

Aus dem Institut für Anatomie und Zellbiologie
(Direktor Univ.- Prof. Dr. Karlhans Endlich)
der Medizinischen Fakultät der Ernst-Moritz-Arndt-Universität
Greifswald

**Computertomographische Untersuchung zum postnatalen
Wachstum der Nasenhöhle von *Macaca fuscata*
– eine biometrische Studie -**

Inaugural - Dissertation

zur

Erlangung des akademischen

Grades

Doktor der Medizin

(Dr. med.)

der

Medizinischen Fakultät

der

Ernst-Moritz-Arndt-Universität

Greifswald

2007

vorgelegt von: Jan Balczun

geb. am 07.12.1976

in Bremen

Dekan:	Prof. Dr. rer. nat. Heyo K. Kroemer
1. Gutachter:	PD Dr. med. T. Koppe
2. Gutachter:	Prof. Dr. A. Prescher
Ort, Raum:	Greifswald, Hörsaal der HNO
Tag der Disputation:	22.04.2008

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung und Fragestellung	1
2. Literaturübersicht.....	3
2.1 Zur Taxonomie von <i>Macaca fuscata</i>	3
2.2 Entwicklung der Nasenhöhle	6
2.3 Anatomie und Funktion der Nasenhöhle.....	7
2.3.1 Besonderheiten der Nasenhöhle bei Nicht-Primaten.....	14
2.3.2 Besonderheiten der Nasenhöhle bei Primaten.....	16
2.4 Faktoren, die die Formwerdung des Schädels im Allgemeinen und der Nasenhöhle im Speziellen beeinflussen	17
3. Material und Methoden.....	22
3.1 Material	22
3.2 Methoden.....	25
3.2.1 Messungen an der Nasenhöhle.....	26
3.2.2 Messungen am Schädel	27
3.2.3 Statistische Auswertung	31
4. Ergebnisse	33
4.1 Morphologie der Nasenhöhle.....	33
4.2. Wachstum der Nasenhöhlen.....	43
4.3 Geschlechtsdimorphismus des Schädels von <i>Macaca fuscata</i> ...	48
4.4. Korrelations- und Regressionsanalyse	51
4.5 Vergleich lokaler Populationen von <i>Macaca fuscata</i>	57
5. Diskussion	61
5.1 Wachstumsanalyse der Nasenhöhle.....	61
5.2 Vergleich lokaler Populationen von <i>Macaca fuscata</i>	65
5.3. Schlussfolgerungen	68
6. Zusammenfassung.....	70
7. Literaturverzeichnis	72
8. Anhang	90
Eidesstattliche Erklärung	
Lebenslauf	
Danksagung	

1. Einleitung und Fragestellung

Die Nasenhöhle ist ein zentrales Bauelement des Gesichtsschädels an deren Bildung sich zahlreiche Knochen beteiligen. In der Phylogenese der Primaten kam es zu tief greifenden Form- und Lageveränderungen der Nasenhöhlen, die insbesondere auch die Nasenmuscheln betrafen (Cave, 1973; Moore, 1981). Diese Veränderungen standen in engem Zusammenhang mit einer Reduktion der Regio olfactoria und der zunehmenden Dominanz des visuellen Systems (Martin, 1990).

Obgleich die Morphologie und Funktion der Nasenhöhle des Menschen sowohl aus klinischer, anthropologischer und evolutionsbiologischer Sicht intensiv untersucht wurde (u.a. Peter, 1913; Pedersen et al., 1994; Gilain et al., 1997; Djupesland and Lyholm, 1998; Huang et al., 2001; Evreklioglu et al., 2002; Samolinski et al., 2007; Trindade et al., 2007), sind die Kenntnisse über die Besonderheiten der Nasenhöhle nicht-menschlicher Primaten begrenzt (Seydel, 1891; Paulli, 1900).

Quantitative Untersuchungen über die Nasenhöhle nicht-menschlicher Primaten finden sich nur vereinzelt (Reike, 1991; Siegel et al., 1992; Lozanoff et al., 1993; Schiwall, 2005). Angaben über das Wachstum der Nasenhöhle nicht-menschlicher Primaten fehlen fast vollständig. Lediglich Reike (1991) berichtet über das postnatale Wachstum der Nasenhöhle des Orang-Utans.

Die vorliegende Studie befasst sich mit dem Wachstum der Nasenhöhle von *Macaca fuscata*. Da Makaken eine außerordentliche weite geographische Verbreitung aufweisen, eignen sich diese Primaten besonders gut zur Beurteilung des Einflusses geographischer Parameter auf den Gesichtsschädel.

Darüber hinaus existiert über die Morphologie des Gesichtsschädels von *M. fuscata* eine Reihe von Studien (Mouri,

1994; Koppe and Nagai, 1997; Hamada et al., 1999; Rae et al., 2003).

Die vorliegende Arbeit basiert auf der Computertomographie. Diese nichtinvasive Untersuchungsmethode kommt bereits in mehreren vorangegangenen Untersuchungen dieser Arbeitsgruppe (Reike, 1991; Koppe and Nagai, 1995; Moormann, 2004; Schiwall, 2005) zur Anwendung.

Im Einzelnen verfolgt die vorliegende Arbeit folgende Ziele:

1. Beschreibung und Vermessung der Nasenhöhle von *Macaca fuscata* anhand computertomographischer Schichtaufnahmen.
2. Untersuchung des postnatalen Wachstums der Nasenhöhle von *Macaca fuscata* unter Berücksichtigung des Geschlechtsdimorphismus.
3. Untersuchung klimatischer Einflüsse auf die Morphologie der Nasenhöhle bei *Macaca fuscata*.
4. Untersuchung der Beziehungen des Wachstum der Nasenhöhle und des Gesichtsschädels sowie
5. Darstellung des Nutzens dieser Arbeit.

2. Literaturübersicht

2.1 Zur Taxonomie von *Macaca fuscata*

Altwelt- oder Schmalnasenaffen (Catarrhini) können in zwei klar voneinander getrennte Gruppen unterteilt werden: Die geschwänzten, vierfüßigen Altweltaffen (Cercopithecoidea) und die schwanzlosen, armschwingenden Altweltaffen (Hominoidea). Während der Mensch zur Überfamilie der Hominoidea gehört, ist die Spezies *Macaca fuscata* der Überfamilie der Cercopithecoidea zuzuordnen.

Die Cercopithecoidea erweisen sich als außerordentlich erfolgreich hinsichtlich ihrer Verbreitung und Anpassungsfähigkeit. So sind sie über weite Teile Afrikas und Asiens verbreitet und bewohnen unterschiedliche Klima- und Vegetationszonen (Jones et al., 1993; Geissmann, 2003). In ihrer Anpassungsfähigkeit werden die Cercopithecoidea nur noch vom Menschen übertroffen.

Die Cercopithecoidea besitzen einen deutlich differenzierten Kauapparat mit bilophodonten Molaren (Abb.1) (von Koenigswald, 1967). Die Zahnkronen der Milchmolaren sind bei Makaken bereits bei Neugeborenen vollständig kalzifiziert und brechen kurz nach der Geburt durch (Swindler, 1976; McNamara et al., 1977; Trotter et al., 1977; Swindler and Emel, 1990).

Die unteren ersten Prämolaren haben sich zu einer verlängerten Klinge entwickelt, an der sich der obere Eckzahn wie ein Wetzstein reiben kann (Geissmann, 2003). Aus diesen Gründen sind Cercopithecoidea effiziente Blattesser (Jones et al., 1993).

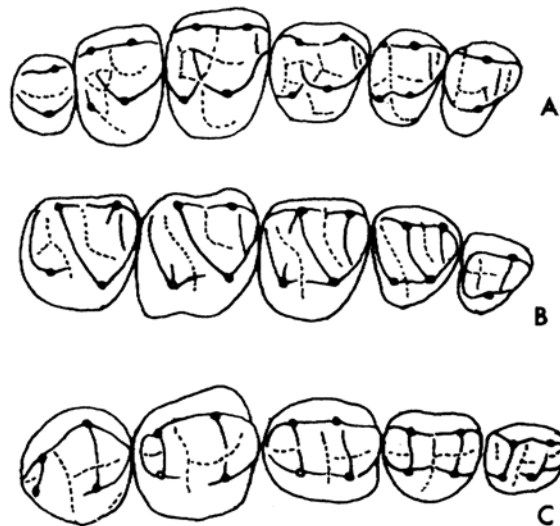


Abb. 1: Dentition höherer Primaten. Gezeigt werden die 3 permanenten Molaren und das Milchgebiss des Oberkiefers von A: *Cebus*, B: *Gorilla* und C: *Cercopithecidae* (aus Butler, 1939)

Die Cercopithecoidea werden auf Grund der unterschiedlichen Nahrung in zwei Familien aufgeteilt: Colobinae (Blattfressende) und Cercopithecinae (Meerkatzenartige oder Backentaschenaffen). Die Colobinae besitzen ähnlich den Wiederkäuern einen unterteilten Magen, der reich an Bakterien ist. Dadurch entsteht ein ideales Milieu zur Zersetzung von Blättern, der Hauptnahrung der Colobinae. Cercopithecinae haben Backentaschen, in welche sie die Nahrung stopfen, um sie in Sicherheit kauen und verdauen zu können (Jones et al., 1993).

Fast alle Cercopithecinae leben vornehmlich in Afrika. Die einzigen Cercopithecinae, die auch außerhalb von Afrika vorkommen, sind die Makaken. Ihr Ausdehnungsgebiet reicht von Nordafrika bis nach Indonesien und Japan. Unter ihren Spezies finden sich sowohl Land- als auch Baumbewohner (Jones et al., 1993). Eine Übersicht über die systematische Einordnung von *Macaca fuscata* ist aus Abbildung 2 ersichtlich.

Ordnung Herrentiere (Primaten)
 Subordnung.Anthropoidea
 Unterordnung Altwelt- oder Schmalnasenaffen (Catarrhini)
 Überfamilie Geschwänzte Altweltaffen (Cercopithecoidea)
 Familie..... Meerkatzenverwandte (Cercopithecidae)
 Unterfamilie Meerkatzenartige (Cercopithecinae)
 Art..... .. *Macaca*
 Spezies *Macaca fuscata*

Abb. 2: Systematische Einteilung von *Macaca fuscata*. Verändert nach Jones et al. (1993).

Macaca fuscata

Bei der Spezies der Rotgesichtsmakaken handelt es sich um 88-95 cm (männliche Tiere) bzw. 79-84 cm (weibliche Tiere) große Cercopithecinae. Ihr Körpergewicht reicht von 10-30 kg. Im Durchschnitt liegt es bei 10-14 kg für die männlichen, sowie 8-10 kg für die weiblichen Individuen. Ihr Fell ist von bräunlicher bis weißlicher Farbe und spart das Gesicht und das Gesäß komplett aus. Ihr Lebensraum erstreckt sich vom subtropischen Tiefland bis zu den bewaldeten Hochländern Japans. Dort sind sie Temperaturschwankungen von -15°C im Winter bis zu 23°C im Sommer ausgesetzt (Flannery, 2000). Abgesehen vom Menschen handelt es sich somit um die am nördlichsten vorkommende Primatenart (Osman Hill, 1974).

Die Geschlechtsreife setzt bei den Weibchen mit einem Alter von 3,5 Jahren eher ein als bei den Männchen (5 Jahre) (Itani, 1954, Imanishi, 1957; Frisch, 1959; Itani, 1963; Sugiyama, 1960). Ihre Nahrung besteht hauptsächlich aus Früchten, Beeren, Nüssen, Gräsern, jungen Blättern, aber auch kleinen Insekten wie Spinnen, Schnecken und Krabben. Vogeleier und Pilze runden das Nahrungssortiment ab (Itani, 1956).

2.2 Entwicklung der Nasenhöhle

Zum besseren Verständnis und zur Deutung der endonasalen Verhältnisse bei Primaten ist es wichtig Grundzüge der vorgeburtlichen Entwicklung darzustellen, auch wenn in dieser Arbeit nur die postnatalen Veränderungen Bestandteil der Untersuchung waren. Vor allem die Unterschiede der Nasenhöhle zwischen Primaten und den makrosomatischen Säugern müssen bekannt sein, um die endonasalen Strukturen zu erörtern.

Im Gegensatz zu den Deckknochen des Schädels, die direkt aus dem Mesenchym entstehen (Desmokranium), entwickelt sich die Nasenhöhle zunächst als Teil des Chondrocraniums und verknöchert erst sekundär (Moore and Persaud, 1996).

Die Entwicklung der Nasenhöhle beginnt als Proliferation des Oberflächenektoderms. Dabei entstehen bilateral Riechplakoden. Durch eine Vermehrung des Mesoderms mit dem darüber liegenden Ektoderm sinken diese ein, so dass sich Riechgruben ausbilden, die dann schließlich in Riechschläuche umgeformt werden. Die Oberflächen der Riechschläuche verschmelzen miteinander. Es bildet sich ein Epithelstrang aus, der sich mit Ausnahme eines kaudalen Bereiches zurückbildet. Dieser kaudale Bereich bildet die Membrana buccopharyngea, durch welche die Riechgruben zunächst von der Mundhöhle getrennt werden. Eine Mesodermschicht, die zwischen den Nasengruben verbleibt, bildet das Nasenseptum aus. Beim ca. 15mm langen Embryo bricht die Membrana buccopharyngea auf, so dass eine Verbindung zwischen den Nasenhöhlen und der Mundhöhle entsteht, die Apertura nasalis interna (O’Rahilly and Müller, 1999). Zwischen primärer innerer und äußerer Nasenöffnung befindet sich kaudal der primäre Gaumen.

Im Anschluss an diese Wachstumsprozesse bilden sich die Gaumenfortsätze an den lateralen Wänden der Mundhöhle aus und

wachsen zunächst nach kaudal. Für eine gewisse Zeit werden sie durch die Zunge, die eng am Nasenseptum anliegt, daran gehindert, mit diesem zu verwachsen.

Nachdem sich die Zunge gesenkt hat, verändert sich die Wachstumsrichtung der Gaumenfortsätze nach medial. Während die Gaumenfortsätze miteinander verschmelzen, wächst das Nasenseptum nach kaudal und vereinigt sich schließlich mit ihnen. Dadurch wird der sekundäre Gaumen ausgebildet (Moore and Persaud, 1996) und die Öffnungen der Choanen verschieben sich immer mehr nach hinten, bis sie ihre endgültige Stellung erreichen (Paparella and Shumrick, 1973).

In dieser Zeit differenziert sich auch das Epithel am Dach der Nasenhöhlen teilweise in olfaktorisches Epithel, das aus dem Material der Riechplakode hervorgeht (Starck, 1975).

In der weiteren Entwicklung verknorpelt das die Nasenhöhle umgebende Mesoderm vom Dach der Nasenhöhle entlang des Septums und der lateralen Wände. Nach diesem Schritt ist die Differenzierung der Nasenhöhle weitgehend abgeschlossen und es bilden sich die Nasennebenhöhlen aus, während die Nasenhöhle weiter an Größe zunimmt (Moore and Persaud, 1996).

2.3 Anatomie und Funktion der Nasenhöhle

Die Nasenhöhle bildet den ersten Teil des respiratorischen Systems. Bemerkenswert ist, dass sich die generelle Form der Nasenhöhle bei Säugern im Wesentlichen nicht ändert (Paulli, 1900; Dieulafe, 1906; Anthony and Ilesco, 1926; Negus, 1958; Cave, 1973). Körpergröße, bevorzugte Nahrung, Fortbewegung, Lebensweise sowie Lebensraum scheinen keine wesentlichen Faktoren für die Form der Nasenhöhle zu sein, obwohl andere Schädelstrukturen sehr stark durch die o.g. Faktoren beeinflusst werden (Moore, 1981).

Der Boden der Nasenhöhle wird durch den sekundären Gaumen gebildet. Laterale Begrenzungen sind die Maxilla, Prämaxilla, Os palatinum, Os frontale, Os ethmoidale, Os lacrimale sowie die Conchae nasales (superior, mediale, inferior), wobei die mittlere und obere Nasenmuschel Teil des Siebbeins sind. Das Dach der Nasenhöhle wird durch das Os nasale sowie Teilen des Os frontale und Os ethmoidale mit der dazugehörigen Lamina cribrosa gebildet. Die Nasenhöhle wird durch ein Septum in zwei Höhlen geteilt. Das Septum besteht aus einem hinteren knöchernen Anteil und einem vorderen knorpeligen Anteil. Anterior wird die Nasenhöhle durch die Nares begrenzt, posterior markieren die Choanen den Übergang in den Epipharynx (Gray, 1989).

Endonasal finden sich die Regiones vestibulares, respiratoriae et olfactoriae. Ausgekleidet werden die Regiones vestibulares von mehrschichtigem, verhornendem Plattenepithel, das am Isthmus nasi allmählich in das respiratorische Epithel der Regio respiratoria übergeht.

Die Region olfactoria befindet sich beim Menschen im Bereich der oberen Muschel, dem Nasendach und den oberen Septumanteilen. Das sie auskleidende Epithel besteht aus Riechzellen, Stützzellen und speziellen Bowman-Drüsen, die ein Solvens für Riechstoffe produzieren (Grevers, 1998). Sie geben Riechfasern durch die Lamina cribrosa an die Bullae olfactorii ab (Paparella and Shumrick, 1973).

Der größte Teil der Nasenhöhle wird von respiratorischem Epithel ausgekleidet. Es erstreckt sich über die untere und mittlere Muschel sowie über alle übrigen Wandanteile. Das Flimmerepithel bewegt Schleim und kleine Fremdkörper zum Rachen hin.

Funktionen der Nasenhöhle

Die Aufgaben der Nasenhöhle werden in drei Hauptgruppen eingeteilt: Respiration, Olfaktion und Stimmbildung (Helbig-Schuster, 2005).

Bei der Respiration wird die Atemluft durch Flimmerhaare im Bereich der Nares zunächst gereinigt. Dadurch werden grobe Partikel aus der Atemluft gefiltert. Die Atemluft wird durch ausgedehnte Gefäßplexus in der Schleimhaut an Septum und Nasenmuscheln erwärmt und angefeuchtet.

Je höher die Temperatur der Mukosa der Nasenhöhle ist, desto höher ist ihre Fähigkeit, die Atemluft zu adaptieren. Gesteuert wird die Temperatur der Mukosa durch die Blutzufuhr. Das Blut erreicht die Mukosa durch ein Netzwerk von Mikroanastomosen, wobei der Blutstrom durch zahlreiche arteriovenöse Shunts und durch vasokonstriktive Substanzen geregelt wird (Abbot et al., 2001).

Aus den genannten Mechanismen zur Thermoregulation ergibt sich die Schlussfolgerung, dass eine größere Oberfläche des Nasenepithels bei kälteren Temperaturen von Vorteil für den Energiehaushalt des Körpers ist. Bereits durchgeführte Studien an Populationen von Eskimos (Shea, 1977) sowie von *M. fuscata* (Rae et al., 2003) zeigen, dass die Größenzunahme der Nasenhöhle mit einer Größenänderung der Nasennebenhöhlen einhergeht, vor allem mit einer Veränderung des Volumens des Sinus maxillaris. Morphometrische Untersuchungen zur Veränderung der Nasenhöhle liegen bisher jedoch nicht vor.

Hillenius (1994) unterscheidet in der Nase zwischen respiratorischen und olfaktorischen Nasenmuscheln. Während die olfaktorischen Nasenmuscheln nahezu bei allen Landlebewesen vorkommen und hauptsächlich außerhalb des Hauptatemstroms gelegen sind, kommen die respiratorischen Nasenmuscheln fast nur

bei Vögeln und Säugern vor. In allen noch lebenden Reptilien sind sie nicht angelegt (Hillenius and Ruben, 2004).

Die respiratorischen Nasenmuscheln liegen unmittelbar im Hauptatemstrom der Nase und dienen der Thermoregulation des Körpers (Jackson and Schmidt- Nielsen, 1964; Hillenius, 1992; 1994; Geist, 2000). Die Größe der respiratorischen Muscheln soll proportional zur Körpermasse sein (Owerkowicz and Crompton, 2001).

Während der Inhalation passiert die Einatemluft die respiratorischen Muscheln und wird von ihnen auf Körpertemperatur angewärmt. Dabei wird die Einatemluft mit Wasser aufgesättigt und die Muscheln durch Verdunstungskälte abgekühlt. Bei der Exhalation wird die Luft von den Nasenmuscheln abgekühlt, wobei Wasser an den Muscheln kondensiert (Abb. 3) (Hillenius and Ruben, 2004).

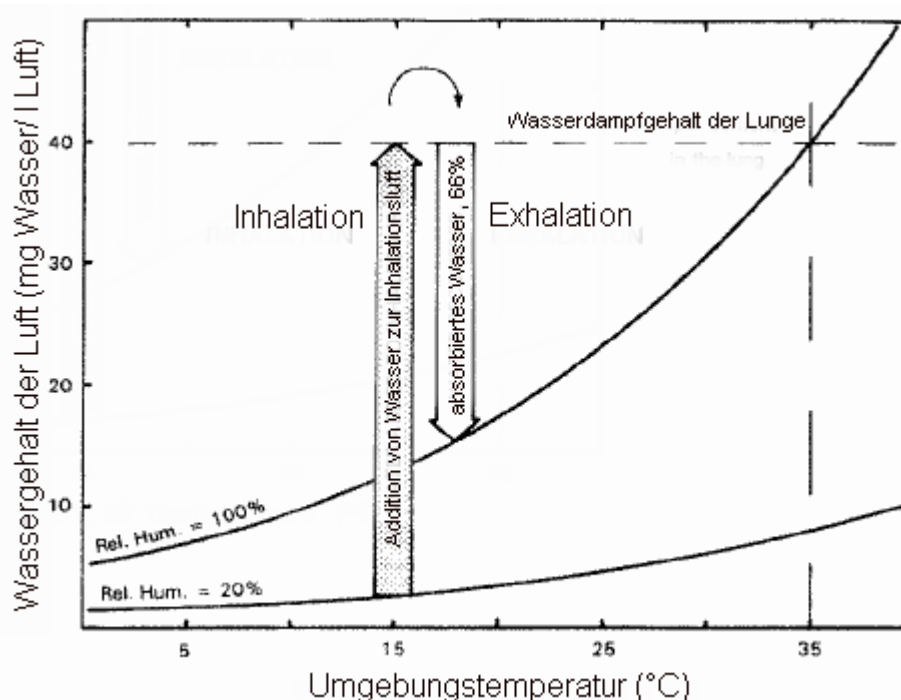


Abb. 3: Funktionsweise der respiratorischen Nasenmuscheln (verändert nach Ruben et al., 1996).

Die Bedeutung der respiratorischen Nasenmuscheln für den Wasserhaushalt ist aus Abbildung 4 zu entnehmen. Ohne die thermoregulative Wirkung der Nasenmuscheln auf den Wasserhaushalt wäre der Wasserverlust durch die Atemluft um das mehr als 15fache erhöht (Hillenius and Ruben, 2004). Der Wert für ein Säugetier ohne respiratorische Nasenmuscheln ist ein theoretisch errechneter Wert. Die Berechnungen von Hillenius and Ruben (2004) beruhen auf Arbeiten von Bennet (1973), Nagy (1987), Nagy und Peterson (1988) sowie Hillenius (1992).

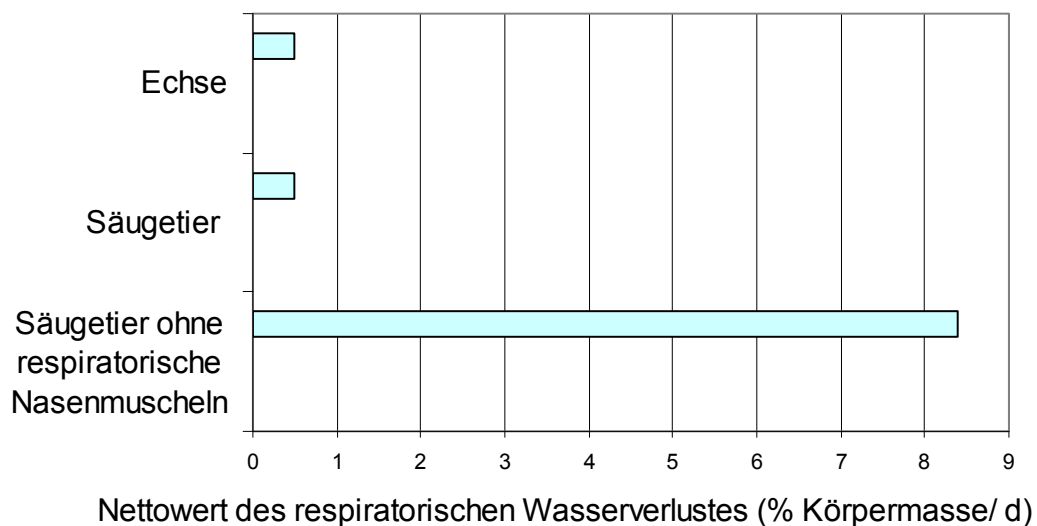


Abb. 4: Vergleich des respiratorischen Wasserverlustes über die Nasenmuscheln (modifiziert nach Ruben et al., 1997).

Der Luftaustausch zwischen den Nasennebenhöhlen und der Nasenhöhle ist sehr gering. Darauf wiesen bereits Proetz (1941) und Flottes et al. (1960) hin. Unterstützt wird dies durch Studien von Aust et al. (1994), die besagen, dass der Austausch von 90% der in den Sinus maxillares enthaltenen Luft bei normaler Atmung fünf Minuten benötigt. Aus diesem Ergebnis geht hervor, dass die

Nebenhöhlen nicht signifikant an der Erwärmung der Atemluft beteiligt sind, obwohl das Epithel in den Nasennebenhöhlen die gleichen Charakteristika aufweist wie das Epithel der Nasenhöhle (Stierna, 2001).

Das physiologische Phänomen des wechselseitigen An- und Abschwellens der Nasenschleimhaut ohne äußeren Reiz wird als Nasenzyklus bezeichnet (Kayser, 1895). Der unwillkürlich stattfindende reziproke Wechsel des Strömungswiderstandes beruht auf einem Wechselspiel des Sympathiko- und Parasympathikotonus und ist bei etwa 80% aller Individuen nachweisbar (Eccles, 1983). Die Zykluslänge ist beträchtlichen individuellen Schwankungen unterworfen und beträgt im Mittel 2,4 Stunden (Lenz et al., 1985). Die jeweils abgeschwollene Seite befindet sich dabei in der Arbeitsphase und die angeschwollene in der Ruhephase.

Der Volumenstrom der Gesamtnase bleibt trotz dieser Schwankungen konstant (Werner and Rudert, 1992).

Der Nasenzyklus ist nicht nur auf die menschliche Nase limitiert, sondern er wurde auch in Ratten und Kaninchen (Bojsen-Moller and Fahrenkrug, 1971), Hausschweinen (Eccles, 1978, Campbell and Kern, 1981), Katzen (Bamford and Eccles, 1982) und Hunden (Webber et al., 1987) nachgewiesen. Inwiefern ein Nasenzyklus bei nicht-menschlichen Primaten vorkommt ist nicht bekannt.

Der Nasenzyklus scheint bei allen Säugetieren ein universelles Phänomen zu sein (Eccles, 1996).

Bemerkenswert ist der Fakt, dass der Blutfluss in den Nasennebenhöhlen nur noch von dem in den Lungen und den Nieren übertroffen wird (Drettner and Aust, 1974).

Vorliegende Studien schlussfolgern, dass der hohe venöse Strom in der Nase und den Nasennebenhöhlen mit der Thermoregulation des Gehirns zusammenhängt (Baker and Chapmann, 1977). Ein

fast identischer Blutfluss zeigt sich in der Nasenhöhle (Elkhawad, 1992; Aust et al., 1994; Zenker and Kubik, 1996; Stierna, 2001).

Eine weitere Aufgabe der Nase ist die Produktion von NO (Stickstoffoxid) (Gustafsson et al. 1991; Alving et al. 1993; Leone et al. 1994) durch das Enzym Stickstoffoxid- Synthase (NOS) (Asano et al., 1994; Furukawa et al., 1996; Lundberg et al., 1996; Ramis et al., 1996).

Über die genaue Herkunft des Hauptteils des an den Nares gemessenen Stickstoffes ist sich die vorherrschende Literatur nicht einig.

Alle vorliegenden Studien sind sich jedoch dahingehend einig, dass die Hauptquelle für NO der obere Atemweg (Nasenhöhle, Nasennebenhöhlen sowie Nasopharynx) ist. (Gerlach et al., 1994; Lundberg et al., 1994; Dillon et al., 1995; Lundberg, 1996; Dillon et al., 1996; Haight et al., 1999; Weitzberg and Lundberg, 2002).

Im menschlichen Organismus erfüllt NO eine Vielzahl von Funktionen. An der glatten Gefäßmuskulatur führt Stickstoffoxid zu einer Vasodilatation, womit es an der Blutdruckregulation beteiligt ist (Barnes and Belvisi, 1993; Wang et al., 2003). In relativ hohen Dosen kommt es auch in der Lunge zu einer dilatatorischen Wirkung auf den Muskel- und Gefäßtonus (Sanna et al., 1994).

Im zentralen Nervensystem und an peripheren nicht- adrenergen, nicht- cholinergen Neuronen (NANC) ist NO als Transmitter identifiziert (Fisher et al., 1993; Belvisi et al., 1995; de Gouw et al., 1998).

Zudem wird NO ein positiver Effekt auf die körpereigene Abwehr zugeschrieben. (Barnes and Belvisi, 1993; Kourembanas et al., 1993; Lindberg et al. 1997; Wang et al., 2003).

Bei der Stimmbildung ist die Nase zusammen mit den Nebenhöhlen als Klangkörper an der Resonanz beteiligt (Westrin and Stierna, 1995).

2.3.1 Besonderheiten der Nasenhöhle bei Nicht-Primaten

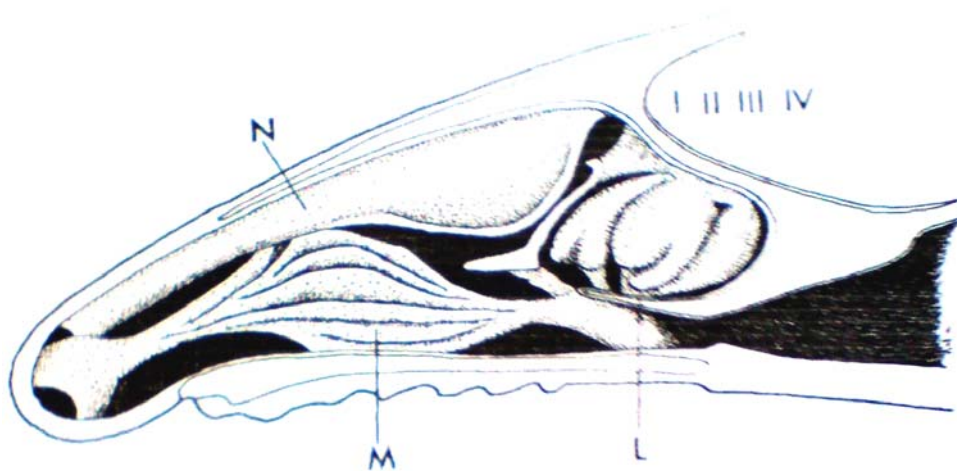


Abb. 5: Nasenhöhle eines Nicht-Primaten am Beispiel des Igels. N: Nasoturbinale, M: Maxilloturbinale (Concha nasalis inferior), L: Lamina transversa ossis sphenoidalis, I- IV: Ethmoidmuscheln (aus Cave, 1967).

Viele Säugetiere sind Makrosmatiker, weswegen die Regio olfactoria einen relativ großen Raum in der Nasenhöhle von Nicht-Primaten einnimmt (Paulli, 1900).

Die Nasenhöhle bei den Nicht-Primaten ist ein relativ langer, röhrenförmiger Raum, der mit einem vergleichsweise flachen Dach ausgestattet ist (Abb. 5). Im vorderen seitlichen Anteil der Nasenhöhle bildet sich ein gut ausgeprägtes Nasoturbinale aus, das bei Menschen und Primaten nicht mehr bzw. nur noch als schwacher Schleimhautkamm, dem Agger nasi, vorhanden ist (Moore, 1981).

Das Maxilloturbinale ist meist sehr ausgedehnt und zerklüftet und liegt im vorderen Bereich der Nasenhöhle unter dem Nasoturbinale (Abb. 5). Es entspricht bei den Hominoiden der Concha nasalis inferior. Die Skeletteinlagerung des Maxilloturbinale entsteht aus

dem unteren Rand der knorpeligen Nasenseitenwand (Starck, 1975).

Das Maxilloturbinale weist innerhalb der Säugetiere viele Spezialisierungen auf, die zum Teil im Dienste der Thermoregulation stehen. So zeigt zum Beispiel Hillenius (1992), dass eine komplexe Form der unteren Nasenmuschel mit einem verminderten Verlust von respiratorischer Flüssigkeit assoziiert ist.

Im Recessus ethmoturbinalis, dem hinteren Teil der Nasenhöhle, bilden sich bei Makrosomatikern in einer durch eine Lamina transversa ossis sphenoidalis abgetrennten Höhle die Riechmuscheln im engeren Sinne aus, die so genannten Ethmoturbinalia. Dabei wächst die epitheliale Wand der Nasenhöhle nach lateral und kaudal und treibt dabei eine für jede Art spezifische Anzahl von Aussackungen und Taschen in das Mesenchym. Die zwischen diesen Taschen passiv entstehenden Gewebsbälkchen sind die Ethmoturbinalia (Reinbach, 1953). Dabei ist eine Anzahl von 7 oder mehr Ethmoturbinalia möglich, wobei die Anzahl je nach Spezies variieren und mit den Nasennebenhöhlen verbunden sein kann. Die absolute Anzahl der Ethmoturbinalia sagt wenig über die Ausdehnung des olfaktorischen Epithels aus, da auch eine starke Vergrößerung der Oberfläche durch zahlreiche Verästelungen vorkommen kann.

Zwischen der Lamina transversa ossis sphenoidalis und dem harten Gaumen befindet sich ein relativ langer, enger Choanalkanal, der die Nasenhöhle mit dem Epipharynx verbindet. Durch diese Anordnung der Strukturen wird die Riechfähigkeit deutlich verbessert, da die Partikel an der Regio olfactoria nicht im Hauptatemstrom liegen und längere Zeit an den Geruchsrezeptoren verweilen können. Dadurch wird die Empfindlichkeit des Geruchssinnes, der bei vielen Nichtprimaten der führende Sinn ist, stark gesteigert (Cave, 1967).

2.3.2 Besonderheiten der Nasenhöhle bei Primaten

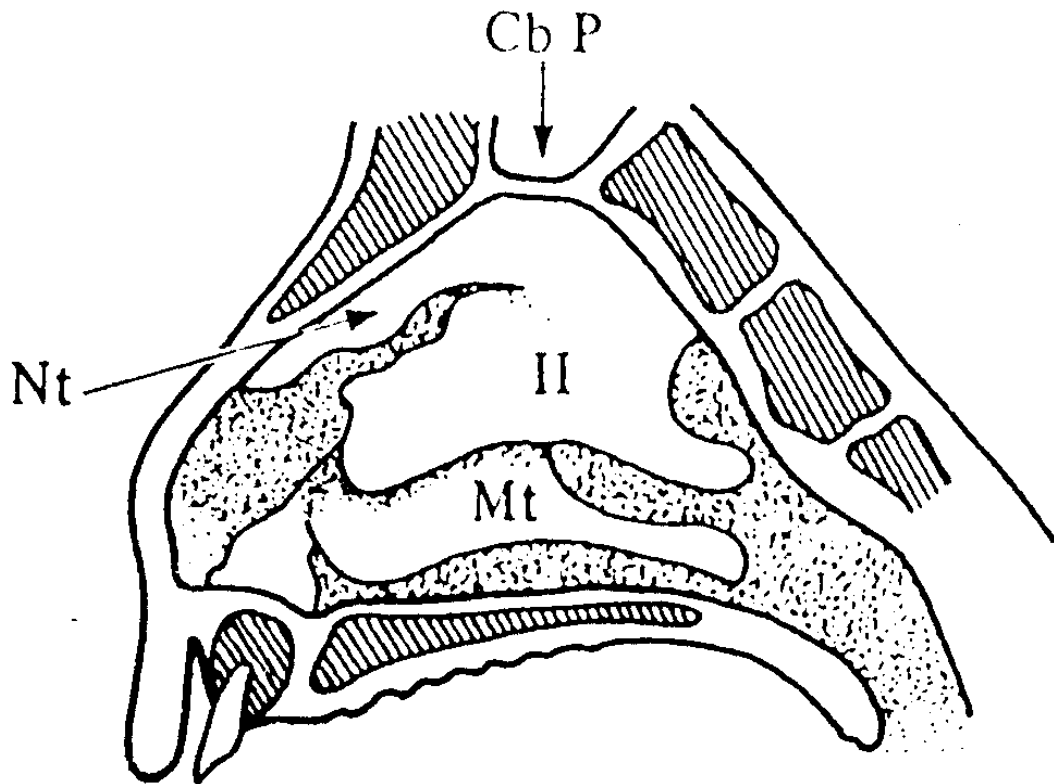


Abb. 6: Sagittalschnitt durch den Schädel eines Makaken, die rechte laterale Wand zeigend. Nt: Nasoturbinal, Mt: Maxilloturbinal, II: Ethmoturbinal II (nach Cave, 1973).

Primaten sind Mikrosmatiker, da bei ihnen die Regio olfactoria stark reduziert ist (Henke und Rothe, 1999). Dieses ergibt sich aus der Tatsache, dass bei den Primaten im Laufe der Evolution mit der Ausbildung des stereoskopischen Sehens der Sehsinn eine führende Rolle gegenüber dem Geruchssinn übernommen hat (Starck, 1995; Ross, 1996).

Die Morphologie der Nasenhöhle bei Primaten unterscheidet sich deutlich von der der Nichtprimaten (Cave, 1967; Moore, 1981). Bei den Anthropoiden (inklusive der Hominoïden) ist das Volumen der Nasenhöhle deutlich verkleinert (Dieulafe, 1906). Die Reduktion des Geruchssinnes bei den Primaten hat starke Auswirkungen auf die

Form der Nasenhöhle. Die Nase besitzt nicht mehr die schlauchartige Form, sondern ist deutlich verkürzt und verschmälert. Charakteristisch ist eine relativ hohe Ausdehnung, wie auf Abbildung 6 zu erkennen ist. Die einzelnen Nasenmuscheln sind verkürzt und weitaus weniger verzweigt als die der Nichtprimaten. Ebenso ist ihre Anzahl deutlich verringert (Moore, 1981).

Vor allem beim Menschen hat die Größe der Nasenhöhle stark abgenommen und die Muscheln weisen eine deutlich geringere Komplexität auf. Am stärksten ist noch das Maxilloturbinale ausgeprägt. Die komplexe Struktur, wie sie bei den Nichtprimaten vorkommt, ist beim Menschen nicht mehr vorhanden (Hillenius, 1992).

Das Nasoturbinale entspricht beim Menschen dem Agger nasi, einem schwach ausgeprägten Schleimhautkamm in der vorderen Nasenhöhle. Die Ethmoturbinale I und II entsprechen der mittleren und der oberen Concha nasalis. Hinter der Concha nasalis superior befindet sich der Recessus sphenoidalis. An dieser Stelle mündet der Sinus sphenoidalis in die Nasenhöhle ein.

Trotz der vereinfachten Form der menschlichen Nasenhöhle im Vergleich zu anderen Säugetieren besitzt der Mensch das größte Ethmoid mit zahlreichen luftgefüllten Zellen (Moore, 1981).

2.4 Faktoren, die die Formwerdung des Schädels im Allgemeinen und der Nasenhöhle im Speziellen beeinflussen

Die Morphologie des Schädels wird von zahlreichen Faktoren beeinflusst, die sowohl in der Ontogenese als auch in der Phylogenese wirksam werden. So unterscheidet Schumacher (1991; 1997) in der Ontogenese zwischen lokalen und allgemeinen Faktoren. Lokale Faktoren sind unter anderem Muskeln,

Sinnesorgane, Phonetik, Dentition und Pneumatisation, wobei zu berücksichtigen ist, dass sich diese Faktoren auch gegenseitig beeinflussen. Zu den allgemeinen Faktoren zählt Schumacher (1991, 1997) u.a. Genetik, Klima, Geschlecht und Nutrition. Da diese Faktoren auch auf die Form und die Größe der Nasenhöhle Einfluss ausüben können, sollen nachfolgend einige der Charakteristika dargestellt werden, die Auswirkung auf die Morphologie der Nasenhöhlen haben können.

Biomechanische Einflüsse

Biomechanische Belastungen durch Wachstum und Muskelzug können die morphologische Gestalt des Schädels entscheidend mitbeeinflussen. Knochensubstanz reagiert auf konstanten Druck bzw. auf ein Fehlen desselben, auch und vor allem während der Wachstumsperiode (Herring, 1993a, 1993b).

Bei einer verstärkten Nutzung von einzelnen Muskelgruppen kommt es ebenfalls zu einer Verknöcherung der Ansätze derselben. Beobachten lässt sich das bei einem Vergleich von quadrupetalen zu bipedalen Primaten. Bei den quadrupetalen zeigt sich ein viel stärker ausgeprägter Halteapparat als bei bipedalen, bedingt durch die stärkere Belastung desselben (Freeman and Herring, 1992).

Durch den bipedalen Gang änderte sich aber nicht nur die Beanspruchung der Haltemuskulatur des Schädels, sondern auch die Form. Die Schädelbasis nimmt dabei eine Schlüsselstellung in der Gehirn- und Gesichtsschädelentwicklung ein (Fanghänel und Schumacher 1986). Faktoren, die die Entwicklung des Quadrupedenschädels hin zum menschlichen Schädel beeinflussen sind u.a. Vertikalisation, Adaptation, Domestikation, Fetalisation, Zerebralisation, Sprache, Mimik, Ernährung und Arbeit.

Weiterführende Arbeiten (Ross and Ravosa, 1993; Swindler, 1998) beschreiben für Primaten einen im Vergleich zu anderen Säugetieren spitzer werdenden Schädelbasisknickungswinkel

(Sphenoidal-Clivus-Winkel) mit zunehmendem Volumen des Neurocraniums.

Die Form des Neurocraniums nimmt bei *Macaca* im Laufe des Wachstums eine eher ovale Form an und bleibt nicht rund wie beim Menschen. Das Neurocranium ist bei *Macaca* in der anterior-posterioren Ausdehnung länger als beim Menschen (Sirianni, 1985).

Bereits bei der Geburt sind die Säuglinge von *Macaca* in ihren kraniofazialen Abmessungen näher an denen von adulten Individuen als die Säuglinge von Menschen (Sirianni and Newell-Morris, 1980).

Vorliegende Studien zeigen, dass während der Fetalperiode bereits mehr als 50% der Schädelbasislänge (Nasion- Basion) der adulten Individuen sowohl bei *Macaca* als auch bei Menschen erreicht sind (Ford, 1956; Burdi, 1965; Sirianni, 1985).

Sowohl bei Makaken als auch beim Menschen wächst im dritten Trimester die anteriore Schädelbasislänge schneller als die posteriore (Björk, 1955; Ford, 1956; Burdi, 1965; Sirianni and Van Ness, 1978; Sirianni and Newell-Morris, 1980; Sirianni, 1985), jedoch ist das Wachstum beim Menschen wesentlich schneller und länger anhaltend als bei *Macaca* (Zumpano and Richtsmeier, 2003). Das schnellere Wachstum der vorderen Schädelbasis bei Menschen wird mit dem schnelleren Wachstum des Lobus frontalis beim Menschen diskutiert (Moss and Salentijn, 1969; Enlow and McNamara, 1973; Moss, 1973).

Die größten Unterschiede des Wachstums bei Mensch und *Macaca* ergeben sich jedoch im Mittelgesicht im Bereich der Suturen zwischen dem Os zygomaticum und dem Os maxillare (Zumpano and Richtsmeier, 2003). Die Länge des harten Gaumens nimmt bei *Macaca* relativ gesehen stärker zu als beim Menschen. Gegenüber dem Wachstum des Schädels bei *Macaca* kommt es zu einer Verkleinerung der Strecke zwischen Os nasale und Spina nasalis posterior. Verbunden mit dem starken relativen Gaumenwachstum

kommt es relativ zum Wachstum des gesamten Schädels gesehen zu einer Verlängerung des unteren Teils der Nasenhöhle sowie zu einer Verkürzung des oberen Teils. Durch diese Wachstumsprozesse bildet sich die typische Form der Apertura nasalis anterior an der Schnauze der Makaken mit einem eher prognathischen Gesicht. Auch liegt der Gaumen bei *Macaca* im Vergleich zum Menschen höher in der Mundhöhle (Zumpano and Richtsmeier, 2003).

Ernährung

Die unterschiedlichen Ernährungsgewohnheiten der Spezies von *Macaca* (Nakagawa, 1997) beeinflussen die morphologischen Variationen des Schädels mit (Anton, 1996) und es kommt zu unterschiedlichen Krafteinwirkungen auf den Kauapparat. Die Gesichtsschädelbreite ist im Vergleich zum Menschen relativ weiter, um die Kiefermuskulatur aufzunehmen (Zumpano and Richtsmeier, 2003).

Die Belastungen des Schädels durch Kaukräfte wurde auch in anderen Studien untersucht (Preuschoft and Witzel, 2005). Dabei zeigte sich die höchste Belastung während des Kauvorganges entlang der Zahnreihen und der Stirn im Bereich des Daches der Nasenhöhle (Hylander et al., 1991). Je nach Art der Belastung ergeben sich Unterschiede in der Form der Zahnanordnung und der relativen Größe des Neurocraniums.

Da Neugeborene von *Macaca* schneller von ihren Müttern entwöhnt werden als menschliche Neugeborene, müssen sie bereits im Alter von 6 Monaten feste Nahrung zu sich nehmen (Osman Hill, 1974). Dadurch wird das Wachstum des Kauapparates von *Macaca* wesentlich mitbeeinflusst (Siriani, 1985; Siriani and Swindler, 1985). Bedingt durch einen kräftigeren Kauapparat sind die lateralen Ränder der Orbitae bei *Macaca* dicker und weiter hinten angeordnet als beim Menschen (Enlow, 1966; Duterloo and Enlow, 1970; Enlow and McNamara, 1973).

Klimatische Einflüsse

Die Nase dient unter anderem zur Erwärmung und zur Anfeuchtung der eingeatmeten Luft. Daraus ergibt sich eine Notwendigkeit der Anpassung der Nase an klimatische Verhältnisse. Bisher durchgeführte Studien (u.a. Rodahl, 1952; Milan et al., 1962 sowie Rennie et al., 1962) ergaben für Eskimos einen signifikant höheren Stoffwechsel in der Nase als bei einer Kontrollgruppe. Bei einer Temperatur von 20°C sind 2,5% des Energieverbrauches zum Aufrechterhalten der Kerntemperatur des Menschen nötig zur Erwärmung der Atemluft. Bei einer Temperatur von -30°C steigt der nötige Anteil jedoch auf das zehnfache (Webster, 1952; Hilding, 1964; Shea 1977). Japanische Makaken verdoppeln ihre Hitzeproduktion, wenn die Umgebungstemperatur von 29°C auf 5°C abfällt (Nakayama et al., 1971).

Tiere, die viel mit kalter Luft in Berührung kommen und ein sehr dickes Fell aufweisen, z.B. Robben, Bären und Kaninchen, benutzen die Nase als Thermoregulationsorgan (Dean, 1988). Sie besitzen ein sehr komplexes System an Schleimhaut und Muscheln (Shea, 1977). Dieses komplexe System wurde beim Menschen im Laufe der Evolution zurückgebildet, da die menschliche Haut das primäre Thermoregulationsorgan wurde (Scott, 1954).

3. Material und Methoden

3.1 Material

Für die vorliegende Wachstumsstudie wurden 65 Schädel des japanischen Makaken (*Macaca fuscata*) beiderlei Geschlechts in vier verschiedenen postnatalen Alterstufen untersucht. Weil das genaue Alter der Tiere zum Zeitpunkt des Todes nicht bekannt war, erfolgte die Alterseinteilung in Altersgruppen nach dem Stand der Dentition. Die genaue Einteilung ist Tabelle 1 zu entnehmen.

Tab. 1: Alterseinteilung von *Macaca fuscata* nach der Dentition

AG	Definition
1	Milchgebiss und vollständig durchbrochener erster permanenter Molar
2	Voll durchbrochene permanente Inzisivi sowie voll durchgebrochene zweite permanente Molaren
3	Voll durchbrochene permanente Prämolaren
4	Vollständig ausgeprägtes permanentes Gebiss

AG: Altersgruppe

Nach Iwamoto et al. (1984, 1987) und Mouri (1994) kann man die verschiedenen Altersgruppen von *Macaca fuscata* bestimmten Lebensabschnitten zuordnen. Diese Zuordnung ist Tabelle 2 zu entnehmen.

Tab. 2: Zuordnung der Altersgruppen von *Macaca fuscata* zu einzelnen Lebensabschnitten

AG	Lebensabschnitt
1	Von der Geburt bis zur Vollendung des zweiten Lebensjahres
2	Vom dritten Lebensjahr bis zur Vollendung des vierten Lebensjahres
3	Vom Beginn des fünften Lebensjahres bis zu einem Alter von 4,5 Jahren bei weiblichen Tieren bzw. 4,75 Jahren bei männlichen Tieren sowie
4	Älter als 4,5 Jahre bei weiblichen Tieren bzw. 4,75 Jahren bei männlichen Tieren.

AG: Altersgruppe

Tabelle 3 zeigt die Verteilung der Schädel von *M. fuscata* auf die einzelnen Altersgruppen.

Tab. 3: Aufschlüsselung des verwendeten Schädelmaterials von *Macaca fuscata* in den einzelnen Altersgruppen.

AG	n (m/w)
1	6 (3/3)
2	6 (3/3)
3	8 (4/4)
4	9 (5/4)

AG: Altersgruppe; n: Anzahl; m: männlich; w: weiblich

Zusätzlich zu den oben genannten 29 Schädeln unterschiedlicher Altersstufen lagen für weitere Untersuchungen 36 Schädel adulter japanischer Makaken aus fünf definierten geographischen Regionen Japans vor (Tab. 4, Abb. 7). Die Schädel der verschiedenen Regionen wurden miteinander verglichen, um einen möglichen Unterschied in der Größe der Nasenhöhle zu untersuchen.

Tab. 4: Anzahl der Individuen von *Macaca fuscata* aus verschiedenen definierten Regionen Japans mit Darstellung geographischer Daten

Population	n (m/w)	Breitengrad	Durchschnittliche Jahrestemp. (°C)	Januartemp. (°C)
Kinkazan	8 (4/4)	38,15	11,90	1,00
Koshima	6 (3/3)	31,45	16,99	6,80
Shimokita	8 (6/2)	41,14	9,70	-1,80
Shodoshima	7 (5/2)	34,50	15,82	4,60
Yakushima	9(4/5)	30,56	19,45	10,70

N: Anzahl; m: männlich; w: weiblich

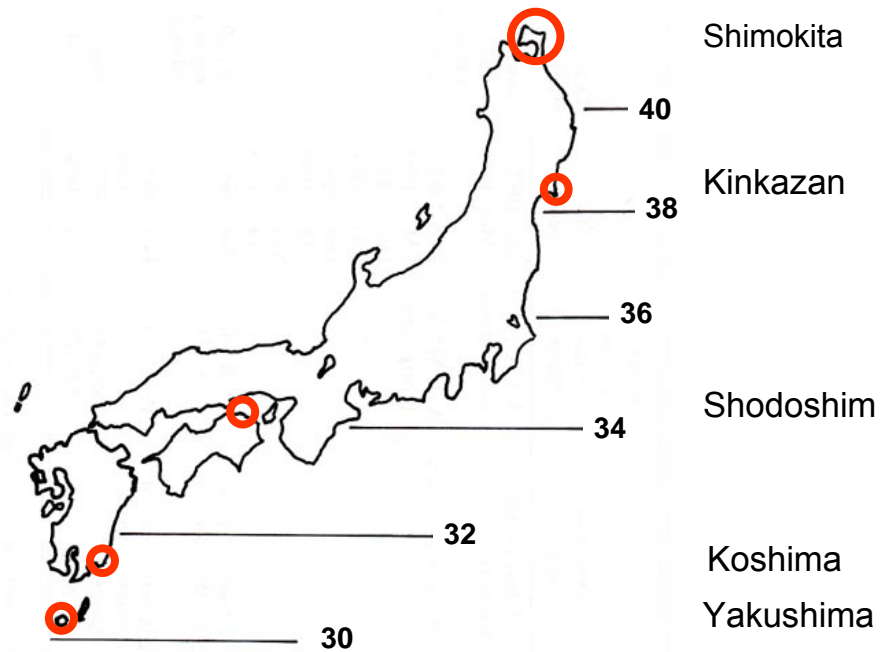


Abb. 7: Lokalisation der in Tabelle 4 aufgeführten Populationen von *Macaca fuscata* auf den japanischen Hauptinseln mit Angabe der Breitengrade. Die Hauptinsel Hokkaido ist nicht dargestellt.

3.2 Methoden

Die Schädel wurden mit dem HiSpeed Advantage RP Computertomographen (General Electric Medical Systems, Milwaukee, USA) in koronaren Schichten bei 120 kV und 150 mA geröntgt. Die CT- Aufnahmen erfolgten am Department of Radiology, Okayama University Hospital, Japan. Die Schichtdicke betrug bei den Tieren der Altersgruppe 1 0,5 mm und bei allen anderen Tieren 1,0 mm. Anschließend wurden die entstandenen Schichtaufnahmen der Schädel elektronisch aufgearbeitet und als JPEG-Bilddatei abgespeichert.

3.2.1 Messungen an der Nasenhöhle

Zunächst erfolgte die Vermessung der Volumina der Nasenhöhlen der einzelnen Schädel auf einem handelsüblichen PC mittels des Programms „*Surfdriver* 3.5“ (© 1999 David Moody & Scott Lozanoff). Dazu wurden durch manuelles Umfahren der einzelnen Schnittbilder der Schädel mit Hilfe von *Surfdriver* dreidimensionale Rekonstruktionen der Nasenhöhlen hergestellt (Abb. 8). Die Schichtdicke der CT-Aufnahmen von maximal 1,0 mm ermöglichte dabei eine noch ausreichende Detailgenauigkeit der feinen Strukturen der Schädelknochenstrukturen ohne nennenswerten Detailverlust (Doll and Lozanoff, 2003). Diese Rekonstruktionen bildeten die Grundlage für die Volumenbestimmung der Nasenhöhle mit Hilfe von *Surfdriver*.

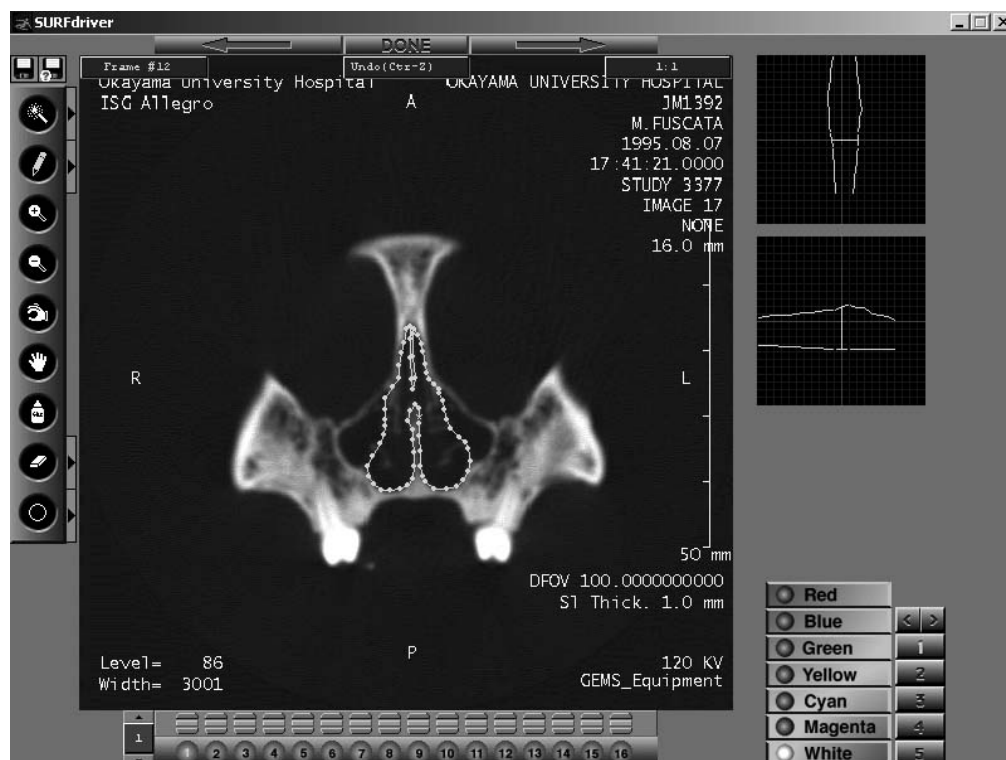


Abb. 8: Coronares CT-Schichtbild durch den Schädel eines männlichen Makaken (*Macaca fuscata*) der Altersgruppe 3 mit Darstellung der Benutzeroberfläche von *Surfdriver* sowie einer Umrissdarstellung der Nasenhöhle.

3.2.2 Messungen am Schädel

Um die an den Nasenhöhlen ermittelten Daten einordnen zu können, wurden an den Schädeln eine Reihe von definierten Schädelmaßen abgenommen. Mit Ausnahme der größten Schädelgröße erfolgte dabei die Festlegung der Maße nach Martin (1928). Darüber hinaus erfolgte die Bestimmung des Gesichtsschädelvolumens in Anlehnung an Koppe und Schumacher (1992). Die Schädelmaße wurden mit einem digitalen Mess-Schieber (Absolute Digimatic, Mitutoyo, Japan) vermessen und sind in den Abbildungen 9-11 dargestellt.

Längenmaße:

L1	Gesamtschädellänge:	Prosthion- Opisthocranion
L2	Schädelbasislänge:	Nasion- Basion
L3	Gesichtsschädellänge:	Basion- Prosthion

Breitenmaße:

B1	Mittelgesichtsbreite:	Zygomaxillare- Zygomaxillare
B2	Maxilloalveolarbreite:	Ekmolare- Ekmolare
B3	Gaumenbreite:	Endomolare- Endomolare

Höhenmaße:

H1	Obergesichtshöhe:	Nasion- Prosthion
H2:	Gaumenhöhe:	Senkrechte auf der Gaumen- breite in Höhe des 2. Molaren

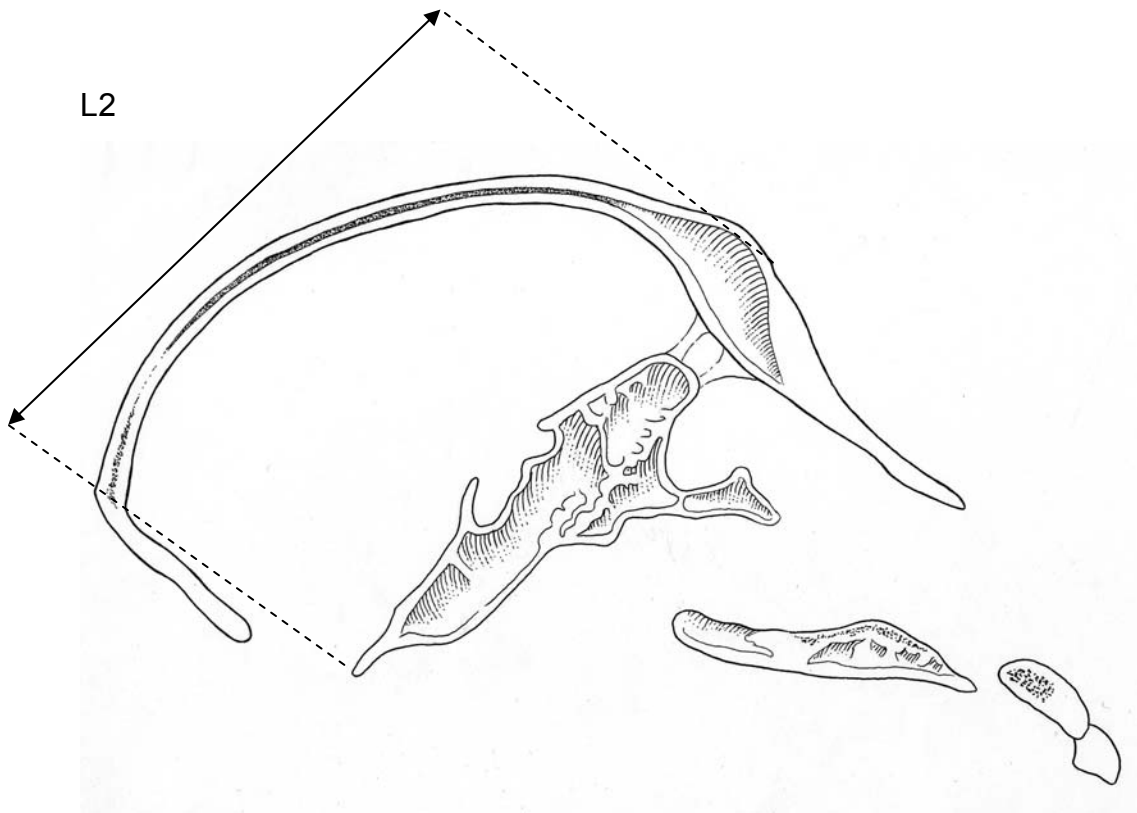


Abb. 9: Nachzeichnung eines Schädels von *Macaca fuscata* in der Norma medialis zur Darstellung der Meßstrecke L2 (Schädelbasislänge).

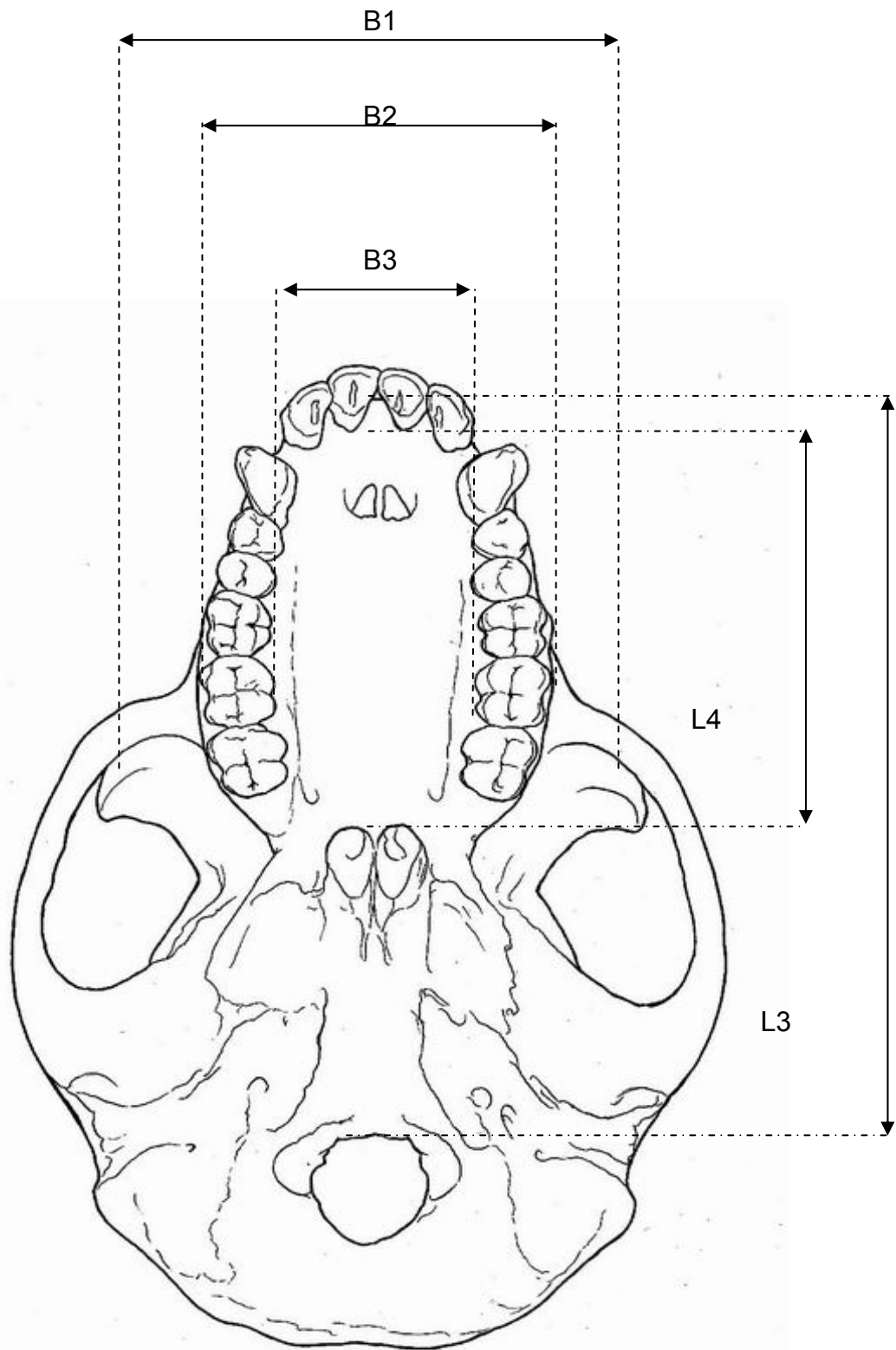


Abb. 10: Nachzeichnung eines Schädels von *Macaca fuscata* in der Norma basilaris zur Darstellung der Meßstrecken L3 Gesichtslänge; L4 Gaumenlänge; B1 Mittelgesichtsbreite; B2 Maxilloalveoläre Breite; B3 Gaumenbreite.

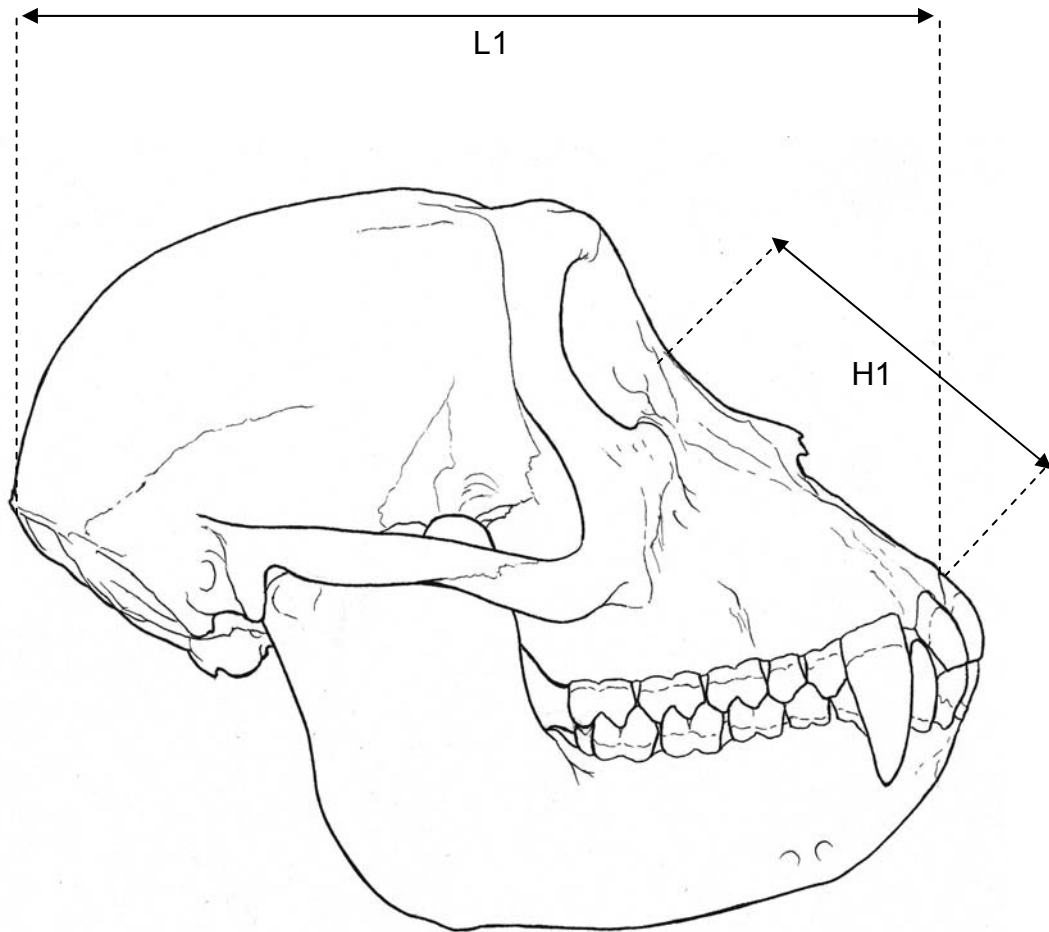


Abb. 11: Nachzeichnung eines Schädels und Unterkiefers von *Macaca fuscata* in der Norma lateralis zur Darstellung der Mess-Strecken L1 größte Schädellänge sowie H1 Obergesichtshöhe.

Um das Volumen der Nasenhöhlen von *Macaca fuscata* mit der Gesamtgröße des Gesichtsschädels vergleichen zu können, wurde aus den Maßen L2 (Schädelbasislänge), L3 (Gesichtschädellänge), B1 (Mittelgesichtsbreite) sowie H1 (Obergesichtshöhe) das Gesichtsschädelvolumen (GSV) berechnet. Dies erfolgte mit Hilfe der heronischen Formel (Bartsch, 1984):

$$\text{GSV} = (\sqrt{s \cdot (s-L2) \cdot (s-L3) \cdot (s-H1)}) \cdot B1, \text{ wobei } s = \frac{1}{2} \cdot (L2 + L3 + H1)$$

3.2.3 Statistische Auswertung

Im ersten Teil dieser Arbeit untersuchten wir das Wachstum der Nasenhöhle bei *Macaca fuscata*. Da das biologische Alter der Tiere nicht bekannt war, benutzten wir dazu lineare Regressionsanalysen und stellten die Ergebnisse in Diagrammen dar. Die statistische Aufarbeitung der gewonnenen Daten erfolgte teilweise mit dem Programm Microsoft Excel sowie hauptsächlich mit SPSS.

Zunächst wurden die Mittelwerte und Standardabweichungen der Volumina der Nasenhöhlen der einzelnen Altersgruppen berechnet und graphisch aufgearbeitet.

In der nun folgenden Wachstumsanalyse der Nasenhöhle wurden die Volumina der Nasenhöhlen der jeweiligen Altersgruppen auf eine Bezugsgröße bezogen, da das biologische Alter der einzelnen Schädel nicht bekannt war. Als Bezugsgröße wählten wir die Schädelbasislänge, die Gesamtschädellänge, und das Gesichtsschädelvolumen.

Durch eine Korrelationsanalyse konnte in einem weiteren Schritt die Beziehung der Nasenhöhle zu den verschiedenen oben genannten Schädelparametern und dem Volumen der Kieferhöhlen untersucht

werden. Die Werte für den Sinus maxillaris entnahmen wir der Arbeit Koppe and Nagai (1997).

Der zweite Teil dieser Arbeit bestand aus einer Untersuchung der Variation der Nasenhöhle von erwachsenen Tieren bei verschiedenen lokalen Populationen von *M. fuscata* aus geographisch und klimatisch unterschiedlichen Regionen Japans (Tabelle 4).

Zunächst wurde eine Regressionsanalyse durchgeführt, um den Zusammenhang zwischen dem Volumen der Nasenhöhle und dem des Gesichtsschädels zu überprüfen.

Anschließend überprüften wir die Mittelwerte der einzelnen Gruppen auf signifikante Unterschiede. Dieses geschah mittels einer ANOVA. Um zu prüfen, wo genau die Unterschiede liegen, wurde ein Bonferroni PostHoc Test durchgeführt.

Abschließend wurde das Resultat zur besseren Darstellung graphisch in einem Box-Plot-Diagramm dargestellt, um die Erfassung der ermittelten Werte zu erleichtern.

4. Ergebnisse

4.1 Morphologie der Nasenhöhle

Da die untersuchten Schädel zum Zeitpunkt der CT- Aufnahmen bereits mazeriert waren, waren die knorpeligen Anteile des Septum nasi nicht mehr vorhanden. Ebenso waren bei einigen Schädeln die Conchae nasales nur noch bruchstückhaft vorhanden, so dass sie zur besseren Vergleichbarkeit nicht mit in die Messung einbezogen wurden.

Eine beispielhafte Rekonstruktion einer Nasenhöhle, wie sie für die Messungen mit Hilfe des Programms *Surfdriver* rekonstruiert wurde, findet sich in Abbildung 12.

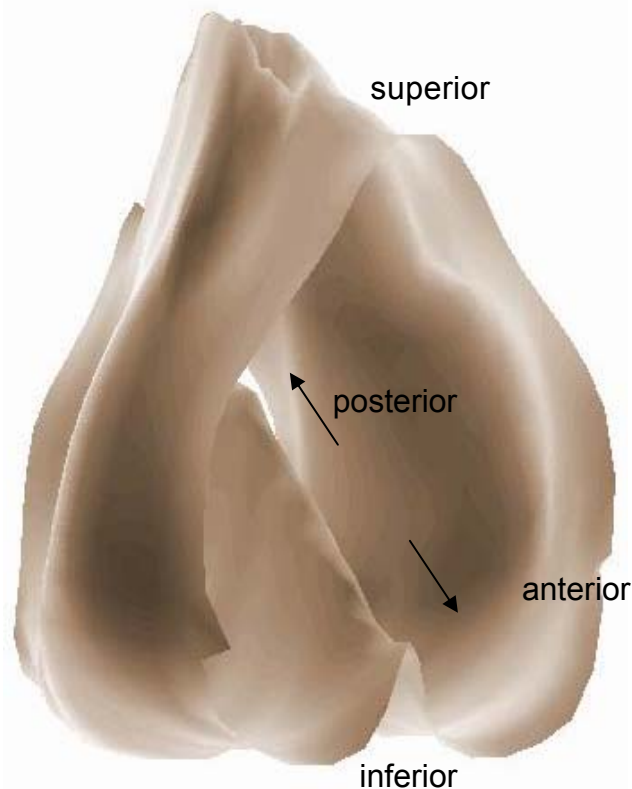


Abb. 12: 3D Modell der Wände der Nasenhöhle eines männlichen Tieres von *Macaca fuscata* der Altersgruppe 3 in der Ansicht von schräg vorn.

Für jede Altersgruppe wurden sämtliche Nasenhöhlen graphisch rekonstruiert. In den Abbildungen 13-16 sind für jede Altersgruppe

repräsentative Abbildungen dargestellt. Gleichzeitig sind signifikante Strukturen der jeweiligen Altersgruppe gezeigt. Beachte dabei die stetige geschlechtsunabhängige Zunahme der Breite und Höhe und damit des Volumens der Nasenhöhle.

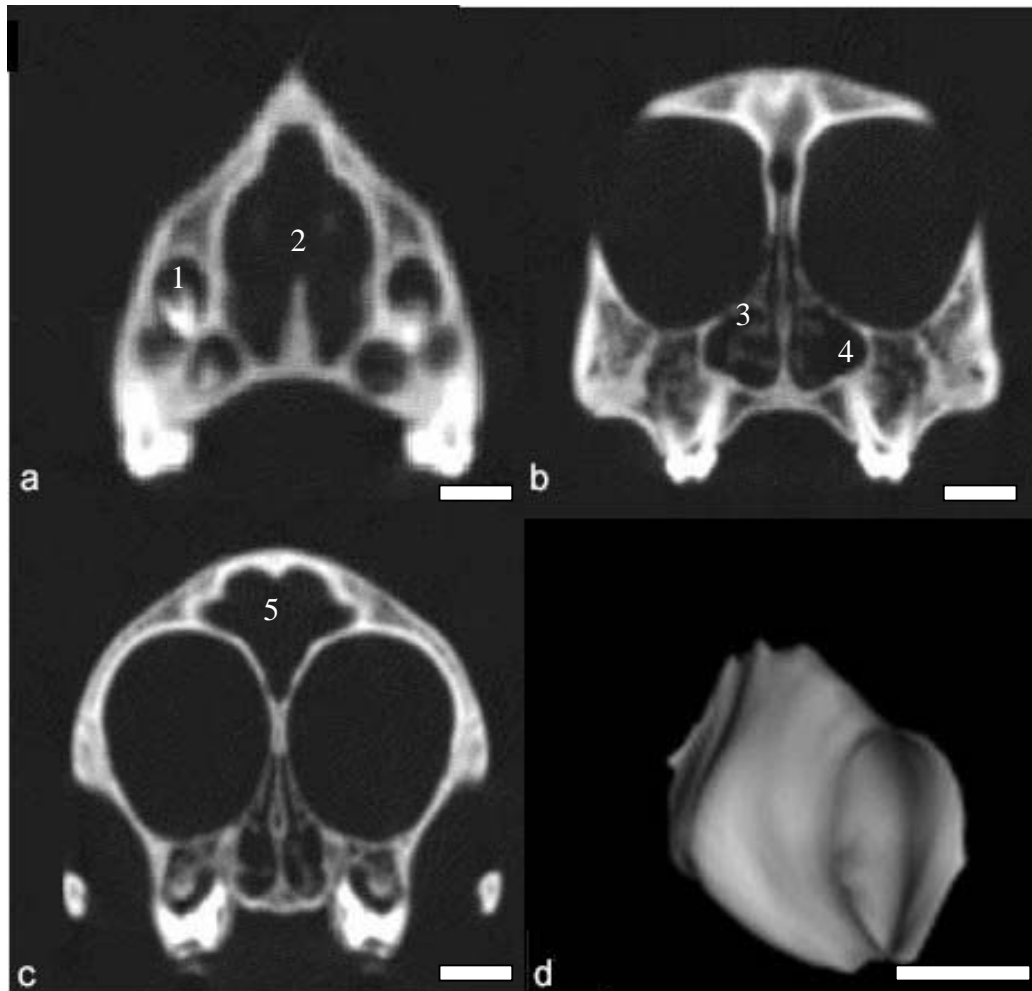


Abb. 13: Coronare Schichtaufnahmen (a-c) und 3D- Rekonstruktion der Nasenhöhle (d) eines weiblichen Tieres von *Macaca fuscata* der Altersgruppe 1. Balkenlänge: 1cm

a: CT- Schichtaufnahme der Region des ersten Milchmolaren, b: CT- Schichtaufnahme der Region des zweiten Milchmolaren, c: CT- Schichtaufnahme der Region des ersten permanenten Molaren , d: 3D- Rekonstruktion der Nasenhöhle. Die Figur ist nach links um die y- Achse gedreht.

1: Zahnanlage von M1, 2: Vomer, 3: Concha nasalis media, 4: Sinus maxillaris, 5: Cavitas cranii

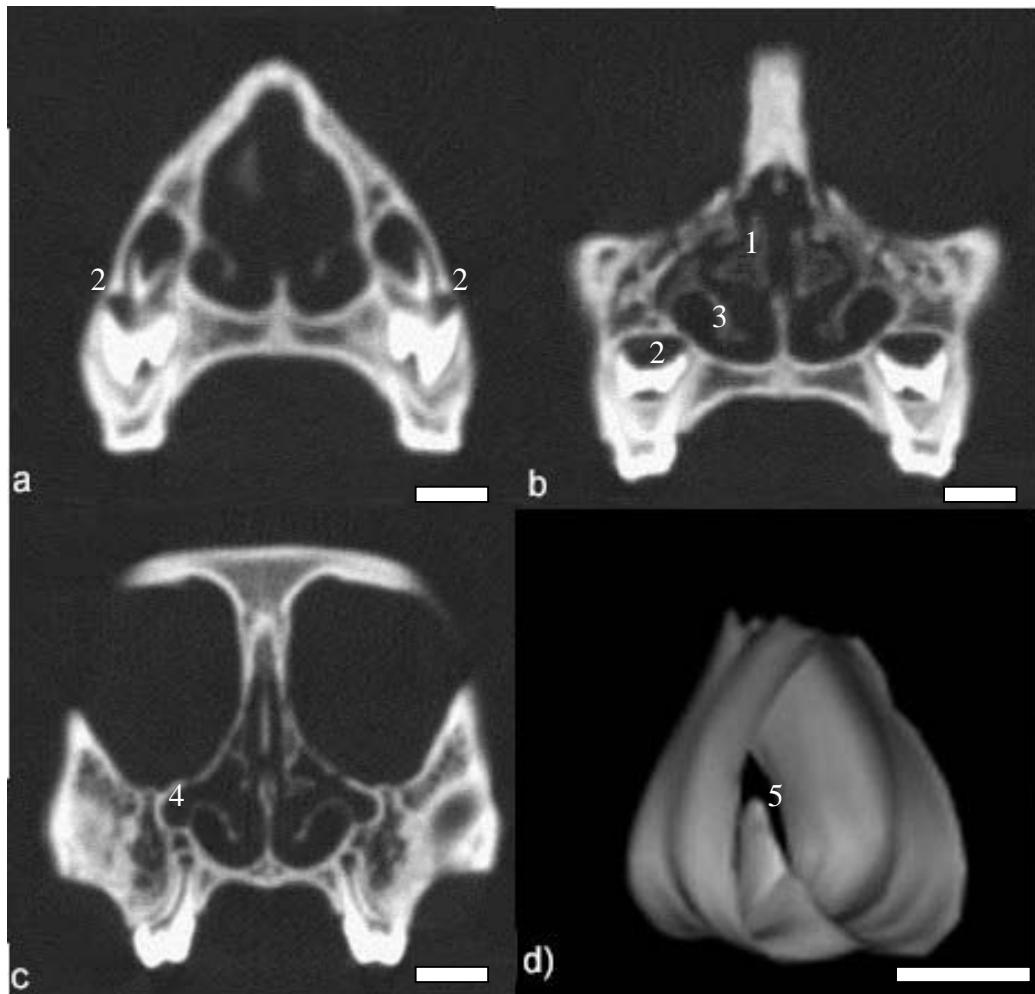


Abb. 14: Coronare Schichtaufnahmen (a-c) und 3D- Rekonstruktion der Nasenhöhle (d) eines männlichen Tieres von *Macaca fuscata* der Altersgruppe 2. Balkenlänge: 1cm.

a: CT- Schichtaufnahme der Region des ersten Milchmolaren, b: CT- Schichtaufnahme der Region des zweiten Milchmolaren, c: CT- Schichtaufnahme der Region des ersten permanenten Molaren, d: 3D- Rekonstruktion der Nasenhöhle.

1: Concha nasalis media, 2: Anlage des ersten bzw. zweiten Milchmolaren, 3: Concha nasalis inferior, 4: Sinus maxillaris, 5: Septum nasi.

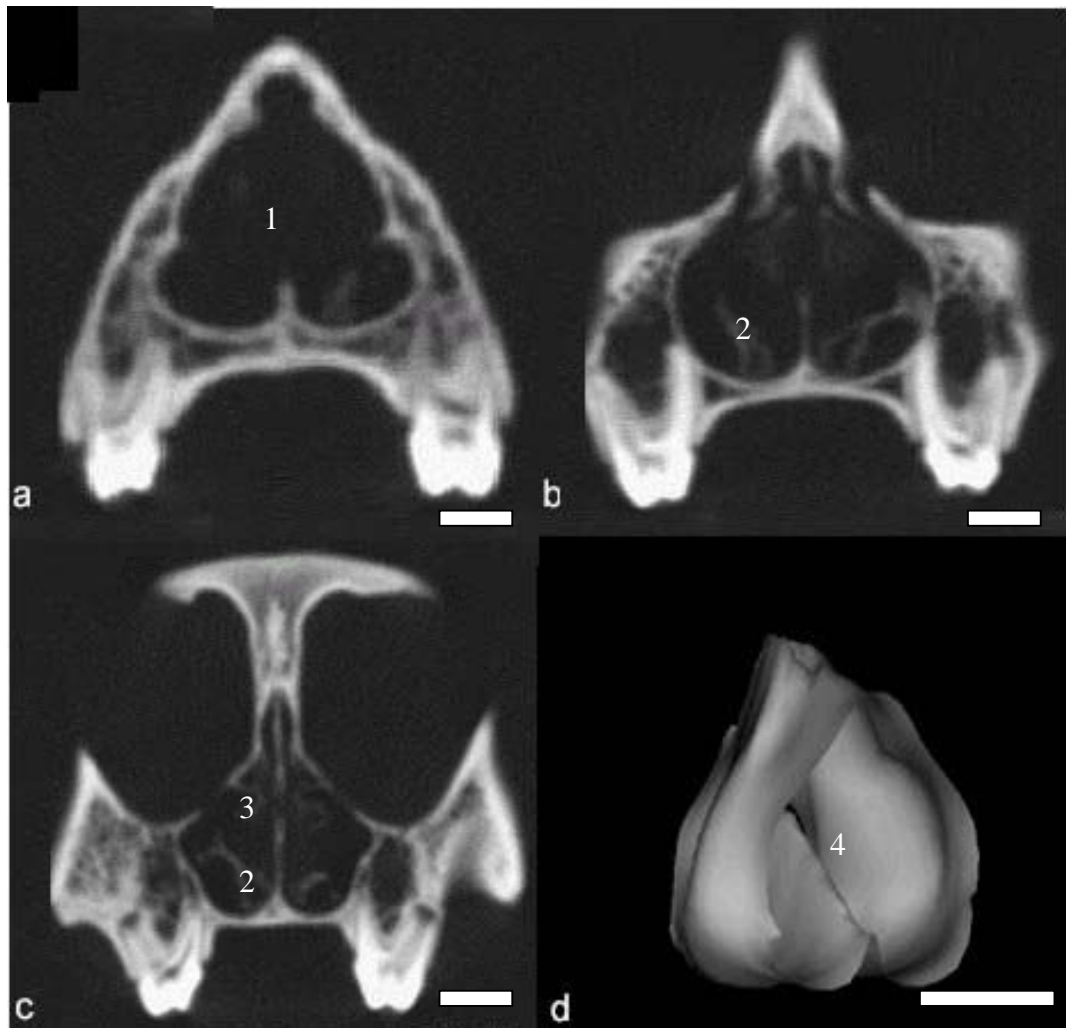


Abb. 15: Coronare Schichtaufnahmen (a-c) und 3D- Rekonstruktion der Nasenhöhle (d) eines männlichen Tieres von *Macaca fuscata* der Altersgruppe 3. Balkenlänge: 1cm.

a: CT- Schichtaufnahme der Region des zweiten Prämolaren, b: CT- Schichtaufnahme der Region des ersten permanenten Molaren, c: CT- Schichtaufnahme der Region des zweiten permanenten Molaren, d: 3D- Rekonstruktion der Nasenhöhle.

1: Cavitas nasi, 2: Concha nasalis inferior, 3: Concha nasalis media, 4: Septum nasi.

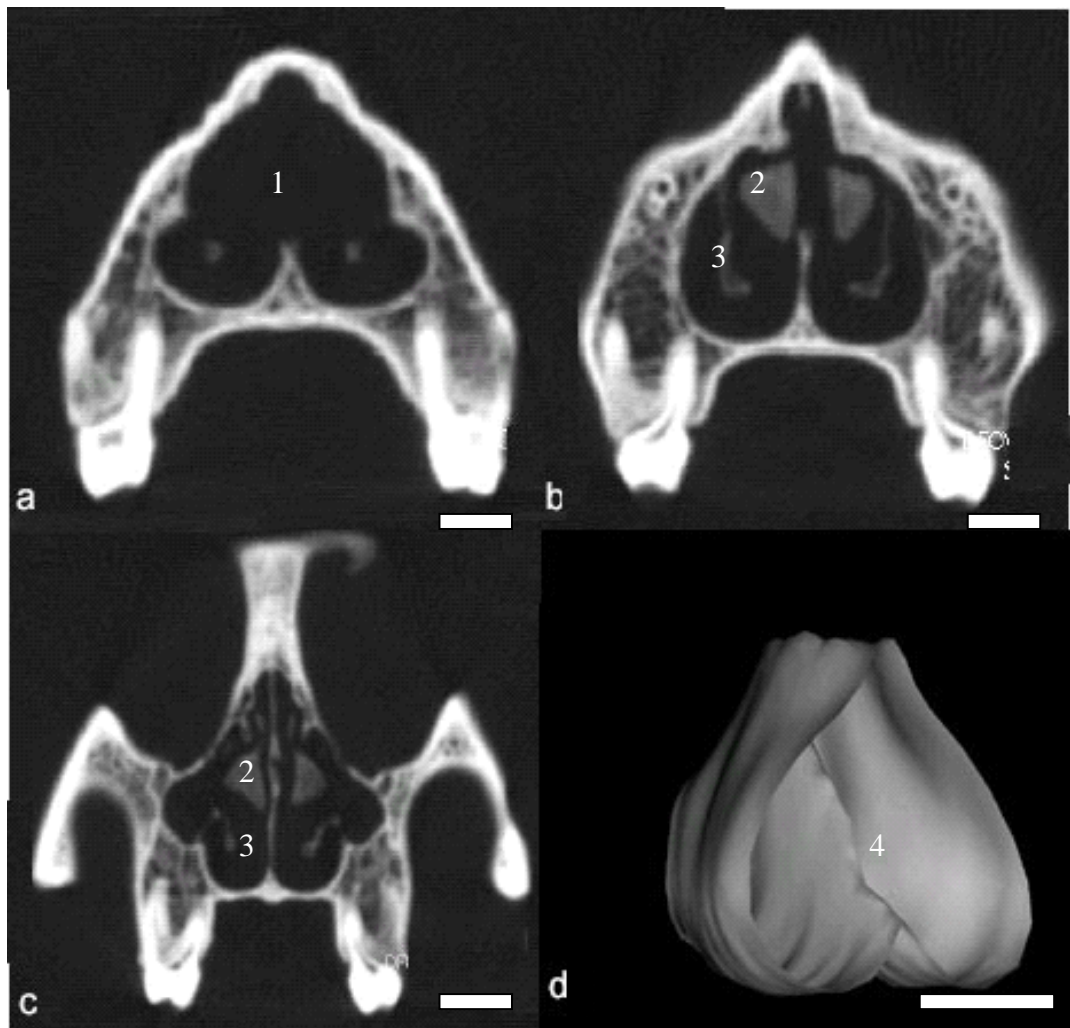


Abb. 16: Coronare Schichtaufnahmen (a-c) und 3D- Rekonstruktion der Nasenhöhle (d) eines weiblichen Tieres von *Macaca fuscata* der Altersgruppe 4. Balkenlänge: 1cm.

a: CT- Schichtaufnahme der Region des ersten permanenten Molaren, b: CT- Schichtaufnahme der Region des zweiten permanenten Molaren, c: CT- Schichtaufnahme der Region des dritten permanenten Molaren, d: 3D- Rekonstruktion der Nasenhöhle.

1: Cavitas nasi, 2: Concha nasalis media, 3: Concha nasalis inferior, 4: Septum nasi.

Die Mittelwerte der Nasenhöhlenvolumina der jeweiligen Altersgruppen sind in Tabelle 5 und in Abbildung 17 dargestellt. Es wird deutlich, dass die männlichen Individuen in allen Altersgruppen ein größeres Volumen der Nasenhöhle aufweisen als die weiblichen Individuen.

Tab. 5: Mittelwerte und Standardabweichung des Volumens der Nasenhöhle von *Macaca fuscata*, Angaben in cm³

AG	n (m/w)	männlich		weiblich	
		\bar{x}	SD	\bar{x}	SD
1	3/3	4,2	0,29	2,4	0,69
2	3/3	5,0	0,21	3,4	0,12
3	4/4	5,9	0,34	5,8	1,63
4	5/4	10,3	1,17	8,8	3,01

AG = Altersgruppe, n = Anzahl, \bar{x} = Mittelwert, SD = Standardabweichung

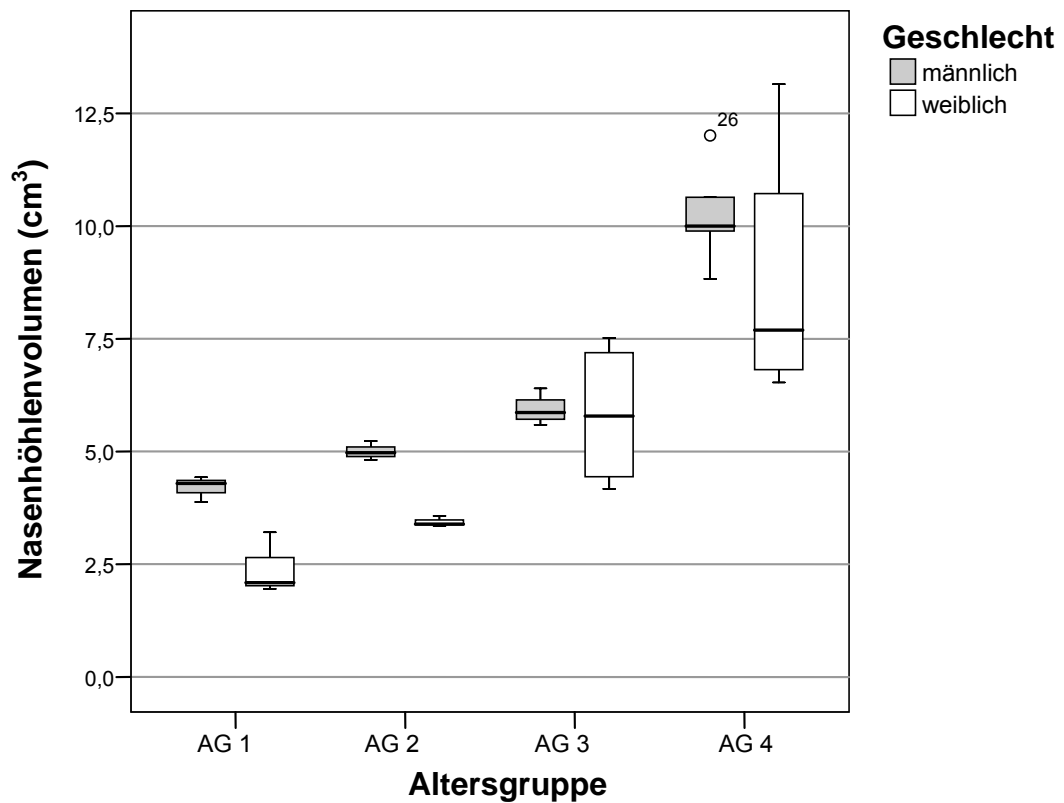


Abb. 17: Boxplot zur Darstellung der Variabilität der Volumina der Nasenhöhle weiblicher und männlicher Tiere von *Macaca fuscata* in verschiedenen Altersgruppen.

In einem nächsten Schritt konnte mit Hilfe der Maße L2 (Schädelbasislänge), L3 (Gesichtsschädellänge), B1 (Mittelgesichtsbreite) sowie H1 (Obergesichtshöhe) das Gesichtsschädelvolumen (GSV) berechnet werden. Die ermittelten Maße sind in den Tabellen 6 bis 9 sowie in Abbildung 18 dargestellt.

Tab. 6: Mittelwerte und Standardabweichung verschiedener Schädelmaße der weiblichen Individuen von *Macaca fuscata*, Angaben in cm

Weibliche Tiere									
AG	n	L2		L3		H1		B1	
		\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD
1	3	5,2	0,17	5,4	0,46	3,7	0,43	4,5	0,40
2	3	5,6	0,19	6,2	0,26	4,3	0,11	4,8	0,12
3	4	6,2	0,30	7,5	0,41	5,4	0,23	5,6	0,26
4	4	7,0	0,39	8,7	0,83	6,6	0,61	6,2	0,16

AG = Altersgruppe, n = Anzahl, L2 = Gesichtsschädellänge, L3 = Schädelbasislänge, H1 = Obergesichtshöhe, B1 = Mittelgesichtsbreite, \bar{x} = Mittelwert, SD = Standardabweichung

Tab. 7: Mittelwerte und Standardabweichung verschiedener Schädelmaße der männlichen Individuen von *Macaca fuscata*, Angaben in cm

Männliche Tiere									
AG	n	L2		L3		H1		B1	
		\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD
1	3	5,4	0,31	5,7	0,55	4,1	0,31	4,5	0,32
2	3	6,1	0,18	6,9	0,24	4,9	0,20	5,2	0,10
3	4	6,4	0,21	7,6	0,36	5,7	0,31	5,6	0,26
4	5	7,5	0,05	10,0	0,32	7,1	0,65	6,5	0,16

AG = Altersgruppe, n = Anzahl, L2 = Gesichtsschädellänge, L3 = Schädelbasislänge, H1 = Obergesichtshöhe, B1 = Mittelgesichtsbreite, \bar{x} = Mittelwert, SD = Standardabweichung

Tab. 8: Mittelwerte und Standardabweichungen des Gesichtsschädelvolumens und der Schädelhöhe in den Altersgruppen der weiblichen Individuen von *Macaca fuscata*, Angaben in cm³ bzw. cm

Weibliche Tiere				
AG	Gesichtsschädelvolumen		Gesamtschädelhöhe	
	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD
1	41,0	10,17	9,2	0,33
2	56,7	2,57	10,0	0,24
3	91,5	11,53	11,4	0,24
4	140,6	21,64	12,5	0,92

\bar{x} = Mittelwert, SD = Standardabweichung

Tab. 9: Mittelwerte und Standardabweichungen des Gesichtsschädelvolumens und der Schädelhöhe in den Altersgruppen der männlichen Individuen von *Macaca fuscata*, Angaben in cm³ bzw. cm

Männliche Tiere				
AG	Gesichtsschädelvolumen		Gesamtschädelhöhe	
	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD
1	47,5	9,84	9,6	0,33
2	75,9	1,22	10,9	0,17
3	99,8	9,48	11,4	0,26
4	172,5	15,14	13,7	0,34

AG = Altersgruppe, \bar{x} = Mittelwert, SD = Standardabweichung

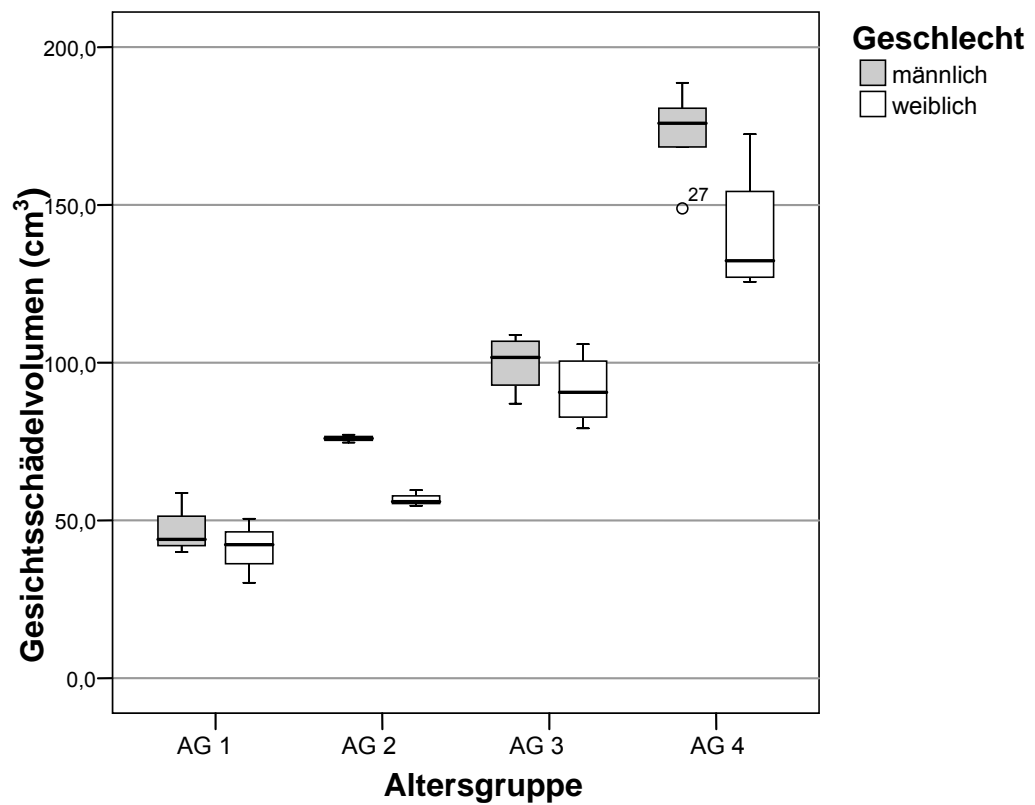


Abb. 18: Boxplot des Gesichtsschädelvolumens weiblicher und männlicher Tiere von *Macaca fuscata* in verschiedenen Altersgruppen.

Das Gesichtsschädelvolumen der weiblichen Tiere ist in allen Altersgruppen kleiner als das der männlichen Tiere.

4.2. Wachstum der Nasenhöhlen

Da das Alter der einzelnen Schädel nicht bekannt war, musste eine Bezugsgröße gefunden werden. Dazu eignet sich besonders die Schädelbasislänge, die mit dem Nasenhöhlenvolumen die höchste Korrelation ausweist (siehe Tab. 13, 14).

Für die folgende Darstellung wird anstelle der Originalwerte der natürliche Logarithmus des Nasenhöhlenvolumens verwendet. Durch diese Umformung wird der Zusammenhang zwischen der Schädelbasislänge und dem Nasenhöhlenvolumen linearisiert.

Die Berechnung der Regression erfolgte unter Berücksichtigung des Geschlechts der Tiere. Das graphische Ergebnis ist in Abbildung 19 dargestellt.

Durch die starke Interkorrelation der externen Schädelmaße untereinander ergeben sich ganz ähnliche Diagramme für die Zusammenhänge:

Nasenhöhlenvolumen – Gesamtschädellänge

Nasenhöhlenvolumen – Schädelbasislänge

Nasenhöhlenvolumen – Gesichtsschädelvolumen.

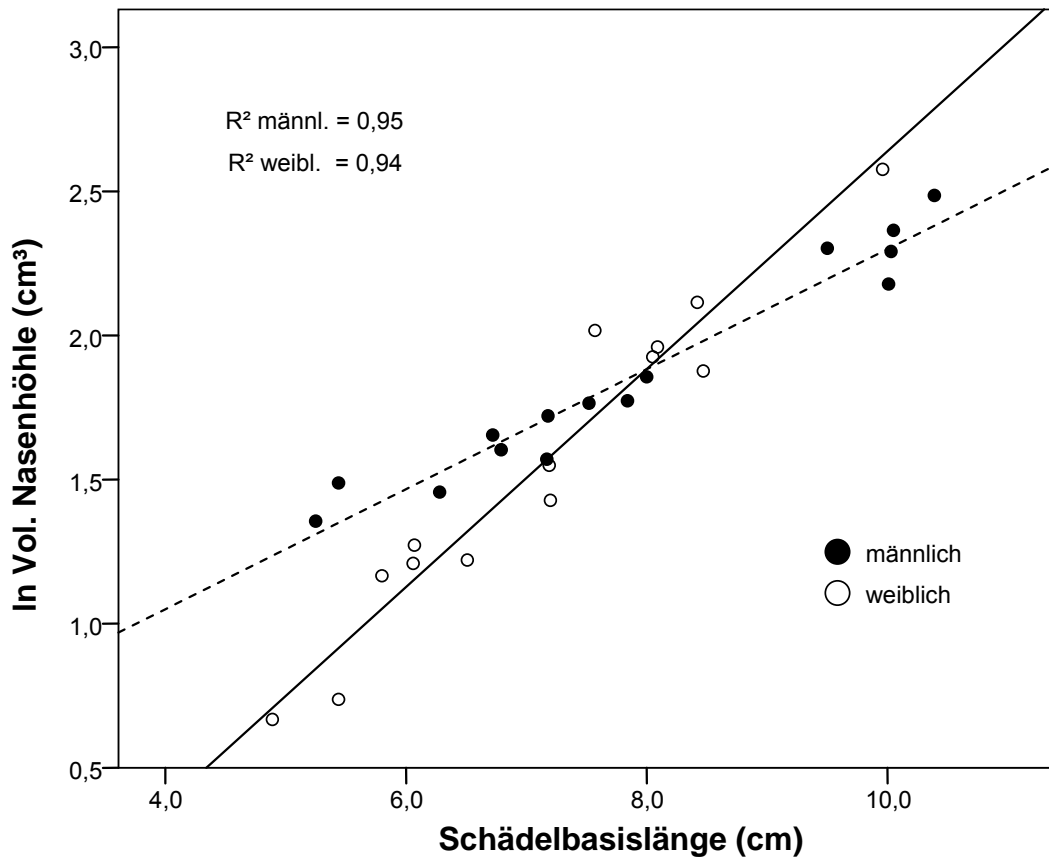


Abb. 19: Entwicklung des Volumens der Nasenhöhle weiblicher und männlicher Tiere von *Macaca fuscata* in Beziehung zur Schädelbasislänge. Die Regressionsgleichungen sind in Tabelle 15 angeführt.

Es wird deutlich, dass das Volumen der Nasenhöhlen beider Geschlechter mit zunehmender Schädelbasislänge kontinuierlich zunimmt. Beachtenswert ist dabei, dass das Nasenhöhlenvolumen bei den weiblichen Individuen zwar bis auf eine Ausnahme geringer ist als das der männlichen, aber nach dieser Untersuchung stärker an Größe zuzunehmen scheint als das der männlichen Tiere.

Das Bestimmtheitsmaß R^2 ist für beide Geschlechter mit 95% bzw. 94% sehr hoch, was auf eine gute Modellanpassung hindeutet.

Im zweiten Teil der Wachstumsuntersuchung verwendeten wir als Bezugsmaß die Gesamtschädellänge. Auch hier setzten wir das

Volumen der Nasenhöhle in Bezug zur Gesamtschädellänge. Anschließend wurde wieder eine Regressionsanalyse, getrennt nach Geschlecht, durchgeführt und das Ergebnis graphisch aufgearbeitet. Das Ergebnis ist in Abbildung 20 dargestellt.

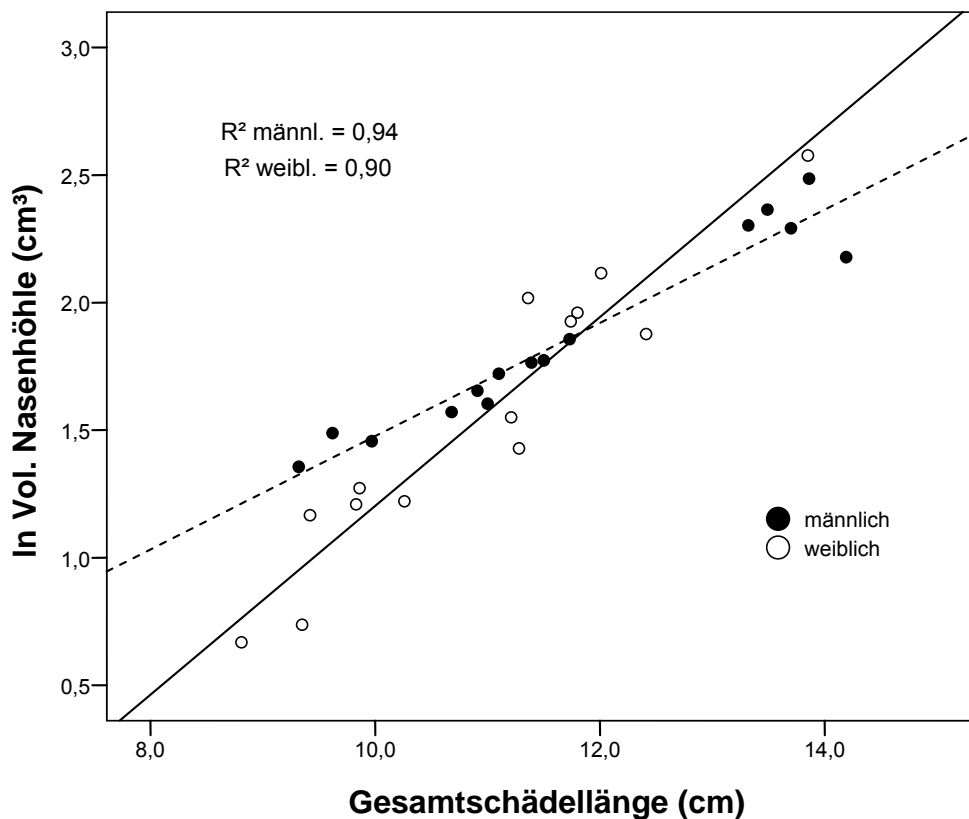


Abb. 20: Entwicklung des Volumens der Nasenhöhle weiblicher und männlicher Tiere von *Macaca fuscata* in Beziehung zur Gesamtschädellänge. Die Gleichungen der Anstiegsgeraden sind in Tabelle 15 aufgeführt.

Der Geschlechtsdimorphismus der Nasenhöhle wurde durch einen Vergleich des Anstieges der Regressionsgeraden der jeweiligen Regressionsgeraden überprüft. Das Ergebnis dieser Analyse ist in Tabelle 10 dargestellt.

Im nächsten Diagramm (Abb. 21) untersuchen wir den Zusammenhang mit Gesichtsschädelvolumen als Prädiktor für das Volumen der Nasenhöhlen.

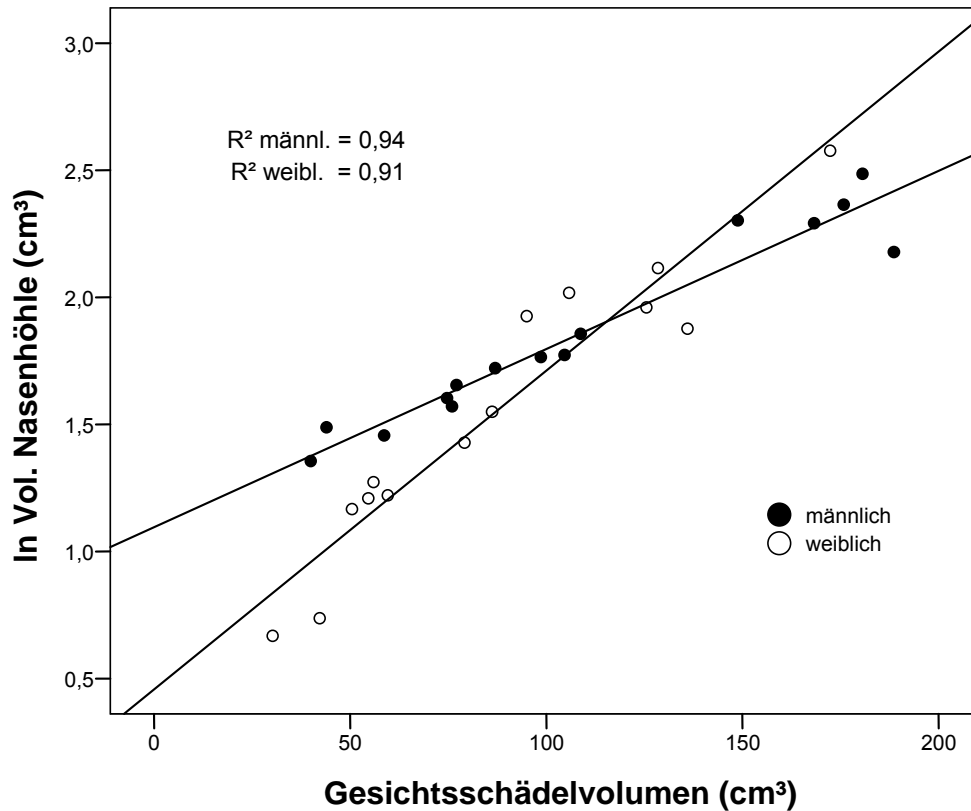


Abb. 21: Entwicklung des Volumens der Nasenhöhle weiblicher und männlicher Tiere von *Macaca fuscata* in Beziehung zum Gesichtsschädelvolumen.

Die Gleichungen der Anstiegsgeraden sind in Tabelle 15 aufgeführt.

Das Volumen der Nasenhöhle der weiblichen Tiere von *Macaca fuscata* ist anfangs kleiner als das der männlichen Tiere, wächst dann aber deutlich stärker und erreicht bei gleicher Schädelbasislänge sogar höhere Werte.

Für die Modellierung der in den Abbildungen 18 bis 21 dargestellten Zusammenhänge wurden allgemeine lineare Modelle benutzt, die als Zielgröße (abhängige Variable) die logarithmierten Nasenhöhlenvolumina und als Prädiktoren (unabhängige Variablen)

das Geschlecht, jeweils ein Schädelmaß und die Wechselwirkung zwischen Geschlecht und dem Schädelmaß verwenden.

Die Regressionsgleichungen für männliche und weibliche Tiere sind getrennt in Tabelle 10 angegeben.

Tab. 10: Ergebnisse der Regressionsanalyse zur Untersuchung des Wachstums der Nasenhöhlen von *Macaca fuscata*. Männliche und weibliche Tiere werden getrennt betrachtet.

Prädiktor x	Geschlecht		R ² Gesamt	t-Wert B _w -B _m
	männlich	weiblich		
Schädelbasislänge	$y=0,22+0,21x$	$y=-1,14+0,38x$	0,95	5,94***
Gesamtschädel- länge	$y=-0,75+0,22x$	$y=-2,50+0,37x$	0,92	4,07***
Gesichtsschädel- volumen	$y=1,10+0,007x$	$y=0,46+0,013x$	0,93	4,85***

$y=\ln(\text{Nasenhöhlenvolumen})$, $x=\text{Prädiktor}$, $R^2=\text{Bestimmtheitsmaß}$

Gesamtmodell, $B_w = \text{Anstieg weiblich}$, $B_m = \text{Anstieg männlich}$, ns:

nicht signifikant; $p < 0,001$

Der bereits bei den graphischen Darstellungen vermutete Geschlechtsdimorphismus konnte durch den t-Test nachgewiesen werden. Es zeigte sich ein signifikanter Geschlechtsunterschied beim Wachstumsverhalten der Nasenhöhlen. Ein Vergleich der Anstiegsgeraden bestätigt das schnellere Wachstum der Nasenhöhle bei den weiblichen Individuen gegenüber den männlichen.

4.3 Geschlechtsdimorphismus des Schädels von *Macaca fuscata*

Im vorhergehenden Abschnitt (siehe Tab. 10) wurde ausgeführt, dass im Zusammenhang zwischen Gesamtschädellänge und Nasenhöhlenvolumen in der Wachstumsphase der Tiere ein Geschlechtsdimorphismus nachweisbar ist. Für die Prognose des Nasenhöhlenvolumens ergaben sich bei männlichen und weiblichen Tieren signifikant unterschiedliche Anstiege für folgende Merkmale: Schädelbasislänge, Obergesichtshöhe, Gesichtsschädelvolumen, Gesamtschädellänge, Gesichtsschädellänge, Maxilloalveolarbreite und die Gaumenbreite. In jedem Fall waren die Anstiege für die weiblichen Tiere höher als die der männlichen Tiere.

Jetzt wurde untersucht, ob es weitere geschlechtsspezifische Zusammenhänge zwischen den primären Schädelmaßen gibt. Als Basis wurde dabei einheitlich die Gesamtschädellänge als unabhängige Variable (x-Achse) gewählt und die übrigen Schädelmaße übernehmen abwechselnd die Rolle der abhängigen Variable (y-Achse).

Auch hier haben wir wieder die Technik der allgemeinen linearen Modelle verwendet, mit der wir im Rahmen eines geschlossenen Modells die Signifikanz eines möglichen Geschlechtsdimorphismus mit Hilfe eines statistischen Tests überprüfen können.

In keinem Fall konnte ein signifikanter Einfluss des Geschlechts nachgewiesen werden. Das bedeutet, mit Ausnahme des Nasenhöhlenvolumens kann man alle anderen Schädelmaße aus der Gesamtschädellänge prognostizieren, ohne dabei eine Geschlechtsspezifität berücksichtigen zu müssen.

Exemplarisch werden im Folgenden einige derartige Zusammenhänge grafisch dargestellt, wieder mit Kurvenanpassungen für männliche und weibliche Tiere getrennt (Abb.22 bis 25).

Die Anstiege für männliche und weibliche Tiere sind nahezu identisch.

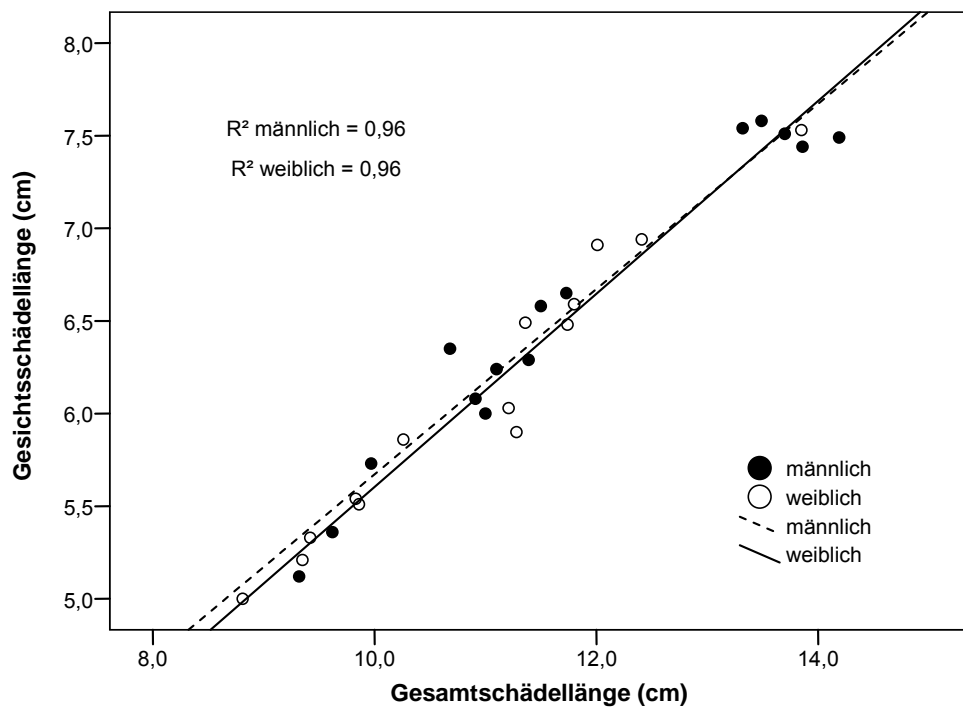


Abb. 22: Entwicklung der Gesichtsschädellänge weiblicher und männlicher Tiere von *Macaca fuscata* in Beziehung zur Gesamtschädellänge.

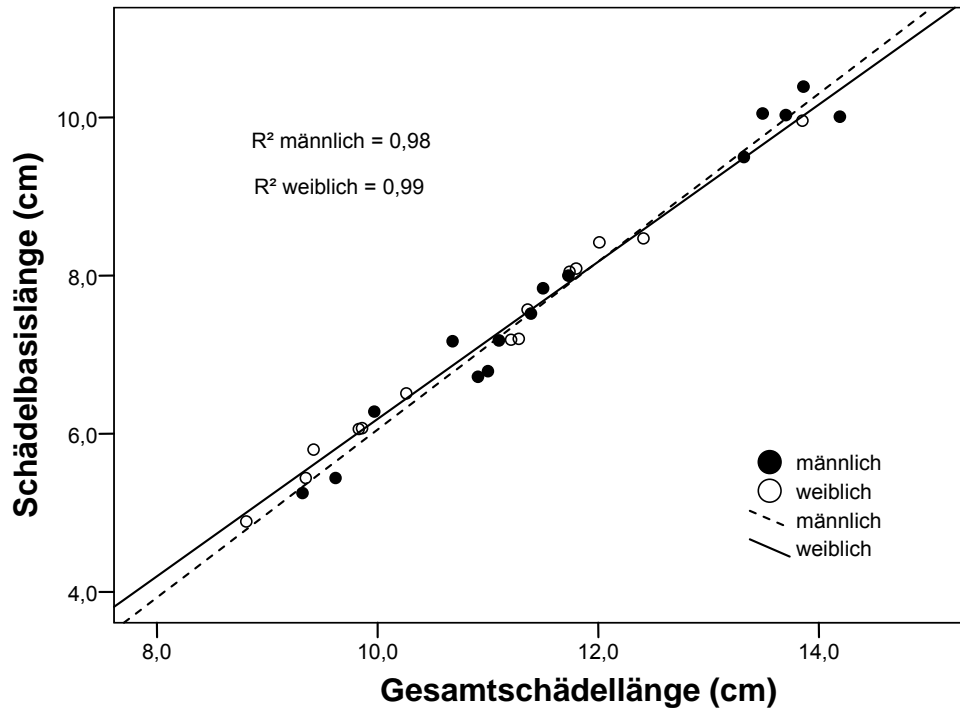


Abb. 23: Entwicklung der Schädelbasislänge weiblicher und männlicher Tiere von *Macaca fuscata* in Beziehung zur Gesamtschädellänge.

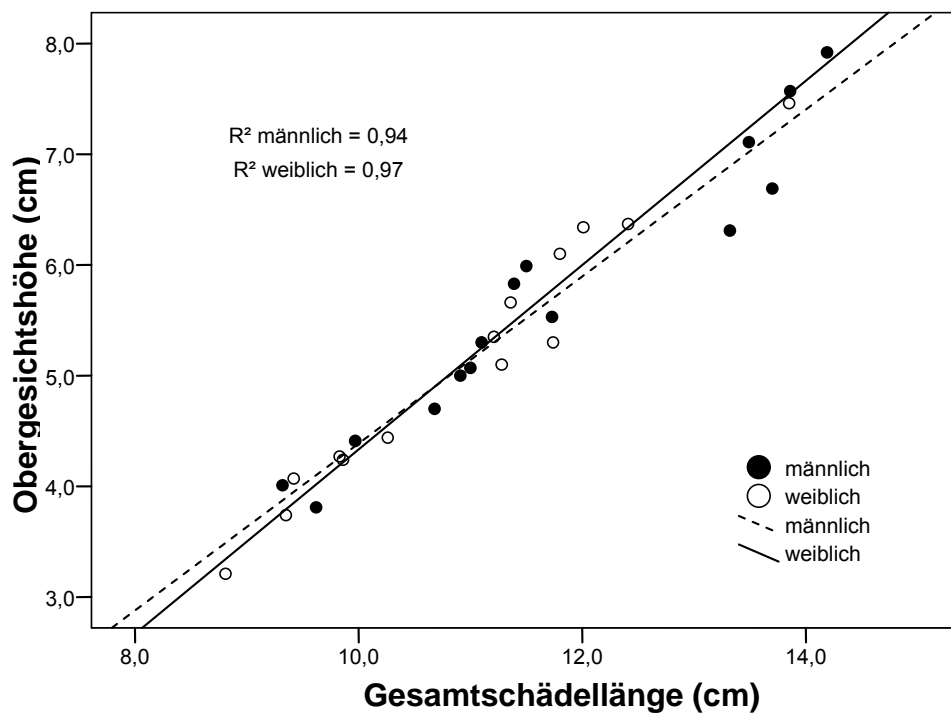


Abb. 24: Entwicklung der Obergesichtshöhe weiblicher und männlicher Tiere von *Macaca fuscata* in Beziehung zur Gesamtschädellänge.

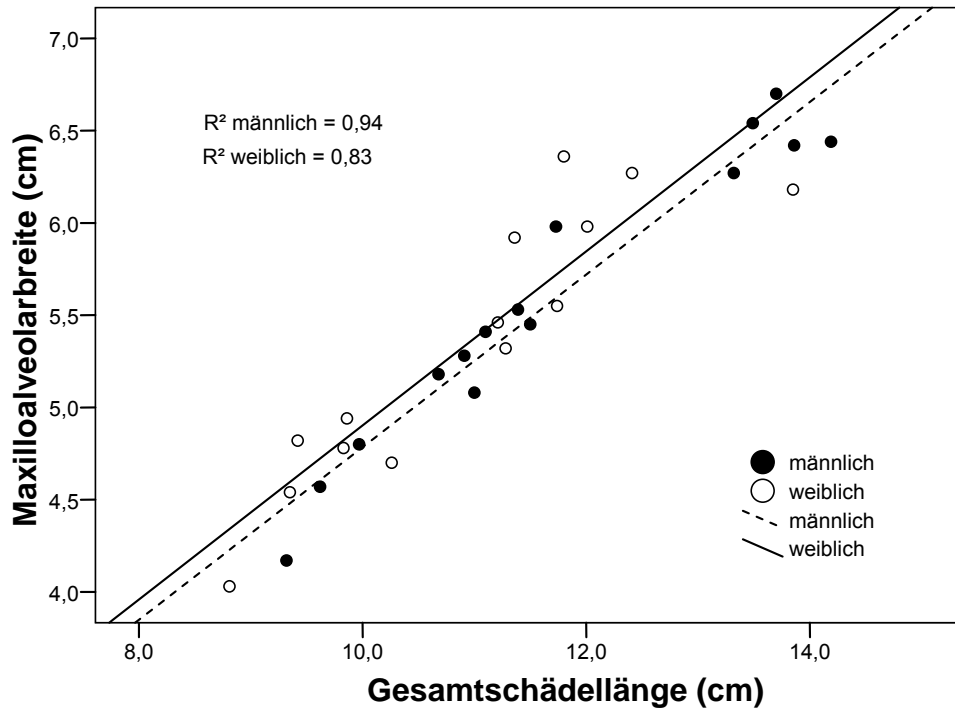


Abb. 25: Entwicklung der Maxilloalveolarbreite weiblicher und männlicher Tiere von *Macaca fuscata* in Beziehung zur Gesamtschädellänge.

4.4. Korrelations- und Regressionsanalyse

Nach der deskriptiven Analyse der einzelnen Schädelmaße bei *Macaca fuscata* betrachten wir nun die Zusammenhänge zwischen diesen mittels einer Korrelationsanalyse. Neben den Interkorrelationen zwischen allen Merkmalen interessierte uns insbesondere, welche Schädelmaße für eine Prognose der Nasenhöhlenvolumina geeignet sind.

Einen Überblick über die Ergebnisse dieser Untersuchung, bei der die Individuen beiderlei Geschlechts zusammengefasst wurden, gibt Tabelle 11. Ein statistisch signifikanter Zusammenhang lässt sich für alle untersuchten Schädelmaße belegen.

Tab. 11: Korrelationsanalyse zwischen ausgewählten Schädelmaßen und dem Volumen der Nasenhöhle. Männliche und weibliche Individuen sind zusammengefasst (n=29).

	2	3	4	5	6	7
1 Nasenhöhlenvolumen	0,93**	0,92**	0,94**	0,87**	0,93**	0,64**
2 Gesichtsschädellänge		0,96**	0,99**	0,95**	0,98**	0,72**
3 Obergesichtshöhe			0,97**	0,93**	0,98**	0,80**
4 Schädelbasislänge				0,95**	0,99**	0,76**
5 Maxilloalveolarbreite					0,94**	0,72**
6 Gesamtschädellänge						0,78**
7 Volumen Sin.max. re						

**p < 0.01; n Anzahl der untersuchten Individuen

Alle Schädelmaße sind untereinander hochgradig interkorreliert. Die Korrelation des Sinus maxillaris zu den übrigen Schädelmaßen ist deutlich geringer. Besonders hoch ist die Korrelation des Nasenhöhlenvolumens zur Schädelbasislänge.

Das folgende Matrixstreudiagramm in der Abbildung 26 kann als eine bildhafte Darstellung der Korrelationsmatrix (Tabelle 11) angesehen werden.

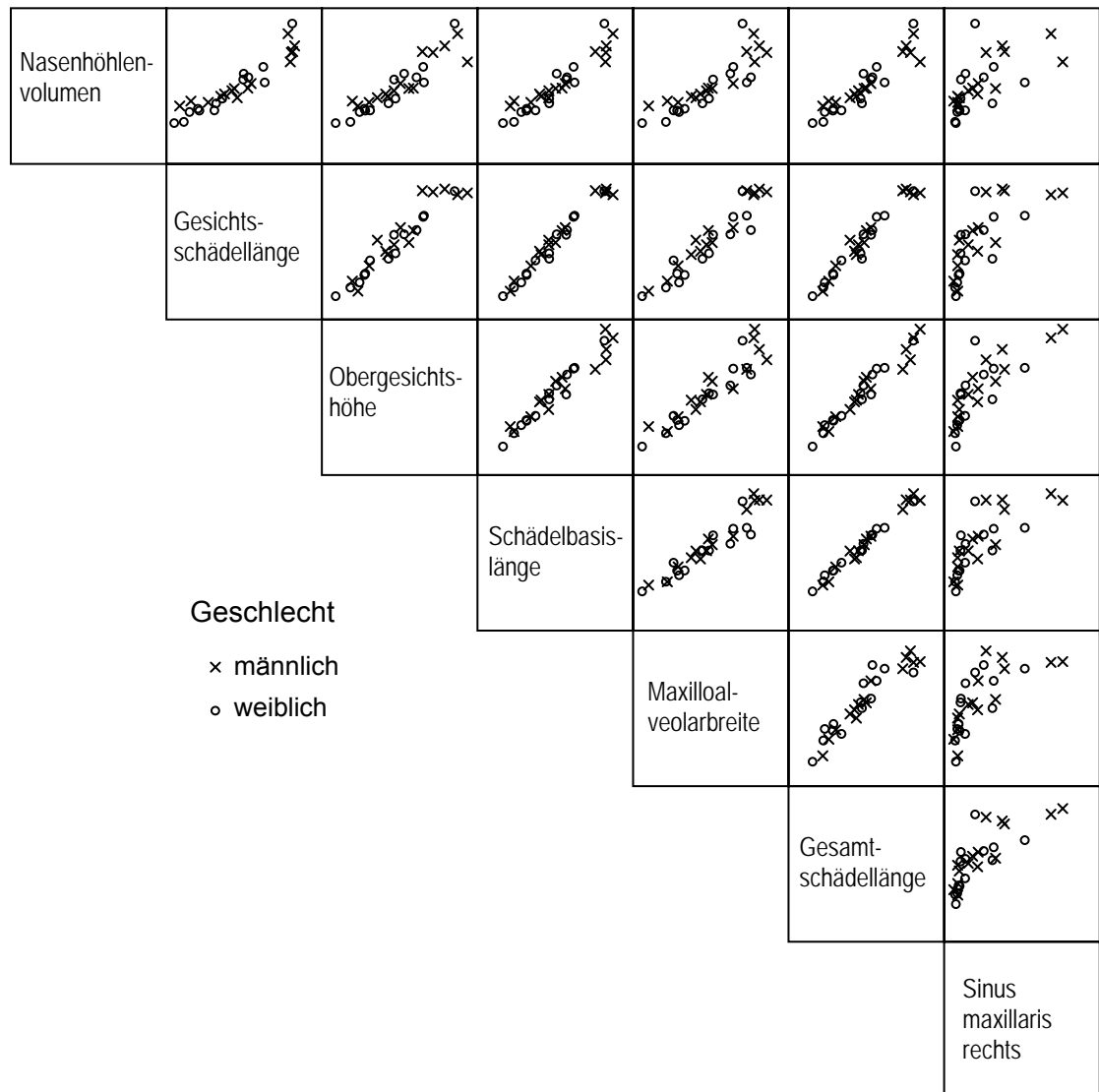


Abb. 26: Streudiagramme zwischen den Schädelmaßen von *Macaca fuscata* getrennt nach dem Geschlecht

Abgesehen vom Sinus maxillaris sind die Zusammenhänge zwischen allen Merkmalen sehr stark ausgeprägt. Besonders eng sind diese zwischen Gesamtschädellänge, Schädelbasislänge und Gesichtsschädellänge. Während es sich bei den letztgenannten Merkmalen um einfache lineare Maße handelt, ist das Nasenhöhlenvolumen ein Rauminhalt. Deshalb ist in allen Streudiagrammen mit Nasenhöhlenvolumen eine Nichtlinearität erkennbar. Ähnlich verhält es sich beim Sinus maxillaris.

Eine Berechnung der partiellen Korrelationen zwischen dem Nasenhöhlenvolumen und den externen Schädeldaten bei ausgeblendetem Einfluss von Schädelbasislänge zeigt, dass keine signifikant von Null verschiedenen Korrelationen übrig bleiben. Die Daten der Analyse sind der Tabelle 12 zu entnehmen.

Tab. 12: Pearson's Korrelationskoeffizient und partielle Korrelationskoeffizienten zwischen dem Volumen der Nasenhöhle und externen Schädeldaten. Männliche und weibliche Individuen sind zusammengefasst (n=29).

Korrelierende Merkmalspaare	r	r'
Nasenhöhlenvolumen mit		
Gesamtschädellänge	0,932**	0,021 ^{ns}
Gesichtsschädellänge	0,933**	0,107 ^{ns}
Obergesichtshöhe	0,916**	0,068 ^{ns}
Maxilloalveolarbreite	0,870**	-0,198 ^{ns}
Gesichtsschädelvolumen	0,938**	0,204 ^{ns}
Vol. des Sinus max. re	0,639**	-0,317 ^{ns}

Konstante: Schädelbasislänge; r: Pearson's Korrelationskoeffizient; r': partieller Korrelationskoeffizient; **: p < 0,01; ^{ns}: nicht signifikant; n= Anzahl der untersuchten Individuen

Wie schon in der einfachen Korrelationsanalyse dargestellt, besteht ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen dem Nasenhöhlenvolumen und den jeweiligen Schädelmaßen. Diese Korrelationen zeigen sich jedoch bei konstant gehaltener Schädelbasislänge nicht mehr.

Die in der Korrelationsanalyse nachgewiesenen Zusammenhänge zwischen dem Wachstum der Nasenhöhle und dem Wachstum ausgewählter Schädelmaße wurden mit einer einfachen linearen Regressionsanalyse von ausgewählten Parametern in Tabelle 13 und 14 dargestellt.

Tab. 13: Ergebnisse der linearen Regression zur Untersuchung des Wachstums externer Schädelmaße von *Macaca fuscata* in Abhängigkeit von der Gesamtschädellänge.

Zielgröße y	Regressionsgleichung	R ²
Schädelbasislänge	$y = -4,17 + 1,03 x$	0,98
Gesichtsschädellänge	$y = 0,51 + 0,51 x$	0,96
Obergesichtshöhe	$y = -3,47 + 0,78 x$	0,95
Maxilloalveolarbreite	$y = 0,26 + 0,46 x$	0,89
Gaumenlänge*)	$y = -3,50 + 0,64 x$	0,92
Gaumenbreite	$y = -0,18 + 0,17 x$	0,88
Dreiecksumfang Gesichtsschädel	$y = -3,56 + 1,16 x$	0,98
Dreiecksfläche Gesichtsschädel	$y = -28,17 + 4,00 x$	0,98
Sinus maxillaris	$\ln(y) = -7,53 + 0,60 x$	0,71
Gesichtsschädelvolumen	$y = -244,58 + 30,23 x$	0,97

x=Gesamtschädellänge, y=Zielgröße, R²=Bestimmtheitsmaß

alle Zusammenhänge sind signifikant (p<0,001)

*) ohne Ausreißer berechnet

Tab. 14: Pearson's Korrelationskoeffizienten und partielle Korrelationskoeffizienten zwischen dem Volumen des Gesichtsschädels und externen Schädeldaten. Männliche und weibliche Individuen sind zusammengefasst (n=29).

Korrelierende Merkmalspaare	r	r'
Gesichtsschädelsvolumen mit		
Schädelbasislänge	0,987***	0,458*
Gesichtsschädellänge	0,976***	0,310 ^{ns}
Obergesichtshöhe	0,982***	0,558**
Maxilloalveolarbreite	0,951***	0,398*
Gaumenlänge	0,933***	0,521**
Gaumenbreite	0,941***	0,276 ^{ns}
Dreiecksumfang Gesichtsschädel	0,992***	0,669***
Dreiecksfläche Gesichtsschädel	0,996***	0,848***
Sinus maxillaris gesamt	0,797***	0,304 ^{ns}

Konstante: Gesamtschädellänge; r: Pearson's Korrelationskoeffizient; r': partieller Korrelationskoeffizient; ***: p< 0,001; **: p< 0,01; *: p< 0,05; ^{ns}: nicht signifikant; n= Anzahl der untersuchten Individuen

4.5 Vergleich lokaler Populationen von *Macaca fuscata*

Im letzten Teil der Arbeit wurden verschiedene Individuen lokaler Populationen von *Macaca fuscata* unterschiedlicher geographischer und klimatischer Regionen verglichen.

Einen Überblick über die Mittelwerte der Nasenhöhlenvolumina gibt Tabelle 15.

Tab. 15: Mittelwerte und Standardabweichungen der Nasenhöhlenvolumina von *Macaca fuscata* der Individuen verschiedenen Regionen. Angaben in cm³

Region	n	\bar{x}	SD
Kinkazan	8	10,785	1,3432
Shimokita	8	10,72	1,1871
Yakushima	8	8,825	0,9946
Koshima	6	10,205	0,8496
Shodoshima	7	13,82	0,791

N= Anzahl, \bar{x} = Mittelwert, SD = Standardabweichung. Männliche und weibliche Tiere werden zusammengefasst.

Es zeigt sich ein Unterschied des Mittelwertes zwischen den größten Volumina (Region um Shodoshima) und den kleinsten (Region um Yakushima) von fast 150%. Die übrigen Regionen weisen im Mittel ein ähnliches Volumen auf.

Um zu überprüfen, ob das Volumen der Nasenhöhle eine Funktion des Gesichtsschädelvolumens ist, wurde zunächst eine Regressionsanalyse durchgeführt. Mit zunehmendem Gesichtsschädelvolumen nimmt auch das Volumen der Nasenhöhle zu (Abb. 27).

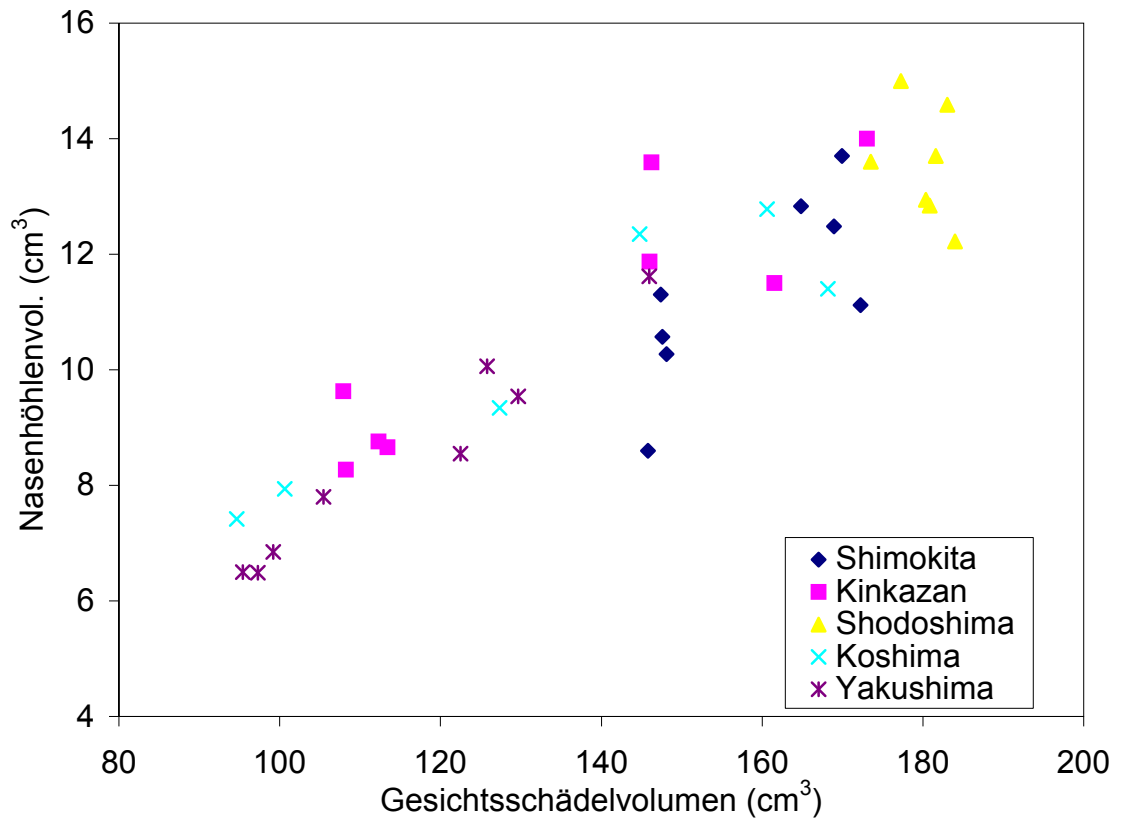


Abb. 27: Graphische Darstellung der Regressionsanalyse des Gesichtsschädelvolumens und des Volumens der Nasenhöhle der verschiedenen Populationen von *Macaca fuscata*.

Regressionsgleichung: $y = 0,141 + 0,075x$, $R = 0,9094$.

Es zeigt sich ein enger Zusammenhang zwischen den untersuchten Volumina.

Nun folgte die Betrachtung der einzelnen Populationen. Dabei wurde mit Hilfe einer ANOVA überprüft, ob zwischen den Mittelwerten der Populationen Unterschiede bestehen. Das Ergebnis der ANOVA ist in Tabelle 16 zu sehen. Graphisch erfolgte die Darstellung der Untersuchung in Abbildung 28.

Tab. 16: Einfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) der Daten aus Tabelle 20.

Quellendaten	Quadratsumme	Freiheitsgrade	Mittel der Quadrate	Varianz (F)	Signifikanz
Zwischen den Gruppen	102,827	4	25,707	7,4	0,001
Innerhalb der Gruppen	111,160	32	3,474		
Gesamt	213,987	36			

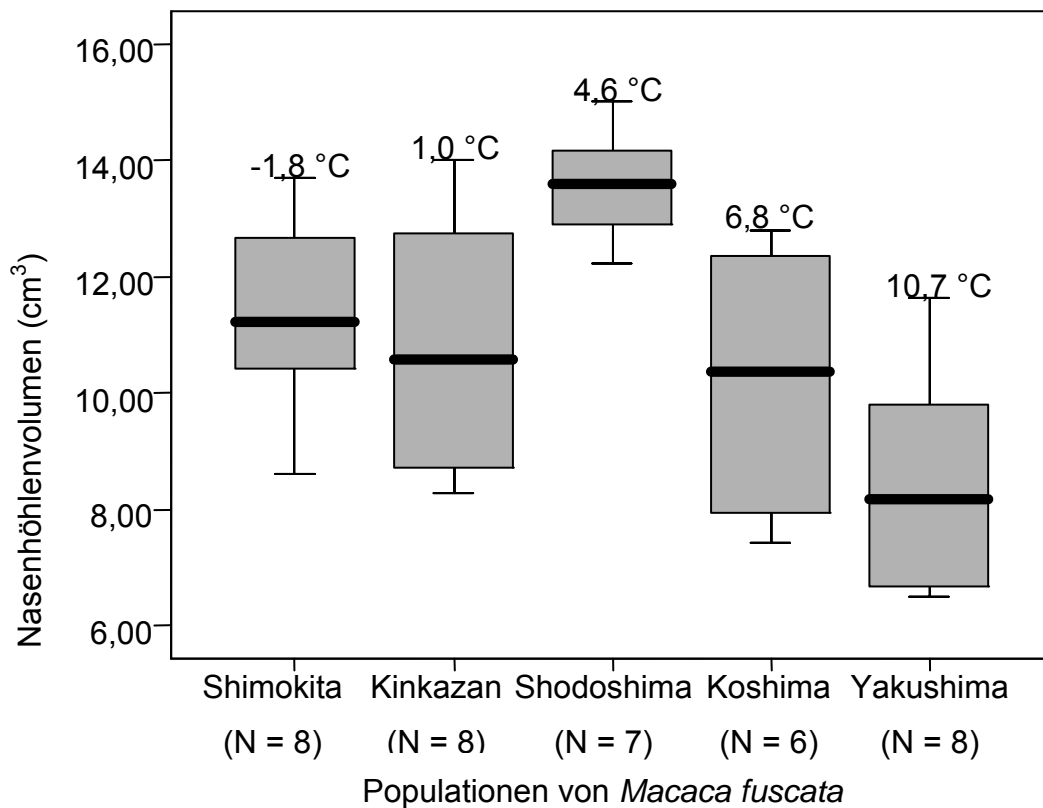


Abb. 28: Boxplots zur Darstellung der Unterschiede in den Nasenhöhlenvolumina von *Macaca fuscata* der einzelnen Populationen. N = Anzahl der Individuen, oberhalb der Balken ist die durchschnittliche Temperatur im Januar eingetragen

Wie aus der Tabelle 14 und der Abbildung 28 zu erkennen ist, zeigt sich ein Unterschied zwischen den einzelnen Populationen im globalen Vergleich. Daraufhin wurde ein PostHoc Test nach Bonferroni durchgeführt, um zu prüfen, wo genau die Unterschiede liegen. Die Ergebnisse dieser Untersuchung sind in der Tabelle 17 dargestellt.

Tab. 17: Bonferroni-Test für die Mittelwerte der Nasenhöhlenvolumina der einzelnen Populationen von *Macaca fuscata*.

	Populationen			
	Kinkazan	Shodoshima	Koshima	Yakushima
Shimokita	n.s.	n.s.	n.s.	S
Kinkazan		n.s.	n.s.	n.s.
Shodoshima			S	S
Koshima				n.s.

S = Signifikanz der mittleren Differenz ($p < 0,05$)

n.s. = nicht signifikant

Die Untersuchungen im Populationsvergleich deuten darauf hin, dass das Volumen der Nasenhöhle mit zunehmender Januar­temperatur kleiner wird.

5. Diskussion

5.1 Wachstumsanalyse der Nasenhöhle

Die in unserer Studie ermittelten Volumenangaben ermöglichen eine genaue Vorstellung über die Größe der Nasenhöhle. In der vorliegenden Untersuchung kann mit zunehmender Altersstufe ein steigendes Volumen der Nasenhöhle nachgewiesen werden. Der größte Volumenzuwachs zeigte sich sowohl bei den männlichen als auch den weiblichen Individuen im Übergang von Altersstufe 3 zu Altersstufe 4. Da das exakte biologische Alter der Tiere nicht bekannt war, musste eine Bezugsgröße verwendet werden. Eine einfach zu erhebende und ausreichend genaue Bezugsgröße zur Erfassung des Volumens des Gesichtsschädels ist das von uns verwendete Gesichtsschädelvolumen (Rae and Koppe, 2000)

In unserer Untersuchung weist die Nasenhöhle der weiblichen Individuen gegenüber den männlichen Individuen einen deutlich schnelleren Größenzuwachs bis zur Altersstufe 3 auf. Erst im Bereich des größten Volumenzuwachses, von Altersgruppe 3 zu 4, ist die Größenzunahme bei den männlichen Individuen stärker (Tab. 8). In Relation zur Schädelbasislänge zeigte sich ein über alle Altersstufen hinweg deutlich stärkeres Wachstum der weiblichen Individuen, welches das der männlichen Individuen insbesondere gegen Ende des Wachstums sogar noch übertrifft. Analog dazu kann auch beim Gesichtsschädelvolumen beider Geschlechter der größte Zuwachs zwischen der Altersstufe 3 und 4 verzeichnet werden. Ein Vergleich mit der vorherrschenden Literatur zeigt keine Studien zum Geschlechtsdimorphismus des Wachstums der Nasenhöhle bei *M. fuscata*, so dass weitere Untersuchungen zu diesem Thema nötig sind, um die von uns gemachten Aussagen zu überprüfen.

Zwar wurden schon, wie bereits in den vorangegangenen Kapiteln erwähnt, mehrere Studien über das Wachstum des Schädels bei *M. fuscata* durchgeführt (Ikeda and Watanabe, 1966), jedoch sind nur wenige Studien über das Wachstum der Nasenhöhle veröffentlicht worden. Enlow (1966) untersuchte das Schädelwachstum von *M. mulatta* im generellen ohne besondere Berücksichtigung der Nasenhöhle sowie eines möglichen Geschlechtsdimorphismus.

Zumpano and Richtsmeier (2003) untersuchten das Wachstum einer anderen Makakenspezies, *M. nemestrina*, aber auch sie gingen nicht auf das Wachstum der Nasenhöhle im Speziellen ein.

Moderne klinische Untersuchungsmethoden, wie z.B. die akustische Rhinomanometrie, sind in ihrer Aussagekraft begrenzt (Kaise et al., 1999; Ho et. al., 1999). So kann mit der akustischen Rhinomanometrie nicht sicher der Bereich um die Kieferhöhlenostien ausgewertet werden, da dieser Bereich sehr variabel ist und sich einer genauen automatisierten Meßmethode entzieht. Lediglich die anterioren Abschnitte der Nasenhöhle können mit dieser Methode exakt vermessen werden (Mlynski R et al., 2005).

Die von uns durchgeführten Untersuchungen sind trotz des stark erhöhten Aufwandes gegenüber z.B. der Rhinomanometrie unentbehrlich, da sie eine verlässliche Anatomie der gesamten Nasenhöhle zeigen konnten und somit ein exaktes Bild des Wachstums der Nasenhöhle geben.

Ein durchgeführter t-Test bestätigte den durch die Graphiken bereits vermuteten Geschlechtsdimorphismus der Nasenhöhle von *Macaca fuscata*. Dieser Geschlechtsdimorphismus findet sich auch in anderen Strukturen des Mittelgesichtes. So zeigten bereits Untersuchungen zum Wachstum des Sinus maxillaris bei Menschen von Schaeffer (1920) dass männliche Individuen signifikant größere Sinus maxillares aufwiesen als weibliche Individuen. Spätere

Untersuchungen (z.B. Nowak und Mehliß, 1975) bestätigten die von Schaeffer (1920) gewonnenen Erkenntnisse.

Blaney (1986) untersuchte den Geschlechtsdimorphismus des Sinus frontalis bei afrikanischen Affen und fand, dass die externe Morphologie des Schädels einen starken Einfluss auf den Geschlechtsdimorphismus der Sinus hat.

Auch für *Macaca fuscata* konnte ein Geschlechtsdimorphismus im Wachstum des Sinus maxillaris bestätigt werden (Koppe et. al., 1995). Im Rahmen einer Untersuchung des Sinus maxillaris der Orang-Utans zeigte sich, dass männliche Individuen über einen längeren Zeitraum wachsen als weibliche (Koppe et. al., 1995). Die dort gewonnenen Ergebnisse sprechen dafür, dass dies vermutlich sowohl für andere Altweltaffen zutrifft (Shea, 1986; Ravosa, 1991), als auch für *Macaca fuscata* (Mouri, 1994). Die in dieser Studie vorliegenden Ergebnisse lassen ebenfalls vermuten, dass diese These auch für die Nasenhöhle von *M. fuscata* zutrifft.

In unserer Arbeit konnte kein signifikanter Einfluss des Geschlechts auf die untersuchten Schädelmaße von *M. fuscata* nachgewiesen werden. Mit Ausnahme der Nasenhöhle lassen sich somit alle untersuchten Schädelmaße aus der Gesamtschädellänge prognostizieren, ohne dabei eine Geschlechtsspezifität berücksichtigen zu müssen. Inwiefern dieser Sachverhalt auch auf andere Primatenspezies zutrifft, muss weiteren Untersuchungen vorbehalten bleiben.

Weitere Studien an verwandten Spezies sind nötig, um zu überprüfen, inwiefern externe Faktoren (Blaney 1986) das Wachstum beeinflussen und um die Anwendbarkeit auf andere Mittelgesichtsstrukturen zu untersuchen. Dafür besonders geeignet sind Spezies wie *M. mulatta* und *M. fascicularis*, da sie in den meisten Schädelmaßen einen größeren Dimorphismus aufweisen als *M. fuscata* (Mouri, 1995).

Die starke lineare Abhängigkeit zwischen den einzelnen Schädelmaßen deutet darauf hin, dass zur Prognose des Nasenhöhlenvolumens nur ein einziges Merkmal benötigt wird.

Unsere Untersuchungen deuten darauf hin, daß sich dafür besonders die Schädelbasislänge anbietet, da sie mit dem Nasenhöhlenvolumen die höchste Korrelation aufweist. Durch die hohe Korrelation der Schädelmaße mit dem Nasenhöhlenvolumen lässt sich ein Einfluss des Gesichtswachstums auf das Wachstum der Nasenhöhle bei *M. fuscata* ableiten. Dieser Einfluss ist jedoch allein als Erklärung für das Wachstum der Nasenhöhle nicht ausreichend, da die Untersuchungen an den Individuen aus den bekannten Regionen ein deutlich unterschiedliches Volumen aufwiesen (Tab. 15 bzw. Abb. 28).

Da bei den Schädeln, die zur Wachstumsanalyse zur Verfügung standen, die genaue Herkunft nicht mehr nachweisbar war, können bei der hier durchgeführten Untersuchung keine regionalen Eigenheiten berücksichtigt werden, die einen Einfluss auf das Wachstum der Nasenhöhle hätten haben können. Trotz der insgesamt zahlreich zur Verfügung stehenden Schädel ist die Anzahl der einzelnen Altersgruppen, insbesondere nach der Aufteilung in Geschlechter, sehr gering. Wünschenswerter wäre eine größere Stichprobenanzahl aus definierten Regionen. Leider konnten die Schädel des Speziesvergleiches, bei denen die Regionen bekannt waren, nicht zur Wachstumsanalyse herangezogen werden, da es sich dort lediglich um adulte Tiere handelte.

5.2 Vergleich lokaler Populationen von *Macaca fuscata*

Unsere Untersuchungen deuten darauf hin, dass das Volumen der Nasenhöhle bei Makaken in wärmeren Regionen kleiner ist als bei den japanischen Makaken in kälteren Regionen.

Ähnliche Befunde wurden von Rae et al. (2003) ebenfalls an japanischen Makaken erhoben. Die von diesen Autoren postulierten Zusammenhänge basieren allerdings lediglich auf dem Vergleich von Flächenwerten der Cavitas nasi.

Auch für andere Körpermaße von *Macaca*, z.B. Größe (Albrecht, 1980; Albrecht and Miller, 1993) und Schwanzlänge (Fooden and Albrecht, 1999) konnte ein klimatischer Einfluss gezeigt werden.

Shea (1977) untersuchte verschiedene Eskimopopulationen und beobachtete, dass das Volumen des Sinus maxillaris bei Eskimopopulationen mit sinkender Temperatur geringer wurde. Gleichzeitig stieg das Volumen der Nasenhöhle mit abnehmender Temperatur.

Zusammen mit den von Rae et al. (2003) und Shea (1977) erhobenen Befunden sind die gewonnenen Ergebnisse ein Hinweis auf die Bedeutung der Nasenhöhle und dem auskleidenden Epithel bei der Erwärmung und Anfeuchtung der Atemluft. Bereits 1964 zeigten Jackson and Schmidt-Nielsen, dass die Temperatur im Bereich des Nasopharynx bei Säugetieren der Körperkerntemperatur gleicht. Auch für Vögel wurde dies bestätigt (Geist, 2000). Diese Untersuchungen sprechen für einen fehlenden Temperatureaustausch in der Trachea und unterstützen die These, dass die Thermoregulation der Atemluft im Wesentlichen in der Nase stattfindet (u.a. Hillenius and Rubens, 2004).

Die Hauptaufgabe kommt dabei dem respiratorischen Epithel zu, das die Nasenhöhle und vor allem die Nasenmuscheln auskleidet. Es übernimmt die Thermoregulation, aber auch die Anfeuchtung der Atemluft (Jackson and Schmidt-Nielsen, 1964; Hillenius 1992; 1994; Geist, 2000). Bei wechselwarmen Tieren fehlen die mit

respiratorischem Epithel ausgekleideten Nasenmuscheln vollständig (Witmer, 1995).

Rae et al. (2003) untersuchten auch Beziehungen der Nasenhöhle zu klimatischen Einflüssen. Dabei benutzten sie einen so genannten Nasenhöhlenindex. Zunächst wurde dafür ein Index für die Nasenoberfläche gebildet, indem die Fläche der Nasenhöhle von CT- Bildern im Bereich des ersten, zweiten und dritten Molaren addiert wurde. Die Quadratwurzel dieses Index wurde durch die Kubikwurzel des Gesichtsschädelvolumens geteilt und ergab so den Nasenhöhlenindex. Da die Nasenhöhle eine dreidimensionale Struktur ist, ist die Wahl dieses Indexes problematisch. Es kann auf Grund anatomischer Besonderheiten zu Verfälschungen der Werte kommen, da sich dann die Oberfläche überproportional vergrößern bzw. verkleinern kann. Trotz dieses Indexes spiegeln die Ergebnisse von Rae et al. (2003) im Wesentlichen die von uns gefundenen Variationen wieder.

Obwohl eine starke Korrelation zwischen den beiden in Frage kommenden Variablen nicht notwendigerweise eine direkte kausale Verbindung nachweist, zeigen die von uns gefundenen Ergebnisse, dass sich signifikante temperaturbedingte Veränderungen am Volumen der Nasenhöhle ergeben. Dabei steigt das Volumen der Nasenhöhle mit sinkender Temperatur, während das Volumen der Sinus maxillares mit sinkender Temperatur abnimmt. Dies lässt Zweifel an der häufig aufgestellten These zu, dass die Nasennebenhöhlen den Zweck der Anfeuchtung der Atemluft haben (u.a. Blanton and Biggs, 1969; Jones 2001)

Das vergrößerte Volumen der Nasenhöhle in der Region Shodoshima wird auch in den von Rae et al. (2003) durchgeführten Untersuchungen bestätigt. Hier kommt es in der Region Shodoshima zu einem größeren Nasenhöhlenindex. Die Werte von Shodoshima sprechen sowohl in unserer als auch der von Rae et

al. (2003) gemachten Untersuchung dafür, dass weitere Einflüsse auf das Volumen der Nasenhöhle einwirken. So stellen Fooden and Albrecht (1993) heraus, dass das Bewohnen von Inseln mit der damit einhergehenden Isolation der Population einen Einfluss auf die Morphologie von *Macaca* hat.

Hylander (1977) und Preuschoft et al. (2002) konnten zeigen, dass unterschiedlich starke Kaudrücke zu charakteristischen Veränderungen am Schädel von Primaten führen. Basierend auf solchen Überlegungen postuliert Antón (1996), dass die morphologischen Variationen des Gesichtsschädels zwischen *M. fuscata* und anderen Makakenarten (*M. mulatta*, *M. fascicularis* sowie *M. nemestrina*) mit verschiedenen Ernährungsgewohnheiten verbunden sind und nicht auf klimatische oder geographische Einflüsse zurückzuführen sind. Tatsächlich unterscheiden sich die Hauptnahrungsquellen von *M. fuscata* in den verschiedenen lokalen Populationen in ihrer Konsistenz und ihrem Energiegehalt (Nakagawa, 1997).

Die Ergebnisse sprechen dafür, dass auch die Ernährungsgewohnheiten einen Einfluss auf das Volumen der Nasenhöhle haben könnten, obwohl die Beziehungen zwischen der Kaubelastung und der Pneumatisation des Gesichtsschädels zum momentanen Zeitpunkt noch weitgehend unbekannt sind.

5.3. Schlussfolgerungen

Unter Bezugnahme auf die in der Einleitung formulierten Ziele dieser Arbeit kommen wir zu folgenden Ergebnissen:

1. Die Nasenhöhle von *Macaca fuscata* zeigt in Form und Volumen eine große Variabilität. Bei den männlichen Tieren ist sie in der Altersgruppe 1 mit $4,2 \text{ cm}^3$ annähernd doppelt so groß wie bei den weiblichen Tieren ($2,4 \text{ cm}^3$), jedoch ist bei ausgewachsenen Tieren die Größe angeglichen ($10,3 \text{ cm}^3$ bei männlichen Tieren und $8,8 \text{ cm}^3$ bei weiblichen Tieren).
2. Sowohl bei den männlichen als auch bei den weiblichen Tieren ist das Wachstum der Nasenhöhle kontinuierlich. Beachtenswert ist dabei, dass das Nasenhöhlenvolumen bei den weiblichen Individuen zwar bis auf eine Ausnahme geringer ist als das der männlichen, aber in unseren Untersuchungen stärker an Größe zunimmt als das der männlichen Tiere. Ein statistisch signifikanter Geschlechtsdimorphismus des Wachstums der Nasenhöhle konnte nachgewiesen werden.
3. Die unterschiedlichen Populationen von *M.fuscata* unterscheiden sich hinsichtlich der Größe der Nasenhöhle untereinander. Es zeigte sich ein signifikanter Unterschied des Mittelwertes zwischen den größten Volumina (Region um Shodoshima) und den kleinsten (Region um Yakushima). Die Untersuchungen im Populationsvergleich zeigen, dass das Volumen der Nasenhöhle mit zunehmender Januar-temperatur kleiner wird.

4. In unserer Arbeit konnte kein signifikanter Einfluss des Geschlechts auf die untersuchten Schädelmaße nachgewiesen werden. Mit Ausnahme der Nasenhöhle lassen sich somit alle untersuchten Schädelmaße aus der Gesamtschädellänge prognostizieren, ohne dabei eine Geschlechtsspezifität berücksichtigen zu müssen.

5. In dieser Arbeit konnte erstmals eine umfassende quantitative Charakterisierung der Nasenhöhle von *M. fuscata* erfolgen. Das statistisch signifikant unterschiedliche Wachstum der Nasenhöhle von männlichen und weiblichen Tieren in Bezug zu anderen Schädelmaßen wurde dargelegt und mit der Literatur verglichen. Ein Einfluss von klimatischen Verhältnissen auf die Größe der Nasenhöhle konnte gezeigt werden.

6. Zusammenfassung

Untersuchungen zur Morphologie und zum Wachstum der Nasenhöhle von Primaten, insbesondere von Makaken sind in der Literatur kaum zu finden. Ein Ziel dieser Arbeit war daher eine Wachstumsanalyse der Nasenhöhle von *Macaca fuscata*, unter Berücksichtigung des Geschlechtsdimorphismus. Zu diesem Zweck wurden von 29 Schädeln japanischer Makaken (*M. fuscata*) aus vier verschiedenen postnatalen Altersstufen computertomographische Schichtaufnahmen des Gesichtsschädels gewonnen. Anschließend wurde das Volumen der Nasenhöhle analysiert und statistisch ausgewertet.

Es konnte gezeigt werden, dass der größte Zuwachs des Volumens bei beiden Geschlechtern gegen Ende des Wachstums liegt. In Bezug zur Schädelbasislänge nimmt das Volumen der weiblichen Individuen stärker zu als das der männlichen, um bei gleicher Schädelbasislänge am Ende des Wachstums sogar ein größeres Volumen zu erreichen. Ein Geschlechtsdimorphismus konnte statistisch für die Nasenhöhle gezeigt werden, für andere Mittelgesichtsmaße ließ er sich nicht nachweisen.

Die Spezies *Macaca fuscata* ist in ihrer regionalen Verbreitung einzigartig unter den Primaten und, abgesehen vom Mensch, die am nördlichsten vorkommende Primatenart. Aus diesem Grund ist sie gut geeignet für Untersuchungen in Hinblick auf eventuelle klimatische Einflüsse.

Um zu überprüfen, ob klimatische Einflüsse das Volumen der Nasenhöhle beeinflussen, wurden 36 Schädel adulter japanischer Makaken von fünf bekannten geographischen Regionen untersucht. Auch bei dieser Untersuchung wurden zunächst computertomographische Schichtaufnahmen der Nasenhöhle gewonnen und das Volumen der Nasenhöhle errechnet. Das gewonnene Nasenhöhlenvolumen der einzelnen Individuen wurde

dann in Relation zur geographischen Höhe und zu Temperatureinflüssen gesetzt.

Die Ergebnisse dieser Studie deuten darauf hin, dass die Absenkung der Januartemperatur in nördlichen Regionen Japans bei den Makaken mit einer Vergrößerung des Volumens der Nasenhöhle einhergeht. Diese Vergrößerung ist mit einer Verkleinerung des Volumens des Sinus maxillaris verbunden.

Dieses Ergebnis lässt Schlussfolgerungen auf die physiologischen Funktionen der Nase zu. Die Untersuchungen sprechen dafür, die Rolle der Nasennebenhöhlen zur Anfeuchtung und Anwärmung der Atemluft als fraglich einzustufen.

Die Ergebnisse dieser Studie tragen Modellcharakter und liefern weitere Erkenntnisse über das kraniofaziale Wachstum der Primaten.

7. Literaturverzeichnis

- Abbot, D.J.; Baroody, F.M.; Naureckas, E., Naclerio, R.M. (2001) Elevation of nasal mucosa temperature increases the ability of the nose to warm and humidify air. *Am J Rhinol* 15: 41-45
- Albrecht, G. (1980) Latitudinal, taxonomic, sexual and insular determinants of size variation in pigtail macaques, *Macaca nemestrina*. *Int J Primatol* 1: 141-152
- Albrecht, G., Miller, S. (1993) Geographic variation in primates: a review with implications for interpreting fossils. In: Kimble, W.; Martin, L. (eds): *Species, Species concepts and primate evolution*. Plenum Press., New York. pp 123-161
- Alving, K.; Weitzberg, E.; Lundberg, J.M. (1993) Increased amount of nitric oxide in exhaled air of asthmatics. *Eur Respir J* 6: 1368-1370
- Anthony, R.L.F.; Iliesco, G. M. (1926) Etude sur les cavités nasales des carnassiers. *Proc Zool Soc* 989-1015.
- Antón, S. (1996) Cranial adaption to a high attrition diet in Japanese macaques. *Int J Primatol* 17: 401-427
- Asano, K.; Chee, C.B.; Gaston, B.; Lilly, C.M.; Gerard, C.; Drazen, J.M.; Stamler, J.S. (1994) Constitutive and inducible nitric oxide synthase gene expression, regulation, and activity in human lung epithelial cells. *Proc Natl Acad Sci USA* 91: 10089-10093
- Aust, R., Stierna, P., Drettner, B. (1994) Basic experimental studies of ostial patency and local metabolic environment of the maxillary sinus. *Acta Otolaryngol* 515 (suppl): 7-11

- Baker, M.; Chapmann, L. (1977) Rapid brain cooling in exercising dogs. *Science* 195: 781-783
- Bamford, O.S.; Eccles, R. (1982) The central reciprocal control of nasal vasomotor oscillations. *Pflügers Arch* 394: 139–143
- Barnes, P.J.; Belvisi, M.G. (1993): Nitric oxide and lung disease. *Thorax* 48: 1034-1043
- Bartsch, H.-J. (1984) Taschenbuch mathematischer Formeln. Verlag Harri Deutsch, Frankfurt / Main
- Belvisi, M.G.; Ward, J.K.; Mitchell, A.; Barnes, P.J. (1995): Nitric oxide as a neurotransmitter in human airways. *Arch Int Pharmacodyn Ther* 329: 97-110
- Bennet, A. F. (1973) Ventilation in two species of lizards during rest and activity. *Comp Biochem Physiol* 46A: 653-671
- Bjork, A. (1955) Cranial base development. *Am J Orthod* 41: 198-225
- Blaney, S.P. (1986) An allometric study of the frontal sinus in Gorilla, Pan and Pongo. *Folia Primatol* 47: 81-96
- Blanton, B.L.; Biggs, N.L. (1969) Eighteen hundred years of controversy: The paranasal sinuses. *Am J Anat* 124: 135-148
- Bojsen-Moller, F.; Fahrenkrug, J. (1971) Nasal swell bodies and cyclic changes in the air passages of the rat and rabbit nose. *Anat* 110: 25–37
- Burdi, A.R. (1965) Sagittal growth of the nasomaxillary complex during the second trimester of human prenatal development. *J Dent Res* 44 :112-125

- Butler, P. M. (1939) Studies of the mammalian dentition, differentiation of the post- canine dentition. Proc Zool Soc, London, 109: 1-36
- Campbell, W.M.; Kern, E.B. (1981) The nasal cycle in swine. Rhinology 19: 127–148
- Cave, A.J.E. (1973) The Primate nasal fossa. Proc Linn Soc, London, 5: 377-387
- Cave, A.J.E. (1967) Observations on the platyrrhine nasal fossa. Am J Phys Anthrop 26: 277-288
- De Gouw, H.W., Grunberg, K., Schot, R., Kroes, A.C., Dick, E.C., Sterk, P..J. (1998) Relationship between exhaled nitric oxide and airway hyperresponsiveness following experimental rhinovirus infection in asthmatic subjects. Eur Respir.J 11: 126–132.
- Dean, M. (1988) Another look at the nose and the functional significance of the face and nasal mucous membrane for cooling the brain in fossil hominids. J Hum Evol 17: 715-718
- Dieulafe, L. (1906): Morphology and embryology of the nasal fossae of vertebrates. Transl: Hanau W. Loeb., Annals Pub Co., St. Louis
- Dillon, W.; Archer, S.L.; Nelson, D.P. (1995) Nasal origin of breath nitric oxide (abstract). Am J Crit Care Med 151: A103
- Dillon, W.C.; Hampl, v.; Shultz, P.J.; Rubins, J.B.; Archer, S.L. (1996) Origins of breath nitric oxide in humans. Chest 110: 930- 938
- Djupesland, P.G.; Lyholm, B. (1998) Changes in nasal airway dimensions in infancy. Acta Otolaryngol 118: 852- 858
- Doll, S.; Lozanoff, S. (2003) 3D- Rekonstruktionen von anatomischen Strukturen. Der Präparator 49: 129-136

- Drettner, B.; Aust, R. (1974) Plethysmographic studies of the blood flow in the mucosa of the human maxillary sinus. *Acta Otolaryngol* 78: 259-263
- Duterloo, H.S., Enlow, D.H. (1970) A comparative study of cranial growth in *Homo* and *Macaca*. *Am J Anat* 127: 357-368
- Eccles R. (1983) Sympathetic control of nasal erectile tissue. *Eur Respir J* 64: 150-154.
- Eccles, R. (1978) The domestic pig as an experimental animal for studies on the nasal cycle. *Acta Otolaryngol* 85: 431–436
- Eccles, R. (1996) A role for the nasal cycle in respiratory defence. *Eur Respir J* 9: 371–376
- Elkhawad, A. (1992) Selective brain cooling in desert animals: The camel (*Camelus dromedarius*). *Comp Biochem Physiol Comp Physiol* 101: 195-201
- Enlow D.H. (1966). A comparative study of facial growth in *Homo* and *Macaca*. *Am J Phys Anthropol* 24: 293-308
- Enlow, D.H., McNamara, J. (1973) The neural- cranial basis for facial form and pattern. *Angle Orthod* 43: 256-270
- Evereklioglu, C.; Doganay, (2002) Craniofacial anthropometry in a S.; Er, H.; Gunduz, A.; Turkish population. *Cleft Palate Craniofac J*. Tercan, M.; Balat, A.; 39: 208- 218.
- Cumurcu, T.
- Fanghänel, J.; Schumacher, (1986) Schädelwachstum und Statistik. *N A L* G. H. 262: 585-595
- Fisher, J.T., Anderson, J.W., (1993): Nonadrenergic noncholinergic neurotransmitter of feline trachea VIP or nitric oxide. *J.Appl Physiol* 74: 31-39.
- Waldron, M.A.

- Flannery, S. (Coordinator) (2000) Primate Info Net, Wisconsin. Regional Primate Research Center, Univ. of Wisconsin.
- Flottes, L.; Clerc, P.; Rui, R.; Divilla, F. (1960) La physiologie des sinus (Société Française D`Oto-Rhino-Laryngologie). Librairie Arnette, Paris
- Fooden, J., Albrecht, G. (1999) Tail-length evolution in fascicularis-group macaques (Cercopithecidae: *Macaca*). Int J Primatol 20: 431-440
- Fooden, J.; Albrecht, G. (1993) Latitudinal and insular variation of skull size in crab-eating macaques (Primates, Cercopithecidae: *Macaca fascicularis*). Am J Phys Anthropol. 92: 521-538
- Ford, E.R.H. (1956) Growth of the foetal skull. J Anat 90: 63-72
- Freeman, J.; Herring, S. (1992) Bone strain in the miniature pig zygomatic arch. J Dent Res 71: 265 (Abstr.)
- Frisch, J E (1959) Research on Primate Behaviour in Japan. Ann Anthropol 61: 584-596
- Furukawa, K.; Harrison, D.G.; Saleh, D.; Shennib, H.; Chagnon, F.P.; Giaid, A. (1996) Expression of nitric oxide synthase in the human nasal mucosa. Am J Respir Crit Care Med 153: 847-850
- Geissmann, T. (2003) Vergleichende Primatologie, Springer-Verlag, Heidelberg & New York
- Geist, N. R. (2000) Nasal respiratory turbinate function in birds. Physiol Biochem Zool 73: 581-589
- Gerlach, H.; Rossaint, R.; Pappert, D. (1994) Autoinhalation of nitric oxide after endogenous synthesis in nasopharynx. Lancet 343: 518-519
- Gilain, L.; Coste, A.; Ricolfi, F.; Dahan, E.; Marliac, D.; (1997) Nasal cavity geometry measured by acoustic rhinometry and computed

- Peynegre, R.; Harf, A.; Louis, B. tomography. Arch Otolaryngol Head Neck Surg 123: 401-405
- Gray, H. (1989) Gray's Anatomy, 37th edition, Peter L. Williams, ed. C. Livingstone, Edinburgh.
- Grevers, G (1998) Praktische Rhinologie, Urban und Schwarzberg Verlag, München
- Gustafsson, L. E.; Leone, A. M.; Persson, M. G.; Wiklund, N. P.; Moncada, S. (1991) Endogenous nitric oxide is present in the exhaled air of rabbits, guinea pigs and humans. Biochem Biophys Res Commun 181: 852-857.
- Haight, J.S.J.; Djupesland, P.G.; Qjan, W.; Chatkin, J.M.; Furlott, H.; Irish, J.; Witterick, I.; McClean, P.; Fenton, R.S.; Hoffstein, V.; Zamel, N. (1999) Does nasal nitric oxide come from the sinuses? J Otolaryngol 28: 197-204
- Hamada, Y.; Hayakawa, S.; Suzuki, J.; Ohkura, S. (1999) Adolescent Growth and Development in Japanese Macaques (*Macaca fuscata*): Punctuated Adolescent Growth Spurt by Season. Primates 40: 439-452.
- Helbig-Schuster, U.D. (2005) Vergleich der partiellen Konchotomie mit der submukösen Konchektomie. Inaug. Diss., Lübeck
- Henke, W., Rothe, H (1999) Stammesgeschichte des Menschen – Eine Einführung. Springer Verlag, Berlin
- Herring, S.W. (1993) Formation of the Vertebrae Face: Epigenetic and Functional Influences. Amer Zool 33: 472-483
- Herring, S.W. (1993) Epigenetic and functional influences on skull growth. In Hanken, J.; Hall, B.K. (eds): The skull, Vol. 1, Univ. of Chicago Press,

- Chicago, pp. 153-206
- Hilding, A.C. (1964) Applied anatomy and physiology of the nose. In: L.R. Boies (ed.) Fundamentals of Otorhinolaryngology. Saunders, Philadelphia, pp. 171-195
- Hillenius, W. (1992) The evolution of nasal turbinates and mammalian endothermy. *Paleobiol* 18:17-29.
- Hillenius, W. J (1994) Turbinates in therapsids: evidence for late Permian origins of mammalian endothermy. *Evolution* 48: 207-229
- Hillenius, W. J.; Ruben, J. A. (2004) The evolution of endothermy in terrestrial vertebrates: Who? When? Why? *Physiol Biochem Zool* 77: 1019-1042
- Ho, W.K.; Wei, W.I.; Yuen, A.P.; Chan, K.; Hui, Y. (1999) Measurement of Nasal Geometra by Acoustic Rhinometry in Normal- Breathing Asian Children. *J Otol* 28: 232-237
- Huang, Z.L.; Wang, D.Y.; Zhang, P.C.; Dong. F.; Yeoh, K.H. (2001) Evaluation of nasal cavity by acoustic rhinometry in Chinese, Malay and Indian ethnic groups. *Acta Otolaryngol.* 121: 844-848.
- Hylander, W.L. (1977) The adaptive significance of Eskimo craniofacial morphology. Pp. 129- 170. In: Dahlberg, A.A. and Graber, T.M. (eds.): Orofacial growth and development. Mouton, Paris
- Hylander, W.L.; Picq, P.G.; Johnson, K.R. (1991) Masticatory- stress hypotheses and the supraorbital region of primates. *Am J Phys Anthropol* 86: 1-36
- Ikeda, J.; Watanabe, T. (1966) Morphological studies of *Macaca fuscata* III. Craniometry. *Primates* 7: 271-288
- Imanishi, T. (1957) Identification: A process of

- enculturation in the subhuman society of *Macaca fuscata*, *Primates* 1: 1-29
- Itani, J (1963) Vocal communication of the wild Japanese monkey. *Primates* 4: 11-66
- Itani, J. (1954) The monkeys of Mt. Takasaki. Kobusha, Tokyo
- Itani, J. (1956) The Evolution of primate social structure, Tokyo: Kobusha
- Iwamoto, M, Hamada, Y, Watanabe, t (1984) Eruption of the deciduous teeth in Japanese monkeys (*Macaca fuscata*). *Journal of the Anthropological Society Nipponica* 92: 273-279
- Iwamoto, M, Watanabe, T, Hamada, Y (1987) Eruption of the permanent teeth in Japanese monkeys (*Macaca fuscata*). *Primate Research* 3: 18-28
- Jackson, D. C.; Schmidt-Nielsen, K. (1964) Countercurrent heat exchange in the respiratory passages. *Proc Natl Acad Sci USA* 51: 1192-1197
- Jones S., Martin R., Pilbeam D. (1993) *The Cambridge Encyclopedia of Human Evolution*, University Press, Cambridge
- Jones, N. (2001) The nose and paranasal sinuses physiology and anatomy. *Adv Drug Deliv Rev.* 51: 5-19
- Kaise, T.; Ukai, K.; Pedersen, O.F.; Sakukura, Y. (1999) Accuracy of Measurement of Acoustic Rhinometry Applied to Small Experimental Animals. *Am J Rhinol* 13: 125-129
- Kayser, W. (1895): Die exakte Messung der Luftdurchgängigkeit der Nase. *Arch Laryngol. Rhinol* 3: 101-120
- Koppe, T.; Nagai, H. (1997) Growth patterns of the maxillary sinus

- in the Japanese macaque (*Macaca fuscata*):
 Reflections on the structural role of the
 paranasal sinuses. *J Anat* 190: 533-544
- Koppe, T.; Nagai, H. (1995) On the morphology of the maxillary sinus floor in old world monkeys: A study based on three-dimensional reconstruction of CT-scans. In: Radlanski, R.; Renz, R. (eds.): Proceedings of the 10th international symposium on dental morphology.: C & M. Brünne GbR, Berlin, pp. 423-427
- Koppe, T.; Röhrer- Ertl, O. ; (1995) Growth pattern of the maxillary sinus in orang-utan based on measurements of CT scans. *Okajimas Folia Anat Jpn* 71: 311-318
- Hahn, D.; Reike, R.; Nagai, H.
- Koppe, T.; Schumacher, (1992) Untersuchung zum K.U. Pneumatisationsgrad des Viscerocranium beim Menschen und bei den Pongoiden. *Acta Anatomica Nipponica* 67: 725-734
- Kourembanas, S.; (1993): Nitric oxide regulates the expression of vasoconstrictors and growth factors by vascular endothelium under both normoxia and hypoxia. *J. Clin. Invest.* 92: 99-104
- McQuillan, L.P.; Leung, G.K.; Faller, D.V.
- Lenz, H.; Theelen, W.; (1985) Nasal cycle using rhinomanometric measurements. *HNO* 33: 58-61
- Eichler, J.
- Leone, A.M.; Gustafsson, (1994) Nitric oxide is present in exhaled L.E.; Francis, P.L.; Persson, breath in humans: direct GC-MS M.G.; Wiklund, N.P; confirmation. *Biochem Biophys Res Commun* 201: 883-887
- Moncada, S.
- Lindberg, S.; Cervin, A.; (1997): Low levels of nasal nitric oxide (NO) Runer, T. correlate to impaired mucociliary function in the upper airways. *Acta. Otolaryngol. (Stockh.)* 117: 728-734
- Lozanoff, S.; Zingesser, (1993) Computerized modeling of nasal

- M.R.; Diewert, V.M. capsular morphogenesis in prenatal primates. *Clin Anat* 6: 37-47
- Lundberg, J.O.; Weitzberg, E.; Rinder, J.; Rudehill, A.; Jansson, o.; Wiklund, N.P.; Lundberg, J.M.; Alving, K. (1996) Calcium-independent and steroid-resistant nitric oxide synthase activity in human paranasal sinus mucosa. *Eur Respir J* 9: 1344-1347
- Lundberg, J.O.M. (1996) Airborne nitric oxide: inflammatory marker and aerocrine messenger in man. *Acta Physiol Scand* 63: 1-27
- Lundberg, J.Ö.N.; Weitzberg, E.; Nordvall, S.L. (1994) Primarily nasal origin of exhaled nitric oxide and absence in Kartagener's syndrome. *Eur Respir J* 1501-1504
- Martin, R. (1928) *Lehrbuch der Anthropologie, Band 2. 2. Auflage, Gustav Fischer Verlag, Jena.*
- Martin, R.D. (1990): *Primate Origins and Evolution: A Phylogenetic Reconstruction. Chapman Hall/Princeton University Press, London/New Jersey.*
- McNamara, J. A.; Foster, D. L.; Rosenstein, B. D. (1977) Eruption of the deciduous dentition in the rhesus monkey. *J Dent Res* 56: 701
- Milan, F.A.; Hannon, J.P.; Evonuk, E. (1962) Temperature regulation of Eskimos, Indians and Caucasians in a bath calorimeter. *J Appl Physiol*, 18: 378-382
- Mlynski R.; Grutzenmacher, S.; Mlynski, G. (2005) Acoustic rhinometry and paranasal sinuses: A systematic study in models, anatomic specimens, and in vivo. *Laryngoscope* 115: 837-843
- Moore, K.L.; Persaud, T.V.N. (1996) *Embryologie. Lehrbuch und Atlas der Entwicklungsgeschichte des Menschen, 4. Auflage, Schattauer- Verlag, Stuttgart*
- Moore, W.J. (1981) *The mammalian skull: Chapter 7: The*

- nasal region. University Press, Cambridge
- Moormann, T. (2004) Funktionelle Morphologie der Nasennebenhöhlen des Brüllaffen *Alouatta caraya* (Primates, Platyrrhini) Inaug. Diss., Greifswald
- Moss, M. (1973) A functional cranial analysis of primate craniofacial growth. In: Symp. Ivth Int. Congr. Primat. P 191-208
- Moss, M., Salentijn, L. (1969) The primary role of functional matrices in facial growth. Am J Orthod 55: 566-577
- Mouri, T. (1994) Postnatal growth and sexual dimorphism in the skull of the Japanese macaque (*Macaca fuscata*). Anthropol Sci 102 (Suppl.): 43-56
- Mouri, T. (1995) Sex differences of the cranial size in macaque species. Primate Research 11: 187-196
- Nagy, K. A. (1987) Field metabolic rate and food requirement scaling in mammals and birds. Ecol Monogr 57: 111-128
- Nagy, K. A.; Peterson, C. C. (1988) Scaling of Water Flux Rate in animals. University of California Press, Berkeley.
- 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
- Nakayama, T.; Hori, T.; Nagasaka, T.; Tokura, H.; (1971) Thermal and metabolic responses in the Japanese monkey at Temperature of 5-

- Tadaki, E. 38°C. J Appl Physiol 31: 332-337
- Negus, V. (1957) The function of the paranasal sinuses. AMA Arch Otolaryngol 66: 430-432
- Negus, V. (1958) The comparative Anatomy and Physiology of the Nose and Paranasal Sinuses. E. & S. Livingstone Ltd., Edinburgh
- Nowak, R.; Mehliis, G. (1975) Studies on the state of pneumatization of the sinus maxillaris. Anat Anz 138:: 143-151
- O’Rahilly, R.; Müller, F. (1999) Embryologie und Teratologie des Menschen. Verlag Hans Huber, Bern
- Osman Hill, W. C. (1974) Primates. Comparative Anatomy and Taxonomy. VII: Cynopithecinae (Cercocebus, Macaca, Cynopithecus). University Press, Edinburgh
- Owerkowicz, T.; Crompton, A. W. (2001) Allometric scaling of respiratory turbinates and trachea in mammals and birds. J Vertebr Paleontol 21: 86A
- Paparella, M. M. , Shumrick, D. A. (1973) Otolaryngology. Vol 1: Basic sciences and related disciplines. W. B. Saunders, London
- Paulli, S. (1900) Über die Pneumaticität des Schädels bei den Säugethieren. II. Über die morphologie des Siebbens und die der Pneumaticität bei den Ungulaten und Probosciden. Gegenbaurs Morphol Jahrb 28:179-251
- Pedersen, O.F.; Berkowitz, R.; Yamagiwa, M.; Hilberg, O. (1994) Nasal cavity dimensions in the newborn measured by acoustic reflections. Laryngoscope. 104: 1023-1028

- Peter, K. (1913) Atlas der Entwicklung der Nase und des Gaumens beim Menschen : mit Einschluss der Entwicklungsstörungen. Gustav Fischer, Jena
- Preuschoft, H., Witte, H., Witzel U. (2002) Pneumatized spaces, sinuses and spongy bones in the skulls of primates. *Anthropol Anz* 60: 67-79
- Preuschoft, H.; Witzel, U. (2005). Functional shape of the skull in vertebrates: Which forces determine skull morphology in lower primates and ancestral synapsids? *Anat Rec A Discov Mol Cell Evol Biol.* 283:402-13.
- Proetz, A. (1941) Essays on applied physiology of the nose. Annals Publishing, St. Louis
- Rae, T.C., Koppe. T. (2000) Isometric scaling of maxillary sinus volume in hominoids. *J Hum Evol.* 38: 411-423.
- Rae, T.C.; Hill, R.A.; Hamada, Y.; Koppe, T. (2003) Clinal variation of maxillary sinus volume in Japanese macaques (*Macaca fuscata*). *Am J Primatol* 59: 153-158
- Ramis, I.; Lorente, J.; Rosello-Catafau, J.; Quesada, P.; Gelpi, E.; Bulbena, O. (1996) Differential activity of nitric oxide synthase in human nasal mucosa and polyps. *Eur Respir J* 9: 202-206
- Ravosa, M. (1991) The ontogeny of cranial sexual dimorphism in two Old world monkeys: *Macaca fascicularis* (Cercopithecinae) and *Nasalis larvatus* (Colobinae). *Int J Primatol* 12: 403-426
- Reike, R. (1991) Osteometrische Untersuchung zur postnatalen Entwicklung des Sinus maxillaris von *Pongo satyrus borneensis* von Wurmb,

- 1784 unter Berücksichtigung des Geschlechtsdimorphismus. Inaug. Diss. Rostock
- Reinbach, W. (1953) Zur Entwicklung des Primordialcraniums von *Dasyus novemcinctus*. I., II.: Z. Morph Anthropol 44, 45
- Rennie, D. W.; Covino, B. (1962) Physical insulation of Korean diving women, J Appl Physiol 17: 961-966
G.; Howell, B. J.; Song, S. H.; Kang, B. S.; Hong, S. K
- Rodahl, K. (1952) Basal metabolism of the Eskimo. J Nutrition, 48: 359-368
- Ross, C. (1996) Adaptive explanation for the origins of the Anthroidea (Primates). Am J of Prim 40: 205-230
- Ross, C.F.; Ravosa, M.J. (1993) Basocranial flexion, relative brain size and facial kyphosis in nonhuman primates. Am J Phys Anthropol 91: 305-324
- Ruben, J.A.; Hillenius, W.J.; Geist, N.R.; Leitch, A.; Jones, T.D.; Currie, P.J.; Horner, J.R.; Espe, G. (1996) The metabolic status of some late Cretaceous dinosaurs. Science 273: 1204-1207.
- Ruben, J.A.; Jones, T. D.; Geist, N. R.; Hillenius, W. J. (1997) Lung structure and ventilation in theropod dinosaurs and early birds. Science 278: 1267-1270.
- Samolinski, B.K.; Grzanka, A.; Gotlib, T. (2007) Changes in nasal cavity dimensions in children and adults by gender and age. Laryngoscope. 117: 1429-1433.
- Sanna, A.; Kurtansky, A.; Veriter, C.; Stranescu, D. (1994): Bronchodilator effect of inhaled nitric oxide in healthy men. Am. J. Respir. Crit. Care Med. 150: 1702-1704.

- Schaeffer, J.P. (1920) The nose, paranasal sinuses, nasolacrimal passageways, and olfactory organ in man. P. Blakiston, Philadelphia.
- Schiwal, O.S. (2005) Zur funktionellen Morphologie der Sinus paranasales von *Callithrix jacchus* (Primates, Platyrrhini). Inaug. Diss., Greifswald
- Schumacher, G. H. (1991) Anatomie Lehrbuch und Atlas. Band 1: Kopf, Orofaziales System, Auge, Ohr, Leitungsbahnen 2. Aufl. Johann Ambrosius Barth, Leipzig
- Schumacher, G. H. (1997) Principles of Skeletal Growth. In: Dixon AD, Hoyte D, Rönning O (Eds): Fundamentals of Craniofacial Growth. CRC Press, Boca Raton, pp 1-20
- Scott, J.H. (1954) Heat regulating function of the nasal mucuous membrane. J Laryngol Otol 68: 308-317
- Seydel, O (1891) Über die Nasenhöhle der höheren Säugetiere und des Menschen. Gegenbaurs Morphol Jahrb, 17:(1), S. 45-99.
- Shea, B. (1986) Ontogenetic approaches to sexual dimorphism in anthropoids. Hum Evol 1: 97-110
- Shea, B.T. (1977) Eskimo Craniofacial Morphology, Cold Stress and the Maxillary Sinus, Am J Phys Anthropol 47: 289-300
- Siegel, M.I.; Mooney, M. P.; Eichberg, J. W.; Gest, T. R.; Lee, D. R. (1992) Nasal capsule shape changes following septopremaxillary ligament resection in a chimpanzee animal model. Cleft Palate Craniofac J 29: 137-142.

- Sirianni, J.E. (1985) Nonhuman primates as models for human craniofacial growth. In: Watts, E (edt): Nonhuman primates as models for human growth and development. Alan Liss, Inc., New York
- Sirianni, J.E., Newell-Morris, L. (1980) Craniofacial growth of fetal *Macaca nemestrina*: A cephalometric roentgenographic study. *Am J Phys Anthropol* 53: 407-421
- Sirianni, J.E., Swindler, D.R. (1985) Growth and development of the pigtailed macaque. CRC Press, Boca Raton
- Sirianni, J.E., Van Ness, A.L. (1978) Postnatal growth of the cranial base in *Macaca nemestrina*. *Am J Phys Anthropol* 49: 329-340
- Starck, D. (1975) Embryologie. Ein Lehrbuch auf allgemein biologischer Grundlage. 3. Auflage, Thieme Verlag, Stuttgart.
- Starck, D. (1995) Säugetiere. Lehrbuch der Speziellen Zoologie, Band II, Wirbeltiere, Teil 5. Gustav Fischer Verlag, Jena, Stuttgart & New York.
- Stierna, P. (2001) Physiology, mucociliary clearance, and neural control. In: Kennedy D, Bolger W, Zinnreich S (eds.), editors. Diseases of the sinuses: diagnosis and management. B.C. Decker, Hamilton, pp. 35-45
- Sugiyama, Y (1960) On the division of a natural troop of Japanese monkeys at Takashimaya. *Primates* 2: 109-148
- Swindler, D. R. (1976) The dentition of living primates. Academic Press, New York
- Swindler, D. R.; Emel, L. M. (1990) Dental development, skeletal

- maturation and body weight at birth in pig-tail monkeys (*Macaca nemestrina*). Arch Oral Biol 35: 289-294
- Swindler, D.R. (1998). Introduction to the primates. University of Washington Press, Washington
- Trindade, I.E.; Gomes Ade, O.; Sampaio-Teixeira, A.C.; Trindade, S.H. (2007) Adult nasal volumes assessed by acoustic rhinometry. Rev Bras Otorrinolaringol (Engl Ed). 73:32-39
- Trotter, M.; Hixon, B. B.; MacDonald, B. J. (1977) Development and size of the teeth in *Macaca mulatta*. Am J Anat 150:109-128
- Von Koenigswald, G. H. (1967) Evolutionary trends in the deciduous molars of the Hominidea. J Dent Res 46(5): 779-86
- Wang, T.; El Kebir, D.; Blaise, G. (2003): Inhaled nitric oxide in 2003: a review of its mechanisms of action. Can. J. Anaesth. 50: 839-846
- Webber, R.L.; Jeffcoat, M.K.; Harman, J.T.; Ruttimann, U.E. (1987) Demonstration of the nasal cycle in the beagle dog. J Comput Assist Tomogr 11: 869–871
- Webster, A.P. (1952) Caloric requirements of man in cold climates: Theoretical considerations. J Appl Physiol 5: 134-142
- Weitzberg, E.; Lundberg, J.O.N. (2002) Humming greatly increases nasal nitric oxide. Am J Respir Crit Care Med 166: 144-145
- Werner, J. A., Rudert, H. (1992): Der Einsatz des Nd:YAG- Lasers in der Hals- Nasen- Ohrenheilkunde, HNO 40: 248-258
- Westrin, K.M., Stierna, P. (1995) Pathophysiology of sinusitis - overview and update. In: Stierna P, Karlson G, Melén I, Jannert M (eEds.): Aspects on

sinusitis: Diagnosis and treatment in adults.
Eli Lilly Sweden, Stockholm, pp. 13-21

- Witmer, L. M. (1995) Homology of facial structures in extant archosaurs (birds and crocodilians), with special reference to paranasal pneumaticity and nasal conchae. *J Morphol* 225: 269-327
- Zenker, W.; Kubik, S. (1996) Brain cooling in humans: anatomical considerations. *Anat Embryol* 193: 1-13
- Zumpano, M.P., Richtsmeier, J.T. (2003) Growth- Related shape changes in the fetal craniofacial complex of Humans (*Homo sapiens*) and pigtailed Macaques (*Macaca nenestrina*): A 3D- CT comparative Analysis. *Am J of Phys Anthropol* 120: 339-351

8. Anhang

Ergebnisse der Vermessungen der Nasenhöhle von *M.fuscata*
sowie ausgewählter Schädelmasse.

<i>M. fuscata</i>									
Nummer	Vol (cm ³)	sex	Altersgruppe	Nasion - Basion	Basion- Prosthion	Nasion - Prosthion	Maxilloalveoläre Breite	Gesichtsschädel- volumen (cm ³)	Schädel- länge
Jm 1494	2,09	w	infans I	5,21	5,44	3,74	4,54	42,2488	9,35
jm2696	3,21	w	infans I	5,33	5,8	4,07	4,82	50,4650	9,42
jm3072	1,95	w	infans I	5	4,89	3,21	4,03	30,2356	8,81
Jm 1392	3,39	w	infans II	5,86	6,51	4,44	4,70	59,5850	10,26
jm2717	3,57	w	infans II	5,51	6,07	4,24	4,94	55,9323	9,86
jm2823	3,35	w	infans II	5,54	6,06	4,27	4,78	54,6250	9,83
Jm 1509	4,17	w	juvenile	5,90	7,20	5,10	5,32	79,1433	11,28
jm2255	4,71	w	juvenile	6,03	7,19	5,35	5,46	86,1834	11,21
jm2930	6,86	w	juvenile	6,48	8,05	5,3	5,55	95,0228	11,74
jm3507	7,52	w	juvenile	6,49	7,57	5,66	5,92	105,8321	11,36
jm2701	7,1	w	adult	6,59	8,09	6,1	6,36	125,5305	11,8
jm2812	13,15	w	adult	7,53	9,96	7,46	6,18	172,3838	13,85
jm2998	6,53	w	adult	6,94	8,47	6,37	6,27	136,0056	12,41
jm3180	8,29	w	adult	6,91	8,42	6,34	5,98	128,4869	12,01
Jm 1793	4,29	m	infans I	5,73	6,28	4,41	4,8	58,6555	9,97
Jm 1796	3,88	m	infans I	5,12	5,25	4,01	4,17	39,9577	9,32
jm3071	4,43	m	infans I	5,36	5,44	3,81	4,57	43,9794	9,62
jm2692	4,97	m	infans II	6	6,79	5,07	5,08	74,6834	11
jm2707	4,81	m	infans II	6,35	7,17	4,7	5,18	75,9738	10,68
jm2825	5,23	m	infans II	6,08	6,72	5	5,28	77,1283	10,91
jm2488	5,84	m	juvenile	6,29	7,52	5,83	5,53	98,6322	11,39
jm2809	6,4	m	juvenile	6,65	8	5,53	5,98	108,7631	11,73
jm2946	5,59	m	juvenile	6,24	7,18	5,3	5,41	86,9769	11,1
jm2984	5,89	m	juvenile	6,58	7,84	5,99	5,45	104,6577	11,5
jm2933	9,89	m	adult	7,51	10,03	6,69	6,7	168,3078	13,7
jm2948	12,01	m	adult	7,44	10,39	7,57	6,42	180,6319	13,86
jm2971	10	m	adult	7,54	9,5	6,31	6,27	148,8155	13,32
jm3189	10,64	m	adult	7,58	10,05	7,11	6,54	175,8601	13,49
jm3332	8,83	m	adult	7,49	10,01	7,92	6,44	188,6442	14,19

Alle Angaben in cm

Nummer	Vol (cm3)	sex	Nasion - Basion	Basion-Prosthion	Nasion - Prosthion	Maxilloalveoläre Breite	Gesichtsschädelvolumen	Schädellänge
M. fuscata - Kinkazan								
Mf K 62	9,63	w	6,39	8,37	5,61	6,03	107,9074	11,965
Mf K 24	8,27	w	6,54	8,34	5,88	5,66	108,2560	11,949
Mf K 15	8,66	w	6,59	8,37	5,92	5,85	113,4025	11,832
Mf K 10	8,76	w	6,56	8,34	5,93	5,82	112,3086	11,797
Mf K 64	11,87	m	7,16	9,24	6,43	6,36	146,0098	13,096
Mf K 6	14	m	7,29	9,60	7,09	6,74	173,0520	13,632
Mf K 2	11,5	m	7,39	9,47	6,89	6,39	161,5356	13,658
Mf K 69	13,59	m	7,02	9,11	6,64	6,31	146,2244	12,831
M. fuscata - Shimokita								
Mf S 1	11,3	m	7,00	9,37	7,15	5,94	147,4066	13,375
Mf S 10	12,83	m	7,68	10,05	6,96	6,18	164,8304	13,226
Mf S 11	12,48	m	7,42	9,86	7,30	6,27	168,9242	13,35
Mf S 2	11,12	m	7,31	9,51	7,64	6,29	172,2549	13,21
Mf S 3	13,7	m	7,78	10,15	7,29	6,02	169,9159	13,466
Mf S 7	10,57	m	7,08	9,05	6,74	6,25	147,5822	12,782
Mf S 8	8,6	f	7,02	8,89	6,84	6,18	145,7974	12,191
Mf S 9	10,27	f	7,02	8,60	6,44	6,67	148,0944	12,466
M. fuscata - Yakushima								
Mf Ya 2584	11,62	m	7,215	9,6866	6,783	5,97	145,9471	13,482
Mf Ya 2585	10,06	m	6,776	8,677	6,367	5,882	125,8167	12,103
Mf Ya 2586	9,54	m	6,967	9,523	6,467	5,756	129,6691	12,841
Mf Ya 2588	8,55	f	6,824	8,784	6,042	5,957	122,4891	12,765
Mf Ya 2596	6,85	f	6,24	7,432	6,344	5,257	99,1785	11,443
Mf Ya 2597	6,49	f	6,323	7,614	6,078	5,225	97,3024	11,497
Mf Ya 3958	6,5	f	6,213	7,585	5,862	5,361	95,4093	11,24
Mf Ya 4461	7,8	f	6,345	8,214	6,425	5,253	105,4672	11,714
M. fuscata - Koshima								
Boose	12,78	m	6,946	9,554	7,489	6,224	160,6027	13,658
Geshi	11,40	m	6,811	9,706	7,279	6,794	168,1852	13,578
Usagi	12,35	m	7,174	9,658	6,039	6,695	144,7506	13,12
Hie	7,94	f	6,463	7,929	5,533	5,679	100,6372	11,712
tau37	7,42	f	6,226	7,647	5,74	5,391	94,6641	11,617
Ume	9,34	f	6,86	8,308	6,197	6,107	127,3590	12,276
M. fuscata - Shodoshima								
1407	12,22	m	7,425	9,385	7,336	6,883	183,9860	12,912
1408	15,00	m	7,588	9,969	7,322	6,417	177,2527	13,717
1409	12,94	m	7,062	9,654	7,525	6,842	180,3687	13,514
1421	13,60	f	7,188	9,399	7,412	6,611	173,5024	13,315
1437	14,59	f	7,375	9,926	7,516	6,646	183,0480	13,577
1446	13,70	m	7,481	9,81	7,378	6,635	181,5952	13,509
1464	12,84	m	7,445	9,685	6,988	6,987	180,8308	13,37

Alle Angaben in cm

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Dissertation selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe.

Die Dissertation ist bisher keiner anderen Fakultät vorgelegt worden.

Ich erkläre, dass ich bisher kein Promotionsverfahren erfolglos beendet habe und dass eine Aberkennung eines bereits erworbenen Doktorgrades nicht vorliegt.

Datum

Unterschrift

Lebenslauf

Persönliche Daten

Name:	Jan Balczun
Familienstand	ledig
Geburtsdatum	07.12.1976
Geburtsort	Bremen
Staatsangehörigkeit:	deutsch

Berufserfahrung

Seit 01.02.2006 Assistent in der Abteilung für HNO- Heilkunde und Kopf- und Halschirurgie, plastische Operationen im Kopf- und Halsbereich des Prosper Hospitals, Recklinghausen

01.10.2004 – 30.11.2005 Assistent in der Abteilung für HNO-Heilkunde und Kopf- und Halschirurgie des evangelischen Krankenhauses Oldenburg

01.06. - 30.09.2004 Arzt im Praktikum in der Abteilung für HNO-Heilkunde und Kopf- und Hals-chirurgie des evangelischen Krankenhauses Oldenburg

Publikationen

VORTRÄGE:

18.05.2007 “Knopfzellen als Fremdkörper in der Nase”
Vortrag i. R. d. deutschen HNO- Kongresses,
München

ABSTRACTS:

Threads in open rhinoplasty: a comparison
between long and short lasting threads.

Balczun J, Siegert R. Eur Arch Otorhinolaryngol
2007 (Suppl 1) 264: 271

Knopfzellen als Fremdkörper in der Nase.

Balczun J, Mahl N, Siegert R.

[http://www.egms.de/en/meetings/hnod2007/07h
nod381.shtml](http://www.egms.de/en/meetings/hnod2007/07h
nod381.shtml)

ZEITSCHRIFTENBEITRÄGE:

Implications of the postnatal growth of the nasal
cavity on the growth in maxillary in higher
primates. Koppe T, Balczun J, Reike R,
Fanghänel J. ANN ANAT 2002, 184:95-96

Famulaturen und Praktika

03.11. – 28.11.2003 Praktikum in der HNO-Abteilung des New York
Eye and Ear Infirmary, New York
City, New York, USA

11.09. – 11.10.2002 Famulatur im Department of Otolaryngology
and Communicative Disorders an der
Cleveland Clinic Foundation, Cleveland, Ohio,
USA

05.08. – 06.09.2002 Praxisfamulatur in der Praxis für Chirurgie,
plastische Chirurgie und Handchirurgie
Drs. van der Hoofd, Essen

04.03. – 18.03.2002 Famulatur in der Anästhesie-Abteilung der
Universitätsklinik Essen

03.09. – 01.10.2001 Famulatur in der HNO-Abteilung der
Universitätsklinik Essen

01.09. – 31.09.2000 Famulatur in der Abteilung für pädiatrische
Neurologie der Universitätsklinik Okayama,
Japan

Sonstige Praktischen Erfahrungen und Nebentätigkeiten

05.2004 – 10.2004 DRG-Codierung in der Abteilung für Hand- und
plastische Chirurgie am Evangelischen
Krankenhaus Oldenburg

10.2001 – 04.2003 Freier Dozent an diversen
Krankenpflegeschulen in Essen.

06.2001 – 04.2003 Wochenend- und Nachtdienste in der HNO-
Abteilung der Universitätsklinik Essen

09.2000 – 01.2001 Wochenenddienste auf der Intensivstation der
medizinischen Abteilung der Universitätsklinik
Greifswald

07.1996 – 07.1997 Ableistung des Wehersatzdienstes auf der
Inneren Intensivstation des ZKH Bremen- Nord

Bisherige Abschlüsse

Oktober 2004	Vollapprobation als Arzt
April 2004	3. Staatsexamen und Teilapprobation als Arzt
März 2003	2. Staatsexamen
März 2001	1. Staatsexamen
März 2000	Physikum
Juni 1996	Abitur

Schulbildung und Studium

2003 – 2004	Absolvierung des Praktischen Jahres am Evangelischen Krankenhaus Oldenburg
2001 – 2003	Studium der Humanmedizin an der Gesamthochschule Essen
1997 – 2001	Studium der Humanmedizin an der Ernst-Moritz- Arndt- Universität in Greifswald
1993 – 1996	Gymnasium Vegesack, Bremen

Danksagung

Für den erfolgreichen Abschluss der vorliegenden Arbeit schulde ich vielen Menschen Dank.

An erster Stelle möchte ich meinem Doktorvater, Herrn PD Dr. med. Thomas Koppe, für die Vergabe des Themas danken der mir viel Geduld und Vertrauen entgegengebracht hat. In schwierigen Situationen stand er mir immer mit seiner Diskussionsbereitschaft und seinen wertvollen Ratschlägen zur Seite und hat mich auch in kritischen Momenten stets zum Weitermachen motiviert.

Ein besonderes Dankeswort gilt auch Frau Susanne Brüning, die mir mit ihren umfassenden statistischen Kenntnissen auch in speziellen Fragestellungen stets geduldig mit Rat und Tat zur Seite stand.

Herrn Prof. Dr. Jochen Fanghänel, ehemaliger geschäftsführender Direktor des Instituts für Anatomie Greifswald danke ich für die Ermöglichung dieser Arbeit am Institut. Herrn Prof. Dr. Karlhans Endlich, Direktor des Instituts für Anatomie und Zellbiologie danke ich, dass ich die Arbeit am Institut für Anatomie und Zellbiologie beenden konnte.

Meinen Eltern danke ich für ihr ständiges Antreiben und für ihre Hilfe bei fehlender Motivation.

Ihnen möchte ich diese Arbeit widmen.