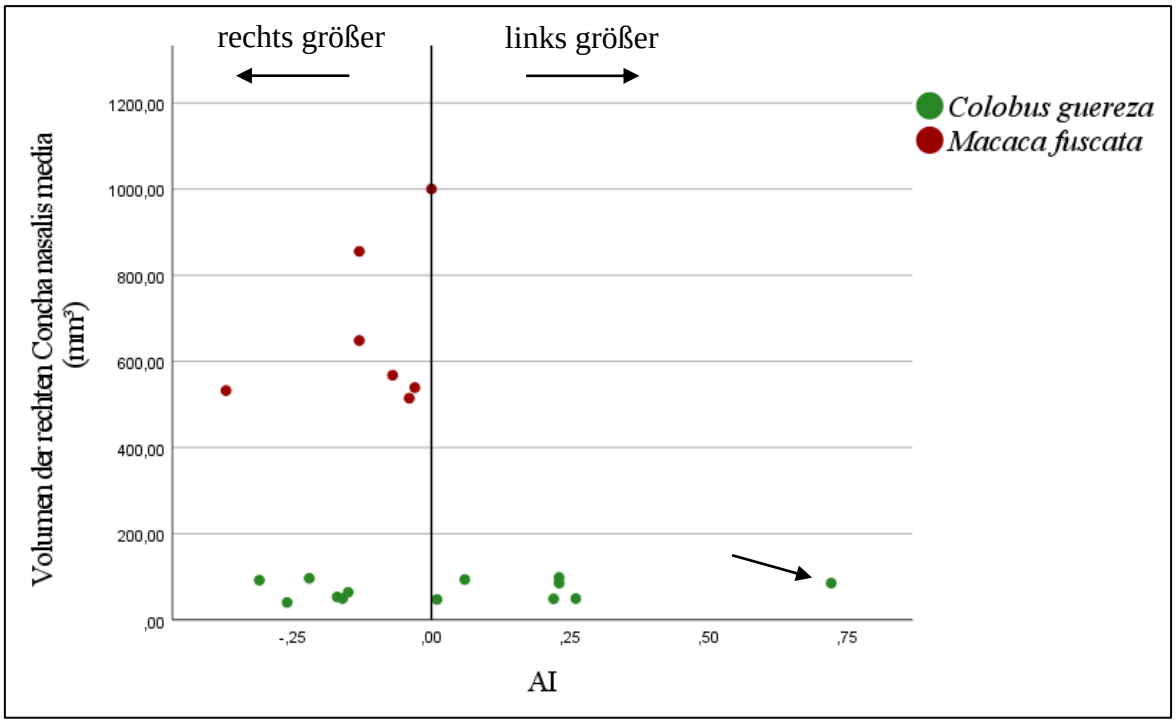

Abb. 21: Darstellung des Asymmetrie-Index (AI) der Volumina der mittleren Nasenmuscheln von *Macaca fuscata* und *Colobus guereza*. Pfeil: Ausreißer bei *Colobus guereza*.

4.2.3 Vermessung der Grundlamellen

Die Tabellen 4 bis 6 geben einen Überblick über die Mittelwerte und Standardabweichungen sowie die Ergebnisse des Mann-Whitney-U-Tests der erhobenen Höhenmaße der Grundlamellen in Bezug zur Nasenbodenebene.

Die Werte der Concha nasalis inferior zeigen signifikante Unterschiede zwischen *Macaca fuscata* und *Colobus guereza* auf Höhe des zweiten Oberkieferprämolaren ($p < 0,05$) und des zweiten Oberkiefermolaren ($p < 0,01$) der rechten Seite sowie auf Höhe des zweiten Oberkiefermolaren der linken Seite ($p < 0,01$). Für die restlichen Höhenmaße der Concha nasalis inferior konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Spezies festgestellt werden (Tab. 4). Der Tabelle 5 ist zu entnehmen, dass die Grundlamellen der Concha nasalis media erst auf Höhe des zweiten und dritten Oberkiefermolaren erfasst werden konnten. Dies gilt für beide Spezies, wobei bei *Macaca fuscata* auf Höhe des zweiten Oberkiefermolaren für beide Seiten nur ein Wert zu verzeichnen war. Der Mittelwertvergleich ergab für die Grundlamellen auf Höhe des dritten Oberkiefermolaren signifikant größere Werte bei *Macaca fuscata* ($p < 0,01$).

Die Höhenmaße der Grundlamellen für die Concha nasalis superior konnten bei *Macaca fuscata* in allen vier Messebenen (PM2 bis M3) erhoben werden, wobei auf Höhe des zweiten Oberkieferprämolaren nur ein Einzelwert erfasst wurde (Tab. 6). Bei *Colobus guereza* hingegen konnten die Grundlamellen der Concha nasalis superior nur auf Höhe des ersten und zweiten Oberkiefermolaren beobachtet werden. Hier ist ein Einzelwert auf Höhe des ersten Oberkiefermolaren zu verzeichnen. Für die Höhenmaße der oberen Nasenmuschel zeigte sich jedoch kein signifikanter Unterschied zwischen *Colobus guereza* und *Macaca fuscata*.

Tab. 4: Mittelwerte ($\bar{x}$) und Standardabweichungen (SD) der Höhenmaße der Grundlamellen der unteren Nasenmuscheln in Bezug zur Nasenbodenebene, unabhängig von Geschlecht und Alter. Angaben in mm.

	Colobus guereza			*Macaca fuscata*			Mann-Whitney-U-Test
	n	$\bar{x}$	SD	n	$\bar{x}$	SD	
CniH1r	13	9,14*	1,37	10	7,85	1,11	0,012*
CniH2r	13	11,12	1,63	10	10,77	1,23	0,605
CniH3r	13	9,12	1,51	10	11,93**	1,95	0,002**
CniH4r	13	6,72	1,15	10	7,01	2,32	0,832
CniH1l	13	8,65	1,63	10	7,74	0,79	0,077
CniH2l	13	10,91	1,75	10	10,49	1,07	0,522
CniH3l	13	9,19	1,65	10	11,84**	2,29	0,005**
CniH4l	13	6,58	0,98	10	7,17	2,73	0,927

CniH1r: Höhenmaß der Concha nasalis inferior im Bereich des 2. Oberkieferprämolaren rechts, CniH2r: Höhenmaß im Bereich des ersten Oberkiefermolaren rechts, CniH3r: Höhenmaß im Bereich des zweiten Oberkiefermolaren rechts, CniH4r: Höhenmaß im Bereich des dritten Oberkiefermolaren rechts, CniH1 bis CniH4l: Entsprechende Höhenmaße auf der linken Seite, * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$.

Tab. 5: Mittelwerte ($\bar{x}$) und Standardabweichungen (SD) der Höhenmaße der Grundlamellen der mittleren Nasenmuscheln in Bezug zur Nasenbodenebene, unabhängig von Geschlecht und Alter. Angaben in mm.

	Colobus guereza			*Macaca fuscata*			Mann-Whitney-U-Test
	n	$\bar{x}$	SD	n	$\bar{x}$	SD	
CnmH1r	0			0			
CnmH2r	0			0			
CnmH3r	12	13,35	1,85	1	15,80[a]		
CnmH4r	10	10,54	1,28	9	15,80***	1,49	0,000***
CnmH1l	0			0			
CnmH2l	0			0			
CnmH3l	12	13,29	2,19	1	15,10[a]		
CnmH4l	10	10,43	1,16	9	15,67***	1,45	0,000***

CnmH1r: Höhenmaß der Concha nasalis media im Bereich des 2. Oberkieferprämolaren rechts, CnmH2r: Höhenmaß im Bereich des ersten Oberkiefermolaren rechts, CnmH3r: Höhenmaß im Bereich des zweiten Oberkiefermolaren rechts, CnmH4r: Höhenmaß im Bereich des dritten Oberkiefermolaren rechts, CnmH1 bis CnmH4l: Entsprechende Höhenmaße auf der linken Seite, [a] Einzelwert, *** $p < 0,001$.

Tab. 6: Mittelwerte ($\bar{x}$) und Standardabweichungen (SD) der Höhenmaße der Grundlamellen der oberen Nasenmuscheln in Bezug zur Nasenbodenebene, unabhängig von Geschlecht und Alter. Angaben in mm.

	Colobus guereza			*Macaca fuscata*			Mann-Whitney-U-Test
	n	$\bar{x}$	SD	n	$\bar{x}$	SD	
CnsH1r	0			1	18,90[a]		
CnsH2r	1	15,90[a]		4	19,35	0,26	
CnsH3r	12	19,80	1,53	10	20,65	1,35	0,203[ns]
CnsH4r	0			4	21,83	1,91	
CnsH1l	0			1	19,00[a]		
CnsH2l	1	15,80[a]		4	19,35	0,13	
CnsH3l	12	19,70	1,37	10	20,63	1,42	0,159[ns]
CnsH4l	0			4	21,78	1,93	

CnsH1r: Höhenmaß der Concha nasalis superior im Bereich des 2. Oberkieferprämolaren rechts, CnsH2r: Höhenmaß im Bereich des ersten Oberkiefermolaren rechts, CnsH3r: Höhenmaß im Bereich des zweiten Oberkiefermolaren rechts, CnsH4r: Höhenmaß im Bereich des dritten Oberkiefermolaren rechts, CnsH1 bis CnsH4l: Entsprechende Höhenmaße auf der linken Seite, **[a]** Einzelwert, **[ns]** nicht signifikant.

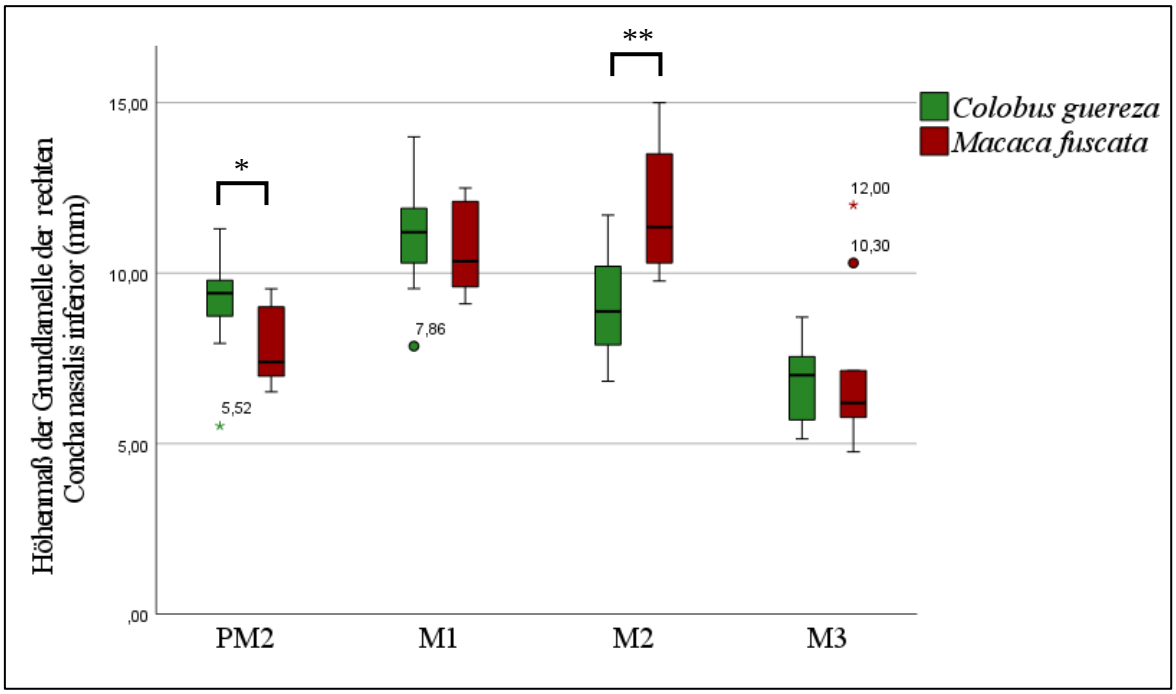

Abb. 22: Boxplots zur Darstellung der Höhenmaße der Grundlamellen der Concha nasalis inferior rechts in Bezug zur Nasenbodenebene. PM2: Messebene auf Höhe des zweiten Oberkieferprämolaren, M1: Messebene auf Höhe des ersten Oberkiefermolaren,
M2: Messebene auf Höhe des zweiten Oberkiefermolaren, M3: Messebene auf Höhe des dritten Oberkiefermolaren. * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$.

Dem Diagramm in Abbildung 22 ist zu entnehmen, dass es signifikante Unterschiede der Höhenmaße im Bereich des zweiten Oberkieferprämolaren ($p < 0,05$) und des zweiten Oberkiefermolaren ($p < 0,01$) gibt. Die größten vertikalen Abstände zwischen der Grundlamelle der Concha nasalis inferior und der Nasenbodenebene liegen für *Macaca fuscata* auf Höhe der Messebene M2. Das Maximum bei *Colobus guereza* liegt hingegen auf der Höhe von M1. Bei beiden Spezies sind die niedrigsten Werte auf Höhe des dritten Oberkiefermolaren zu beobachten. Ausreißer zeigen sich bei *Colobus guereza* im Messbereich PM2 (5,52 mm) und M1 (7,86 mm). Für *Macaca fuscata* sind zwei Ausreißer auf Höhe der Messebene M3 zu verzeichnen (10,30 mm; 12,00 mm).

4.2.4 Asymmetrie-Index der Grundlamellen

Die Seitenunterschiede der Grundlamellen wurden ebenfalls unter Verwendung des Asymmetrie-Index (AI) untersucht. Die Ergebnisse sind in Form von Punktediagrammen in den Abbildungen 23 und 24 dargestellt. Für jede Nasenmuschel lässt sich bei beiden Spezies eine zufällige Verteilung der Asymmetrien beobachten. Je größer der vertikale Abstand der Grundlamelle zur Nasenbodenebene ist, desto geringer scheint der Seitenunterschied zu sein. So zeigt sich eine größere Streuung der Werte der Concha nasalis inferior um die Mittellinie als bei der Concha nasalis superior. Dies gilt für *Macaca fuscata* (Abb. 23) und für *Colobus guereza* (Abb. 24).

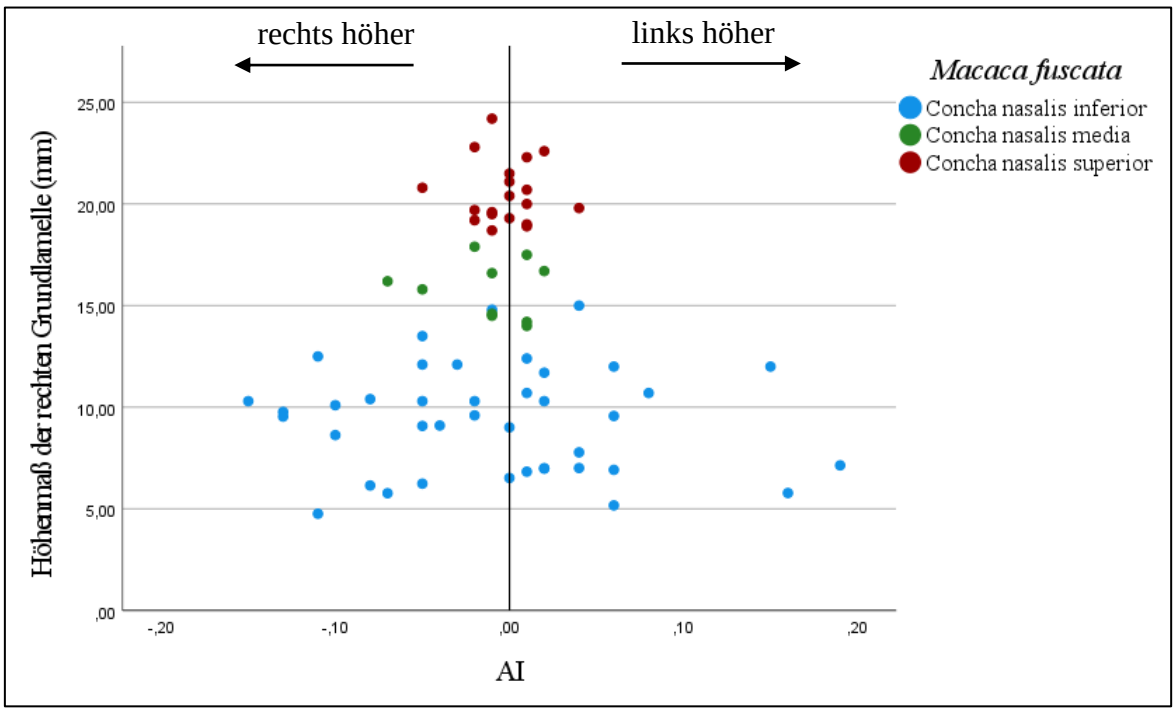

Abb. 23: Darstellung des Asymmetrie–Index (AI) der Grundlamellen der unteren, mittleren und oberen Nasenmuscheln bei *Macaca fuscata*. Es sind die Werte von allen vier Messebenen (PM2 bis M3) abgebildet.

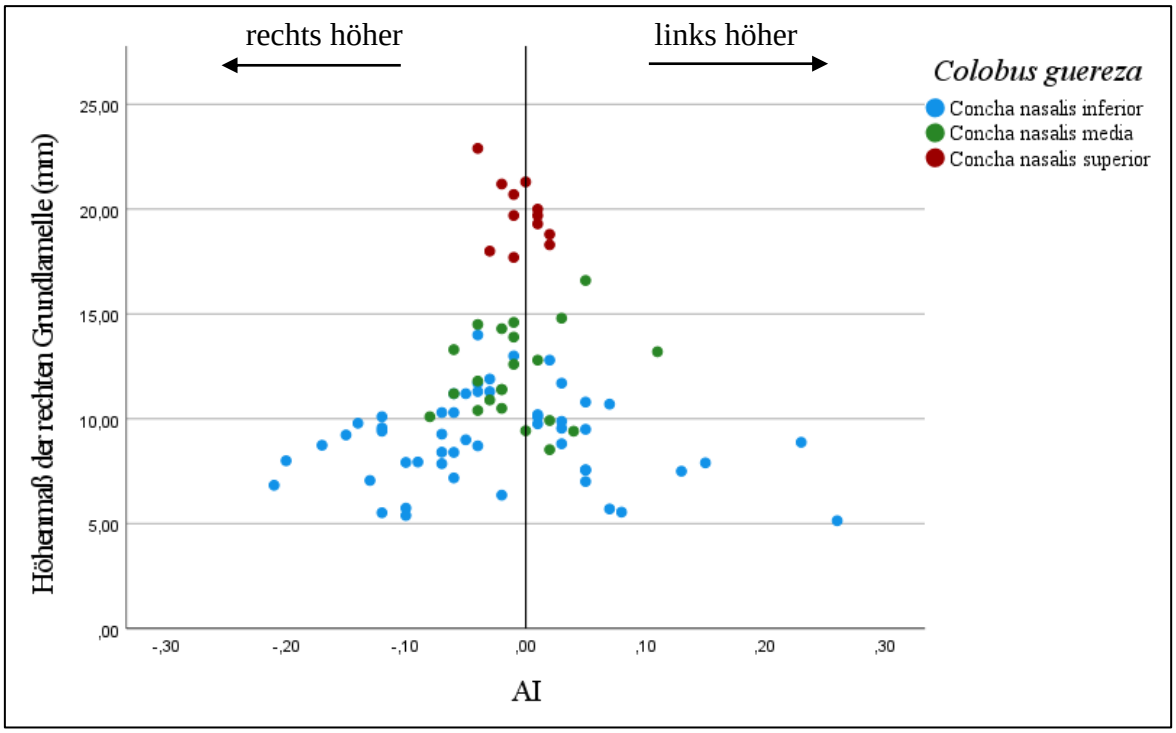

Abb. 24: Darstellung des Asymmetrie–Index (AI) der Grundlamellen der unteren, mittleren und oberen Nasenmuscheln bei *Colobus guereza*. Es sind die Werte von allen vier Messebenen (PM2 bis M3) abgebildet.

4.3 Größe des Meatus nasi inferior

Die Mittelwerte, die Standardabweichungen und die Ergebnisse des Mann-Whitney-U-Tests für die Flächenmaße des Meatus nasi inferior sind in Tabelle 7 zusammengefasst. Mit Ausnahme der Messwerte MniF3R und MniF3L zeigen sich signifikante Unterschiede in der Größe des Meatus nasi inferior zwischen beiden Spezies. Während *Colobus guereza* auf Höhe der ersten beiden Messebenen (PM2 und M1) signifikant größere Flächen aufweist, konnten für *Macaca fuscata* größere Flächenmaße auf Höhe der hinteren beiden Messebenen (M2 und M3) beobachtet werden. Der Größenunterschied auf Höhe der Messebene M2 ist jedoch nicht signifikant. Insgesamt scheint *Colobus guereza* auf jeder Messebene eine größere Streuung um den Medianwert aufzuweisen (Abb. 25).

Tab. 7: Mittelwerte ($\bar{x}$) und Standardabweichungen (SD) der Flächenmaße des Meatus nasi inferior beider Spezies, unabhängig von Geschlecht und Alter. Angaben in mm^2.

	Colobus guereza			*Macaca fuscata*			Mann-Whitney-U-Test
	n	$\bar{x}$	SD	n	$\bar{x}$	SD	
MniF1r	13	18,47***	4,68	10	7,97	4,34	0,000***
MniF2r	13	29,94*	11,45	10	16,35	6,58	0,015*
MniF3r	13	13,83	8,29	10	17,64	9,54	0,376
MniF4r	13	5,78	2,78	10	9,47*	3,55	0,018*
MniF1l	13	17,10***	6,29	10	7,86	4,14	0,000***
MniF2l	13	28,45**	9,15	10	16,33	6,05	0,004**
MniF3l	13	12,51	6,94	10	18,68	9,99	0,148
MniF4l	13	5,50	2,75	10	9,37*	3,42	0,015*

MniF1r: Flächenmaß des Meatus nasi inferior auf Höhe des zweiten Oberkieferprämolaren rechts, MniF2r: Flächenmaß auf Höhe des ersten Oberkiefermolaren rechts, MniF3r: Flächenmaß auf Höhe des zweiten Oberkiefermolaren rechts, MniF4r: Flächenmaß auf Höhe des dritten Oberkiefermolaren rechts, MniF1l bis MniF4l: Entsprechende Flächenmaße der linken Seite, * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$.

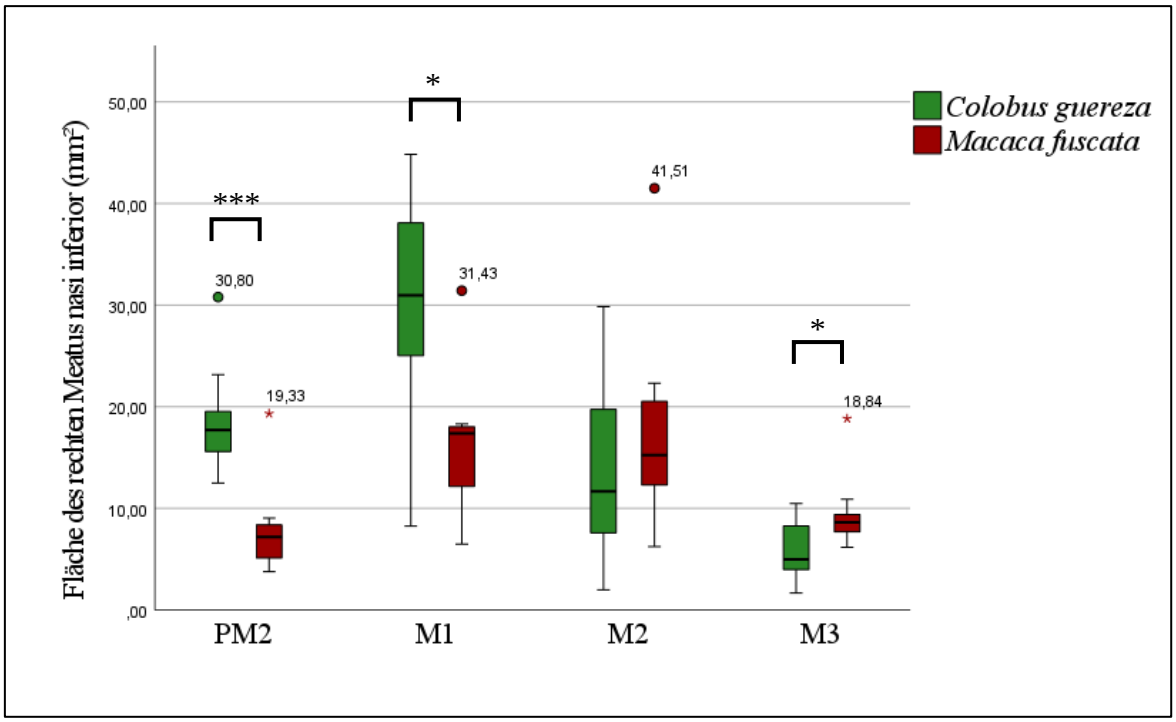

Abb. 25: Boxplots zur Darstellung der Flächenmaße des rechten Meatus nasi inferior beider Spezies. PM2: Messebene auf Höhe des zweiten Oberkieferprämolaren, M1: Auf Höhe des ersten Oberkiefermolaren, M2: Auf Höhe des zweiten Oberkiefermolaren, M3: Auf Höhe des dritten Oberkiefermolaren. * $p < 0,05$, *** $p < 0,001$.

4.4 Maße der Cavitas nasi

Für die Erfassung der Cavitas nasi wurde die Breite und Höhe der Nasenhöhle auf den entsprechenden Messebenen (PM2 bis M3) vermessen und ein Breiten-Höhen-Index erstellt. Tabelle 8 gibt einen Überblick über die erfassten Messwerte sowie die Ergebnisse des Mittelwertvergleiches.

Die Ergebnisse des Mann-Whitney-U-Tests zeigen signifikante Unterschiede zwischen *Macaca fuscata* und *Colobus guereza* in den Höhenmaßen der Nasenhöhle im Bereich des zweiten Oberkieferprämolaren, des zweiten Oberkiefermolaren und des dritten Oberkiefermolaren. Für die Breitenmaße konnten signifikante Unterschiede auf Höhe des zweiten Oberkieferprämolaren sowie des zweiten Oberkiefermolaren festgestellt werden. Ausgenommen vom Höhenmaß im Messbereich M1 und dem Breitenmaß im Messbereich PM2 zeigen die Mittelwerte in Tabelle 8 größere Breiten- und Höhenmaße der Nasenhöhle bei *Macaca fuscata*. In Tabelle 9 sind die Mittelwerte des berechneten Breiten-Höhen-Index der Nasenhöhle aufgelistet. Je kleiner der Wert ist, desto schmaler und höher ist die Nasenhöhle an der betrachteten Messebene.

Tab. 8: Mittelwerte ($\bar{x}$) und Standardabweichungen (SD) der Breiten- und Höhenmaß der Nasenhöhle beider Spezies, unabhängig von Geschlecht und Alter. Angaben in mm.

	Colobus guereza			*Macaca fuscata*			Mann-Whitney-U-Test
	n	$\bar{x}$	SD	n	$\bar{x}$	SD	
NB1	13	19,35*	1,18	10	18,14	1,42	0,036*
NB2	13	22,15	2,18	10	23,69	1,53	0,077
NB3	13	20,24	2,65	10	23,21*	3,02	0,049*
NB4	13	16,58	1,97	10	18,05	2,68	0,313
NH1	13	17,59	2,54	10	19,65*	1,45	0,015*
NH2	13	22,09	1,85	10	21,66	2,03	0,522
NH3	13	23,69	2,27	10	27,09***	1,13	0,000***
NH4	13	19,37	3,43	10	29,64***	1,12	0,000***

NB1: Breite der Nasenhöhle im Bereich des zweiten Oberkieferprämolaren, NB2: Breite der Nasenhöhle im Bereich des ersten Oberkiefermolaren, NB3: Breite der Nasenhöhle im Bereich des zweiten Oberkiefermolaren, NB4: Breite der Nasenhöhle im Bereich des dritten Oberkiefermolaren, NH1-NH4: Entsprechende Höhenmaße der Nasenhöhle, * $p < 0,05$, *** $p < 0,001$.

Tab. 9: Mittelwerte des Breiten-Höhen-Index (BHI) der Nasenhöhle.

	Colobus guereza	*Macaca fuscata*	Mann-Whitney-U-Test
PM2	113,31**	92,72	0,003**
M1	100,74	110,22	0,131
M2	85,57	85,97	0,927
M3	87,33***	60,92	0,000***

PM2: zweiter Oberkieferprämolar, M1: erster Oberkiefermolar, M2: zweiter Oberkiefermolar, M3: dritter Oberkiefermolar, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$.

Macaca fuscata weist auf Höhe der Messebenen PM2 und M3 einen signifikant kleineren Breiten-Höhen-Index der Nasenhöhle auf als *Colobus guereza*. Somit ist die Nasenhöhle bei *Macaca fuscata* in diesen Bereichen schmaler und höher ausgeprägt. Auf Höhe der Messebene M2 zeigen beide Spezies ähnliche Werte. Der Unterschied auf Höhe M1 ist nicht signifikant.

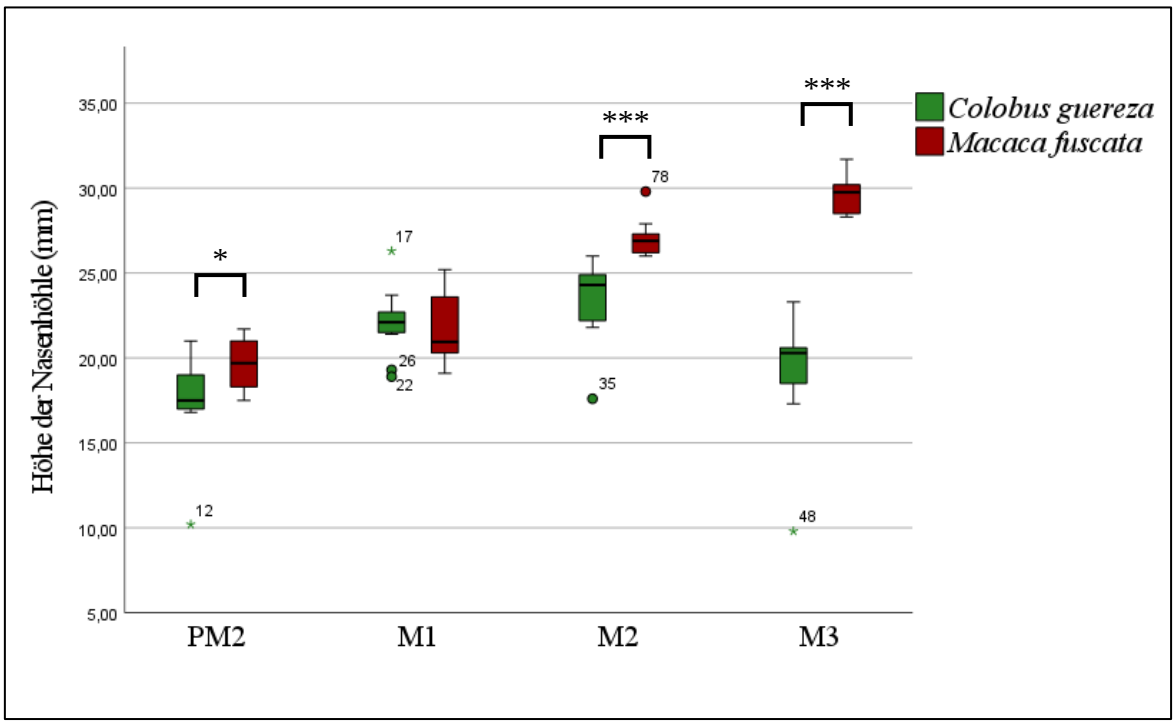

Abb. 26: Boxplots zur Darstellung der Höhenmaße der Nasenhöhle beider Spezies.
PM2: Messebene auf Höhe des zweiten Oberkieferprämolaren, M1: Auf Höhe des ersten Oberkiefermolaren, M2: Auf Höhe des zweiten Oberkiefermolaren, M3: Auf Höhe des dritten Oberkiefermolaren. * $p < 0,05$, *** $p < 0,001$.

Auch die Boxplots in Abbildung 26 verdeutlichen den Unterschied der Höhenmaße beider Spezies. Lediglich auf Höhe des ersten Oberkiefermolaren hat *Colobus guereza* einen höheren Medianwert aufzuweisen. Die größte vertikale Ausdehnung der Nasenhöhle zeigt *Macaca fuscata* im Messbereich auf Höhe des dritten Oberkiefermolaren. Die Maximalwerte bei *Colobus guereza* liegen auf Höhe des zweiten Oberkiefermolaren.

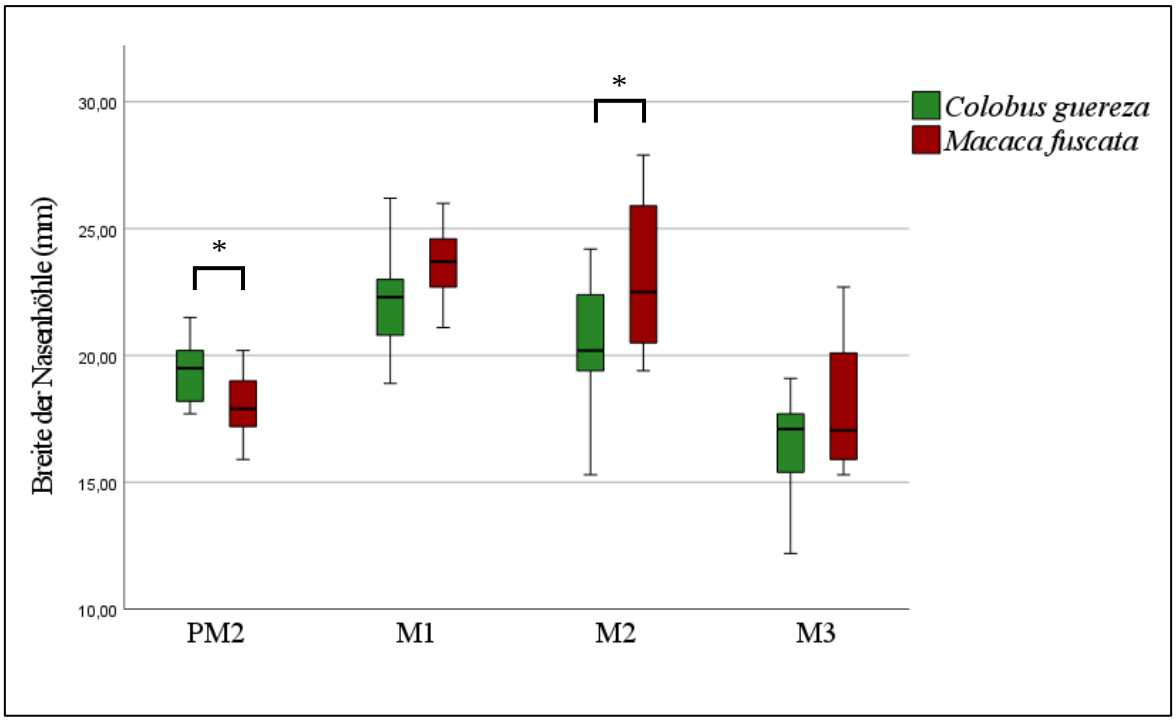

Abb. 27: Boxplots zur Darstellung der Breitenmaße der Nasenhöhle beider Spezies.
PM2: Messebene auf Höhe des zweiten Oberkieferprämolaren, M1: Auf Höhe des ersten Oberkiefermolaren, M2: Auf Höhe des zweiten Oberkiefermolaren, M3: Auf Höhe des dritten Oberkiefermolaren. * $p < 0,05$.

Bei Betrachtung der Breitenmaße der Nasenhöhle ist dem Diagramm in Abbildung 27 zu entnehmen, dass *Macaca fuscata* im Bereich des ersten Oberkiefermolaren bis zum dritten Oberkiefermolaren eine breitere Nasenhöhle aufweist. Auf Höhe des zweiten Oberkieferprämolaren zeigt *Colobus guereza* signifikant größere Werte. Die Medianwerte beider Spezies auf Höhe der Messebene M3 liegen nahezu gleich auf.

4.5 Schädelmaße

Die Mittelwerte und Standardabweichungen der herangezogenen Schädelmaße sind in Tabelle 10 aufgeführt. Der Mittelwertvergleich zwischen beiden Spezies wurde ebenfalls mit Hilfe des Mann-Whitney-U-Tests durchgeführt.

Die Werte in Tabelle 10 zeigen, dass es keinen signifikanten Unterschied bei der Schädelbasislänge (SBL) zwischen *Macaca fuscata* und *Colobus guereza* gibt. Für die weiteren Schädelmaße sowie das berechnete Gesichtsschädelvolumen können bei *Macaca fuscata* signifikant größere Werte verzeichnet werden.

Tab. 10: Mittelwerte ($\bar{x}$) und Standardabweichungen (SD) der Schädelmaße beider Spezies, unabhängig von Geschlecht und Alter. Angaben in mm (GSV in mm^3).

	Colobus guereza			*Macaca fuscata*			Mann-Whitney-U-Test
	n	$\bar{x}$	SD	n	$\bar{x}$	SD	
OGH	13	38,95	3,82	10	56,84***	4,18	0,000***
SBL	13	64,25	5,89	10	66,43	2,11	0,343
GSL	13	78,92	10,94	10	88,24*	4,73	0,015*
SL	13	103,49	7,21	10	124,70***	5,98	0,000***
GB	13	18,52	1,54	10	22,90***	1,71	0,000***
GL	13	39,52	3,85	10	47,63***	3,89	0,000***
MGB	13	52,06	2,91	10	58,77***	3,39	0,000***
MAB	13	34,40	1,79	10	41,12***	1,34	0,000***
JBB	13	71,58	3,16	8	88,76***	5,45	0,000***
GSV	13	64902,37	14256,84	10	110923,98***	14727,33	0,000***

OGH: Obergesichtshöhe, SBL: Schädelbasislänge, GSL: Gesichtsschädellänge, SL: Gesamtschädellänge, GB: Gaumenbreite, GL: Gaumenlänge, MGB: Mittelgesichtsbreite, MAB: Maxilloalveolarbreite, JBB: Jochbogenbreite, GSV: Gesichtsschädelvolumen,
* $p < 0,05$, *** $p < 0,001$.

4.6 Ergebnisse der Korrelationsanalyse

Mit Hilfe der Korrelationsanalyse nach Spearman wurde untersucht, ob es mögliche Zusammenhänge zwischen ausgewählten Strecken-, Flächen- und Volumenmaßen innerhalb der beiden Spezies gibt. Zunächst wurden die Beziehungen zwischen den Höhenmaßen der Grundlamellen und den Breiten- und Höhenmaße der Nasenhöhle sowie den Flächenmaßen des Meatus nasi inferior untersucht (Tab. 11). Des Weiteren suchten wir nach Zusammenhängen zwischen den Volumenmaßen der Nasenmuscheln und ausgewählten Schädelmaßen (Tab. 12). Die Ergebnisse der Korrelationsanalysen sind in den Tabellen des Anhangs dargestellt. Die Tabellen 11 und 12 geben einen Überblick über signifikante Korrelationen bei *Macaca fuscata* und *Colobus guereza*.

Bei *Macaca fuscata* ließen sich signifikante Zusammenhänge zwischen den Höhenmaßen der Grundlamellen der unteren Nasenmuscheln und den Breitenmaßen der Nasenhöhle im Bereich des zweiten und dritten Oberkiefermolaren beobachten. Eine Korrelation zwischen den Grundlamellen der unteren Nasenmuscheln und den Höhenmaßen der Nasenhöhle zeigte sich nur auf der linken Seite im Bereich des zweiten Oberkieferprämolaren. Auch bei *Colobus guereza* war eine Korrelation zwischen den Grundlamellen der unteren Nasenmuscheln und den Breitenmaßen der Nasenhöhle auf Höhe des zweiten Oberkiefermolaren zu verzeichnen. Im Bereich des ersten Oberkiefermolaren war die Korrelation nur auf der linken Seite und im Bereich des dritten Oberkiefermolaren nur auf der rechten Seite signifikant.

Für die Grundlamellen der mittleren Nasenmuscheln wurde bei *Colobus guereza* ein signifikanter Zusammenhang mit den Breiten- und Höhenmaßen der Nasenhöhle auf der linken Seite im Bereich des dritten Oberkiefermolaren festgestellt. Bei Betrachtung der Flächenmaße des Meatus nasi inferior zeigten sich bei *Macaca fuscata* signifikante Korrelationen mit den Höhenmaßen der Grundlamellen der unteren Nasenmuscheln im Bereich des zweiten Oberkiefermolaren. Für *Colobus guereza* waren die Zusammenhänge hier im Bereich des ersten und zweiten Oberkiefermolaren sowie auf der rechten Seite des dritten Oberkiefermolaren signifikant. Des Weiteren waren signifikante Zusammenhänge zwischen den Flächenmaßen des Meatus nasi inferior und den Breiten- und Höhenmaßen der Nasenhöhle bei beiden Spezies erkennbar. Hierbei konnte bei *Macaca fuscata* ein negativer Zusammenhang zwischen der Höhe der Nasenhöhle und der Fläche des Meatus nasi inferior der rechten Seite im Bereich des zweiten Oberkiefermolaren beobachtet werden.

Schließlich ergab die Korrelationsanalyse der Volumina der Nasenmuscheln und ausgewählten Schädelmaßen bei *Macaca fuscata* signifikante Zusammenhänge zwischen der rechten Concha nasalis inferior und der Gesichtsschädellange (GSL) sowie dem Gesichtsschädelvolumen (GSV). Die Werte bei *Colobus guereza* hingegen zeigten keine weiteren Korrelationen zwischen den Volumina der Nasenmuscheln und den Schädelmaßen.

Tab. 11: Übersicht der signifikanten Korrelationen ausgewählter Messgrößen der Nasenhöhle im Vergleich zwischen *Macaca fuscata* und *Colobus guereza*.

	NH1	NH2	NH3	NH4	NB1	NB2	NB3	NB4	MniF1r	MniF2r	MniF3r	MniF4r	MniF1l	MniF2l	MniF3l	MniF4l
CniH1r																
CniH2r										2						
CniH3r							12				12					
CniH4r								12				2				
CniH1l	1															
CniH2l						2								2		
CniH3l							12								12	
CniH4l								1								
CnmH1r																
CnmH2r																
CnmH3r																
CnmH4r																
CnmH1l																
CnmH2l																
CnmH3l																
CnmH4l				2				2								
MniF1r	1															
MniF2r						2										
MniF3r							12									
MniF4r								2								
MniF1l																
MniF2l						12										
MniF3l			12				12									
MniF4l								2								

1: Korrelation des Wertepaares bei *Macaca fuscata*.

2: Korrelation des Wertepaares bei *Colobus guereza*.

CniH1r: Höhenmaß der Grundlamelle der Concha nasalis inferior im Bereich des 2. Oberkieferprämolaren rechts, CniH2r: Höhenmaß im Bereich des ersten Oberkiefermolaren rechts, CniH3r: Höhenmaß im Bereich des zweiten Oberkiefermolaren rechts, CniH4r: Höhenmaß im Bereich des dritten Oberkiefermolaren rechts, CniH1 bis CniH4l: Entsprechende Höhenmaße auf der linken Seite, CnmH1r: Höhenmaß der Grundlamelle der Concha nasalis media im Bereich des 2. Oberkieferprämolaren rechts, CnmH2r: Höhenmaß im Bereich des ersten Oberkiefermolaren rechts, CnmH3r: Höhenmaß im Bereich des zweiten Oberkiefermolaren rechts, CnmH4r: Höhenmaß im Bereich des dritten Oberkiefermolaren rechts, CnmH1 bis CnmH4l: Entsprechende Höhenmaße auf der linken Seite, MniF1r: Flächenmaß des Meatus nasi inferior auf Höhe des zweiten Oberkieferprämolaren rechts, MniF2r: Flächenmaß auf Höhe des ersten Oberkiefermolaren rechts, MniF3r: Flächenmaß auf Höhe des zweiten Oberkiefermolaren rechts, MniF4r: Flächenmaß auf Höhe des dritten Oberkiefermolaren rechts, MniF1l bis MniF4l: Entsprechende Flächenmaße der linken Seite, NH1: Höhe der Nasenhöhle im Bereich des zweiten Oberkieferprämolaren, NH2: Höhe der Nasenhöhle im Bereich des ersten Oberkiefermolaren, NH3: Höhe der Nasenhöhle im Bereich des zweiten Oberkiefermolaren, NH4: Höhe der Nasenhöhle im Bereich des dritten Oberkiefermolaren, NB1-NB4: Entsprechende Breitenmaße der Nasenhöhle.

Tab. 12: Übersicht der signifikanten Korrelationen ausgewählter Messgrößen des Schädels und der Nasenmuscheln im Vergleich zwischen *Macaca fuscata* und *Colobus guereza*.

	CniVl	CnmVr	CnmVl	SBL	GSL	OGH	GSV
CniVr	12				1		1
CniVl		2					
CnmVr			12				
CnmVl							

1: Korrelation des Wertepaares bei *Macaca fuscata*.

2: Korrelation des Wertepaares bei *Colobus guereza*.

CniVr: Volumen der rechten Concha nasalis inferior, CniVl: Volumen der linken Concha nasalis inferior, CnmVr: Volumen der rechten Concha nasalis media, CnmVl: Volumen der linken Concha nasalis media, SBL: Schädelbasislänge, GSL: Gesichtsschädellänge, OGH: Obergesichtshöhe, GSV: Gesichtsschädelvolumen.

4.7 Ergebnisse der Regressionsanalyse

Ausgehend von den Ergebnissen der Korrelationsanalyse wurde eine lineare Regressionsanalyse durchgeführt. Hierbei wurden diejenigen Wertepaare untersucht, die eine signifikante Korrelation aufweisen ($p < 0,05$). Stellvertretend für alle korrelierenden Wertepaare konzentrierten wir uns bei der Auswertung auf die Messergebnisse der rechten Seite. Die folgenden Tabellen 13 und 14 geben einen Überblick über die Ergebnisse der Regressionsanalyse.

Für *Macaca fuscata* zeigt sich vor allem bei dem Zusammenhang zwischen dem Höhenmaß der Grundlamelle der Concha nasalis inferior rechts und der Breite der Nasenhöhle im Bereich des zweiten Oberkiefermolaren ein hohes Bestimmtheitsmaß (R^2). Hier lassen sich 85,8 % der Höhenmaße der Grundlamelle aus den Breitenmaßen der Nasenhöhle erklären. Im Gegensatz dazu sind die Ergebnisse der Regressionsanalyse beim Volumen der rechten Concha nasalis inferior und dem Gesichtsschädelvolumen sowie bei der Fläche des rechten Meatus nasi inferior und der Höhe der Nasenhöhle im Bereich des zweiten Oberkieferprämolaren nicht signifikant.

Tab. 13: Ergebnisse der einfachen linearen Regressionsanalyse für korrelierende Wertepaarte bei *Macaca fuscata*.

Wertepaar	Regressionsgleichung	Korrelationskoeffizient	R^2
CniH3r - MniF3r	$y = 0,16x + 9,06$	0,766**	0,634
CniH3r - NB3	$y = 0,6x – 1,92$	0,881**	0,858
CniH4r - NB4	$y = 0,67x – 5,09$	0,711**	0,597
CniVr - GSL	$y = 8,26x – 4,98 \cdot 10^2$	0,810*	0,658
CniVr - GSV	$y = 1,96 \cdot 10^{-3}x + 8,2$ ns	0,738*	0,412
MniF3r - NB3	$y = 2,39x – 37,78$	0,721*	0,572
MniF1r - NH1	$y = 1,82x – 27,7$ ns	0,681*	0,367

R^2: Bestimmtheitsmaß, CniH3r: Höhenmaß der Grundlamelle Concha nasalis inferior rechts auf Höhe des zweiten Oberkiefermolaren, CniH4r: Höhenmaß der Grundlamelle der Concha nasalis inferior rechts auf Höhe des dritten Oberkiefermolaren, MniF1r: Flächenmaß des rechten Meatus nasi inferior auf Höhe des zweiten Oberkieferprämolaren, MniF3r: Flächenmaß des rechten Meatus nasi inferior auf Höhe des zweiten Oberkiefermolaren,

CniVr: Volumen der Concha nasalis inferior rechts, NH1: Höhenmaß der Nasenhöhle im Bereich des zweiten Oberkieferprämolaren, NB3: Breitenmaß der Nasenhöhle im Bereich des zweiten Oberkiefermolaren, NB4: Breitenmaß der Nasenhöhle im Bereich des dritten Oberkiefermolaren, GSL: Gesichtsschädellänge, GSV: Gesichtsschädelvolumen, ^{ns} nicht signifikant, * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$.

Das höchste Bestimmtheitsmaß (R^2) für korrelierende Wertepaare bei *Colobus guereza* konnten wir bei dem Zusammenhang zwischen dem Flächenmaß des rechten Meatus nasi inferior und dem Breitenmaß der Nasenhöhle auf Höhe des ersten Oberkiefermolaren beobachten. Zu 71 % können diese Flächenmaße (MniF2r) aus den Breitenmaßen der Nasenhöhle (NB2) vorhergesagt werden. Bei der Korrelation zwischen dem Höhenmaß der Grundlamelle der rechten Concha nasalis inferior und dem Breitenmaß der Nasenhöhle im Bereich des dritten Oberkiefermolaren ergab die Regressionsanalyse kein signifikantes Ergebnis.

Tab. 14: Ergebnisse der einfachen linearen Regressionsanalyse für korrelierende Wertepaarte bei *Colobus guereza*.

Wertepaar	Regressionsgleichung	Korrelationskoeffizient	R^2
CniH2r - MniF2r	y = 0,11x + 7,86	0,666*	0,584
CniH3r - MniF3r	y = 0,13x + 7,34	0,720**	0,496
CniH4r - MniF4r	y = 0,25x + 5,27	0,747**	0,363
CniH3r - NB3	y = 0,38x + 1,5	0,676*	0,438
CniH4r - NB4	y = 0,32x + 1,42 ^{ns}	0,585*	0,299
MniF2r - NB2	y = 4,43x – 68,09	0,686**	0,710
MniF3r - NB3	y = 2,46x – 36,06	0,863**	0,622
MniF4r - NB4	y = 0,85x – 8,37	0,610*	0,366

R^2: Bestimmtheitsmaß, CniH2r: Höhenmaß der Grundlamelle Concha nasalis inferior rechts auf Höhe des ersten Oberkiefermolaren, CniH3r: Höhenmaß der Grundlamelle Concha nasalis inferior rechts auf Höhe des zweiten Oberkiefermolaren, CniH4r: Höhenmaß der Grundlamelle Concha nasalis inferior rechts auf Höhe des dritten Oberkiefermolaren, MniF2r: Flächenmaß des rechten Meatus nasi inferior auf Höhe des ersten Oberkiefermolaren,

MniF3r: Flächenmaß des rechten Meatus nasi inferior auf Höhe des zweiten Oberkiefermolaren, MniF4r: Flächenmaß des rechten Meatus nasi inferior auf Höhe des dritten Oberkiefermolaren, NB2: Breitenmaß der Nasenhöhle im Bereich des ersten Oberkiefermolaren, NB3: Breitenmaß der Nasenhöhle im Bereich des zweiten Oberkiefermolaren, NB4: Breitenmaß der Nasenhöhle im Bereich des dritten Oberkiefermolaren, ^{ns} nicht signifikant, * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$.

Zur grafischen Veranschaulichung wurden diejenigen Wertepaare in einem Streudiagramm dargestellt, die bei beiden Spezies einen signifikanten Zusammenhang aufweisen. Zudem ist die jeweilige Regressionsgerade eingezeichnet (Abb. 28 bis 31). Des Weiteren untersuchten wir die Anstiege der Regressionsgeraden auf signifikante Unterschiede zwischen beiden Spezies. Hierbei konnten allerdings keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden.

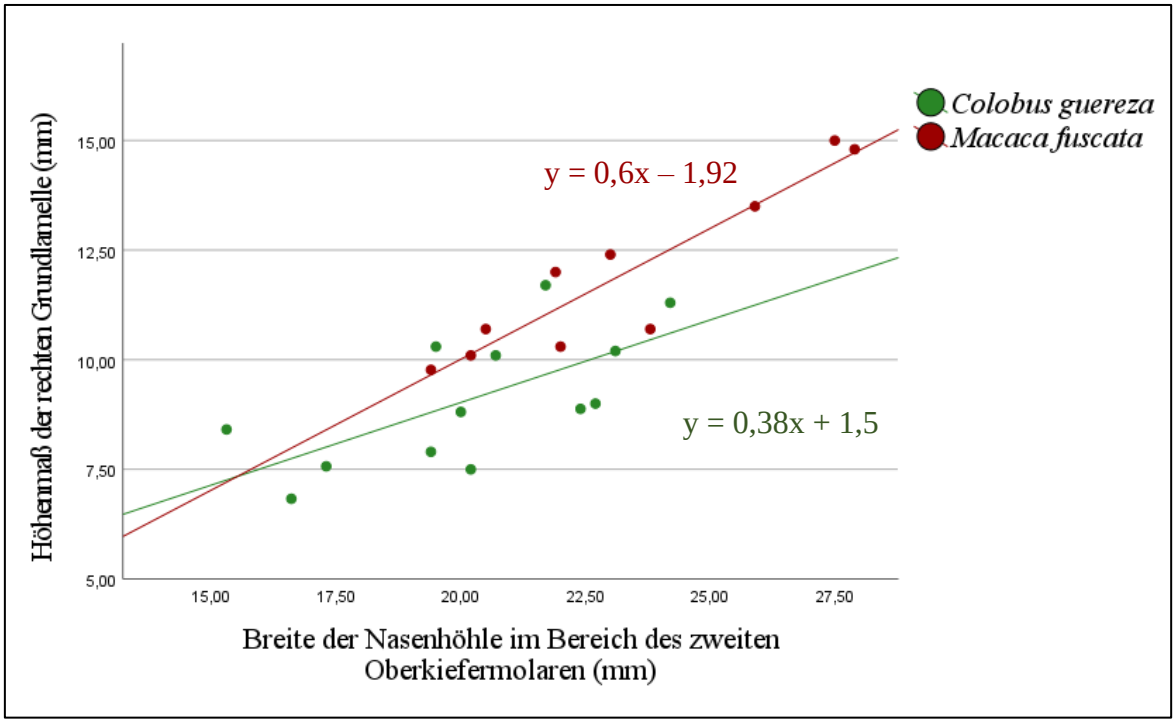

Abb. 28: Grafische Darstellung des Ergebnisses der linearen Regressionsanalyse für die Merkmalspaare Höhenmaß der Grundlamelle der rechten Concha nasalis inferior (CniH3r) und Breite der Nasenhöhle (NB3) im Bereich des zweiten Oberkiefermolaren. Der Unterschied der Anstiege der Regressionsgeraden ist nicht signifikant ($p = 0,235$).

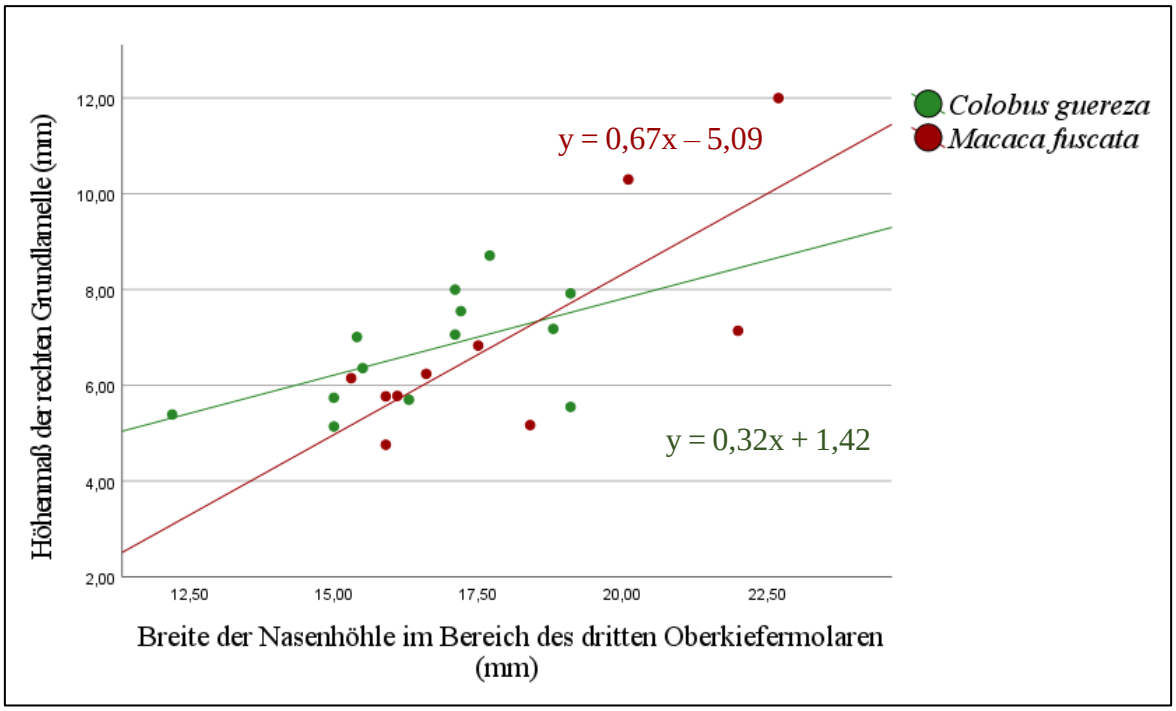

Abb. 29: Grafische Darstellung des Ergebnisses der linearen Regressionsanalyse für die Merkmalspaare Höhenmaß der Grundlamelle rechten Concha nasalis inferior (CniH4r) und Breite der Nasenhöhle (NB4) im Bereich des dritten Oberkiefermolaren. Der Unterschied der Anstiege der Regressionsgeraden ist nicht signifikant (p = 0,167).

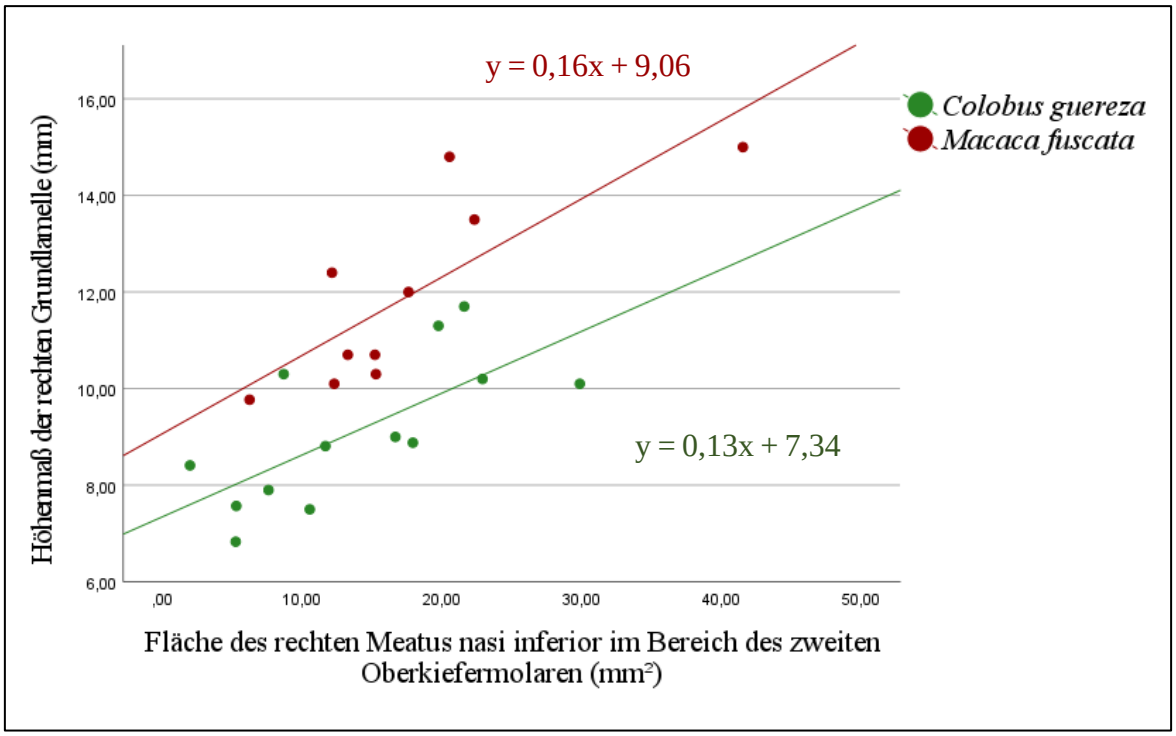

Abb. 30: Grafische Darstellung des Ergebnisses der linearen Regressionsanalyse für die Merkmalspaare Höhenmaß der Grundlamelle der rechten Concha nasalis inferior (CniH3r) und Fläche des rechten Meatus nasi inferior (MniF3r) im Bereich des zweiten Oberkiefermolaren. Der Unterschied der Anstiege der Regressionsgeraden ist nicht signifikant (p = 0,563).

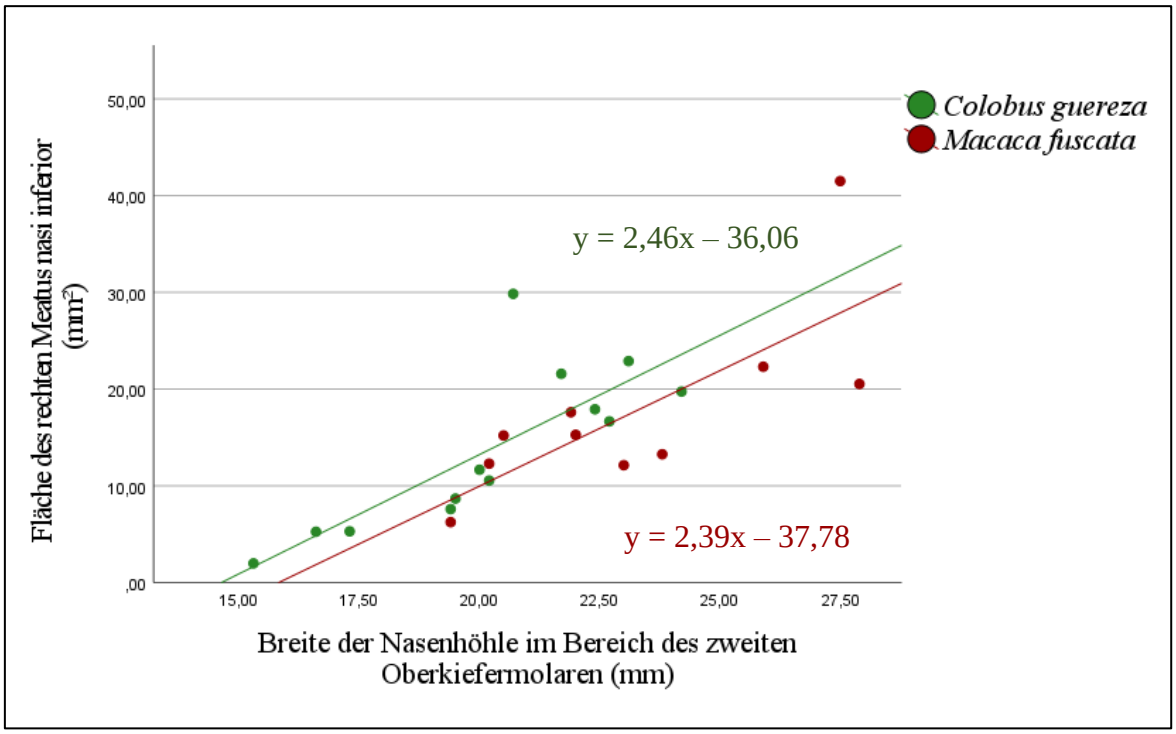

Abb. 31: Grafische Darstellung des Ergebnisses der linearen Regressionsanalyse für die Merkmalspaare Fläche des rechten Meatus nasi inferior (MniF3r) und Breite der Nasenhöhle (NB3) im Bereich des zweiten Oberkiefermolaren. Der Unterschied der Anstiege der Regressionsgeraden ist nicht signifikant (p = 0,934).

5. Diskussion

In der vorliegenden Studie untersuchten wir die Nasenhöhle der Primatenspezies *Macaca fuscata* und *Colobus guereza*. Da von beiden Spezies nur *Macaca fuscata* einen Sinus maxillaris aufweist, ist ein Vergleich zwischen diesen Primaten von besonderem Interesse. Im Mittelpunkt unserer Arbeit stand die Beschreibung und Vermessung der Nasenmuscheln und ihrer Grundlamellen. Dazu wurden u.a. Breiten- und Höhenmaße der Nasenhöhle sowie Flächenmaße des unteren Nasengangs erhoben und verglichen.

Wir konnten zwischen den untersuchten Primatenspezies zahlreiche Unterschiede, aber auch einige Gemeinsamkeiten in verschiedenen Aspekten der Nasenhöhle feststellen. Diese Gemeinsamkeiten sind bemerkenswert, da *Macaca fuscata* und *Colobus guereza* mit Ausnahme der Schädelbasislänge (s. Tab. 10) signifikant unterschiedlich große Schädelmaße aufweisen und verschiedene geografische Lebensräume bewohnen. Die hier verwendeten Schädel der Japanischen Makaken können den Subspezies *Macaca fuscata fuscata* und *Macaca fuscata yakui* zugeordnet werden. Der Lebensraum von *Macaca fuscata fuscata* erstreckt sich über Honshū, das Hauptarchipel Japans, während *Macaca fuscata yakui* auf der südlichen Insel Yakushima vorkommt (Muroyama and Yamada 2010, Yano et al. 2020). *Colobus guereza* ist im zentralen Afrika endemisch, wo die jeweiligen Unterarten im Flachland sowie in den Gebirgsregionen anzutreffen sind (Fashing and Oates 2013). Genauere Angaben über das Habitat der von uns untersuchten Primatenschädel von *Colobus guereza* sind jedoch nicht bekannt.

5.1 Reproduzierbarkeit der Ergebnisse

Zufällige Messabweichung

Um die Zuverlässigkeit unserer Messdaten zu überprüfen, bestimmten wir die untersucherabhängigen Messabweichungen entsprechend dem Vorgehen von Schlicher et al. (2012). Dazu wurden die Messungen der Höhenmaße der Grundlamellen, der Breiten- und Höhenmaße der Nasenhöhle sowie der Flächenmaße des Meatus nasi inferior an jeweils drei zufällig ausgewählten Schädelpräparaten von *Macaca fuscata* und *Colobus guereza* dreimal durchgeführt. Dementsprechend konnten wir 520 Kontrollmessungen einbeziehen.

Unter Kapitel 4.1 sind die Ergebnisse der Messwertabweichungen angegeben. Insgesamt fielen die zufälligen Messabweichungen gering aus. So wichen bei der Erfassung der Grundlamellen 95% der Messungen weniger als 0,4 mm ab. Bei den Messungen der Breiten- und Höhenmaßen der Nasenhöhle wichen 92% weniger als 0,25 mm ab. Für die Werte des Meatus nasi inferior wichen 96% der Messungen weniger als 2 mm^2 vom Erwartungswert ab. Diese Ergebnisse zeigen, dass die von uns definierten Messpunkte und Messstrecken an den DVT- bzw. CT-Schichtaufnahmen mit hoher Genauigkeit reproduzierbar sind.

Systematische Messabweichung

Für die Untersuchungen der Schädel von *Macaca fuscata* nutzten wir CT-Datensätze, während die Aufnahmen von *Colobus guereza* auf DVT-Datensätzen basieren. CT- und DVT-Aufnahmen können sich hinsichtlich der Bildqualität voneinander unterscheiden, wobei DVT-Aufnahmen eine bessere räumliche Auflösung aufweisen (d.h. kleinere Pixel). CT-Aufnahmen haben hingegen eine bessere Kontrastauflösung, was die Unterscheidung von verschiedenen Gewebearten vereinfacht (Adibi et al. 2012, Nasseh and Al-Rawi 2018). Die Schnittdicke der von uns untersuchten Schichtaufnahmen war mit 0,16 mm bei den DVT-Datensätzen sowie 0,2 mm bei den CT-Datensätzen jedoch vergleichbar. Eine mögliche Ursache für weitere Messabweichungen sind die Schädelpräparate selbst, bei denen eine Unversehrtheit und die Vollständigkeit knöcherner Strukturen nicht immer gewährleistet war. So können beispielsweise Defekte des Prosthions und der Spina nasalis posterior zu einer falschen Ausrichtung der von uns festgelegten Nasenbodenebene führen (s. Abb. 8). Darüber hinaus konnten einige Nasenmuscheln aufgrund ihrer geringen Größe nicht bei allen Schädelpräparaten während der Mazeration erhalten werden.

5.2 Nasenmuscheln

Wir konnten bei *Macaca fuscata* und *Colobus guereza* jeweils zwei Ethmoturbinalia und ein Maxilloturbinale beobachten, was den typischen Verhältnissen der Nasenhöhle der höheren Primaten entspricht (Moore 1981). Lediglich die Concha nasalis superior wurde bei beiden Spezies oft nur anhand ihrer Grundlamelle identifiziert. Insbesondere der Vergleich der unteren und mittleren Nasenmuschel zeigte in unserer Arbeit deutliche Unterschiede zwischen den beiden untersuchten Spezies. Auffallend waren hierbei besonders die signifikant größeren Volumina der Nasenmuscheln bei *Macaca fuscata* (s. Tab. 3). Doch auch in der Morphologie gab es vor allem bei der Concha nasalis inferior deutliche Unterschiede.

Diese Nasenmuschel stellte sich bei *Colobus guereza* als kompaktere Struktur dar. Bei *Macaca fuscata* war sie hingegen eher schmal und hoch ausgebildet (s. Abb. 15 und 16). Bemerkenswert ist zudem, dass die Concha nasalis media bei *Macaca fuscata* größere Volumina aufwies als die Concha nasalis inferior. Innerhalb der Stichprobe von *Colobus guereza* war die Concha nasalis inferior hingegen größer als die Concha nasalis media. Möglicherweise hatte hier der Erhaltungszustand der Nasenmuscheln einen Einfluss auf die Erfassung des Volumens. Wir konnten außerdem beobachten, dass die morphologischen Unterschiede der Nasenmuscheln zwischen beiden Spezies zu einem unterschiedlichen Platzangebot für den Atemluftstrom innerhalb der Nasenhöhle führen. Da das respiratorische Epithel der Nasenmuscheln vor allem für Konditionierung der Atemluft zuständig ist, können diese Unterschiede zwischen *Macaca fuscata* und *Colobus guereza* im Zusammenhang mit den verschiedenen geografischen Lebensräumen beider Spezies stehen.

Auf ähnliche Zusammenhänge beim Menschen weisen auch die Untersuchungen von Marks et al. (2019) hin. Die Autoren zeigen, dass es signifikante Unterschiede in der Nasenmuschelmorphologie zwischen menschlichen Populationen aus unterschiedlichen klimatischen Regionen gibt. Dabei weisen Populationen aus kalt-trockenen Gebieten eine größere untere Nasenmuscheln auf, wodurch der Kontakt zum nasalen Luftstrom verbessert werden soll. Menschen aus heiß-feuchten Umgebungen haben hingegen kleinere untere Nasenmuscheln. Marks et al. (2019) vermuten, dass dadurch der Kontakt zwischen der Atemluft und der Schleimhaut minimiert wird, um den Widerstand des Luftstroms gering zu halten.

Die Symmetrieverhältnisse der Nasenmuscheln zeigten in unserer Studie eine zufällige Verteilung der Asymmetrien bei beiden Spezies. Lediglich bei *Macaca fuscata* waren die mittleren Nasenmuscheln bei sechs von sieben Präparaten auf der rechten Seite größer. Hierbei ist anzumerken, dass einige Nasenmuscheln der untersuchten Makaken beschädigt waren und dementsprechend nicht mit in die Auswertung einbezogen werden konnten. Inwiefern die Verwendung einer größeren Schädelzahl von *Macaca fuscata* eine fluktuierende Asymmetrie der mittleren Nasenmuscheln wie bei *Colobus guereza* ergeben würde, muss späteren Untersuchungen vorbehalten bleiben.

Des Weiteren ist zu berücksichtigen, dass die von uns untersuchten DVT- bzw. CT-Aufnahmen nur die knöchernen Strukturen der Nasenmuscheln darstellen. Folglich konnte die nasale Schleimhaut, welche im Rahmen des Nasenzyklus einen Einfluss auf die Größe der Nasenmuscheln hat, nicht erfasst werden. Hagin (2019) konnte in seiner Arbeit an menschlichen Probanden ebenfalls eine fluktuierende Asymmetrie der Concha nasalis inferior beobachten. Grundlage seiner Studie waren DVT-Aufnahmen von Menschen, bei denen auch die Weichgewebsanteile der Nasenmuscheln dargestellt waren. Da die Änderung der Schleimhautdicke für die einseitige oder beidseitige Vergrößerung der Concha nasalis inferior verantwortlich gemacht wird (Pollock and Rohrich 1984, Berger et al. 2000, Uzun et al. 2004), können weitere Messungen der knöchernen Anteile der Nasenmuscheln Erkenntnisse über das Auftreten von Asymmetrien liefern.

5.3 Grundlamellen

Der Fokus der vorliegenden Arbeit lag auf den sogenannten Grundlamellen der Nasenmuscheln. Es sei erwähnt, dass der Begriff der Grundlamelle bzw. Basallamelle in der Nomenklatur der menschlichen Anatomie die knöcherne Anheftung und somit den intraethmoidalen Anteil der mittleren und oberen Nasenmuscheln beschreibt (Terrier et al. 1985, Stammberger et al. 1997). Um vergleichbare Messungen der Primatenschädel durchzuführen, bezeichnen wir die knöchernen Anheftungszonen der unteren, mittleren und oberen Nasenmuscheln an der seitlichen Nasenhöhlenwand ebenfalls als Grundlamellen. Anhand der koronaren Schichtaufnahmen untersuchten wir zum einen die vertikalen Abstände der Grundlamellen zu einer definierten Horizontalebene, welche wir als Nasenbodenebene bezeichnen (s. Abb. 12). Darüber hinaus erfassten wir die koronaren Messebenen, bei denen die Grundlamellen zum ersten Mal auftraten. Hierbei ergaben sich Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen *Macaca fuscata* und *Colobus guereza*.

Die Grundlamelle der unteren Nasenmuscheln konnten wir bei beiden Spezies in allen vier definierten Messebenen (zweiter Oberkieferprämolar bis dritter Oberkiefermolar) identifizieren. Auf Höhe des zweiten Prämolaren und des zweiten Molaren waren die Höhenmaße der Grundlamellen zwischen beiden Spezies signifikant unterschiedlich. Dabei zeigte *Colobus guereza* auf Höhe des zweiten Oberkieferprämolaren eine signifikant höhere Anheftung der unteren Nasenmuschel, während bei *Macaca fuscata* signifikant größere Werte im Bereich des zweiten Oberkiefermolaren auftraten (s. Tab. 4).

In Abbildung 32 sind die Höhenmaße der Grundlamellen der Concha nasalis inferior bei *Colobus guereza* im Vergleich zu *Macaca fuscata* in Prozent dargestellt. Hierbei werden die Unterschiede im Bereich des zweiten Oberkieferprämolaren und des zweiten Oberkiefermolaren deutlich.

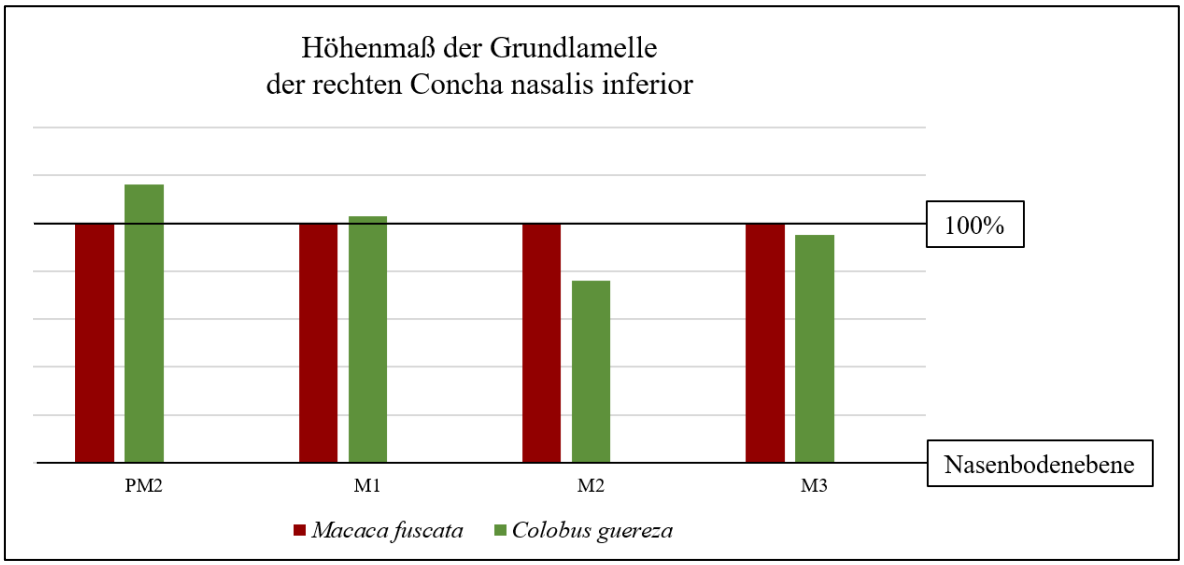

Abb. 32: Vergleich der vertikalen Abstände der Grundlamellen der Concha nasalis inferior zur Nasenbodenebene zwischen *Macaca fuscata* und *Colobus guereza* in Prozent. Die Höhenmaße bei *Macaca fuscata* sind mit jeweils 100% angegeben. PM2: Messebene auf Höhe des zweiten Oberkieferprämolaren, M1: Auf Höhe des ersten Oberkiefermolaren, M2: Auf Höhe des zweiten Oberkiefermolaren, M3: Auf Höhe des dritten Oberkiefermolaren.

Für die mittlere Nasenmuschel lokalisierten wir die Grundlamelle bei *Macaca fuscata* zum ersten Mal im Bereich des dritten Oberkiefermolaren. Bei einem Präparat trat diese Grundlamelle bereits auf Höhe des zweiten Oberkiefermolaren auf. Bei *Colobus guereza* konnten wir die Anheftung der mittleren Nasenmuschel nur im Bereich des zweiten und dritten Oberkiefermolaren beobachten. Die Höhenmaße waren dabei im Bereich des dritten Oberkiefermolaren signifikant kleiner als bei *Macaca fuscata*. Die Anheftung der oberen Nasenmuschel lag bei beiden Spezies hauptsächlich auf Höhe des zweiten Oberkiefermolaren. Der Unterschied war dabei nicht signifikant. Bei *Macaca fuscata* konnten wir diese Grundlamelle zudem bei 4 von 10 Präparaten auch im Bereich des zweiten und dritten Oberkiefermolaren identifizieren (s. Tab. 6).

In Abbildung 33 ist der Vergleich zwischen beiden Spezies für die Grundlamellen der mittleren und oberen Nasenmuscheln in Prozent dargestellt. Es sind die Messebenen des zweiten Oberkiefermolaren und des dritten Oberkiefermolaren angegeben, da beide Spezies in diesen Bereichen die meisten vergleichbaren Messwerte aufwiesen. Die Abbildung verdeutlicht die höhere Anheftung der mittleren Nasenmuscheln bei *Macaca fuscata*. Der Unterschied bei der Anheftung der oberen Nasenmuschel war nicht signifikant.

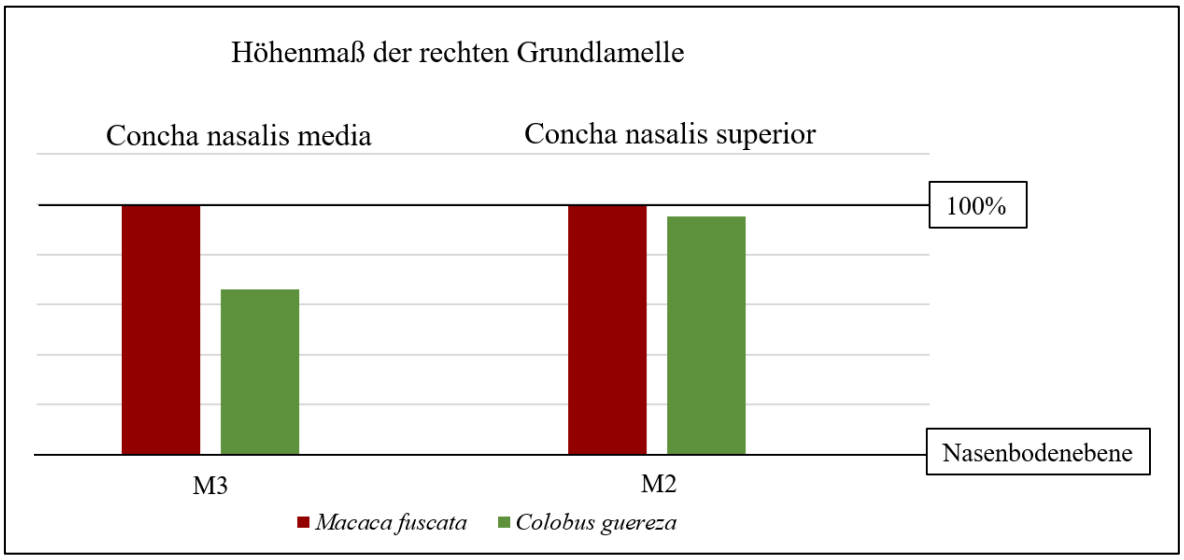

Abb. 33: Vergleich der vertikalen Abstände der Grundlamellen der Concha nasalis media und superior zur Nasenbodenebene zwischen *Macaca fuscata* und *Colobus guereza* in Prozent. Die Höhenmaße bei *Macaca fuscata* sind mit jeweils 100% angegeben. M2: Auf Höhe des zweiten Oberkiefermolaren, M3: Auf Höhe des dritten Oberkiefermolaren.

Für die Lokalisierung der Grundlamellen war u.a. die korrekte Identifizierung der jeweiligen Nasenmuscheln notwendig. Dies war jedoch nicht immer möglich, da die Nasenmuscheln bei einigen Schädelpräparaten nicht vollständig erhalten werden konnten. Folglich können entsprechende Messungenauigkeiten für das Auftreten von Einzelwerten in den jeweiligen Messebenen ursächlich sein.

Die Seitenunterschiede der Abstände der Grundlamellen zur Nasenbodenebene haben wir mithilfe des Asymmetrie-Index dargestellt (s. Abb. 23 und 24). Die Ergebnisse zeigen, dass die Asymmetrien bei *Macaca fuscata* und *Colobus guereza* zufällig verteilt sind. Darüber hinaus weisen die Höhenmaße der Grundlamellen der unteren Nasenmuscheln stärkere Asymmetrien auf als die Grundlamellen der mittleren und oberen Nasenmuscheln.

Diese Beobachtung konnten wir bei beiden Spezies feststellen. Möglicherweise hat auch hier die Anzahl der Messwerte einen Einfluss auf die Berechnung des Asymmetrie-Index. Wie bereits oben erörtert, waren die Grundlamellen der mittleren und oberen Nasenmuscheln bei beiden Spezies eher im Bereich des zweiten bzw. dritten Oberkiefermolaren lokalisiert, während die Grundlamelle der unteren Nasenmuscheln in allen vier Messebenen auftrat. Dementsprechend wurden mehr Höhenmaße für die Grundlamellen der unteren Nasenmuscheln erfasst und in die Berechnung des Asymmetrie-Index einbezogen. Ob eine größere Anzahl an Messwerten für die Grundlamellen der mittleren und oberen Nasenmuschel eine ähnlich stark ausgeprägte Asymmetrie wie bei der unteren Nasenmuschel ergibt, kann in weiteren Studien geprüft werden.

Aus den hier beobachteten Unterschieden ergibt sich die Frage, warum *Macaca fuscata* und *Colobus guereza* vor allem bei der Grundlamelle der mittleren Nasenmuschel signifikante Unterschiede aufweisen, während die Höhenmaße der oberen Nasenmuschel ähnliche Werte zeigen. Die Unterschiede bei der unteren Nasenmuschel waren zudem in nur zwei von vier Messebenen signifikant unterschiedlich. Möglicherweise spiegeln sich hier Unterschiede der externen Schädelmaße sowie der Grundmaße der Nasenhöhle zwischen beiden Spezies auch in den Höhenmaßen der Grundlamellen wider. Des Weiteren kann das Vorhandensein der Nasennebenhöhlen, insbesondere des Sinus maxillaris einen Einfluss auf die Lokalisation der Grundlamellen haben. Auf mögliche Zusammenhänge zwischen den Grundlamellen und den Grundmaßen der Nasenhöhle sowie den Faktoren, die auf die Morphologie der Nasenhöhle einwirken, soll zu einem späteren Zeitpunkt eingegangen werden.

In der Literatur finden sich nur wenig detaillierte Untersuchungen zu den Grundlamellen der Nasenmuscheln. Die meisten Studien konzentrieren sich auf die anatomische Beschreibung der Grundlamellen der mittleren und oberen Nasenmuscheln beim Menschen anhand von CT-Schichtaufnahmen oder Schädelpräparaten (Terrier et al. 1985, Kim et al. 2001, Sarna et al. 2002, Ogle et al. 2012, Wu et al. 2014, Eördögh et al. 2021). Dabei steht vor allem die Topografie der Grundlamellen und ihre Bedeutung für die Chirurgie des Siebbeinkomplexes im Vordergrund (Bolger et al. 1999, Orlandi et al. 1999, Eweiss et al. 2012). In nur wenigen Studien wurden vergleichbare Maße an den Grundlamellen erhoben.

Lang und Sakals (1981) erfassten Winkelmaße der Anheftungszone der unteren Nasenmuschel gegenüber dem Nasenhöhlenboden beim Menschen. Demnach steigt diese Grundlamelle im vorderen Bereich mit Winkeln von 30 bis 45° gegenüber dem Nasenhöhlenboden an und fällt im hinteren Anteil mit Winkeln von 15 bis 30° wieder ab (Lang und Sakals 1981). In welchem Bereich sich der höchste kraniale Anheftungspunkt dieser Grundlamelle befindet, wurde in der Studie von Lang und Sakals (1981) jedoch nicht angegeben. Wir können die Ergebnisse von Lang und Sakals (1981) grundsätzlich bestätigen. Auch bei *Macaca fuscata* und *Colobus guereza* steigt die Grundlamelle der unteren Nasenmuschel zunächst an und fällt im hinteren Anteil wieder ab. Die höchste kraniale Anheftung der unteren Nasenmuschel ist bei *Macaca fuscata* dabei auf Höhe des zweiten Oberkiefermolaren. Bei *Colobus guereza* befindet sich der höchste Punkt dieser Grundlamelle hingegen auf Höhe des ersten Oberkiefermolaren.

In der Studie von Wu et al. (2014) wurden die knöchernen Anteile der mittleren Nasenmuscheln von Probanden mithilfe von CT-Aufnahmen untersucht. Dabei stellten die Autoren fest, dass die Grundlamelle der mittleren Nasenmuschel in der sagittalen Ansicht eine „L“-Form aufweist. Demnach besteht diese Grundlamelle aus einem vorderen vertikalen Anteil und einem hinteren schrägen Anteil, der in eine fast horizontale Ebene ausläuft. Der Winkel zwischen diesen beiden Anteilen betrug im Durchschnitt 127° (Wu et al. 2014). Auch Kim et al. (2001) konnten in ihrer Arbeit eine „L“-Form der Grundlamelle der mittleren Nasenmuschel beim Menschen beobachten. Eördögh et al. (2021) untersuchten die Topografie dieser Grundlamelle sowie ihrer angrenzenden Strukturen anhand von dreidimensionalen Rekonstruktionen. Dabei wurden u.a. Flächenmaße der Grundlamelle an Probanden erhoben. Die durchschnittlichen Flächen betrugen 399,9 mm^2 auf der rechten Seite und 394,54 mm^2 auf der linken Seite. Die „L“-förmige Struktur aus der sagittalen Ansicht können die Autoren jedoch nicht bestätigen. Aufgrund der großen anatomischen Vielfalt dieser Grundlamelle wird eher eine Aufteilung in verschiedene Segmentarten empfohlen als die Einteilung in einen vorderen vertikalen und einen hinteren horizontalen Bereich (Eördögh et al. 2021). Entsprechende Untersuchungen der Grundlamellen bei Primaten sind in der Literatur nicht anzutreffen.

Eine Einordnung unserer Ergebnisse in die zuvor genannte Literatur wird erschwert, da sich die Anatomie des Os ethmoidale der von uns untersuchten Primatenspezies hinsichtlich der Pneumatisation von der Anatomie des Menschen unterscheidet. So weisen die Schädel von *Macaca fuscata* und *Colobus guereza* keine Siebbeinzellen auf. Die Grundlamellen der mittleren und oberen Nasenmuscheln setzen sich daher nicht aus Knochensepten innerhalb der Pneumatisationsräume des Os ethmoidale zusammen, wie es beim Menschen der Fall ist (Kim et al. 2001, Eördögh et al. 2021). Vielmehr lokalisierten wir den Ursprung dieser Grundlamellen bei *Macaca fuscata* und *Colobus guereza* in kompakteren knöchernen Strukturen der medialen Orbitawand.

Meatus nasi inferior

In der vorliegenden Arbeit haben wir uns weiterhin mit der Größe des Meatus nasi inferior befasst, indem die Fläche unterhalb der Concha nasalis inferior an definierten koronaren Schichtaufnahmen vermessen wurde. Durch die Erfassung dieser Flächen konnten wir prüfen, inwiefern sich die Höhenmaße der Grundlamelle der unteren Nasenmuscheln auf die Größe des Meatus nasi inferior auswirken. Bei *Macaca fuscata* ergab unsere Korrelationsanalyse dabei lediglich signifikante Zusammenhänge zwischen den Höhenmaßen der unteren Grundlamelle und den Flächenmaßen des Meatus nasi inferior im Bereich des zweiten Oberkiefermolaren. In der gleichen Messebene beobachteten wir auch einen signifikanten Zusammenhang zwischen der Fläche des Meatus nasi inferior und der Nasenhöhlenbreite. Für *Colobus guereza* konnten wir die entsprechenden Korrelationen allerdings in drei von vier Messebenen feststellen (erster Oberkiefermolar bis dritter Oberkiefermolar). Diese Ergebnisse deuten an, dass die Größe des Meatus nasi inferior bei *Colobus guereza* stärker mit den Höhenmaßen der unteren Grundlamelle sowie den Breitenmaßen der Nasenhöhle zusammenhängt als bei *Macaca fuscata*. Der Vergleich beider Primatenspezies ergab signifikant größere Werte bei *Colobus guereza* auf Höhe des zweiten Prämolaren und des ersten Molaren im Oberkiefer. Im Bereich des dritten Oberkiefermolaren waren die Werte bei *Macaca fuscata* signifikant größer (s. Tab. 7).

In der Arbeit von Drefs (2013) wurde das Verhältnis der Größe des Meatus nasi inferior zur Gesamthöhe der Nasenhöhle bei menschlichen Populationen aus verschiedenen klimatischen Regionen untersucht. Nach den Ergebnissen von Drefs (2013) weisen Populationen aus kälteren Regionen einen vergrößerten unteren Nasengang auf.

Ähnliche Ergebnisse liefert die Arbeit von Shea (1977) an verschiedenen Populationen der Inuit, welcher außerdem einen negativen Zusammenhang zwischen dem Volumen des Sinus maxillaris und der Größe des Meatus nasi inferior vermutet. Inwiefern die Größe des Meatus nasi inferior maßgeblich mit der Konditionierung der eingeatmeten Luft zusammenhängt lässt sich jedoch nicht eindeutig sagen, da es in der Literatur keinen einheitlichen Konsens über das Verteilungsmuster des Atemluftstroms innerhalb der Nasenhöhle gibt. Viele Autoren benennen den mittleren Teil der Nasenhöhle als Hauptströmungsweg. Dabei wird überwiegend der Meatus nasi medius sowie der Bereich zwischen der unteren und mittleren Nasenmuschel und dem Nasenseptum, welcher auch als Meatus nasi communis bezeichnet wird, angegeben (Scherer et al. 1989, Simmen et al. 1999, Xiong et al. 2008, Chen et al. 2010, Zhao and Jiang 2014). Auch Croce et al. (2006) konnten beobachten, dass sich der nasale Luftstrom beim Menschen vorwiegend im Bereich des Meatus nasi communis befindet. Die Autoren unterteilen den Luftstrom dabei in zwei Hauptströme, welche sich mit hoher Geschwindigkeit im unteren medianen Bereich der Nasenhöhle und mit einer wesentlich niedrigeren Geschwindigkeit im oberen Bereich der Nasenhöhle ausbreiten. Croce et al. (2006) vermuten, dass der schnellere Luftstrom eher mit der Respiration zusammenhängt, während der langsame Luftstrom der Olfaktion dient.

Hinweise über die Strömungsverhältnisse in der Nasenhöhle nichtmenschlicher Primaten liefern die Untersuchungen von Mori et al. (2015) bei *Macaca fuscata* sowie Tian et al. (2022) bei *Macaca fascicularis*. Mori et al. (2015) berichten über höhere Strömungsgeschwindigkeiten in den mittleren Bereichen der Nasenhöhle als in den peripheren Bereichen der Nasengänge. In der Studie von Tian et al. (2022) wurden ähnliche Strömungsverteilungen innerhalb der Nasenhöhle beim Menschen und bei *Macaca fascicularis* beobachtet. Dabei konzentriert sich die inspirierte Luftmasse bei beiden Spezies vor allem im Meatus nasi medius sowie Meatus nasi communis. Tian et al. (2022) stellten zudem fest, dass die höchste Luftstromgeschwindigkeit im Bereich des Naseneingangs und des Nasopharynx lag. Ob es Zusammenhänge zwischen den Strömungsverhältnissen innerhalb der Nasenhöhle und der Lokalisation der Grundlamellen gibt, ist noch nicht geklärt und sollte Gegenstand künftiger Untersuchungen sein.

Ein möglicher Einfluss des Sinus maxillaris auf den Atemluftstrom innerhalb der Nasenhöhle ist ebenfalls noch nicht hinreichend nachgewiesen. Eine Durchsicht der Literatur zeigt, dass der Luftaustausch zwischen der Nasenhöhle und den Nasennebenhöhlen im Allgemeinen gering ist (Proetz 1941, Aust et al. 1994, Xiong et al. 2008, Saied et al. 2011, Mori et al. 2015). In der Studie von Mori et al. (2015) wurden die aerodynamischen Prozesse der Nasenhöhle bei Makaken untersucht. Die Autoren vermuten, dass der Luftstrom zwischen dem Sinus maxillaris und der Nasenhöhle zu langsam ist, um den Atemluftstrom innerhalb der Nasenhöhle zu beeinflussen (Mori et al. 2015). Afiza et al. (2016) stellten zudem fest, dass Variationen des Ostium maxillare zwar zu Änderungen des Strömungsmusters innerhalb des Sinus maxillaris führen, jedoch die Anzahl und Position des Ostiums keinen Einfluss auf den Luftstrom innerhalb der Nasenhaupthöhle hat.

5.4 Einflussfaktoren der Grundlamellen und der Nasenhöhlenmorphologie

Es gibt zahlreiche Faktoren, die einen Einfluss auf die Morphologie des Schädels ausüben. Einige dieser Faktoren können sich ebenfalls auf die Form und Größe der Nasenhöhle und somit vermutlich auch auf die Grundlamellen der Nasenmuscheln auswirken (Abb. 34). Nachfolgend sollen diejenigen Faktoren diskutiert werden, die möglicherweise zu Unterschieden zwischen den von uns untersuchten Primatenspezies *Macaca fuscata* und *Colobus guereza* geführt haben.

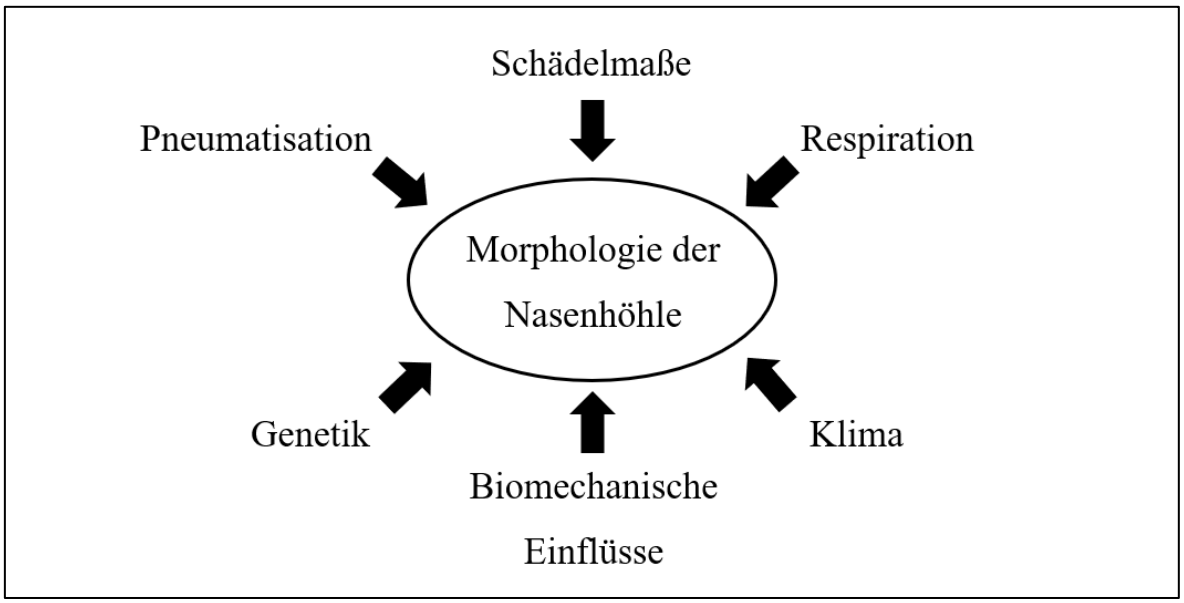

Abb. 34: Schematische Darstellung möglicher Einflussfaktoren der Nasenhöhlenmorphologie.

Grundmaße der Nasenhöhle

Um zu prüfen, ob die Grundmaße der Nasenhöhle einen Einfluss auf die Anheftungszonen der Nasenmuscheln haben, wurden Breiten- und Höhenmaße der Nasenhöhle für beide Primatenspezies untersucht. *Macaca fuscata* wies dabei in drei von vier koronaren Messebenen eine signifikant höhere Nasenhöhle auf (zweiter Oberkieferprämolar, zweiter und dritter Oberkiefermolar). Bemerkenswert ist jedoch, dass die Korrelationsanalyse bei beiden Spezies nahezu keine signifikanten Zusammenhänge zwischen den Höhenmaßen der Grundlamellen und den Höhenmaßen der Nasenhöhle ergab. Bei *Macaca fuscata* trat lediglich eine Korrelation zwischen dem Höhenmaß der Grundlamelle der linken unteren Nasenmuschel und der Höhe der Nasenhöhle im Bereich des zweiten Oberkieferprämolaren auf. Für *Colobus guereza* wurde nur ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Grundlamelle der linken mittleren Nasenmuschel und der Höhe der Nasenhöhle im Bereich des dritten Oberkiefermolaren festgestellt (s. Tab. 11). Beim Vergleich der Nasenhöhlenbreite konnten wir feststellen, dass sich keine Tendenzen in Bezug auf die Größenverhältnisse zugunsten einer Spezies zeigen. Insofern gab es im Bereich des ersten und dritten Oberkiefermolaren keine signifikanten Unterschiede, während *Macaca fuscata* im Bereich des zweiten Oberkiefermolaren größere Breitenmaße aufwies. Auf Höhe des zweiten Oberkieferprämolaren waren die Werte jedoch bei *Colobus guereza* größer (s. Tab. 8).

Des Weiteren konnten wir bei beiden Spezies signifikante Zusammenhänge zwischen der Nasenhöhlenbreite und dem Höhenmaß der Grundlamelle der rechten unteren Nasenmuschel im Bereich des zweiten und dritten Oberkiefermolaren beobachten. Auf der linken Seite wurden entsprechende Korrelationen bei *Macaca fuscata* in den gleichen Messebenen festgestellt. Für *Colobus guereza* traten diese Zusammenhänge auf der linken Seite hingegen im Bereich des ersten und zweiten Oberkiefermolaren auf. Angesichts dieser Ergebnisse vermuten wir, dass die Höhenmaße der Grundlamellen der unteren Nasenmuscheln bei beiden Spezies eher mit der Nasenhöhlenbreite als mit den Höhenmaßen der Nasenhöhle zusammenzuhängen. Ob die Höhenmaße der Grundlamellen der Conchae nasales mit anderen Komponenten der Nasenhöhle wie dem Nasenhöhlenvolumen oder der Größe der jeweiligen Nasenmuschel zusammenhängen, muss in künftigen Studien geprüft werden.

Der Vergleich des Breiten-Höhen-Index der Nasenhöhle in der vorderen Messebene (zweiter Oberkieferprämolar) und in der hinteren Messebene (dritter Oberkiefermolar) ergab signifikant größere Werte bei *Colobus guereza* (s. Tab. 9). Dies deutet auf eine breitere Nasenhöhle in Relation zur Höhe der Cavitas nasi in diesen Bereichen bei *Colobus guereza* hin. Auf Höhe des ersten und zweiten Oberkiefermolaren waren die Werte ähnlich. Demnach ist das Verhältnis der Breite zur Höhe im mittleren Bereich der Nasenhöhle bei beiden Spezies annähernd gleich ist.

Im Vergleich zu den erhobenen Indizes von Drefs (2013) an menschlichen Schädeln, beobachteten wir bei *Colobus guereza* und *Macaca fuscata* größere Werte, was auf eine verhältnismäßig breite und niedrige Nasenhöhle bei den von uns untersuchen Primaten hindeutet. Die von Normann (2016) erhobenen Indizes an der Nasenhöhle bei Strepsirrhini sind im Bereich der Oberkieferprämolaren und des ersten Oberkiefermolaren mit unseren Werten vergleichbar. In den posterioren Messebenen sind die Werte von Normann (2016) jedoch größer, was auf eine breite und niedrige Nasenhöhle bei den Strepsirrhini schließen lässt. Es muss dabei berücksichtigt werden, dass unsere koronaren Messebenen nicht vollständig mit denen von Drefs (2013) und Normann (2016) übereinstimmen, was den Vergleich der Studien einschränkt. Márquez and Laitman (2008) erhoben in ihrer Arbeit ebenfalls Werte für den Nasenindex bei Makaken, welche deutlich unter unseren Ergebnissen von *Macaca fuscata* liegen. Dies ist jedoch vermutlich dem Umstand geschuldet, dass Márquez and Laitman (2008) die Breiten- und Höhenmaße der äußeren Nase zur Berechnung des Nasenindex nutzten. Daher sollte bei künftigen Vergleichen beachtet werden, welche Werte für die Berechnung des Nasenindex herangezogen wurden, um eine Fehlinterpretation der Ergebnisse zu vermeiden.

Klimatischer Einfluss

Die Grundmaße der Nasenhöhle können von verschiedenen Faktoren beeinflusst werden (s. Abb. 34). Ein möglicher Einfluss geografischer Faktoren auf die Morphologie der Nasenhöhle wurde in zahlreichen Publikationen der letzten Jahrzehnte nicht nur bei Makaken, sondern insbesondere beim Menschen beschrieben. Viele Autoren bestätigen einen Zusammenhang zwischen den klimatischen Bedingungen und der Größe der Nasenhöhle.

Dabei weisen Populationen aus trocken-kalten Gebieten generell eine größere Nasenhöhle auf (u.a. Shea 1977, Rae et al. 2003, Balczun 2008, Márquez and Laitman 2008, Noback et al. 2011, Drefs 2013, Butaric and Klocke 2018, Evteev and Grosheva 2019). Entsprechende Arbeiten zu den Colobinae sind in der Literatur jedoch nicht anzutreffen.

Wie oben erwähnt, ist uns die genaue Herkunft der Schädelpräparate von *Colobus guereza* nicht bekannt, sodass Aussagen zu den geografischen Einflüssen dieser Primatenspezies nur bedingt möglich sind. Da sich das Verbreitungsgebiet von *Colobus guereza* über das zentrale Afrika erstreckt, können die klimatischen Bedingungen zwischen den tropisch-feuchten Regionen in Gabun und den kühlen bzw. warm-gemäßigten Zonen im Äthiopischen Hochland variieren (Fashing and Oates 2013, Nemitz o.D.). Darüber hinaus können die verschiedenen Populationen von *Macaca fuscata*, welche sich über die japanischen Hauptinseln verbreitet haben, Unterschiede in der Größe der Nasenhöhle aufweisen (Balczun 2008). Zugleich wurden auch morphologische Variationen in der Form und Größe des Schädels zwischen den einzelnen Unterarten *Macaca f. fuscata* und *Macaca f. yakui* beobachtet (Yano et al. 2020). Ungeachtet dessen stellen wir fest, dass sich die Lebensräume von *Macaca fuscata* und *Colobus guereza* hinsichtlich der klimatischen Bedingungen grundsätzlich unterscheiden. Unsere Ergebnisse lassen daher vermuten, dass nicht nur die unterschiedliche Morphologie der Nasenmuscheln, sondern auch die Größe der Nasenhöhle selbst im Zusammenhang mit den unterschiedlichen geografischen Bedingungen zwischen *Macaca fuscata* und *Colobus guereza* stehen.

Schädelmaße

In der vorliegenden Arbeit konnten wir mit Ausnahme der Schädelbasislänge signifikant größere Schädelmaße bei *Macaca fuscata* feststellen (s. Tab. 10). Möglicherweise stehen diese Schädelmaße im Zusammenhang mit den Größenunterschieden der Grundmaße der Nasenhöhle sowie den Höhenmaßen der Grundlamellen zwischen den untersuchten Primantespezies. So haben Untersuchungen an Primaten einschließlich des Menschen gezeigt, dass es signifikante Korrelationen zwischen dem Nasenhöhlenvolumen und externen Schädelmaßen gibt (Balczun 2008, Butaric et al. 2010, Göllrich 2010, Drefs 2013, Normann 2016).

Wir überprüften daher, ob auch Zusammenhänge zwischen den Volumina der Nasenmuscheln und externen Schädelmaßen vorliegen. Unsere Ergebnisse zeigen, dass lediglich die rechte Concha nasalis inferior bei *Macaca fuscata* eine signifikante Korrelation mit der Gesichtsschädellänge sowie dem Gesichtsschädelvolumen aufwies (s. Tab. 12). Bei *Colobus guereza* wurden hingegen keine entsprechenden Korrelationen festgestellt. Im Gegensatz dazu konnte Hagin (2016) in seiner Arbeit signifikante Zusammenhänge zwischen dem Volumen der unteren Nasenmuschel und der Schädelbasislänge, der Gesichtsschädellänge sowie der Obergesichtshöhe bei menschlichen Probanden beobachten. Die Ergebnisse von Bastir and Rosas (2013) legen ebenfalls nahe, dass die Form und Größe der knöchernen Nasenhöhle beim Menschen mit der Morphologie des Gesichtsschädels positiv korrelieren. Bastir and Rosas (2013) merken jedoch an, dass keine Formintegration zwischen dem Nasopharynx bzw. den Choanen und dem äußeren Mittelgesicht festzustellen ist. Ito et al. (2015) untersuchten Zusammenhänge zwischen der Form der Nasenhöhle und der Kieferhöhle sowie der äußeren Schädelform bei Makaken. Sie unterteilten die Nasenhöhle dabei in verschiedene Regionen und stellten fest, dass diese unterschiedlich stark mit den externen Schädelmaßen assoziiert sind, wobei die mittlere Region die geringste Korrelation mit der äußeren Schädelform aufwies (Ito et al. 2015). In der vorliegenden Arbeit untersuchten wir hingegen Korrelationen zwischen den Volumina der mittleren und unteren Nasenmuscheln und den externen Schädelmaßen. Dabei ließen sich jedoch weder bei *Macaca fuscata* noch bei *Colobus guereza* eindeutige Zusammenhänge nachweisen.

Einfluss der Nahrung

Während der Nahrungsaufnahme werden die auftretenden Kaukräfte über Kaudruckpfeiler des Gesichtsschädels abgeleitet. Ross et al. (2011) untersuchten Verformungen des Schädelskeletts von Makaken während des Kauens und stellten fest, dass eine Deformation des Gesichtsschädels hauptsächlich durch die Torsion und Biegung des Jochbogens entsteht. Die Autoren vermuten daher, dass die vordere Wurzel des Jochbeins wichtig für den Widerstand gegen die entstehenden Kaukräfte ist (Ross et al. 2011). Auch Kupczik et al. (2009) konnten höhere Belastungen des Jochbogens sowie der infraorbitalen Region bei Makaken während des Kauens beobachten. Des Weiteren haben Studien gezeigt, dass die Kaumuskulatur durch eine Stimulation der Osteogenese die Neubildung von Knochen fördert und somit die Formwerdung des Schädels beeinflussen kann (Schumacher 1968, Ingervall and Helkimo 1978, Herring 1993, Kiliaridis 1995, Schumacher 1997, Toro-Ibacache et al. 2016).

Da sich die Ernährungsgewohnheiten zwischen den jeweiligen Populationen von *Macaca fuscata* und *Colobus guereza* regional und saisonal unterscheiden (Hill 1997, Nakagawa 1997, Harris and Chapman 2007), können Unterschiede des Gesichtsschädels möglicherweise auch mit der Ernährung zusammenhängen. So zeigten bereits Untersuchungen an Japanischen Makaken, afrikanischen Colobini sowie Totenkopfaffen, dass die Konsistenz der Nahrung einen Einfluss auf das kraniofaziale Wachstum und die Morphologie des Gesichtsschädels haben kann (Corruccini and Beecher 1982, Antón 1996, Koyabu and Endo 2009).

Ob die Ernährungsgewohnheit im Zusammenhang mit den Maßen der Nasenmuscheln bzw. Grundlamellen stehen, bleibt jedoch weiterhin fraglich. Entsprechend dem Vorgehen von Kupczik et al. (2009) und Ross et al. (2011) können künftige Studien anhand von Computersimulationen prüfen, inwiefern die Ableitung der Kaukräfte einen Einfluss auf das kraniofaziale Skelett, einschließlich der Nasenhöhle, ausübt.

Pneumatisation

Da von beiden untersuchten Primatenspezies nur *Macaca fuscata* einen Sinus maxillaris aufweist, kann auch ein möglicher Einfluss der Schädelpneumatisation auf die Grundlamellen der Nasenmuscheln sowie die Grundmaße der Nasenhöhle in Betracht gezogen werden. So ist die Mündung des Sinus maxillaris über den Hiatus semilunaris bzw. das Infundibulum ethmoidale, wie beim Menschen, ebenfalls an der lateralen Nasenhöhlenwand im Bereich des mittleren Nasengangs lokalisiert (Tillmann 2010). Die Studien von Van Alyea (1936) und Prasanna and Mamatha (2010) zeigen, dass sich das Ostium maxillare beim Menschen im hinteren Drittel des Hiatus semilunaris, einem schlitzförmigen Raum zwischen dem Processus uncinatus und der Bulla ethmoidalis, befindet. Im Bezug zur medialen Wand des Sinus maxillaris liegt das Ostium maxillare im kranialen Bereich, oberhalb der Grundlamelle der unteren Nasenmuschel (Krimmel and Reinert 2014, Yeung et al. 2019). Koppe et al. (1996) konnten zeigen, dass sich der Sinus maxillaris bei *Macaca fuscata* eher im posterioren Bereich der Nasenhöhle eröffnet.

In der vorliegenden Untersuchung stellten wir fest, dass sich die anteriore Grenze des Sinus maxillaris bei *Macaca fuscata* im Bereich des zweiten bzw. dritten Oberkiefermolaren befand. Die Lokalisation des Ostium maxillare war aufgrund des Erhaltungszustandes der jeweiligen Schädelpräparate nicht in allen Fällen möglich.

Wie bereits dargestellt, waren die Höhenmaße der Grundlamelle der unteren Nasenmuschel sowie die Breitenmaße der Nasenhöhle im Bereich des zweiten Oberkiefermolaren bei *Macaca fuscata* signifikant größer als bei *Colobus guereza*. Auf Höhe des dritten Oberkiefermolaren wiesen diese Maße bei beiden Primatenspezies jedoch keine signifikanten Unterschiede auf. In der gleichen Messebene beobachteten wir bei *Macaca fuscata* wiederum signifikant größere Werte bei den Höhenmaßen der Grundlamelle der mittleren Nasenmuschel. Diese Ergebnisse sprechen dafür, dass sich die Ausdehnung der Kieferhöhle im Bereich des dritten Oberkiefermolaren bei *Macaca fuscata* möglicherweise auf die Nasenhöhlenbreite sowie die Lokalisation der Grundlamellen der unteren und mittleren Nasenmuscheln auswirkt. Ob es entsprechende Zusammenhänge zwischen der Kieferhöhlenausdehnung und den von uns erhobenen Maßen im vorderen Bereich der Nasenhöhle (zweiter Prämolar und erster Molar im Oberkiefer) gibt, ist jedoch unklar.

Hagin (2019) untersuchte einen möglichen Zusammenhang zwischen dem Volumen des Sinus maxillaris und den Maßen der Concha nasalis inferior (Volumen, Breite, Höhe) beim Menschen. Den Untersuchungen dieses Autors zufolge, ist die Größe der Concha nasalis inferior unabhängig vom Volumen des Sinus maxillaris. Entsprechende volumetrische und lineare Erfassungen der Nasenmuscheln bei Makaken oder Colobini sind in der Literatur nicht anzutreffen. In der Studie von Holton et al. (2013) wurde die Korrelation des Kieferhöhlenvolumens mit der Morphologie der Nasenhöhle beim Menschen untersucht. Die Autoren dokumentierten eine signifikante Korrelation des Kieferhöhlenvolumens mit der Form der Nasenhöhle, wobei eine größere Kieferhöhle mit einer Abnahme der Nasenhöhlenbreite einhergeht (Holton et al. 2013). Ito et al. (2015) konnten die Ergebnisse von Holton et al. (2013) für *Macaca fuscata* bestätigen. Demnach ist die Größe des Sinus maxillaris auch bei *Macaca fuscata* mit der Ausdehnung des mittleren Bereiches der Nasenhöhle assoziiert. Den Autoren zufolge kann die Ausdehnung des Sinus maxillaris somit zur Variabilität der Nasenhöhlenmorphologie beitragen (Ito et al. 2015). Butaric et al. (2010) kommen hingegen zu dem Ergebnis, dass es keine Korrelation zwischen dem Volumen der menschlichen Nasenhöhle und dem Volumen des Sinus maxillaris gibt. Die Autoren nehmen an, dass die Nasenhöhlenbreite stärker mit der Ausdehnung des Sinus maxillaris zusammenhängt, als das Gesamtvolumen der Nasenhöhle. Es ist jedoch anzumerken, dass die Stichproben in der Studie von Butaric et al. (2010) mit jeweils fünf bis sechs Individuen möglicherweise zu klein waren, um signifikante Korrelationen festzustellen.

5.5 Hauptergebnisse

In Bezug auf die in der Einleitung formulierten Zielstellungen kommen wir zu folgenden Ergebnissen:

1. Die untersuchten Primatenspezies weisen deutliche Unterschiede hinsichtlich der Größe und Morphologie der Concha nasalis inferior und media auf. Dabei konnten wir signifikant größere Nasenmuscheln bei *Macaca fuscata* beobachten. Morphologische Unterschiede sind insbesondere bei der Concha nasalis inferior festzustellen. Während sie bei *Macaca fuscata* eher schmal und hoch ausgeprägt ist, stellt sich die untere Nasenmuschel bei *Colobus guereza* als eine kompaktere Struktur dar. Des Weiteren sind die Größenverhältnisse der Concha nasalis inferior und media innerhalb der jeweiligen Stichproben von *Macaca fuscata* und *Colobus guereza* unterschiedlich. Für *Macaca fuscata* konnten wir größere Volumina bei der Concha nasalis media im Vergleich zur Concha nasalis inferior verzeichnen. Bei *Colobus guereza* ist die Concha nasalis inferior hingegen größer als die Concha nasalis media. Die Symmetrieverhältnisse zeigen bei beiden Primatenspezies eine zufällige Verteilung der Asymmetrien. Da die Regio respiratoria der Concha nasalis inferior und media insbesondere der Konditionierung der Atemluft dient, lassen die Ergebnisse unserer Studie sowie der Literatur vermuten, dass die Unterschiede zwischen *Macaca fuscata* und *Colobus guereza* mit den unterschiedlichen klimatischen Lebensräumen beider Primatenspezies zusammenhängen.

2. Die Grundlamelle der Concha nasalis inferior konnten wir bei beiden Spezies in allen vier koronaren Messebenen (zweiter Oberkieferprämolar bis dritter Oberkiefermolar) lokalisieren. Die vertikalen Abstände dieser Grundlamelle zur Nasenbodenebene waren dabei im Bereich des zweiten Prämolaren und des zweiten Molaren signifikant unterschiedlich.

   Die Grundlamelle der Concha nasalis media lag bei *Macaca fuscata* auf Höhe der koronaren Messebene des dritten Oberkiefermolaren. Bei *Colobus guereza* konnten wir sie in den Bereichen des zweiten und dritten Oberkiefermolaren beobachten, wobei die Höhenmaße im Bereich des dritten Oberkiefermolaren signifikant kleiner waren als bei *Macaca fuscata.* Die Grundlamelle der Concha nasalis superior lag bei beiden Primatenspezies hauptsächlich auf Höhe des zweiten Oberkiefermolaren.

Die Höhenmaße wiesen hierbei keine signifikanten Unterschiede auf. Wir konnten bei beiden Spezies außerdem eine fluktuierende Asymmetrie der Höhenmaße aller Grundlamellen beobachten.

3. Die Messung des Meatus nasi inferior ergab signifikant größere Werte bei *Macaca fuscata* im Bereich des dritten Oberkiefermolaren. Auf Höhe des zweiten Prämolaren und des ersten Oberkiefermolaren wies *Colobus guereza* signifikant größere Werte auf.

4. Wir verzeichneten bei *Macaca fuscata* in drei von vier Messebenen eine signifikant höhere Nasenhöhle (zweiter Oberkieferprämolar, zweiter und dritter Oberkiefermolar). Die Nasenhöhlenbreite zeigte jedoch keine eindeutigen Tendenzen in Bezug auf die Größenverhältnisse zugunsten einer Spezies. Der Vergleich des Breiten-Höhen-Index ergab, dass *Colobus guereza* im Bereich des zweiten Oberkieferprämolaren und des dritten Oberkiefermolaren eine breitere Nasenhöhle in Relation zur Gesamthöhe der Cavitas nasi aufweist. Das Verhältnis der Breite zur Höhe ist im mittleren Bereich der Nasenhöhle bei beiden Spezies annähernd gleich.

5. Mit Ausnahme der Schädelbasislänge sind die externen Schädelmaße sowie das Gesichtsschädelvolumen bei *Macaca fuscata* signifikant größer als bei *Colobus guereza*.

6. Mit Hilfe der Korrelationsanalyse konnte gezeigt werden, dass lediglich das Volumen der rechten Concha nasalis inferior bei *Macaca fuscata* mit der Gesichtsschädellänge sowie dem Gesichtsschädelvolumen korreliert. Ansonsten konnten wir bei beiden Spezies keine signifikanten Zusammenhänge zwischen den Volumina der Nasenmuscheln und den externen Schädelmaßen feststellen.

   Die Höhenmaßen der Grundlamellen korrelierten bei beiden Spezies außerdem nicht mit den Höhenmaßen der Nasenhöhle. Allerdings wurden signifikante Zusammenhänge bei *Macaca fuscata* und *Colobus guereza* zwischen der Nasenhöhlenbreite und dem Höhenmaß der unteren Grundlamelle im Bereich des zweiten und dritten Oberkiefermolaren beobachtet.

Daher vermuten wir, dass die untere Grundlamelle eher mit der Nasenhöhlenbreite als mit der Höhe der Nasenhöhle zusammenhängt. Des Weiteren ergab die Korrelationsanalyse bei *Colobus guereza* in drei von vier Messebenen signifikante Zusammenhänge zwischen den Flächenmaßen des Meatus nasi inferior und den Höhenmaßen der unteren Grundlamelle sowie den Breitenmaßen der Nasenhöhle. Bei *Macaca fuscata* wurden entsprechende Korrelationen in lediglich einer Messebene festgestellt. Die Ergebnisse der Regressionssanalyse zeigen ferner, dass es keine signifikanten Unterschiede zwischen denjenigen Korrelationen gibt, die bei beiden Spezies im gleichen Maße auftreten.

7. Die Ergebnisse unserer Studie zeigen zudem, dass sich die anteriore Grenze des Sinus maxillaris bei *Macaca fuscata* im Bereich des zweiten bzw. dritten Oberkiefermolaren befindet. Unter Bezugnahme der zuvor genannten Ergebnisse vermuten wir, dass die Ausdehnung der Kieferhöhle bei *Macaca fuscata* im posterioren Bereich der Nasenhöhle im Zusammenhang mit der Nasenhöhlenbreite sowie der Lokalisation der Grundlamellen der Concha nasalis inferior und media stehen.

6. Zusammenfassung

Das Ziel der vorliegenden Studie bestand darin, die Morphologie der Nasenhöhle und insbesondere der Conchae nasales zweier Primatenspezies, die unterschiedlichen Unterfamilien der geschwänzten Altweltaffen (Cercopithecoidea) angehören, morphometrisch zu untersuchen und zu vergleichen. Die Untersuchungen erfolgten an mazerierten adulten Schädeln beiderlei Geschlechts von Japanischen Makaken (10 Präparate) und Mantelaffen (13 Präparate). Während die Japanischen Makaken (*Macaca fuscata*) typischerweise einen Sinus maxillaris aufweisen, sind bei den Mantelaffen (*Colobus guereza*) keine Nasennebenhöhlen nachweisbar. Vor diesem Hintergrund sollte weiterhin geprüft werden, inwiefern das Vorhandensein eines Sinus maxillaris die Morphologie der Nasenhöhle und der Conchae nasales beeinflusst.

Die Messungen erfolgten an definierten koronaren DVT- bzw. CT-Schichtaufnahmen der Schädelpräparate. Dazu wurden die Datensätze mit der 3D MPR-Funktion des Programms RadiAnt® Dicom Viewer (Vers. 5.5.0, Medixant) so ausgerichtet, dass die Horizontalebene durch die Messpunkte Prosthion und Spina nasalis posterior verlief. Diese Ebene wurde nachfolgend als Nasenbodenebene bezeichnet. Senkrecht zur Nasenbodenebene wurden koronare Messebenen definiert, die entsprechend der palatinalen Wurzeln der Oberkieferzähne des zweiten Prämolaren bis zum dritten Molaren positioniert wurden. Die so definierten koronaren Schichtaufnahmen bildeten die Grundlage für Erhebung der Breiten- und Höhenmaße der Nasenhöhle sowie Flächenmaße des Meatus nasi inferior. Für die Erfassung der Conchae nasales wurden die vertikalen Abstände der jeweiligen Grundlamellen in Bezug zur Nasenbodenebene vermessen. Zudem wurden unter der Verwendung der Programme WinSurf (Version 4.0, Lozanoff and Moody) und ImageJ (Version 1.52n, Rasband, National Institutes of Health) 3D-Rekonstruktionen der Nasenmuscheln erstellt und deren Volumina berechnet. Darüber hinaus wurden ausgewählte externe Schädelmaße in den Vergleich mit einbezogen.

Mit Ausnahme der Schädelbasislänge sind die externen Schädelmaße sowie das berechnete Gesichtsschädelvolumen bei *Macaca fuscata* signifikant größer als bei *Colobus guereza*. Zugleich wies *Macaca fuscata* signifikant größere Volumina der Concha nasalis inferior und media auf. Auch die Größenverhältnisse der Conchae nasales innerhalb der jeweiligen Stichproben unterschieden sich zwischen beiden Spezies.

Anders als bei *Colobus guereza* wurde bei *Macaca fuscata* eine größere Concha nasalis media im Vergleich zur Concha nasalis inferior beobachtet. Die Symmetrieverhältnisse der Nasenmuscheln und ihrer Grundlamellen konnten durch die Berechnung eines Asymmetrie-Index dargestellt werden. Hierbei konnte eine zufällige Verteilung der Asymmetrien bei beiden Spezies festgestellt werden, die als fluktuierende Asymmetrie eingeordnet wurde.

Die Grundlamelle der Concha nasalis inferior wurde bei beiden Primatenspezies in allen vier koronaren Messebenen, vom zweiten Prämolaren bis zum dritten Molaren des Oberkiefers, lokalisiert. Die Grundlamelle der Concha nasalis media lag bei *Macaca fuscata* auf Höhe der Messebene des dritten Oberkiefermolaren, während sie bei *Colobus guereza* auf Höhe des zweiten und dritten Oberkiefermolaren beobachtet wurde. Die Grundlamelle der Concha nasalis superior lag bei beiden Primatenspezies vorwiegend im Bereich des zweiten Oberkiefermolaren.

Die Ergebnisse der Breiten- und Höhenmaße der Nasenhöhle zeigten, dass *Macaca fuscata* in drei von vier koronaren Messebenen eine signifikant höhere Nasenhöhle aufweist. Die Nasenhöhlenbreite ließ hingegen keine Tendenzen in Bezug auf die Größenverhältnisse zugunsten einer Spezies erkennen. Mithilfe eines Breiten-Höhen-Index konnte außerdem das Verhältnis der Breite zur Höhe der Nasenhöhle beschrieben werden. Während dieses Verhältnis im mittleren Bereich der Nasenhöhle bei beiden Spezies annähernd gleich ist, besitzt *Colobus guereza* im anterioren und posterioren Bereich eine breitere Nasenhöhle in Relation zur Gesamthöhe der Cavitas nasi. Es wurden weiterhin signifikante Unterschiede in der Größe des Meatus nasi inferior zwischen beiden Primatenspezies beobachtet.

Mögliche Merkmalszusammenhänge zwischen ausgewählten Maßen der Nasenhöhle sowie externen Schädelmaßen wurden mit der Korrelationsanalyse nach Spearman geprüft. Hierbei wurden bei *Colobus guereza* keine signifikanten Zusammenhänge zwischen den Volumina der Nasenmuscheln und den externen Schädelmaßen festgestellt. Für *Macaca fuscata* konnte nur zwischen dem Volumen der rechten Concha nasalis inferior und der Gesichtsschädellänge sowie dem Gesichtsschädelvolumen eine signifikante Korrelation beobachtet werden.

Signifikante Zusammenhänge zwischen den Höhenmaßen der Grundlamellen und den Höhenmaßen der Nasenhöhle wurden bei *Macaca fuscata* nur für die Concha nasalis inferior im Bereich des zweiten Oberkieferprämolaren sowie bei *Colobus guereza* für die Concha nasalis media im Bereich des dritten Oberkiefermolaren beobachtet. Die Ergebnisse der Korrelationsanalyse lassen ferner vermuten, dass die Grundlamelle der Concha nasalis inferior eher mit der Nasenhöhlenbreite als mit der Höhe der Nasenhöhle zusammenhängt. Die Ergebnisse der Regressionsanalyse zeigten, dass diejenigen Korrelationen, die bei beiden Primatenspezies gleichermaßen auftraten, keine signifikanten Unterschiede aufweisen.

Die vorliegende Arbeit stellt eine Methodik vor, die es erlaubt, ausgewählte Maße der Nasenhöhle mithilfe von DVT- und CT-Aufnahmen zu erfassen und zwischen verschiedenen menschlichen oder nichtmenschlichen Populationen bzw. unterschiedlichen Primatenspezies zu vergleichen. Die Primatenspezies *Macaca fuscata* und *Colobus guereza* wiesen signifikante Unterschiede in verschiedenen Aspekten der Nasenhöhle auf, welche möglicherweise mit den geografischen Lebensräumen sowie der unterschiedlichen Schädelpneumatisation zusammenhängen. Ein Einfluss des Sinus maxillaris auf die Morphologie der Conchae nasales und ihrer Grundlamellen kann nicht ausgeschlossen werden. Weitere Studien sind nötig, um zu prüfen, inwiefern die Anordnung und Größe der Grundlamellen der Conchae nasales artspezifisch sind und in welchem Zusammenhang sie mit anatomischen und physiologischen Charakteristika der Nasenhöhle sowie des Gesichtsschädels stehen. Zudem können die Ergebnisse dieser Studie als Grundlage für weiterführende biometrische Untersuchungen der Nasenhöhle sowie der Conchae nasales dienen.

7. Literaturverzeichnis

Abbott DJ, Baroody FM, Naureckas E, Naclerio RM (2001). Elevation of nasal mucosal temperature increases the ability of the nose to warm and humidify air. Am J Rhinol 15:41-45.

Ache BW, Young JM (2005). Olfaction: diverse species, conserved principles. Neuron 48:417-430.

Adibi S, Zhang W, Servos T, O'Neill PN (2012). Cone beam computed tomography in dentistry: what dental educators and learners should know. J Dent Educ. 76(11):1437-42.

Afiza E, Takakura Y, Iida, M (2016). Function of ostia in airflow patterns within nasal cavity model with maxillary sinus. American Academic Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences, 21(1), 41-60.

Ahn JH, Kim J, Hong SP, Choi SY, Yang MJ, Ju YS, Kim YT, Kim HM, Rahman MDT, Chung MK, Hong SD, Bae H, Lee CS, Koh GY (2021). Nasal ciliated cells are primary targets for SARS-CoV-2 replication in the early stage of COVID-19. J Clin Invest 131(13):e148517.

Albrecht J, Wiesmann M (2006). Das olfaktorische System des Menschen. Der Nervenarzt 77:931-939.

Ankel-Simons F (2007). Primate Anatomy: an Introduction. New York, Elsevier Academic Press.

Antón SC (1996). Cranial adaptation to a high attrition diet in Japanese macaques. Int J Primatol 17:401-427.

Aust R, Stierna P, Drettner B (1994). Basic experimental studies of ostial patency and local metabolic environment of the maxillary sinus. Acta Otolaryngol Suppl 515:7-10.

Aydinlioğlu A, Erdem S (2004). Maxillary and sphenoid sinus aplasia in Turkish individuals: a retrospective review using computed tomography. Clin Anat. 17(8):618-22.

Bachmann W (1982). Die Funktionsdiagnostik der behinderten Nasenatmung. Springer, Berlin Heidelberg New York.

Balczun J (2008). Computertomographische Untersuchung zum postnatalen Wachstum der Nasenhöhle von Macaca fuscata - eine biometrische Studie. Med Diss. Universität Greifswald.

Bamford OS, Eccles R (1982). The central reciprocal control of nasal vasomotor oscillations. Pfliigers Arch Eur J Physiol 394:139-143.

Bartsch HJ (1984). Taschenbuch mathematischer Formeln. Verlag Harri Deutsch, Frankfurt.

Bastir M, Rosas A (2013). Cranial airways and the integration between the inner and outer facial skeleton in humans. American Journal of Physical Anthropology 152(2):287–293.

Berger G, Hammel I, Berger R, Avraham S, Ophir D (2000). Histopathology of the inferior turbinate with compensatory hypertrophy in patients with deviated nasal septum. Laryngoscope 110(12):2100-5.

Bojsen-Møller F, Fahrenkrug J (1971). Nasal swell bodies and cyclic changes in the air passages of the rat and rabbit nose. Journal of Anatomy 110:25–37.

Bolger WE, Keyes AS, Lanza DC (1999). Use of the superior meatus and superior turbinate in the endoscopic approach to the sphenoid sinus. Otolaryngol Head Neck Surg 120(3):308-13.

Boyce J, Eccles R (2006). Do chronic changes in nasal airflow have any physiological or pathological effect on the nose and paranasal sinuses? A systematic review. Clin Otolaryngol 31(1):15-19.

Bresolin D, Shapiro PA, Shapiro GG, Chapko MK, Dassel S (1983). Mouth breathing in allergic children: its relationship to dentofacial development. Am J Orthod 83(4):334-40.

Bustamante-Marin XM, Ostrowski LE (2017). Cilia and Mucociliary Clearance. Cold Spring Harb Perspect Biol 9(4):a028241.

Butaric LN, McCarthy RC, Broadfield DC (2010). A preliminary 3D computed tomography study of the human maxillary sinus and nasal cavity. Am J Phys Anthropol 143(3):426-36.

Butaric LN, Klocke RP (2018). Nasal variation in relation to high-altitude adaptations among Tibetans and Andeans. Am J Hum Biol.30(3):e23104.

Carey JW, Steegmann AT Jr (1981). Human nasal protrusion, latitude, and climate. Am J Phys Anthropol 56(3):313-9.

Cave AJE (1967). Observations on the platyrrhine nasal fossa. American Journal of Physical Anthropology 26:277-288.

Cave AJE (1973). The primate nasal fossa. Biological Journal of the Linnean Society 5:377-387.

Chen XB, Lee HP, Chong VF, Wang de Y (2010). Impact of inferior turbinate hypertrophy on the aerodynamic pattern and physiological functions of the turbulent airflow - a CFD simulation model. Rhinology 48(2):163-8.

Churchill SE, Shackelford LL, Georgi JN, Black MT (2004). Morphological variation and airflow dynamics in the human nose. Am J Hum Biol 16(6):625-38.

Corruccini RS, Beecher RM (1982). Occlusal variation related to soft diet in a nonhuman primate. Science 218(4567):74-6.

Croce C, Fodil R, Durand M, Sbirlea-Apiou G, Caillibotte G, Papon JF, Blondeau JR, Coste A, Isabey D, Louis B (2006). In vitro experiments and numerical simulations of airflow in realistic nasal airway geometry. Ann Biomed Eng. 34(6):997-1007.

Daniels DL, Mafee MF, Smith MM, Smith TL, Naidich TP, Brown WD, Bolger WE, Mark LP, Ulmer JL, Hacein-Bey L, Strottmann JM (2003). The frontal sinus drainage pathway and related structures. AJNR Am J Neuroradiol. 24(8):1618-27.

Davies A (1932). A re-survey of the morphology of the nose in relation to climate. J. Royal Anthrop. Inst 62:337-360.

Delson E (1980). Fossil Macaques, Phyletic Relationships and a Scenario of Development. In: Lindburg DG (Ed.) The Macaques: Studies in Ecology, Behavior and Evolution. New York, Van Nostrand Reinhold: 10-30.

Denney L, Ho LP (2018). The role of respiratory epithelium in host defence against influenza virus infection. Biomed J. 41(4):218-233.

Doorly D, Taylor DJ, Franke P, Schroter RC (2008). Experimental investigation of nasal airflow. Proc Inst Mech Eng H. 222(4):439-53.

Drefs M (2013). Biometrische Untersuchungen zum Einfluss klimatischer Faktoren auf die Morphologie der Cavitas nasi beim Menschen. Med Diss. Universität Greifswald.
Eccles R (1978a). The domestic pig as an experimental animal for studies on the nasal cycle. Acta Otolaryngol. 85(5-6):431-6.
Eccles R (1978b). The central rhythm of the nasal cycle. Acta Otolaryngol. 86(5-6):464-8.
Eccles R (1996). A role for the nasal cycle in respiratory defence. Eur Respir J. 9(2):371-6.
Eccles R (2011). A guide to practical aspects of measurement of human nasal airflow by rhinomanometry. Rhinology. 49(1):2-10.
Elad D, Liebenthal R, Wenig BL, Einav S (1993). Analysis of air flow patterns in the human nose. Med Biol Eng Comput. 31(6):585-92.
Elad D, Wolf M, Keck T (2008). Air-conditioning in the human nasal cavity. Respir Physiol Neurobiol. 163(1-3):121-7.
Eördögh M, Baksa G, Grimm A, Bárány L, Petneházy Ö, Reisch R, Schroeder HWS, Briner HR, Hosemann W (2021). Three-dimensional structure of the basal lamella of the middle turbinate. Sci Rep. 11(1):17960.
Evteev AA, Grosheva AN (2019). Nasal cavity and maxillary sinuses form variation among modern humans of Asian descent. Am J Phys Anthropol. 169(3):513-525.
Eweiss AZ, Ibrahim AA, Khalil HS (2012). The safe gate to the posterior paranasal sinuses: reassessing the role of the superior turbinate. Eur Arch Otorhinolaryngol. 269(5):1451-6.
Fashing PJ, Oates JF (2013). Colobus guereza Guereza colobus. Mammals of Africa (2):111-119.
Flanagan P, Eccles R (1997). Spontaneous changes of unilateral nasal airflow in man. A re-examination of the 'nasal cycle'. Acta Otolaryngol. 117(4):590-5.
Fleagle JG (2013). Chapter 6 – Old World Monkeys. In: Primate Adaptation and Evolution (Third Edition). Academic Press, San Diego, CA:119–150.
Fooden J (1976). Provisional classifications and key to living species of macaques (primates: Macaca). Folia Primatol (Basel) 25(2-3):225-36.
Fooden J, Aimi M (2005). Systematic review of Japanese macaques, Macaca fuscata (Gray, 1870). Fieldiana: Zoology 104:1-200.
Franciscus RG, Long JC (1991). Variation in human nasal height and breadth. Am J Phys Anthropol. 85(4):419-27.
Ganesan S, Comstock AT, Sajjan US (2013). Barrier function of airway tract epithelium. Tissue Barriers. 1(4):e24997.
Ganz T (2002). Antimicrobial polypeptides in host defense of the respiratory tract. J Clin Invest. 109(6):693-7.
Geissmann T (2003). Vergleichende Primatologie. Berlin, Springer.
Geurkink N (1983). Nasal anatomy, physiology, and function. J Allergy Clin Immunol. 72(2):123-8.
Gilbert AN, Rosenwasser AM (1987). Biological rhythmicity of nasal airway patency: a re-examination of the 'nasal cycle'. Acta Otolaryngol. 104(1-2):180-6.
Göllrich R (2010). Zum postnatalen Wachstum der Nasenhöhle des Schimpansen (Pan troglodytes) – eine biometrische Studie. Med Diss. Universität Greifswald.

Green PA, Van Valkenburgh B, Pang B, Bird D, Rowe T, Curtis A (2012). Respiratory and olfactory turbinal size in canid and arctoid carnivorans. J Anat. 221(6):609-21.
Groves CP (2007). The taxonomic diversity of the Colobinae of Africa, J. Anthropol. Sci., 85:7–34.
Grünwald L (1914). Die Nasenmuscheln des Menschen, Dargestellt auf Grund der Entwicklung und des Vergleichs. Anat. Hefte Bd. 54.
Gupta T, Aggarwal A, Sahni D (2013). Anatomical landmarks for locating the sphenoid ostium during endoscopic endonasal approach: a cadaveric study. Surg Radiol Anat. 35(2):137-42.
Hagin F (2019). Wird die Morphologie des Sinus maxillaris beim Menschen (Homo sapiens) durch die Concha nasalis inferior beeinflusst? Eine biometrische Studie auf der Grundlage der Digitalen Volumentomographie (DVT), Med Diss. Universität Greifswald.
Harkema JR (1991). Comparative aspects of nasal airway anatomy: relevance to inhalation toxicology. Toxicol Pathol. 19(4 Pt 1):321-36.
Harris TR, Chapman CA (2007). Variation in diet and ranging of black and white colobus monkeys in Kibale National Park, Uganda. Primates. 48(3):208-21.
Hasegawa M, Kern EB (1977). The human nasal cycle. Mayo Clin Proc. 52(1):28-34.
Herring SW (1993). Formation of the vertebrate face: Epigenetic and functional influences. Amer. Zool. 33:472-183.
Hill DA (1997). Seasonal variation in the feeding behavior and diet of Japanese macaques (Macaca fuscata yakui) in lowland forest of Yakushima. Am J Primatol. 43(4):305-22.
Hillenius WJ (1992). The evolution of nasal turbinates and mammalian endothermy. Paleobiology 18:17-29.
Hillenius WJ (1994). Turbinates in therapsids: evidence for Late Permian origins of mammalian endothermy. Evolution 48:207-229.
Hollandt JH, Klaiber S, Gäbler R, Siegert R (2002). Schlafbezogene Atmungsstörungen. Einfluss der Nasenatmung. HNO 50(8):765-70; 771; 773.
Holton N, Yokley T, Butaric L (2013). The morphological interaction between the nasal cavity and maxillary sinuses in living humans. Anat Rec 296:414-426.
Hori T, Nakayama T, Tokura H, Hara F, Suzuki M (1977). Thermoregulation of the Japanese macaque living in a snowy mountain area. Jpn J Physiol. 27(3):305-19.
Hull DB (1979). A craniometric study of the black and white Colobus Illiger 1811 (Primates: Ceropithecoidea). Am J Phys Anthropol. 51(2):163-81.
Ingelstedt S, Ivstam B (1951). Study in the humidifying capacity of the nose. Acta Otolaryngol. 39(4):286-90.
Ingervall B, Helkimo E (1978). Masticatory muscle force and facial morphology in man. Arch Oral Biol. 23(3):203-6.
Ismail HF, Osman E, AL-Omari AK, Avrunin OG (2012). The role of paranasal sinuses in the aerodynamics of the nasal cavities. International Journal of Life Science and Medical Research 2(3): 52-55.
Ito T, Nishimura TD, Hamada Y, Takai M (2015). Contribution of the maxillary sinus to the modularity and variability of nasal cavity shape in Japanese macaques. Primates. 56(1):11-9.

Jackson DC, Schmidt-Nielsen K (1964). Countercurrent Heat Exchange in the Respiratory Passages. Proc Natl Acad Sci USA. 51(6):1192-7.
Jankowski R (2013). The evo-devo origin of the nose, anterior skull base and midface. Paris, Springer.
Kahana-Zweig R, Geva-Sagiv M, Weissbrod A, Secundo L, Soroker N, Sobel N (2016). Measuring and Characterizing the Human Nasal Cycle. PLoS One. 11(10):e0162918.
Kayser R (1895). Die exacte Messung der Luftdurchgängigkeit der Nase. Arch Laryngol Rhinol 3:101-120.
Keck T, Leiacker R, Heinrich A, Kühnemann S, Rettinger G (2000a). Humidity and temperature profile in the nasal cavity. Rhinology. 38(4):167-71.
Keck T, Leiacker R, Riechelmann H, Rettinger G (2000b). Temperature profile in the nasal cavity. Laryngoscope. 110(4):651-4.
Keck T, Rozsasi A, Gruen P (2010). Konditionierung der Atemluft in der Nase. HNO 59: 38-44.
Kiliaridis S (1995). Masticatory muscle influence on craniofacial growth. Acta Odontol Scand. 53(3):196-202.
Kim SS, Lee JG, Kim KS, Kim HU, Chung IH, Yoon JH (2001). Computed tomographic and anatomical analysis of the basal lamellas in the ethmoid sinus. Laryngoscope. 111(3):424-9.
Kingdon J, Groves C (2013). Genus Colobus black-and-white colobus monkeys. Mammals of Africa (2):95-96.
Koppe T, Inoue Y, Hiraki Y, Nagai H (1996). The Pneumatization of the Facial Skeleton in the Japanese Macaque (Macaca fuscata) A Study Based on Computerized Three-Dimensional Reconstructions. Anthropological Science 104(1):31-41.
Koppe T, Nagai H (1997). Growth pattern of the maxillary sinus in the japanese macaque (Macaca fuscata): reflections on the structural role of the paranasal sinuses. J Anat 190:533–544.
Koyabu DB, Endo H (2009). Craniofacial variation and dietary adaptations of African colobines. J Hum Evol. 56(6):525-36.
Krimmel M, Reinert S (2014). Die Kieferhöhle und die laterale Nasenwand. Der MKG-Chirurg 7(3):170-176.
Kupczik K, Dobson CA, Crompton RH, Phillips R, Oxnard CE, Fagan MJ, O'Higgins P (2009). Masticatory loading and bone adaptation in the supraorbital torus of developing macaques. Am J Phys Anthropol. 139(2):193-203.
Lang J, Sakals E (1981). Über die Höhe der Cavitas nasi, die Länge ihres Bodens und Masse sowie Anordnung der Conchae nasales und der Apertura sinus sphenoidalis. Anat Anz. 149:297-318.
Lee SH, Choi JH, Shin C, Lee HM, Kwon SY, Lee SH (2007). How does open-mouth breathing influence upper airway anatomy? Laryngoscope. 117(6):1102-6.
Leopold DA, Hummel T, Schwob JE, Hong SC, Knecht M, Kobal G (2000). Anterior distribution of human olfactory epithelium. Laryngoscope. 110(3 Pt 1):417-21.
Lewandowski K, Busch T, Lohbrunner H, Rensing S, Keske U, Gerlach H, Falke KJ (1998). Low nitric oxide concentrations in exhaled gas and nasal airways of mammals without paranasal sinuses. J Appl Physiol. 85(2):405-10.

Li J, Han K, Xing J, Kim HS, Rogers J, Ryder OA, Disotell T, Yue B, Batzer MA (2009). Phylogeny of the macaques (Cercopithecidae: Macaca) based on Alu elements. Gene. 448(2):242-9.
Loo SK (1973). A comparative study of the nasal fossa of four nonhuman primates. Folia Primatol (Basel). 20(5):410-22.
Lovich E, Gibbons J (1992). A review of techniques for quantifying sexual size dimorphism. Growth Dev Aging 56:269–281.
Lüllmann-Rauch R (2015). Taschenlehrbuch Histologie. 5. Aufl. Stuttgart New York: Georg Thieme Verlag.
Lundberg JO, Farkas-Szallasi T, Weitzberg E, Rinder J, Lidholm J, Anggård A, Hökfelt T, Lundberg JM, Alving K (1995). High nitric oxide production in human paranasal sinuses. Nat Med. 1(4):370-3.
Maier W (1993). Zur evolutiven und funktionellen Morphologie des Gesichtsschädels der Primaten. Zeitschrift Für Morphologie Und Anthropologie, 79(3):279–299.
Marks TN, Maddux SD, Butaric LN, Franciscus RG (2019). Climatic adaptation in human inferior nasal turbinate morphology: Evidence from Arctic and equatorial populations. Am J Phys Anthropol. 169(3):498-512.
Márquez S, Laitman JT (2008). Climatic effects on the nasal complex: a CT imaging, comparative anatomical, and morphometric investigation of Macaca mulatta and Macaca fascicularis. Anat Rec (Hoboken). 291(11):1420-45.
Martin R (1928). Lehrbuch der Anthropologie, Band 2. 2. Auflage, Gustav Fischer Verlag, Jena.
Mercke U, Hakansson CH, Toremalm NG (1974). The influence of temperature on mucociliary activity. Temperature range 20 degrees C-40 degrees C. Acta Otolaryngol. 78(5-6):444-50.
Merkus FW, Verhoef JC, Schipper NG, Marttin E (1998). Nasal mucociliary clearance as a factor in nasal drug delivery. Adv Drug Deliv Rev. 29(1-2):13-38.
Mlynski G, Grützenmacher S, Lang C, Mlynski B (2000). Aerodynamik der Nase – Physiologie und Pathophysiologie. In: Ganz H, Iro H (Hrsg) HNO Praxis heute. Springer, Berlin.
Mlynski G, Grützenmacher S, Plontke S, Mlynski B, Lang C (2001). Correlation of nasal morphology and respiratory function. Rhinology. 39(4):197-201.
Mlynski, R. A. (2002). Der Einfluss der Nasennebenhöhlen auf das Messergebnis der akustischen Rhinometrie, Med Diss, Universität Greifswald.
Mlynski G, Beule A (2008). Diagnostik der respiratorischen Funktion der Nase [Diagnostic methods of nasal respiratory function]. HNO. 56(1):81-99.
Moore WJ (1981). The Mammalian Skull. Cambridge, Cambridge University Press.
Mori F, Hanida S, Kumahata K, Miyabe-Nishiwaki T, Suzuki J, Matsuzawa T, Nishimura TD (2015). Minor contributions of the maxillary sinus to the air-conditioning performance in macaque monkeys. J Exp Biol. 218(15):2394-401.
Morrison EE, Costanzo RM (1992). Morphology of olfactory epithelium in humans and other vertebrates. Microsc Res Tech. 23(1):49-61.
Muroyama Y, Yamada A (2010). Conservation: present status of the Japanese macaque population and its habitat. In The Japanese Macaques, Springer, Tokyo:143-164.

Nakagawa N (1997). Determinants of the dramatic seasonal changes in the intake of energy and protein by Japanese monkeys in cool temperature forest. Am J Primatol 41: 267-288.
Nasseh I, Al-Rawi W (2018). Cone Beam Computed Tomography. Dent Clin North Am. 62(3):361-391.
Negus V (1958). The comparative anatomy and physiology of the nose and paranasal sinuses, Edinburgh. Livingstone.
Negus V (1960). Further observations on the air conditioning mechanism of the nose. Ann R Coll Surg Engl. 27(3):171-204.
Nemitz R (o.D.). Klima und Wetter in Äthiopien. https://www.wetter-atlas.de/klima/afrika/aethiopien.php. (abgerufen am 08.03.2022).
Nemitz R (o.D.). Klima und Wetter in Gabun. https://www.wetter-atlas.de/klima/afrika/gabun.php. (abgerufen am 08.03.2022).
Neskey D, Eloy JA, Casiano RR (2009). Nasal, septal, and turbinate anatomy and embryology. Otolaryngol Clin North Am. 42(2):193-205, vii.
Noback ML, Harvati K, Spoor F (2011). Climate-related variation of the human nasal cavity. Am J Phys Anthropol. 145(4):599-614.
Normann L (2016). Zur funktionellen Morphologie der Cavitas nasi der Strepsirrhini: eine quantitative Studie auf der Grundlage der Mikro-Computertomographie. Med Diss. Universität Greifswald.
Ogle OE, Weinstock RJ, Friedman E (2012). Surgical anatomy of the nasal cavity and paranasal sinuses. Oral Maxillofac Surg Clin North Am. 24(2):155-66, vii.
Orlandi RR, Lanza DC, Bolger WE, Clerico DM, Kennedy DW (1999). The forgotten turbinate: the role of the superior turbinate in endoscopic sinus surgery. Am J Rhinol. 13(4):251-9.
Owerkowicz T, Musinsky C, Middleton KM, Crompton AW (2015). Respiratory Turbinates and the Evolution of Endothermy in Mammals and Birds. Great Transformations in Vertebrate Evolution, edited by Kenneth P. Dial, Neil Shubin and Elizabeth L. Brainerd, Chicago: University of Chicago Press: 143-166.
Paulli S (1900). Über die Pneumaticität des Schädels bei den Säugethieren. Eine morphologische Studie. III. Über die Morphologie des Siebbeins und die der Pneumaticität bei den Insectivoren, Hyracoiden, Chiropteren, Carnivoren, Pinnepedien, Edentaten, Rodentiern, Prosimiern und Primaten, nebst einer zusammenfassenden Übersicht über die Morphologie des Siebbeins und die der Pneumaticität des Schädels bei den Säugethieren. Gegenbaurs Morph Jahrb 28:483-564.
Peter K (1902). Anlage und Homologie der Muscheln des Menschen und der Säugetiere. Archiv für mikroskopische Anatomie 60(1):339-367.
Peter K (1912). Die Entwicklung der Nasenmuscheln bei Mensch und Säugetieren. Archiv für mikroskopische Anatomie 80(1):478-559.
Peter K (1913). Atlas der Entwickelung der Nase und des Gaumens beim Menschen mit Einschluss der Entwickelungsstörungen. Jena.
Pollock RA, Rohrich RJ (1984). Inferior turbinate surgery: an adjunct to successful treatment of nasal obstruction in 408 patients. Plastic and Reconstructive Surgery 74: 227-236.

Prasanna LC, Mamatha H (2010). The location of maxillary sinus ostium and its clinical application. Indian J Otolaryngol Head Neck Surg. 62(4):335-7.
Proetz AW (1941). Essays on applied physiology of the nose. Annals Publishing Company, St. Louis.
Rae TC (1999). The maxillary sinus in primate paleontology and systematics. In: Koppe T, Nagai H, Alt K, editors. The paranasal sinuses of higher primates: development, function and evolution. Berlin: Quintessence: 177–189.
Rae TC, Hill RA, Hamada Y, Koppe T (2003). Clinal variation of maxillary sinus volume in Japanese macaques (Macaca fuscata). Am J Primatol. 59(4):153-8.
Rae TC (2008). Paranasal pneumatization in extant and fossil Cercopithecoidea. J Hum Evol. 54(3):279-86.
Reznik GK (1990). Comparative anatomy, physiology, and function of the upper respiratory tract. Environ Health Perspect. 85:171-6.
Richter H (1932). Die normale Entwicklung der menschlichen Nase, in Sonderheit der Siebbeinzellen. Archiv f. Ohren-, Nasen- u. Kehlkopfheilkunde 131:265–304.
Richter H (1953). Über die Entwicklung und Gestalt der Nasenmuscheln. Archiv für Ohren, Nasen-und Kehlkopfheilkunde 162(4):318-323.
Riederer A, Knipping S, Toleti B (2002). Überlegungen zur Dynamik des Schwellgewebes der unteren Nasenmuschel des Menschen [Regulation of the swelling mechanism in the inferior turbinate of human nasal mucosa]. Laryngorhinootologie. 81(7):469-75.
Ross CF, Ravosa MJ (1993). Basicranial flexion, relative brain size, and facial kyphosis in nonhuman primates. Am J Phys Anthropol. 91(3):305-24.
Ross CF (1996). Adaptive explanation for the origins of the anthropoidea (primates). Am J Primatol. 40(3):205-230.
Ross CF, Berthaume MA, Dechow PC, Iriarte-Diaz J, Porro LB, Richmond BG, Spencer M, Strait D (2011). In vivo bone strain and finite-element modeling of the craniofacial haft in catarrhine primates. J Anat. 218(1):112-41.
Rossie JB, Smith TD (2007). Ontogeny of the nasolacrimal duct in primates: functional and phylogenetic implications. J Anat. 210(2):195-208.
Saied HFI, Al Omari AK, Avrunin OG (2011). An Attempt of the Determination of Aerodynamic Characteristics of Nasal Airways. In: Image Processing and Communications Challenges 3, Springer Berlin Heidelberg: 311-322.
Sarna A, Hayman LA, Laine FJ, Taber KH (2002). Coronal imaging of the osteomeatal unit: anatomy of 24 variants. J Comput Assist Tomogr. 26(1):153-7.
Schaeffer JP (1920). The nose, paranasal sinuses, nasolacrimal passageways and olfactory organs in Man. Philadelphia: Blakiston Sons and Co.
Scherer PW, Hahn II, Mozell MM (1989). The biophysics of nasal airflow. Otolaryngol Clin North Am. 22(2):265-78.
Schlicher W, Nielsen Ib, Huang JC, Maki K, Hatcher DC, Miller AJ (2012) Consistency and precision of landmark identification in three-dimensional cone beam computed tomography scans. Eur J Orthod 34:263-275.
Schmidt M (2010). Primates. In: Spezielle Zoologie. Teil 2: Wirbel oder Schädeltiere (Eds. Westheide W & Rieger G), Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg: 564-592.

Schneider L (2018). Geschlechtsspezifische Prävalenz und Charakteristika von Verschattungen der Nasennebenhöhlen im MRT – Sinus maxillaris versus Sinus frontalis, Med Diss, Universität Greifswald.
Schönemann A (1901). Beitrag zur Kenntnis der Muschelbildung und des Muschelwachstums. Anatomische Hefte, 18(1):97-169.
Schroter RC, Watkins NV (1989). Respiratory heat exchange in mammals. Respir Physiol. 78(3):357-67.
Schumacher GH (1968). Der maxillo-mandibuläre Apparat unter dem Einfluss formgestaltender Faktoren. In: Mothes K (ed.), Nova Acta Leopoldina, Band 33, Nr. 182; Leipzig: Johann Ambrosius Barth: 36-133.
Schumacher GH (1997). Anatomie für Zahnmediziner, Heidelberg. Hüthig.
Seydel O (1891). Über die Nasenhöhle der höheren Säugethiere und des Menschen. Gegenbaurs Morphologisches Jahrbuch 17: 44-99.
Shea BT (1977). Eskimo craniofacial morphology, cold stress and the maxillary sinus. Am J Phys Anthropol. 47(2):289-300.
Simmen D, Scherrer JL, Moe K, Heinz B (1999). A dynamic and direct visualization model for the study of nasal airflow. Arch Otolaryngol Head Neck Surg. 125(9):1015-21.
Smith TD, Bhatnagar KP, Tuladhar P, Burrows AM (2004). Distribution of olfactory epithelium in the primate nasal cavity: are microsmia and macrosmia valid morphological concepts? Anat Rec A Discov Mol Cell Evol Biol. 281(1):1173-81.
Smith TD, Rossie JB (2006). Primate olfaction: Anatomy and evolution. In: Olfaction and the Brain (eds. Warrick J. Brewer, David Castle, Christos Pantelis), Cambridge: Cambridge University Press: 135-166.
Smith TD, Rossie JB, Bhatnagar KP (2007). Evolution of the nose and nasal skeleton in primates. Evolutionary Anthropology: Issues, News, and Reviews 16(4):132-146.
Smith TD, Laitman JT, Bhatnagar KP (2014). The shrinking anthropoid nose, the human vomeronasal organ, and the language of anatomical reduction. Anat Rec (Hoboken). 297(11):2196-204.
Snyder SH, Bredt DS (1992). Biological roles of nitric oxide. Sci Am. 266(5):68-71, 74-7.
Stammberger H, Hosemann W, Draf W (1997). Anatomische Terminologie und Nomenklatur für die Nasennebenhöhlenchirurgie [Anatomic terminology and nomenclature for paranasal sinus surgery]. Laryngorhinootologie. 76(7):435-49.
Starck D (1995). Lehrbuch der speziellen Zoologie. Band II: Wirbeltiere. 5. Teil: Säugetiere, 5/1: Allgemeines, Ordo 1-9. G. Fischer, Jena: 479-593.
Stoksted P (1952). The physiologic cycle of the nose under normal and pathologic conditions. Acta Otolaryngol. 42(1-2):175-9.
Stoksted P (1953). Rhinometric measurements for determination of the nasal cycle. Acta Otolaryngol Suppl. 109:159-75.
Sungnak W, Huang N, Bécavin C, Berg M, Queen R, Litvinukova M, Talavera-López C, Maatz H, Reichart D, Sampaziotis F, Worlock KB, Yoshida M, Barnes JL (2020). SARS-CoV-2 entry factors are highly expressed in nasal epithelial cells together with innate immune genes. HCA Lung Biological Network. Nat Med. 26(5):681-687.
Swindler DR (1998). Introduction to the primates. University of Washington Press, Washington.

Swindler DR (2002). Primate dentition: an introduction to the teeth of non-human primates (Vol. 32). Cambridge University Press.
Terrier F, Weber W, Ruefenacht D, Porcellini B (1985). Anatomy of the ethmoid: CT, endoscopic, and macroscopic. AJR Am J Roentgenol. 144(3):493-500.
Thomson A, Buxton LD (1923). Man's nasal index in relation to certain climatic conditions. Journal of the Anthropological Institute of Great Britain and Ireland: 92-122.
Tian L, Dong J, Shang Y, Tu J (2022). Detailed comparison of anatomy and airflow dynamics in human and cynomolgus monkey nasal cavity. Comput Biol Med. 141:105150.
Tillmann BN (2010). 9.1 Nase. In: Zilles K, Tillmann BN (Hrsg.) Anatomie. Springer Medizin, Heidelberg: 394-402.
Toro-Ibacache V, Zapata Muñoz V, O'Higgins P (2016). The relationship between skull morphology, masticatory muscle force and cranial skeletal deformation during biting. Ann Anat. 203:59-68.
Turner W (1890). The Convolutions of the Brain: A Study in Comparative Anatomy. J Anat Physiol. 25(Pt 1):105-53.
Uzun L, Savranlar A, Beder LB, Ugur MB, Cinar F, Ozdemir H, Gundogdu S (2004). Enlargement of the bone component in different parts of compensatorily hypertrophied inferior turbinate. Am J Rhinol 18(6):405-410.
Van Alyea OE (1936). The ostium maxillare: anatomic study of ist surgical accessibility. Arch Otolaryngol 24:553–569.
Van Valkenburgh B, Theodor J, Friscia A, Pollack A, Rowe T. (2004). Respiratory turbinates of canids and felids: a quantitative comparison. Journal of Zoology, 264(3): 281-293.
Wada K, Ichiki Y (1980). Seasonal home range use by Japanese monkeys in the snowy Shiga Heights. Primates, 21(4):468-483.
Wako K, Hiratsuka H, Katsuta O, Tsuchitani M (1999). Anatomical structure and surface epithelial distribution in the nasal cavity of the common cotton-eared marmoset (Callithrix jacchus). Exp Anim. 48(1):31-6.
Walker JEC, Wells RE, Merrill EW (1961). Heat and water exchange in the respiratory tract. Am J Med 30:259–267.
Webber RL, Jeffcoat MK, Harman JT, Ruttimann UE (1987). MR demonstration of the nasal cycle in the beagle dog. J Comput Assist Tomogr. 11(5):869-71.
Wolfheim JH (1983). Primates of the world: distribution, abundance, and conservation. Seattle: University of Washington Press.
Wolpoff MH (1968). Climatic influence on the skeletal nasal aperture. Am J Phys Anthropol. 29(3):405-23.
Wu HB, Yuan HS, Zhu L (2014). Tri-planar computed tomographic projection of three segments of the middle turbinate in a Chinese population. Eur Arch Otorhinolaryngol. 271(3):511-8.
Xiong GX, Zhan JM, Jiang HY, Li JF, Rong LW, Xu G (2008). Computational fluid dynamics simulation of airflow in the normal nasal cavity and paranasal sinuses. Am J Rhinol. 22(5):477-82.
Xu W, Zheng S, Dweik RA, Erzurum SC (2006). Role of epithelial nitric oxide in airway viral infection. Free Radic Biol Med. 41(1):19-28.

Yano W, Egi N, Takano T, Ogihara N (2020). Subspecies and sexual craniofacial size and shape variations in Japanese macaques (Macaca fuscata). Anthropological Science, 128(2):71-81.
Yeung AWK, Colsoul N, Montalvao C, Hung K, Jacobs R, Bornstein MM (2019). Visibility, location, and morphology of the primary maxillary sinus ostium and presence of accessory ostia: a retrospective analysis using cone beam computed tomography (CBCT). Clin Oral Investig. 23(11):3977-3986.
Zhao K, Jiang J (2014). What is normal nasal airflow? A computational study of 22 healthy adults. Int Forum Allergy Rhinol. 4(6):435-46.
Zinreich SJ, Stammberger H, Bolger W, Solaiyappan M, Ishii M (2019). Advanced CT imaging demonstrating the bulla lamella and the basal lamella of the middle turbinate as endoscopic landmarks for the anterior ethmoid artery. Rhinology online 7(2):32-43.
Zuckerkandl E (1887). Das periphere Geruchsorgan der Säugethiere. Eine vergleichend anatomische Studie. Enke, Stuttgart.

8. Anhang

Tab. 1: Höhenmaße der Grundlamellen der Concha nasalis inferior in Bezug zur Nasenbodenebene. Angaben in mm.

Spezies	ID	Geschlecht	CniH1r	CniH2r	CniH3r	CniH4r	CniH1l	CniH2l	CniH3l	CniH4l
Macaca f. yakui	KAS24	m	6,98	9,60	10,7	4,76	7,14	9,44	10,8	4,28
Macaca f. fuscata	KAS25	f	8,63	12,5	10,1	5,77	7,81	11,3	9,16	5,39
Macaca f. yakui	KAS200	m	6,92	9,10	15,0	10,3	7,35	8,77	15,6	8,94
Macaca f. fuscata	KAS218	f	6,52	9,57	10,7	5,17	6,50	10,1	11,6	5,49
Macaca f. fuscata	KAS245	f	9,01	12,1	14,8	7,14	9,00	11,7	14,7	8,52
Macaca f. yakui	KAS264	m	9,08	12,1	10,3	6,83	8,65	11,5	9,78	6,89
Macaca f. yakui	KAS279	m	9,54	10,4	13,5	12,0	8,42	9,62	12,9	13,8
Macaca f. yakui	KAS282	m	7,78	11,7	9,77	6,15	8,10	11,9	8,68	5,70
Macaca f. yakui	KAS290	f	7,00	10,3	12,0	5,78	7,13	10,1	12,7	6,69
Macaca f. yakui	KAS294	f	7,01	10,3	12,4	6,24	7,28	10,5	12,5	5,96

CniH1r: Höhenmaß der Grundlamelle der Concha nasalis inferior im Bereich des 2. Oberkieferprämolaren rechts, CniH2r: Höhenmaß im Bereich des ersten Oberkiefermolaren rechts, CniH3r: Höhenmaß im Bereich des zweiten Oberkiefermolaren rechts, CniH4r: Höhenmaß im Bereich des dritten Oberkiefermolaren rechts, CniH1 bis CniH4l: Entsprechende Höhenmaße auf der linken Seite

Tab. 2: Höhenmaße der Grundlamellen der Concha nasalis media in Bezug zur Nasenbodenebene. Angaben in mm.

Spezies	ID	Geschlecht	CnmH1r	CnmH2r	CnmH3r	CnmH4r	CnmH1l	CnmH2l	CnmH3l	CnmH4l
Macaca f. yakui	KAS24	m				14,2				14,4
Macaca f. fuscata	KAS25	f				17,5				17,6
Macaca f. yakui	KAS200	m				16,7				17,0
Macaca f. fuscata	KAS218	f								
Macaca f. fuscata	KAS245	f				14,5				14,4
Macaca f. yakui	KAS264	m				14,6				14,5
Macaca f. yakui	KAS279	m				16,6				16,5
Macaca f. yakui	KAS282	m			15,8	16,2			15,1	15,1
Macaca f. yakui	KAS290	f				14,0				14,1
Macaca f. yakui	KAS294	f				17,9				17,5

CnmH1r: Höhenmaß der Grundlamelle der Concha nasalis media im Bereich des 2. Oberkieferprämolaren rechts, CnmH2r: Höhenmaß im Bereich des ersten Oberkiefermolaren rechts, CnmH3r: Höhenmaß im Bereich des zweiten Oberkiefermolaren rechts, CnmH4r: Höhenmaß im Bereich des dritten Oberkiefermolaren rechts, CnmH1 bis CnmH4l: Entsprechende Höhenmaße auf der linken Seite

Für die grau markierten Bereichen wurden keine Grundlamellen lokalisiert.

Tab. 3: Höhenmaße der Grundlamellen der Concha nasalis superior in Bezug zur Nasenbodenebene. Angaben in mm.

Spezies	ID	Geschlecht	CnsH1r	CnsH2r	CnsH3r	CnsH4r	CnsH1l	CnsH2l	CnsH3l	CnsH4l
Macaca f. yakui	KAS24	m		19,3	19,8			19,3	20,5	
Macaca f. fuscata	KAS25	f		19,5	18,7			19,4	18,6	
Macaca f. yakui	KAS200	m			20,4	21,1			20,5	21,2
Macaca f. fuscata	KAS218	f			20	19,7			20,1	19,4
Macaca f. fuscata	KAS245	f			20,8	22,3			19,9	22,6
Macaca f. yakui	KAS264	m			22,8				22,3	
Macaca f. yakui	KAS279	m			21,5	24,2			21,5	23,9
Macaca f. yakui	KAS282	m	18,9	19,0	22,6		19,0	19,2	23,1	
Macaca f. yakui	KAS290	f			19,2				18,8	
Macaca f. yakui	KAS294	f		19,6	20,7			19,5	21,0	

CnsH1r: Höhenmaß der Grundlamelle Concha nasalis superior im Bereich des 2. Oberkieferprämolaren rechts, CnsH2r: Höhenmaß im Bereich des ersten Oberkiefermolaren rechts, CnsH3r: Höhenmaß im Bereich des zweiten Oberkiefermolaren rechts, CnsH4r: Höhenmaß im Bereich des dritten Oberkiefermolaren rechts, CnsH1 bis CnsH4l: Entsprechende Höhenmaße auf der linken Seite

Für die grau markierten Bereichen wurden keine Grundlamellen lokalisiert.

Tab. 4: Breiten- und Höhenmaße der Nasenhöhle. Angaben in mm.

Spezies	ID	Geschlecht	NB1	NB2	NB3	NB4	NH1	NH2	NH3	NH4
Macaca f. yakui	KAS24	m	19,0	22,7	20,5	15,9	18,7	22,3	27,9	30,1
Macaca f. fuscata	KAS25	f	20,2	24,2	20,2	15,9	21,7	25,2	27,1	28,9
Macaca f. yakui	KAS200	m	17,9	26,0	27,5	20,1	20,1	20,3	26,1	30,2
Macaca f. fuscata	KAS218	f	17,4	23,7	23,8	18,4	18,3	21,0	26,7	29,7
Macaca f. fuscata	KAS245	f	17,9	24,6	27,9	22,0	19,8	20,7	26,2	28,4
Macaca f. yakui	KAS264	m	18,9	23,7	22,0	17,5	21,5	23,6	29,8	31,7
Macaca f. yakui	KAS279	m	16,8	23,4	25,9	22,7	21,0	19,5	27,3	30,8
Macaca f. yakui	KAS282	m	17,2	21,9	19,4	15,3	19,6	24,0	27,2	29,8
Macaca f. yakui	KAS290	f	15,9	21,1	21,9	16,1	18,3	19,1	26,0	28,3
Macaca f. yakui	KAS294	f	20,2	25,6	23,0	16,6	17,5	20,9	26,6	28,5

NB1: Breite der Nasenhöhle im Bereich des zweiten Oberkieferprämolaren, NB2: Breite der Nasenhöhle im Bereich des ersten Oberkiefermolaren, NB3: Breite der Nasenhöhle im Bereich des zweiten Oberkiefermolaren, NB4: Breite der Nasenhöhle im Bereich des dritten Oberkiefermolaren, NH1-NH4: Entsprechende Höhenmaße der Nasenhöhle

Tab. 5: Flächenmaße des Meatus nasi inferior. Angaben in mm^2.

Spezies	ID	Geschlecht	MniF1r	MniF2r	MniF3r	MniF4r	MniF1l	MniF2l	MniF3l	MniF4l
Macaca f. yakui	KAS24	m	7,78	17,65	15,21	8,31	7,34	14,22	11,01	6,19
Macaca f. fuscata	KAS25	f	19,33	31,43	12,3	8,94	16,36	27,24	11,17	7,04
Macaca f. yakui	KAS200	m	6,61	18,03	41,51	7,69	4,86	22,72	39,55	6,75
Macaca f. fuscata	KAS218	f	3,77	10,68	13,27	10,9	3,2	11,07	19,79	9,84
Macaca f. fuscata	KAS245	f	8,38	17,22	20,54	9,32	8,4	18,39	28,45	12,99
Macaca f. yakui	KAS264	m	9,04	18,31	15,28	9,4	9,17	19,98	11,66	9,6
Macaca f. yakui	KAS279	m	5,12	6,49	22,32	18,84	4,03	7,43	18,48	17,05
Macaca f. yakui	KAS282	m	8,26	14,01	6,25	6,18	11,19	14,1	5,08	8,25
Macaca f. yakui	KAS290	f	5,04	12,17	17,61	7,91	3,68	10,5	22,68	9,62
Macaca f. yakui	KAS294	f	6,32	17,53	12,14	7,16	10,33	17,63	18,94	6,33

MniF1r: Flächenmaß des Meatus nasi inferior auf Höhe des zweiten Oberkieferprämolaren rechts, MniF2r: Flächenmaß auf Höhe des ersten Oberkiefermolaren rechts, MniF3r: Flächenmaß auf Höhe des zweiten Oberkiefermolaren rechts, MniF4r: Flächenmaß auf Höhe des dritten Oberkiefermolaren rechts, MniF1l bis MniF4l: Entsprechende Flächenmaße der linken Seite

Tab. 6: Volumina der Concha nasalis inferior und der Concha nasalis media. Angaben in mm^3.

Spezies	ID	Geschlecht	CniVr	CniVl	CnmVr	CnmVl
Macaca f. yakui	KAS24	m	241,53	276,83	514,68	496,76
Macaca f. fuscata	KAS25	f	167,42	150,92	567,95	530,09
Macaca f. yakui	KAS200	m	271,18	288,88	1000,4	1000,91
Macaca f. fuscata	KAS218	f				
Macaca f. fuscata	KAS245	f	225,88	245,07	532,29	387,79
Macaca f. yakui	KAS264	m				
Macaca f. yakui	KAS279	m	256,57	242,18	855,53	755,67
Macaca f. yakui	KAS282	m	303,75	277,38	539,28	521,58
Macaca f. yakui	KAS290	f	177,20	185,04		
Macaca f. yakui	KAS294	f	177,73	175,83	648,36	573,74

CniVr: Volumen der rechten Concha nasalis inferior, CniVl: Volumen der linken Concha nasalis inferior,
CnmVr: Volumen der rechten Concha nasalis media, CnmVl: Volumen der linken Concha nasalis media
Für die grau markierten Bereiche konnten keine Messdaten erhoben werden.

Tab. 7: Messdaten der Schädelmaße. Angaben in mm (GSV in mm^3).

Spezies	ID	Geschlecht	OGH	GB	GL	SL	SBL	GSL	MGB	MAB	JBB	GSV
Macaca f. yakui	KAS24	m	51,40	22,20	48,30	125,90	64,80	90,40	59,70	42,70	88,10	97416,69
Macaca f. fuscata	KAS25	f	50,00	21,90	41,70	118,50	65,20	83,00	56,10	39,40		91422,53
Macaca f. yakui	KAS200	m	62,50	25,50	51,20	128,90	66,80	92,20	59,60	41,90	91,10	124399,37
Macaca f. fuscata	KAS218	f	56,10	25,60	47,30	124,60	66,60	86,30	54,60	42,00	88,70	101983,23
Macaca f. fuscata	KAS245	f	58,60	24,40	49,70	123,40	64,90	85,70	59,90	41,60	87,10	113814,54
Macaca f. yakui	KAS264	m	58,80	20,70	51,70	129,90	67,80	93,60	56,50	40,50	85,50	112179,36
Macaca f. yakui	KAS279	m	61,90	23,20	52,70	135,60	68,30	95,70	66,90	42,80	99,80	140984,83
Macaca f. yakui	KAS282	m	56,00	22,00	47,50	125,90	70,90	89,70	59,60	40,10	89,20	118305,14
Macaca f. yakui	KAS290	f	59,30	21,60	43,30	117,90	65,00	82,70	57,70	38,90	80,60	110438,16
Macaca f. yakui	KAS294	f	53,80	21,90	42,90	116,40	64,00	83,10	57,10	41,30		98295,90

OGH: Obergesichtshöhe, GB: Gaumenbreite, GL: Gaumenlänge, SL: Gesamtschädellänge, SBL: Schädelbasislänge, GSL: Gesichtsschädellänge, MGB: Mittelgesichtsbreite, MAB: Maxilloalveolarbreite, JBB: Jochbogenbreite, GSV: Gesichtsschädelvolumen

Für die grau markierten Bereiche konnten keine Messdaten erhoben werden.

Tab. 8: Höhenmaße der Grundlamellen der Concha nasalis inferior in Bezug zur Nasenbodenebene. Angaben in mm.

Spezies	ID	Geschlecht	CniH1r	CniH2r	CniH3r	CniH4r	CniH1l	CniH2l	CniH3l	CniH4l
Colobus guereza	18/66	m	9,41	11,7	8,88	5,55	8,40	11,3	10,9	5,99
Colobus guereza	27/66	f	9,50	13,0	7,90	6,36	9,97	12,9	9,08	6,26
Colobus guereza	100/67	f	9,88	10,7	8,81	7,01	10,2	11,5	9,10	7,38
Colobus guereza	166/68	m	9,27	12,8	9,00	7,18	8,64	13,0	8,54	6,77
Colobus guereza	271/69	f	8,74	9,57	6,83	5,74	7,45	8,53	5,66	5,24
Colobus guereza	93/67	f	8,40	9,55	7,57	5,14	7,89	9,87	7,94	6,47
Colobus guereza	19/66	f	11,3	14,0	11,7	8,71	11,0	13,5	12,1	8,37
Colobus guereza	27/69	f	9,79	11,2	10,3	7,06	8,62	10,7	9,61	6,25
Colobus guereza	430/69	m	5,52	7,86	8,41	5,39	4,93	7,38	7,87	4,91
Colobus guereza	22/66	m	7,94	10,3	10,1	8,00	7,28	9,73	9,02	6,69
Colobus guereza	429/69	f	9,76	10,8	7,50	5,70	9,90	11,3	8,45	6,10
Colobus guereza	17/66	f	10,1	11,9	11,3	7,92	10,2	11,5	10,9	7,19
Colobus guereza	158/68	f	9,23	11,2	10,2	7,55	8,02	10,6	10,3	7,93

CniH1r: Höhenmaß der Grundlamelle der Concha nasalis inferior im Bereich des 2. Oberkieferprämolaren rechts, CniH2r: Höhenmaß im Bereich des ersten Oberkiefermolaren rechts, CniH3r: Höhenmaß im Bereich des zweiten Oberkiefermolaren rechts, CniH4r: Höhenmaß im Bereich des dritten Oberkiefermolaren rechts, CniH1 bis CniH4l: Entsprechende Höhenmaße auf der linken Seite

Tab. 9: Höhenmaße der Grundlamellen der Concha nasalis media in Bezug zur Nasenbodenebene. Angaben in mm.

Spezies	ID	Geschlecht	CnmH1r	CnmH2r	CnmH3r	CnmH4r	CnmH1l	CnmH2l	CnmH3l	CnmH4l
Colobus guereza	18/66	m			16,6	12,8			17,4	12,9
Colobus guereza	27/66	f			14,8	10,5			15,2	10,3
Colobus guereza	100/67	f			13,2				14,6	
Colobus guereza	166/68	m			13,3	11,8			12,6	11,3
Colobus guereza	271/69	f			10,9	8,53			10,6	8,74
Colobus guereza	93/67	f			11,4	9,43			11,2	9,44
Colobus guereza	19/66	f			14,6	11,4			14,4	11,2
Colobus guereza	27/69	f			14,5	11,2			13,9	10,6
Colobus guereza	430/69	m			10,1				9,32	
Colobus guereza	22/66	m			13,9	10,4			13,7	10,0
Colobus guereza	429/69	f			12,6	9,92			12,5	10,1
Colobus guereza	17/66	f				9,41				9,75
Colobus guereza	158/68	f			14,3				14,0	

CnmH1r: Höhenmaß der Grundlamelle Concha nasalis media im Bereich des 2. Oberkieferprämolaren rechts, CnmH2r: Höhenmaß im Bereich des ersten Oberkiefermolaren rechts, CnmH3r: Höhenmaß im Bereich des zweiten Oberkiefermolaren rechts, CnmH4r: Höhenmaß im Bereich des dritten Oberkiefermolaren rechts, CnmH1 bis CnmH4l: Entsprechende Höhenmaße auf der linken Seite

Für die grau markierten Bereichen wurden keine Grundlamellen lokalisiert.

Tab. 10: Höhenmaße der Grundlamellen der Concha nasalis superior in Bezug zur Nasenbodenebene. Angaben in mm.

Spezies	ID	Geschlecht	CnsH1r	CnsH2r	CnsH3r	CnsH4r	CnsH1l	CnsH2l	CnsH3l	CnsH4l
Colobus guereza	18/66	m			21,2				20,7	
Colobus guereza	27/66	f			20,7				20,4	
Colobus guereza	100/67	f			18,8				19,2	
Colobus guereza	166/68	m			19,7				19,6	
Colobus guereza	271/69	f			17,7				17,6	
Colobus guereza	93/67	f			18,0				17,4	
Colobus guereza	19/66	f			22,9				22,1	
Colobus guereza	27/69	f			21,3				21,2	
Colobus guereza	430/69	m		15,9				15,8		
Colobus guereza	22/66	m			18,3				18,7	
Colobus guereza	429/69	f			19,7				19,9	
Colobus guereza	17/66	f			19,3				19,5	
Colobus guereza	158/68	f			20,0				20,1	

CnsH1r: Höhenmaß der Grundlamelle der Concha nasalis superior im Bereich des 2. Oberkieferprämolaren rechts, CnsH2r: Höhenmaß im Bereich des ersten Oberkiefermolaren rechts, CnsH3r: Höhenmaß im Bereich des zweiten Oberkiefermolaren rechts, CnsH4r: Höhenmaß im Bereich des dritten Oberkiefermolaren rechts, CnsH1 bis CnsH4l: Entsprechende Höhenmaße auf der linken Seite

Für die grau markierten Bereichen wurden keine Grundlamellen lokalisiert.

Tab. 11: Breiten- und Höhenmaße der Nasenhöhle. Angaben in mm.

Spezies	ID	Geschlecht	NB1	NB2	NB3	NB4	NH1	NH2	NH3	NH4
Colobus guereza	18/66	m	19,8	23,0	22,4	19,1	18,3	22,1	25,7	23,1
Colobus guereza	27/66	f	21,5	22,3	19,4	15,5	19,0	23,7	24,3	17,3
Colobus guereza	100/67	f	20,5	24,5	20,0	15,4	17,3	21,5	21,8	18,5
Colobus guereza	166/68	m	19,5	23,6	22,7	18,8	21,0	26,3	26,0	20,6
Colobus guereza	271/69	f	18,0	19,0	16,6	15,0	17,0	21,5	22,2	17,5
Colobus guereza	93/67	f	18,0	19,2	17,3	15,0	19,5	23,0	24,9	18,5
Colobus guereza	19/66	f	17,7	22,2	21,7	17,7	17,5	21,4	25,4	23,3
Colobus guereza	27/69	f	18,6	20,8	19,5	17,1	19,0	22,7	24,3	20,5
Colobus guereza	430/69	m	18,2	18,9	15,3	12,2	16,8	19,3	17,6	9,80
Colobus guereza	22/66	m	20,2	22,3	20,7	17,1	18,8	21,9	24,5	20,6
Colobus guereza	429/69	f	20,3	22,9	20,2	16,3	17,4	22,2	24,1	21,7
Colobus guereza	17/66	f	20,1	26,2	24,2	19,1	10,2	22,6	24,9	20,3
Colobus guereza	158/68	f	19,2	23,0	23,1	17,2	16,9	18,9	22,2	20,1

NB1: Breite der Nasenhöhle im Bereich des zweiten Oberkieferprämolaren, NB2: Breite der Nasenhöhle im Bereich des ersten Oberkiefermolaren, NB3: Breite der Nasenhöhle im Bereich des zweiten Oberkiefermolaren, NB4: Breite der Nasenhöhle im Bereich des dritten Oberkiefermolaren, NH1-NH4: Entsprechende Höhenmaße der Nasenhöhle

Tab. 12: Flächenmaße des Meatus nasi inferior. Angaben in mm^2.

Spezies	ID	Geschlecht	MniF1r	MniF2r	MniF3r	MniF4r	MniF1l	MniF2l	MniF3l	MniF4l
Colobus guereza	18/66	m	17,76	30,97	17,92	3,98	12,08	30,1	22,43	4,74
Colobus guereza	27/66	f	15,60	28,18	7,60	4,25	21,8	31,22	9,28	2,59
Colobus guereza	100/67	f	17,71	35,90	11,67	4,23	17,01	38,85	11,47	4,43
Colobus guereza	166/68	m	15,26	39,41	16,67	9,85	12,72	33,8	12,85	8,10
Colobus guereza	271/69	f	14,33	15,16	5,26	3,65	12,91	15,5	4,85	2,59
Colobus guereza	93/67	f	16,86	13,77	5,30	2,55	15,44	17,04	5,92	4,02
Colobus guereza	19/66	f	19,54	44,85	21,59	6,46	16,89	35,17	16,77	4,22
Colobus guereza	27/69	f	12,50	25,03	8,69	4,99	9,89	20,45	7,94	4,53
Colobus guereza	430/69	m	18,15	8,26	1,99	1,68	19,33	14,05	1,69	1,54
Colobus guereza	22/66	m	21,63	37,85	29,85	8,36	21,49	32,58	23,37	8,32
Colobus guereza	429/69	f	30,80	38,10	10,55	8,28	30,31	36,93	9,15	7,29
Colobus guereza	17/66	f	23,17	40,83	19,75	6,36	24,46	40,05	20,72	9,91
Colobus guereza	158/68	f	16,85	30,96	22,9	10,49	8,01	24,05	16,18	9,25

MniF1r: Flächenmaß des Meatus nasi inferior auf Höhe des zweiten Oberkieferprämolaren rechts, MniF2r: Flächenmaß auf Höhe des ersten Oberkiefermolaren rechts, MniF3r: Flächenmaß auf Höhe des zweiten Oberkiefermolaren rechts, MniF4r: Flächenmaß auf Höhe des dritten Oberkiefermolaren rechts, MniF1l bis MniF4l: Entsprechende Flächenmaße der linken Seite

Tab. 13: Volumina der Concha nasalis inferior und der Concha nasalis media. Angaben in mm^3.

Spezies	ID	Geschlecht	CniVr	CniVl	CnmVr	CnmVl
Colobus guereza	18/66	m	134,11	110,03	63,95	55,59
Colobus guereza	27/66	f		85,83	48,83	59,74
Colobus guereza	100/67	f	83,14	88,64	40,37	32,02
Colobus guereza	166/68	m	60,61	49,98	85,33	146,37
Colobus guereza	271/69	f	137,69	157,8	96,37	78,91
Colobus guereza	93/67	f	48,86	52,96	47,43	47,85
Colobus guereza	19/66	f	175,2	176,71	92,0	70,1
Colobus guereza	27/69	f	231,01	228,45	93,65	99,41
Colobus guereza	430/69	m		43,74	49,31	62,13
Colobus guereza	22/66	m	89,33	91,64	49,42	42,66
Colobus guereza	429/69	f	207,29	194,01	53,05	45,46
Colobus guereza	17/66	f	101,28	121,45	98,41	121,47
Colobus guereza	158/68	f			85,28	104,86

CniVr: Volumen der rechten Concha nasalis inferior, CniVl: Volumen der linken Concha nasalis inferior,
CnmVr: Volumen der rechten Concha nasalis media, CnmVl: Volumen der linken Concha nasalis media
Für die grau markierten Bereiche konnten keine Messdaten erhoben werden.

Tab. 14: Messdaten der Schädelmaße. Angaben in mm (GSV in mm^3).

Spezies	ID	Geschlecht	OGH	GB	GL	SL	SBL	GSL	MGB	MAB	JBB	GSV
Colobus guereza	18/66	m	41,9	21,4	43,9	113,0	70,0	88,8	55,2	36,7	75,5	79151,72
Colobus guereza	27/66	f	38,3	17,3	42,0	101,9	63,9	79,5	47,0	35,7	70,0	56796,82
Colobus guereza	100/67	f	38,4	20,2	37,0	100,7	60,6	76,4	48,0	36,0	72,1	55231,69
Colobus guereza	166/68	m	42,8	17,9	45,4	113,9	73,2	90,6	57,4	36,8	75,2	88720,68
Colobus guereza	271/69	f	31,9	18,5	34,3	89,5	51,3	58,8	51,3	32,1	66,5	41903,27
Colobus guereza	93/67	f	33,6	18,0	34,2	94,4	61,3	72,6	51,8	31,6	67,1	53113,29
Colobus guereza	19/66	f	42,8	16,8	39,1	107,4	67,4	82,1	54,5	34,1	72,2	78450,45
Colobus guereza	27/69	f	41,3	18,9	40,4	104,5	66,3	83,8	52,8	35,1	75,2	71258,47
Colobus guereza	430/69	m	34,2	15,8	33,6	95,7	56,1	55,9	48,7	31,4	67,2	44406,97
Colobus guereza	22/66	m	42,7	17,4	42,8	106,7	68,9	86,9	52,0	34,1	73,1	75421,95
Colobus guereza	429/69	f	38,2	19,8	38,2	106,3	64,6	80,4	52,4	34,6	73,8	63729,51
Colobus guereza	17/66	f	42,6	19,7	42,0	109,7	67,5	89,8	53,6	35,0	72,5	73648,39
Colobus guereza	158/68	f	37,7	19,0	40,8	101,7	64,2	80,4	52,1	34,0	70,1	61897,56

OGH: Obergesichtshöhe, GB: Gaumenbreite, GL: Gaumenlänge, SL: Gesamtschädellänge, SBL: Schädelbasislänge, GSL: Gesichtsschädellänge, MGB: Mittelgesichtsbreite, MAB: Maxilloalveolarbreite, JBB: Jochbogenbreite, GSV: Gesichtsschädelvolumen