Aus dem Institut für Anatomie
(Direktor Univ.- Prof. Dr. med. habil. J. Fanghänel)
der Medizinischen Fakultät der Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald

Thema: Zur funktionellen Morphologie der Sinus paranasales von *Callithrix jacchus* (Primates, Platyrrhini)

Inaugural-Dissertation
zur

Erlangung des akademischen
Grades
Doktor der Medizin
(Dr. med.)

der
Medizinischen Fakultät
der

Ernst-Moritz-Arndt-Universität
Greifswald
2005

vorgelegt von:
Olivia Sakura Schiwal
geb. am: 14. Juni 1978
in: Kassel

| | |
|---|---|
| Dekan: | Univ. Prof. Dr. rer. nat. Heyo K. Kroemer |
| 1. Gutachter: | Prof. Dr. J. Fanghänel |
| 2. Gutachter: | Prof. Dr. A. Prescher |
| Ort, Raum: | Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde, Hörsaal |
| Tag der Disputation: | 18 Oktober 2005 |

Inhaltsverzeichnis


| | | |
|---|---|---|
| 1. | **Einleitung und Fragestellung** | 1 |
| **2.** | **Literaturübersicht** | 3 |
| 2.1. | Systematik der Callitrichideae | 3 |
| 2.2. | Biologische Charakterisierung der Callitrichideae | 6 |
| 2.3. | Zur Morphologie der Nasenhöhle | 8 |
| 2.4. | Zur Morphologie der Nasennebenhöhlen | 14 |
| 2.5. | Funktionen der Nasenhöhle und der Nasennebenhöhlen | 18 |
| 2.6. | Schädelmorphologie der Callitrichidae unter besonderer Berücksichtigung von *Callithrix jacchus* | 19 |
| 3. | **Material und Methoden** | 24 |
| 3.1. | Material | 24 |
| 3.2. | Methoden | 24 |
| 3.2.1. | Histologische Untersuchung | 24 |
| 3.2.2. | Computertomographische Untersuchung | 25 |
| 3.2.3. | Maße am Schädel | 26 |
| 3.2.4. | Statistische Auswertung | 30 |
| **4.** | **Ergebnisse** | 33 |
| 4.1. | Morphologie der Nasenhöhle und der Nasennebenhöhlen anhand der histologischen und computertomographischen Untersuchungen | 33 |
| 4.2. | Metrische Untersuchung der Nasenhöhle und der Nasennebenhöhlen | 50 |
| 4.3. | Maße am Schädel und am Femurkopf | 51 |
| 4.4. | Sexualdimorphismus-Index | 52 |
| 4.5. | Asymmetrie-Index der Kieferhöhle | 54 |
| 4.6. | Korrelationsanalyse | 55 |
| 4.7. | Regressionsanalyse | 56 |

4.8. Vergleich von *Callithrix jacchus* mit anderen Spezies 61

5. **Diskussion** **63**
5.1. Nasennebenhöhlen von *Callithrix jacchus* 63
5.2. Nasenhöhle von *Callithrix jacchus* 70
5.3. Sexualdimorphismus und Asymmetrie 72

6. **Schlussfolgerungen** 74

**7. Zusammenfassung** 76

**8. Literaturverzeichnis** 78

**Eidesstattliche Erklärung**

**Lebenslauf**

**Danksagung**

# 1. Einleitung und Fragestellung

Erkrankungen der Nasennebenhöhlen sind vergleichsweise häufig und verursachen enorme Kosten. Allein in den USA werden pro Jahr mehr als 40 Millionen Patienten mit entzündlichen Erkrankungen der Nasennebenhöhlen diagnostiziert (Kaliner et al. 1997). Trotz zahlreicher klinischer Studien zur Physiologie und klinischen Anatomie der Nasennebenhöhlen sind weder ihre biologische Funktion noch ihre phylogenetische Bedeutung hinreichend geklärt (Novacek 1993, Gannon et al. 1997, Witmer 1997, Siebert and Swindler 2002).

Dies äußert sich in vielen nebeneinander existierenden Theorien. Obwohl die Nasennebenhöhlen auch bei einigen Marsupaliern und Reptilien nachweisbar sind, stellen sie spezifische Bildungen des Schädels plazentarer Säugetiere dar (Novacek 1993) und sind ein typisches Merkmal für Primaten (Cave and Haines 1940).

Im Vergleich zu den Catarrhini gibt es über die Nasennebenhöhlen der Neuweltaffen nur wenige Untersuchungen (Cave 1967, Hershkovitz 1977, Koppe et al. 2005a, Rossie in press). Quantitative Angaben der Nasennebenhöhlen liegen bisher lediglich von Koppe et al. (1999, 2005a) vor. Da die Nasennebenhöhlen zunehmend im Rahmen phylogenetischer und taxonomischer Untersuchungen einbezogen werden, sind Kenntnisse über Größe und Form der Nasennebenhöhlen von großer Bedeutung (Shoshani et al. 1996, Rossie 2003, Rae and Koppe 2004). Eine Spezies, die bisher wenig untersucht wurde ist *Callithrix jacchus*. Darüber hinaus bestehen über *Callithrix jacchus* widersprüchliche Aussagen über die Nasennebenhöhlen. Das betrifft insbesondere den Sinus frontalis bei *Callithrix jacchus* (Weinert 1927, Hershkovitz 1977).

Computertomographische Voruntersuchungen haben gezeigt, dass sich die Pneumatisation des Interorbitalraumes von *Callithrix jacchus* aufgrund der relativ geringen Kopfgröße nur schwer beurteilen lässt (Koppe et al. 2005b). Deshalb kamen bei der Untersuchung der Nasenhöhlen und der Nasennebenhöhlen von

*Callithrix jacchus* neben der Computertomographie auch histomorphologische Untersuchungen zum Einsatz.

Die Fragestellung der vorliegenden Arbeit beinhaltet im Einzelnen:

1. Darstellung der Morphologie der Nasenhöhle und der Nasennebenhöhlen bei *Callithrix jacchus* mit Hilfe histologischer und computertomographischer Untersuchungen
2. Untersuchung der Pneumatisationsverhältnisse des Os frontale
3. Untersuchung der Volumina der Nasenhöhle und der Nasennebenhöhlen bei *Callithrix jacchus* unter Berücksichtigung des Sexualdimorphismus und der Asymmetrie
4. Untersuchung der Beziehung zwischen der Morphologie der Nasenhöhle und der Nasennebenhöhlen zur Schädelarchitektur
5. Einordnung der Nasennebenhöhlen von *Callithrix jacchus* innerhalb der Neuweltaffen

# 2. Literaturübersicht

## 2.1. Systematik der Callitrichideae

Heute lebende Primaten weisen eine weite geographische Verbreitung auf. Sie umfassen folgende natürliche Gruppen (Swindler 1998): Lemuren in Madagaskar (1), Loris in Afrika und Asien (2), Tarsier in Südostasien (3), Platyrrhini in Süd- und Zentralamerika (4), Cercopithecoideae in Afrika und Asien (5), sowie Hominoideae in Afrika und Asien (6). Taxonomisch werden die rezenten Primaten unterteilt in Simii (Anthropoidea), die abgeleitete, weiterentwickelte anatomische Merkmale aufweisen und Prosimii (Halbaffen), die hauptsächlich primitive anatomische Merkmale beibehalten haben (Henke und Rothe 1999). Zu den Halbaffen zählen die Gruppen 1-3 (Swindler 1998).

Platyrrhini (Neuweltaffen) sind kleine bis mittelgroße Primaten mit einem Körpergewicht von ca. 100g bis knapp über 10kg reicht. Ihr Name leitet sich von der breiten Gestalt ihrer Nasenlöcher ab (Platyrrhini, griechisch: Breitnase; hingegen Catarrhini, griechisch: Schmalnase) (Whitney 1995).

Bei der Klassifizierung der Primaten spielen neben Merkmalen am Schädel und am postcranialen Skelett auch Zähne eine große Rolle, da die Morphologie der Zähne genetisch bestimmt ist und sich nur sehr langsam verändert (Swindler 1998, 2002). Ein charakteristisches Merkmal, das die Neuweltaffen von den Altweltaffen unterscheidet, ist die Anzahl der Prämolaren. Während die ursprüngliche Zahnformel der Säugetiere 3 Incisivi, 1 Caninus, 4 Prämolaren und 3 Molaren beinhaltete, haben alle rezenten Primaten im Laufe der Evolution den lateralen Incisivus und mindestens einen Prämolaren verloren. Der Verlust der Prämolaren erfolgte hierbei von anterior nach posterior (Swindler 1998). Neuweltaffen haben einen Prämolaren verloren und besitzen 3 Prämolaren und 3 Molaren, Altweltaffen haben die ersten beiden Prämolaren verloren und besitzen nur 2 Prämolaren, sowie 3 Molaren (Dean 1992).

Callitrichinae nehmen mit 3 Prämolaren und 2 Molaren eine Sonderstellung innerhalb der Neuweltaffen ein (Napier and Napier 1967, Thurnquist and Hong 1995, Geissmann 2003). Uneinigkeit besteht darin, welcher Molar in der Evolution den Callitrichinae verloren gegangen ist. Nach Rylands (1993) fehlt der 2. Molar. Napier and Napier (1967), Fleagle (1988) und Geissmann (2003) gehen davon aus, dass der 3. Molar verloren gegangen ist. Es ergeben sich für die einzelnen Gruppen folgende Zahnformeln:

Catarrhini: $\frac{2123}{2123} \times 2 = 32$

Platyrrhini: $\frac{2133}{2133} \times 2 = 36$

Callitrichinae: $\frac{2132}{2132} \times 2 = 32$

Bis heute ist es nicht gelungen, eine allgemeingültige Systematik für die Neuweltaffen zu entwickeln, so dass noch immer eine Reihe von Klassifikationen nebeneinander existieren. Neben makroskopisch anatomischen Merkmalen (Ford 1986), gibt es zunehmend biologische und molekulare, biochemische Daten, die teilweise völlig neue Einteilungen bedingen (Swindler 1998). Die in dieser Arbeit verwendete Systematik der Callitrichinae nutzt die Klassifikation nach Swindler (1998), die auf dem Konzept des Organisationsgrades der verschiedenen Tiergruppen basiert (Abb.1).

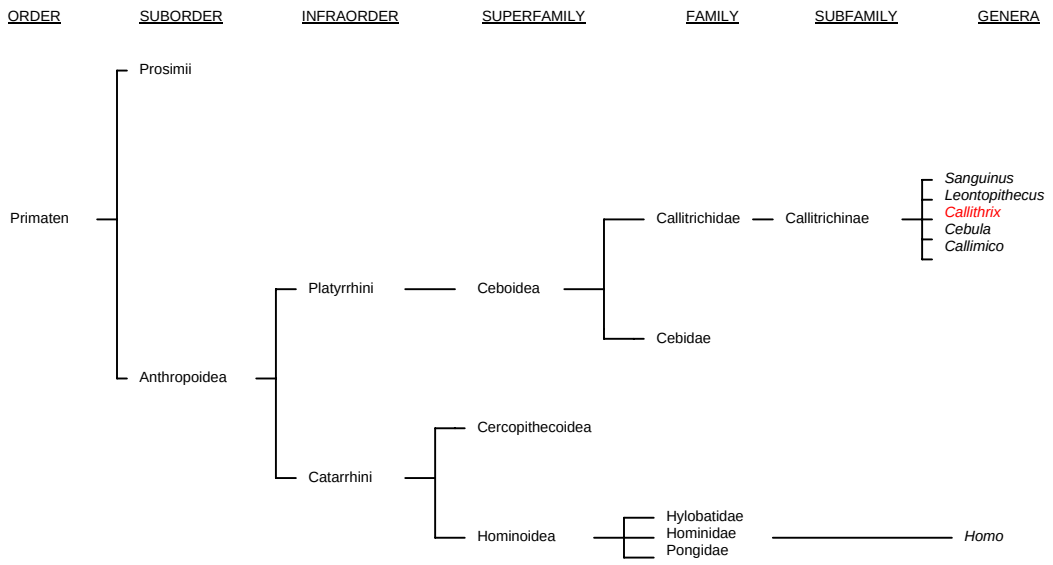


**Abb. 1** Klassifikation der rezenten Primaten, nach Swindler (1998).

Swindler (1998) teilt die Platyrrhini in die Familien Cebidae und Callitrichidae ein. Besonders hinsichtlich der Callitrichinae gibt es jedoch verschiedene Einteilungen. Die Subfamilie der Callitrichinae entstammt hier der Familie der Callitrichidae (Abb.1). Rosenberger et al. (1990) verwenden eine andere Taxonomie. Sie teilen die Platyrrhini in die Familien Cebidae und Atelidae ein. Im Gegensatz zu der Einteilung von Swindler (1998) gehört die Subfamilie der Callitrichinae nach Rosenberger et al. (1990), sowie Schneider and Rosenberger (1996) der Familie der Cebidae (Abb.2). Eine weitere Klassifikation der Neuweltaffen stammt von Ford (1986). Ford (1986) unterteilt die Platyrrhini in die Familien Cebidae, Callitrichidae und Atelidae (Abb.3).

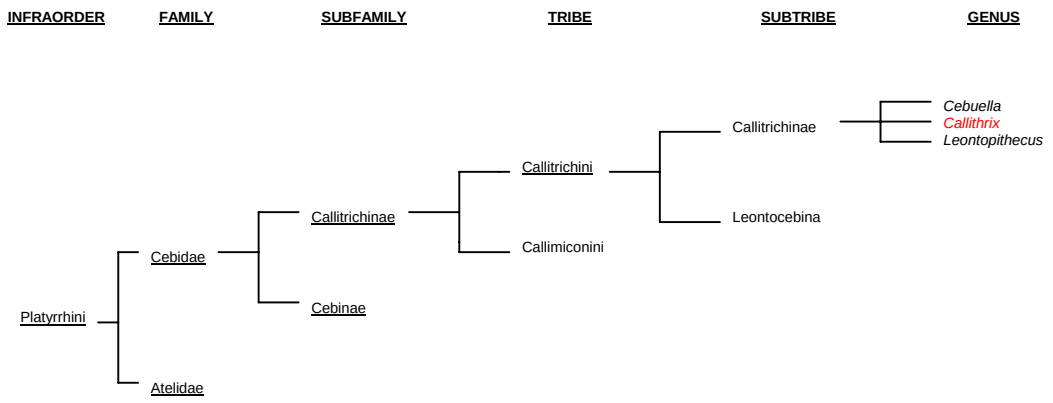


**Abb. 2** Klassifikation der Neuweltaffen, nach Rosenberger et al. (1990).

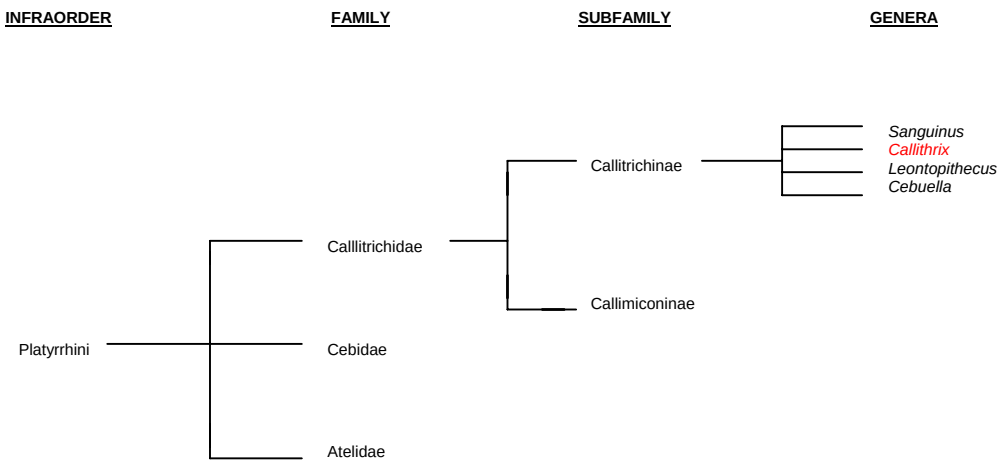


**Abb. 3** Klassifikation der Neuweltaffen nach Ford (1986).

Die Familie der Callitrichidae gliedert sich je nach Autor in 3 bis 5 Genera (Ford 1986, Rylands1993, Takai and Setoguchi 1996, Swindler 1998, Geissmann 2003) und in 20 Spezies (Fleagle 1988), die sich in drei Gruppen einteilen lassen: Goeldi´s Monkey (*Callimico*) (1), Tamarins (*Saguinus* und *Leontopithecus*) (2), sowie Marmosets (*Cebuella* und *Callithrix*) (3).

Hinsichtlich der Einteilung von *Callithrix* bestehen ebenfalls Uneinigkeiten. So beschreiben Napier and Napier (1967) 8 Spezies: *Callithrix argentata, Callithrix aurita, Callithrix flaviceps, Callithrix geoffroyi, Callithrix jacchus, Callithrix penicillata, Callithrix humeralifer* und *Callithrix chrysolenca*. Hershkovitz (1972, 1975) unterscheidet bei *Callithrix* folgende Subspezies: *Callithrix jacchus jacchus, Callithrix jacchus penicillata, Callithrix jacchus geoffroyi, Callithrix jacchus aurita* und *Callithrix jacchus flaviceps*.

## 2.2. Biologische Charakterisierung der Callitrichidae

Callitrichidae sind kleinwüchsige tagaktive Tiere. Sie sind in den Wäldern des tropischen Zentral- und Südamerika weit verbreitet und ähneln in ihrer Größe und ihrem Aussehen dem Eichhörnchen. Ihr Lebensbereich reicht vom Meeresspiegel bis in den Columbianischen Anden in 3000m Höhe. Sie zeigen häufig eine

lebhafte, bunte Fellfärbung und Farbmusterbildungen. Diese Primaten bevorzugen horizontales, vierfüßiges Laufen und Springen im Astwerk und bewegen sich selten auf dem Boden fort (Napier and Napier 1967, Hershkovitz 1972, Sampson et al. 1987, Fleagle 1988, Geissmann 2003).

Die Fortpflanzung erfolgt mit einer Tragzeit von 130-145 Tagen, oft zweimal im Jahr, mit einer Häufung im Frühjahr und Herbst, wobei 80% des Nachwuchses Zwillinge sind (Starck 1995). Callitrichidae ernähren sich von Früchten, Harzen und kleineren Tieren, wobei Harze mit 15% der Gesamtnahrung einen größeren Anteil bilden als bei anderen Marmosets. Die Incisivi des Unterkiefers sind verlängert und schräg-horizontal gestellt, während die Canini verkürzt sind (Starck 1995, Geissmann 2003). Sie dienen dazu, die Baumrinde aufzureißen, um Harz für die Ernährung zu gewinnen. Die Inzisivi der Callitrichinae sind somit als Werkzeug aufzufassen, über die biomechanischen Auswirkungen auf den Gesamtschädel liegen erste Untersuchungen von Vinyard et al. (2001) vor.

Innerhalb der Marmosets, der kleinsten und primitivsten Gruppe der Neuweltaffen, weist *Callithrix* die höchste Körpergröße auf (Hershkovitz 1972, Fleagle 1988). Die Körperlänge beträgt bei weiblichen Tieren im Durchschnitt 185mm und bei männlichen Tieren im Durchschnitt 188mm, die Schwanzlänge bei weiblichen Tieren 274mm und bei männlichen Tieren 280mm. Buschlandschaften, Sümpfe und Baumplantagen bilden den Lebensraum von *Callithrix*. Die Lebensspanne beträgt im Durchschnitt 11,7 Jahre, bei der ersten Geburt sind die Muttertiere etwa 20 bis 24 Monate alt (Napier and Napier 1967, Fleagle 1988, Rowe 1996, Stevenson and Rylands 1988, Geissmann 2003).

**Abb. 4** *Callithrix jacchus.*

## 2.3. Zur Morphologie der Nasenhöhle

*Grundform der Nasenhöhle der Primaten*

Nach Cave (1973) stellt sich die Form der Nasenhöhle der Säugetiere als außerordentlich konstant dar. Sie soll wenig abhängen von Körpergröße, Nahrung, Lebensgewohnheiten oder von externen Faktoren beeinflusst werden und liefert somit ein zuverlässiges Kriterium in der Taxonomie (Cave 1973).

Cave (1973) beschreibt die Nasenhöhle der Nichtprimaten (Abb.5) als eine lange, niedrige Kammer mit einer ausgedehnten vestibulären Komponente. Ihr schließt sich ein langer und schmaler Epipharynx an. Demgegenüber zeigt sich die Nasenhöhle der Primaten als eine kurze, hohe Kammer mit einem kleinen

Vestibulum, dem sich ein großer und kurzer Epipharynx anschließt. Nichtprimaten, deren Geruchssinn dominiert, verfügen am Übergang zum Epipharynx über eine Lamina transversa sphenoidalis (Abb.5). Der Raum oberhalb davon ist in unmittelbarer Nähe des Bulbus olfactorius als Recessus erweitert. So kann die eingeatmete Luft einer verlängerten und intensiven olfaktorischen Analyse zugeführt werden. Bei Primaten, bei denen der Sehsinn dominant ist, fehlt ein solcher Recessus (Cave 1973).

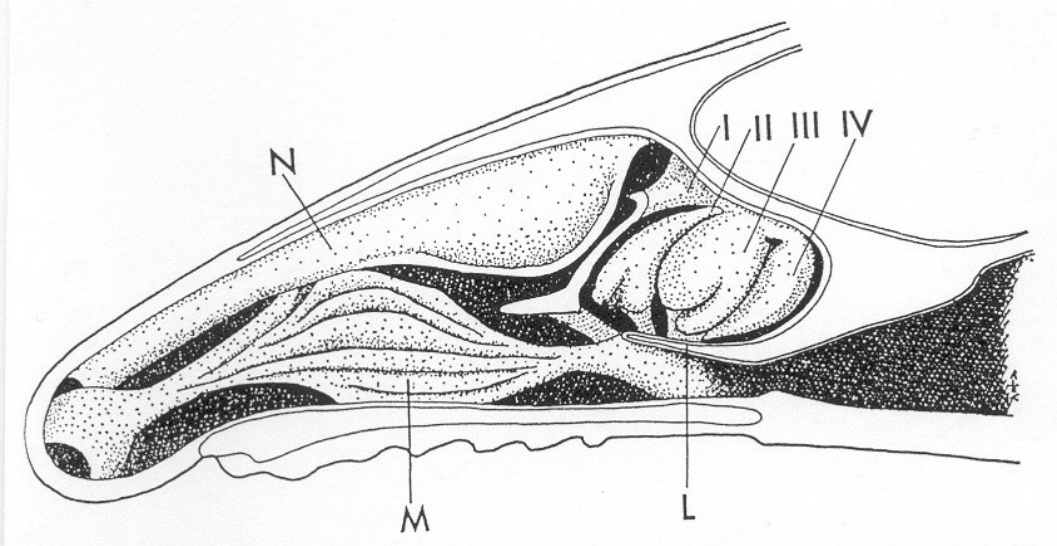


**Abb. 5** Nasenhöhle eines Nichtprimaten, veranschaulicht am Igel (*Erinaceus)*. Nasoturbinale (N), Maxilloturbinale (M), Endoturbinalia (I-IV), Lamina transversa (L). Aus Cave (1967).

Abgesehen von der Form der Nasenhöhle unterscheiden sich Primaten und Nichtprimaten hinsichtlich der Ausbildung und Anordnung der Nasenmuscheln. Mit Ausnahme von Naso- und Maxilloturbinale geht das Nasenmuschelsystem der rezenten Säugetiere vom Siebbein aus und lässt sich auf eine gemeinsame Stammform zurückführen (Paulli 1900). Dieser Typus des Siebbeins findet sich bei Marsupaliern und Insectivoren (Hershkovitz, 1977). Es beinhaltet (1) ein Nasoturbinale am anterioren, bzw. superioren Teil der Nasenhöhle, (2) vom Siebbein ausgehende Endoturbinalia (I-IV), sowie (3) ein Maxilloturbinale am inferioren Teil der Nasenhöhle. Das Maxilloturbinale, die Concha nasalis inferior des Menschen, ist in der Regel die größte der Nasenmuscheln und befindet sich

im unteren Bereich der Nasenhöhle. Nach Untersuchungen von Hillenius (1992) steht das Maxilloturbinale vornehmlich im Dienste der Thermoregulation. Daneben existiert eine zweite Serie von Muscheln, die Ectoturbinalia, die aus kleinen Fortsätzen bestehen. Diese befinden sich jeweils zwischen einem Paar von Ethmoturbinalia, einschließlich des Nasoturbinale, und gehen ebenfalls vom Siebbein aus (Abb.6).

Hinsichtlich der Nomenklatur der Nasenmuscheln finden sich in der Literatur einige Widersprüche. So verwenden Cave (1973) und Hershkovitz (1977) den Begriff Ethmoturbinale synonym für den Begriff Endoturbinale, während Novacek (1993) als Ethmoturbinalia die Gesamtheit der Endo- und Ectoturbinalia bezeichnet. Es besteht ebenfalls Uneinigkeit über das Nasoturbinale. Cave (1973) und Hershkovitz (1977) unterscheiden zwischen Nasoturbinale und Endoturbinalia, wohingegen bei Novacek (1993) das Nasoturbinale dem Endoturbinale I entspricht.

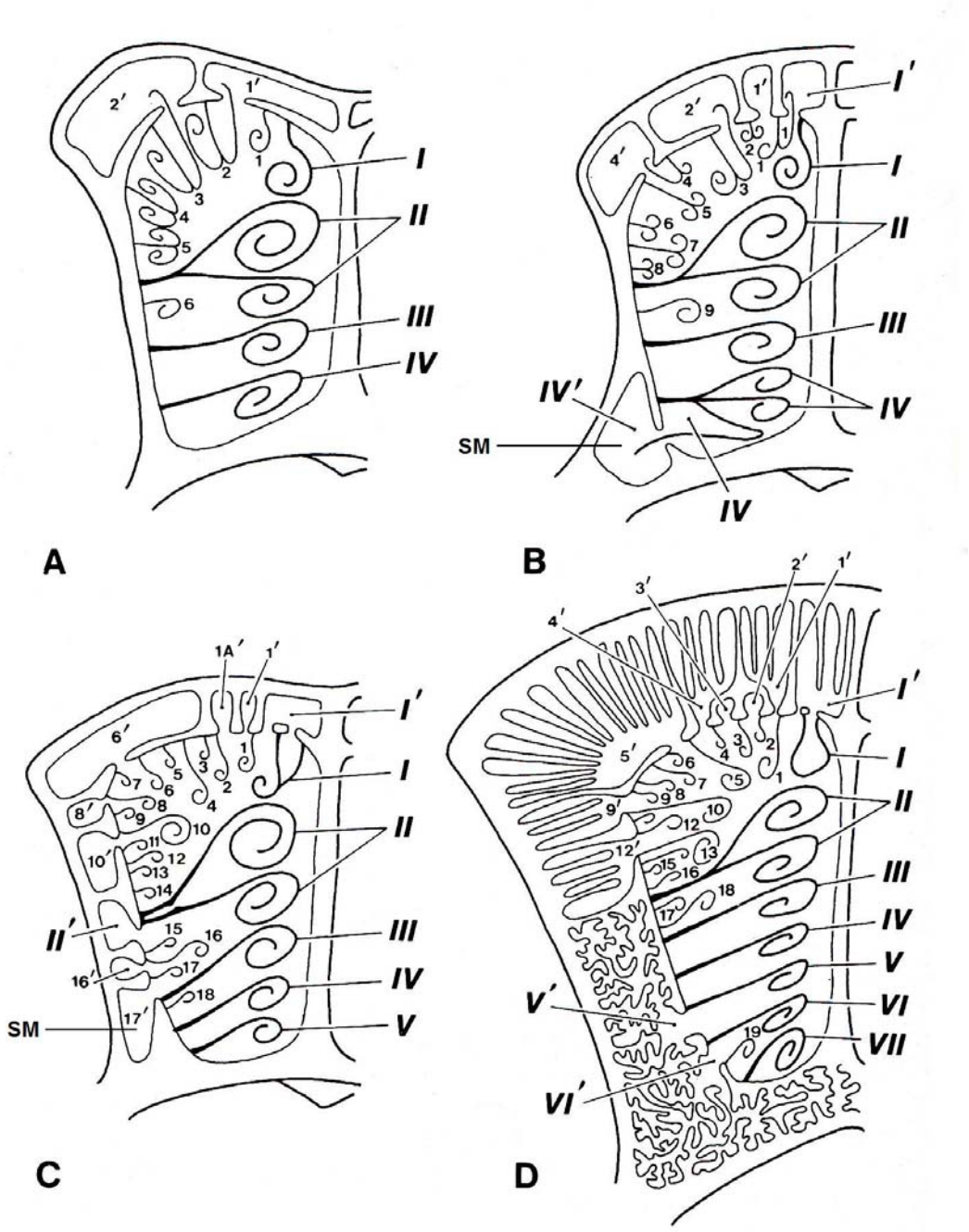


**Abb. 6** Schematische Darstellung frontaler Schnitte durch die Nasenhöhlen (A) eines Hundes (*Canis*), (B) eines Bären (*Ursus arctos*), (C) einer Kuh (*Bos*) und (D) eines afrikanischen Elefanten (*Loxodonta*). Endoturbinalia sind durch römische Zahlen gekennzeichnet; Ectoturbinalia durch arabische Zahlen; Sinus durch einen Akzent und die Nummer, die dem korrespondierenden Turbinale entspricht, z.B. 1´ = Sinus für das Ectoturbinale1. SM: Sinus maxillaris. Nach Novacek (1993).

Im Gegensatz zu Nichtprimaten sind die Nasenmuscheln bei Primaten in der Anzahl und Komplexität reduziert (Abb.7). Das Nasoturbinale ist deutlich verkleinert und kann sogar fehlen. Das Maxilloturbinale besteht aus einer

einzigen, einfachen Muschel, die Endoturbinalia I und II sind stets vorhanden, jedoch bemerkenswert klein. Sie entsprechen der Concha nasalis media und der Concha nasalis superior des Menschen. Das Endoturbinale III ist rudimentär vorhanden, Endoturbinalia IV und V fehlen (Cave 1973).

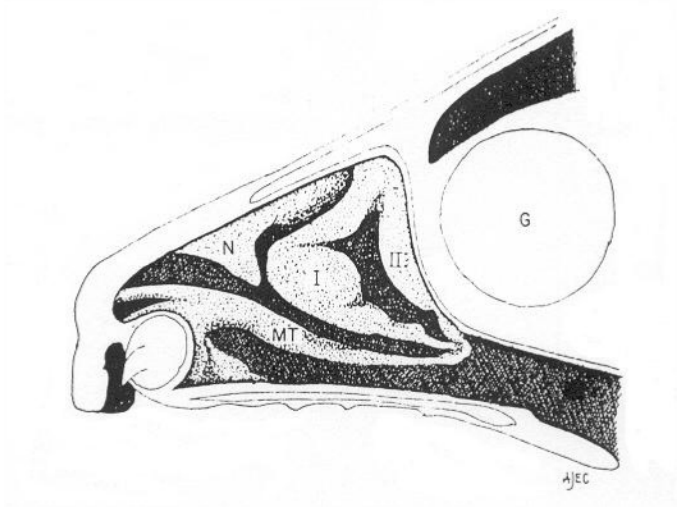


**Abb. 7** Nasenhöhle eines Halbaffen: Tarsier (*Tarsius*). Beachte die Reduktion der Turbinalia im Vergleich zu Nichtprimaten (Abb. 6). Nasoturbinale (N), Maxilloturbinale (MT), Endoturbinalia (I-II), Öffnung im Interorbitalseptum (G). Aus Cave (1973).

*Nasenhöhle der Platyrrhini unter besonderer Berücksichtigung der Callitrichinen*

Wie bei allen Primaten sind bei den Callitrichinae ein Endoturbinale I und ein Endoturbinale II ausgebildet (Hershkovitz 1977). Das Endoturbinale I ist stets größer als das Endoturbinale II und weniger variabel. Sie entsprechen der Concha nasalis media und superior der Nomina anatomica. Während das Endoturbinale III bei den meisten Platyrrhini nur noch spurenhaft oder gar nicht mehr auffindbar ist, ist das Endoturbinale IV bei Platyrrhini und Catarrhini nicht mehr vorhanden. Das Maxilloturbinale ist auch bei allen Neuweltaffen nachweisbar und vergleichsweise gut ausgebildet. Im Gegensatz zu den Neuweltaffen sind die Ectoturbinalia zwar bei den meisten Catarrhini nicht vorhanden, verbleiben bei Platyrrhini allerdings oft als knöcherner Kamm, der möglicherweise die Bulla ethmoidalis der menschlichen Anatomie darstellt und als solcher auch bei den Platyrrhini zu finden ist (Hershkovitz 1977).

Untersuchungen an einem Feten von *Callithrix jacchus* mit einer Schädel-Steiss-Länge von 20mm haben gezeigt, dass auch bei *Callithrix jacchus* ein Maxilloturbinale und zwei Endoturbinalia vorhanden sind (Simon 1981). Darüber hinaus beschreibt Simon (1981) eine Crista semicircularis und ein Atrioturbinale, sowie den Ansatz für ein Nasoturbinale. Dieses erscheint beim Neugeborenen knorpelig gestützt (Abb. 8) (Simon 1981). Dies wird auch von Smith et al. (2004) unterstützt, die bei *Callithrix jacchus* ebenfalls zwei Ethmoturbinale fanden.

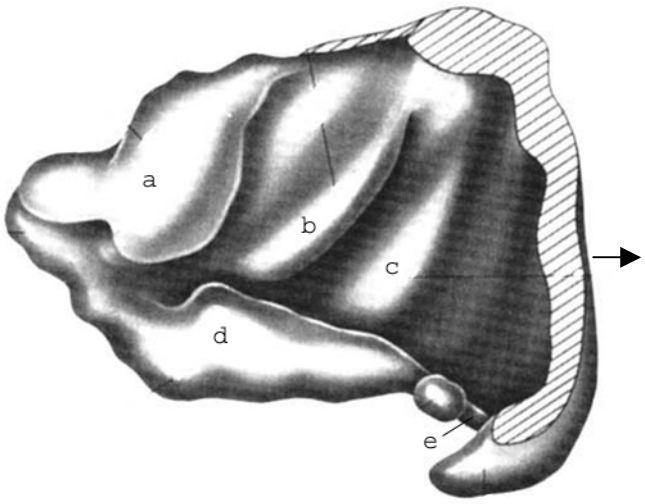


**Abb. 8** Oberflächenrelief der lateralen Wand der Nasenhöhle von *Callithrix jacchus* nach Abtrennung im Bereich von Tectum nasi und Commissura orbitonasalis. Der Pfeil zeigt nach anterior. Fetus von *Callithrix jacchus* (20mm SSL). a: Endoturbinale II; b: Endoturbinale I; c: Crista semicircularis; d: Maxilloturbinale; e: Atrioturbinale. Verändert nach Simon (1981).

Dieser Darstellung widersprechen Wako et al. (1999). Nach den Angaben dieser Autoren setzen sich die Nasenmuscheln des *Callithrix jacchus* lediglich aus einem Ethmoturbinale und einem Maxilloturbinale zusammen.

Unterschiedliche Angaben findet man auch zum Aufbau der Schleimhaut. Nach Wako et al. (1999) ändert sich das Nasenepithel von *Callithrix jacchus* von anterior nach posterior in charakteristischer Weise: Haut, nasales transitorisches Epithel, respiratorisches Epithel und olfaktorisches Epithel (Abb.9). Simons et al.

(1999) weisen darauf hin, dass bei *Callithrix jacchus* die Riechschleimhaut anterior in Höhe des ersten Ethmoturbinales beginnt und sich bis in das Ende des Recessus cupularis posterior erstreckt. Dieser Recessus cupularis posterior stellt eine Ausbuchtung der Nasenhöhle dar (Simons et al. 2004).

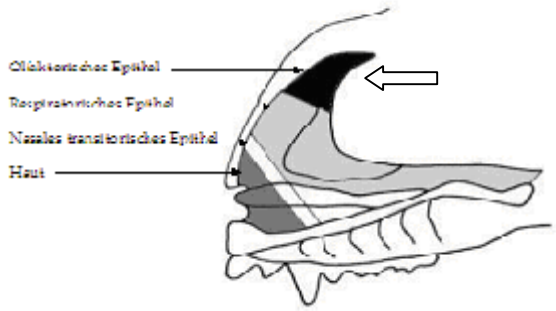


**Abb. 9** Darstellung der Zonen des Nasenhöhlenepithels von *Callithrix jacchus*. Verändert nach Wako et al. (1999). Der Blockpfeil weist auf den Recessus frontalis der Nasenhöhle.

## 2.4. Zur Morphologie der Nasennebenhöhlen

Nasennebenhöhlen sind epithelial ausgekleidete Hohlräume, die über ein Ostium mit der Nasenhöhle in Verbindung stehen. Sie werden bereits in der Fetalperiode angelegt und entstehen aus Schleimhautdivertikeln oder Recessus der Nasenhöhle. Der Vorgang des Vorwachsens in die umgebenden Strukturen wird als Pneumatisation bezeichnet. Weiglein (1999) unterscheidet zwischen primärer und sekundärer Pneumatisation. Die primäre Pneumatisation erfolgt z.B. für den Sinus maxillaris bereits in der Fetalperiode, indem der Recessus innerhalb der knorpligen Nasenkapsel vorwächst. Mit dem Verlust der knorpligen Nasenkapsel wächst der Sinus in den umgebenden Knochen durch osteoklastische Aktivität ein. Dieser Vorgang wird auch als sekundäre Pneumatisation bezeichnet.

Unter einer echten Nasennebenhöhle oder Sinus wird ein mit Schleimhaut ausgekleideter Hohlraum verstanden, der von der Nasenhöhle ausgeht und mit ihr durch ein Ostium in Verbindung steht (Weinert 1927, Cave 1967, Hershkovitz 1977, Starck 1995). Siebert and Swindler (2002) unterscheiden einen primären Sinus, der direkt mit der Nasenhöhle kommuniziert, von einem sekundären Sinus. Letzterer weist keine direkte Kommunikation mit der Nasenhöhle auf. Nach

Witmer (1999) lässt sich zwischen einem pneumatischen Divertikel aus Weichteilen und einer knöchernen Ausbuchtung, die das Weichteildivertikel oft beherbergt, unterscheiden. Beide Formen werden bei diesem Autor als Sinus bezeichnet. In den meisten Fällen entsteht die knöcherne Ausbuchtung durch osteoklastische Aktivität. Das trifft insbesondere auf die Siebbeinzellen zu. Nach Mafee (1993) bestehen innerhalb des Os ethmoidale Siebbeinzellen, die nicht völlig vom Os ethmoidale eingeschlossen sind, und somit nur aus Schleimhautzellen bestehen.

Die Identifizierung und Benennung der Nasennebenhöhle richtet sich nach dem Gebiet, in das sie einwächst (Starck 1995). Kenntnisse über die Entwicklung der Nasennebenhöhlen sind daher für die Beurteilung der Herkunft der Nasennebenhöhlen von großer Bedeutung (Rossie 2003, 2004). Hinsichtlich der Entstehung nehmen der Sinus maxillaris und der Sinus sphenoidalis eine Sonderstellung ein. Nach Paulli (1900) entsteht der Sinus maxillaris als erster der Nasennebenhöhlen aus dem respiratorischen Anteil der Nasenhöhle, und zwar unmittelbar vor der Entwicklung des Siebbeins, das aus dem olfaktorischen Anteil des Siebbeins entsteht (Paulli 1900, Witmer 1999). Alle anderen Nasennebenhöhlen entstammen nach Novacek (1993) dem Siebbein. Sie entwickeln sich aus den Einbuchtungen zwischen den Basallaminae der Ethmoturbinalia (Novacek 1993).

Der Sinus sphenoidalis weist ebenfalls eine Besonderheit auf. Nach Paulli (1900) und Starck (1995) entsteht der Sinus sphenoidalis nicht wie die anderen Sinus als Recessus, sondern stellt einen Teil des Hauptraumes der Nasenhöhle dar. Anderhuber et al (1992), die sich mit der Entwicklung der Nasennebenhöhlen des Menschen befassen, stellen fest, dass beim Neugeborenen sowohl der Sinus maxillaris, als auch der Sinus ethmoidalis schon eine beachtliche Größe aufweisen, während der Sinus sphenoidalis und der Sinus frontalis erst als Anlagen vorhanden sind. Aufgrund von Untersuchungen an Pongiden stellt Blaney (1986) für den Sinus frontalis zwei Kriterien auf: die Entwicklung muss

von einer anterioren Siebbeinzelle ausgegangen sein und er muss sich in den antero-superioren Bereich des mittleren Nasenganges öffnen.

Neben den echten Sinus werden auch einfach vergrößerte Zellen der Spongiosa oder mehr oder weniger gut definierbare knöcherne Fossae oder Recessus gefunden. Diese werden zwar mitunter als pneumatische Räume bezeichnet, entsprechen aber nicht der Definition eines echten Sinus (Hershkovitz 1977).

*Variationen der Nasennebenhöhlen unter der besonderen Berücksichtigung der Neuweltaffen*

Innerhalb der Primaten sind Sinus unterschiedlich präsent und variieren in Form und Größe (Swindler 1998, Siebert and Swindler 2002). Die Nasennebenhöhlen der Neuweltaffen sind, im Gegensatz zu den Nasennebenhöhlen der Altweltaffen, wenig bearbeitet. Die Untersuchungen an Neuweltaffen zeigen, dass der Sinus maxillaris stets vorhanden ist, sich aber unterschiedlich rasch ausbildet. Wenige Angaben lassen sich über den Sinus frontalis finden (Rossie 2004).

Nach Hershkovitz (1977) ist der Sinus maxillaris bei Platyrrhini stets vorhanden und reicht von einem flachen Rezessus des Nasenganges bis zu einer weiten Höhle bei *Alouatta*. Bei den catarrhinen Primaten ist der Sinus maxillaris nicht konstant vorhanden, erscheint aber bei Menschen und Menschenaffen als echter Sinus (Hershkovitz 1977). Eine Besonderheit weisen die Cercopithecoidea auf. Innerhalb dieser Gruppe sind echte Nasennebenhöhlen nur bei Makaken in Gestalt des Sinus maxillaris nachweisbar (Koppe and Ohkawa 1999). Rae et al. (2002) postulieren, dass es sich beim Sinus maxillaris der Makaken um eine sekundäre Neubildung handelt. Diese Behauptung stützt sich auf die Beobachtung, dass bei *Victoriapithecus*, die als eine phylogenetisch alte Spezies nahe der Cercopithecoideae anzusiedeln ist, ein Sinus maxillaris fehlt.

Koppe et al. (1999) berichten, dass die Variation der Volumina des Sinus maxillaris der Primaten sich teilweise durch die unterschiedliche Schädelgröße erklärt. Sie fanden, dass das Volumen des Sinus maxillaris sowohl mit

zunehmender Schädelgröße (Koppe und Fanghänel 2000) steigt. Eine Ausnahme bildet nach diesen Autoren die Gruppe der Makaken, welche für ihre Schädelgröße relativ kleine Kieferhöhlen aufweisen. Das Ostium variiert ebenfalls, was die Größe, die Form und die Position angeht. Hershkovitz (1977) verweist darauf, dass das Ostium bei kleineren Schädeln platyrrhiner Primaten nicht auffindbar ist.

Obwohl der Sinus sphenoidalis der Primaten anders entsteht als alle übrigen Nasennebenhöhlen (Paulli 1900), ist er bei Platyrrhini normalerweise gut belüftet. (Hershkovitz 1977). Hershkovitz (1977) berichtet, dass das Ostium, welches in den oberen Nasengang mündet, nicht immer auffindbar ist. Vermutlich ist es jedoch bei allen Callitrichinen vorhanden (Hershkovitz 1977).

Echte Sinus frontales kommen beim Gorilla, Schimpansen und dem Menschen vor (Andrews and Martin 1987, Siebert and Swindler 2002). Sie sollen sich in der Regel von anterioren Siebbeinzellen ableiten (Blaney 1986, Rossie 2004).

Neue Untersuchungen an fossilen Schädeln von *Aegyptopithecus* zeigen, dass der Sinus frontalis vermutlich primitiv ist für Catarrhini (Rossie et al. 2002, Rossie 2005). Sinus frontales des Menschen zeichnen sich, die Morphologie und die Kapazität betreffend, durch eine hohe Variabilität aus (Blaney 1986, Andrews and Martin 1987, Prossinger and Bookstein 2003). Von allen Nasennebenhöhlen weist der Sinus frontalis die meisten Septen auf (Hajniš and Pozděnovà 1972).

Innerhalb der Platyrrhini gibt es unterschiedliche Angaben bezüglich der Pneumatisation der Sinus frontales (Rossie 2000). Während Weinert (1927) Neuweltaffen sowohl mit als auch ohne Sinus frontalis beschreibt, ist der Sinus frontalis nach Hershkovitz (1977) bei allen Platyrrhini präsent. Er erscheint trabekulär oder honigwabenähnlich ohne klare Verbindung zur Nasenhöhle bei *Cebuella pygmaea*, gut belüftet mit einer weiten Öffnung des primitiven Typs (s. unten) bei *Saguinus* und *Leontopithecus rosalia* und als weiter Sinus mit einer Öffnung des sekundären Typs bei *Cebus* (Hershkovitz 1977).

Weinert (1927) unterscheidet zwei Typen der Verbindung zwischen Sinus frontalis und Nasenhöhle:

1. der primitive Typ: der Sinus frontalis öffnet sich direkt in den mittleren Nasengang durch eine Öffnung vor der Lamina cribrosa des Os ethmoidale
2. der sekundäre Typ: Kommunikation durch einen Kanal, der posterolateral zu der Ebene des Bulbus olfactorius verläuft und in einen posterioren Recessus der Nasenhöhle mündet

Hinsichtlich der Pneumatisation des Os frontale von *Callithrix* gibt es unterschiedliche Angaben. Hershkovitz (1977) untersuchte ein Exemplar von *Callithrix jacchus* und fand einen Sinus frontalis von zellulärer Struktur ohne erkennbare Verbindung zur Nasenhöhle. Nach Weinert (1927) besitzt *Callithrix jacchus* ebenfalls Stirnhöhlen. Im Gegensatz zu Hershkovitz (1977) fand er ein doppelwandiges, lufthaltiges Stirnbein, wobei dieser Hohlraum mit der Nasenhöhle verbunden war.

## 2.5. Funktionen der Nasenhöhle und der Nasennebenhöhlen

Trotz zahlreicher Fortschritte in Diagnostik und Therapie der Nasennebenhöhlen (Stierna 2001), sind die Funktionen der Nasenhöhle und der Nasennebenhöhlen noch nicht vollständig geklärt (Blanton and Biggs 1969, Witmer 1999, Rae and Koppe 2004). Neben der Riechfunktion besitzt die Nasenhöhle auch die Aufgabe der Erwärmung, Anfeuchtung und Filtration der Atemluft. Sie dient darüber hinaus als Resonanzorgan für die Sprache und der Thermoregulation (Wako et al. 1999, Stierna 2001, Koppe 2003). Nach Hillenius (1992) steht insbesondere das Maxilloturbinale (Concha nasalis inferior) im Dienst der Thermoregulation. Diese Funktion soll bei den Nichtprimaten besonders ausgeprägt sein.

Die verschiedenen, zum Teil widersprüchlichen Theorien zur Rolle der paranasalen Lufträume werden von Blaney (1990) in drei Gruppen eingeteilt: *strukturelle Rolle, physiologische Funktionen, keine Funktion.*

Strukturelle Rolle:

- Erleichterung des Schädelgewichtes (Hershkovitz 1977, Blaney 1990, Novacek 1993, Swindler 1998)
- Schockabsorption (Hershkovitz 1977, Blaney 1990, Gannon et al. 1997)
- Ersatz funktionslosen Knochens (Weidenreich 1924)
- Optimierung der Schädelarchitektur (Novacek 1993, Gannon et al. 1997)
- Vergrößerung der Oberfläche für Muskelansätze (Hershkovitz 1977)

Physiologische Funktionen:
- Ventilation (Blaney 1990)
- Schleimsekretion (Blaney 1990)
- Erwärmung und Anfeuchtung der Atemluft (Blaney 1990, Gannon et al. 1997, Swindler 1998)
- thermische Isolation der Cavitas crani (Hershkovitz 1977, Blaney 1990, Novacek 1993, Gannon et al. 1997, Swindler 1998)
- Resonanzorgan (Blaney 1990, Novacek 1993, Gannon et al. 1997, Swindler 1998)
- Sterilität innerhalb der Nasenhöhlen durch Abgabe von Stickoxid (Gannon et al. 1997)

Keine Funktion:
- funktionslose Überbleibsel osteoklastischer Aktivität im Schädel (Weidenreich 1924)
- Schwimmfähigkeit der Primaten in einer Phase der Evolution (Aquatic Ape Theory) ( Rhys Evans 1992)

## 2.6. Schädelmorphologie der Callitrichidae unter besonderer Berücksichtigung von *Callithrix jacchus*

Im Laufe der Evolution fanden Veränderungen in der Ausprägung und Lokalisierung von Schädelstrukturen statt. Dadurch ist es möglich, Primatenschädel von anderen Säugetierschädeln zu unterscheiden (Swindler 1998). Besonderheiten bezüglich der Schädelmorpholgie bei *Callithrix jacchus*

sind ein in Bezug auf den Gesichtsschädel großer Hirnschädel, vergleichsweise große Orbitae mit einem geringen transversalem Abstand und ein relativ gering ausgebildeter Kauapparat (Simon 1981).

*Sexualdimorphismus*

Sexuelle Unterschiede führen zu mehr oder weniger betontem Sexualdimorphismus, der sich in morphologischen, physiologischen oder Verhaltensmerkmalen äußern kann (Leutenegger and Cheverud 1982).

Sexualdimorphismus, wie z.B. der Körpergröße, korreliert unter Primaten mit allgemeinen Faktoren der sozialen Organisation (Leigh 1995, Simons et al. 1999). Nach Plavcan (2001) trägt auch die Konkurrenz unter den weiblichen Tieren bei diesen zur Ausbildung eines Sexualdimorphismus bei. Die soziale Struktur bei *Callithrix jacchus* ist variabel. Neben der Konstellation, dass ein Weibchen mit vielen Männchen in einer Gruppe lebt, existiert die Konstellation, dass ein Männchen mit vielen Weibchen in einer Gruppe lebt ebenso wie viele Weibchen, die mit vielen Männchen in einer Gruppe leben (Rowe 1996).

Sexualdimorphismus am Schädel der Primaten tritt häufig auf und betrifft auch die Nasennebenhöhlen. Nach Ravosa and Ross (1994) kommt der Dimorphismus des Schädels durch unterschiedliche Stärke und Geschwindigkeit des Wachstums von männlichen und weiblichen Tieren zustande. Moormann (2004) stellt fest, dass der Sexualdimorphismus des Sinus maxillaris bei *Alouatta caraya* im Vergleich zu anderen Primatenspezies stark ausgeprägt ist, es besteht jedoch kein Zusammenhang zwischen der Größe des Sexualdimorphismus-Index und der Gesamtgröße des Sinus maxillaris. Bezüglich cranialer Messungen bei *Callithrix jacchus* fand Röhrer-Ertl (2005) signifikante Unterschiede zwischen den Geschlechtern, jedoch unterscheiden nur bestimmte Maße beide Geschlechter.

Es existiert eine positive Korrelation zwischen dem Sexualdimorphismus des Körpergewichtes und dem der Größe der Canini, der innerhalb der verschiedenen Spezies unterschiedlich ausgeprägt ist (Leutenegger and Kelly 1977, Leutenegger

1982, Godfrey et al. 1993). Zu den verschiedenen Faktoren, die den Sexualdimorphismus der Canini bedingen, gehören unter anderem das Körpergewicht, das Sozialverhalten und die Nahrung (Greenfield 1992). Das Ausmaß, in dem der Sexualdimorphismus der Canini von diesen Faktoren abhängt, ist dabei unterschiedlich. So spielt der zwischenmännliche Wettbewerb eine große Rolle, wohingegen die Nahrungsart nur einen geringen bis keinen Einfluss hat (Leutenegger and Kelly 1977, Plavcan and Van Schaik 1992, 1997). Es liegen allerdings keine Angaben diesbezüglich für Marmosets vor.

1982 fanden Leutenegger and Cheverud, dass der Sexualdimorphismus der Primaten zwar abhängig ist von oben genannten Faktoren wie der Art der Partnerwahl, Nahrung und Aktivitätsrhythmus, Hauptfaktor sei allerdings die Körpergröße in dem Sinne, dass steigende Größe einen erhöhten Sexualdimorphismus bedingt.

Im Speziellen weisen die Maße des Viscerocraniums einen höheren Dimorphismus auf als die des Neurocraniums und der Orbitae, wobei die Werte des craniofacialen Dimorphismus in allen Primatenspezies hoch mit dem Dimorphismus der Körpermaße korrelieren (Plavcan 2002). Wettstein (1963) fand, dass bei *Callithrix jacchus* die weiblichen Tiere im Durchschnitt größer sind als die männlichen und dass bei weiblichen Tieren alle lange Röhrenknochen größer sind als bei Männchen. Die männlichen Tiere besitzen kürzere, aber breitere Köpfe als die Weibchen, so ist im Speziellen der männliche Gaumen kürzer, aber in Bezug auf Jochbogenbreite und Gaumenlänge breiter als der weibliche (Wettstein 1963). Die männlichen Tiere haben einen größeren Hirnschädel als die weiblichen Tiere (Wettstein 1963). Trotz dieser beobachteten geschlechtsspezifischen Unterschiede weichen die Körperproportionen bei beiden Geschlechtern nur unwesentlich voneinander ab (Wettstein 1963). Ein Sexualdimorphismus bei *Callithrix jacchus* ist auch nach Plavcan (2002) und Sampson et al. 1987) nicht signifikant vorhanden.

*Asymmetrie*

Ludwig (1932) fand, dass bezüglich der Morphologie des Menschen ein Übergewicht der rechten Körperhälfte bestand. Er führte dies sowohl auf eine Rechtslage des Schwerpunktes, als auch auf ein größeres Gewicht von rechter Skeletthälfte und Muskelmasse zurück. Ebenso beschrieb er Asymmetrien im Schädel von Anthropoiden, die unter anderem durch Verzerrungen aufgrund einseitiger Kautätigkeit entstehen (Ludwig 1932).

Heute wird der Begriff der Asymmetrie differenzierter betrachtet. Van Valen (1962) definiert Asymmetrie als Abweichung eines Organismus oder eines seiner Teile von perfekter Symmetrie und teilt sie in drei Gruppen ein:

1. Richtungsasymmetrie: bezeichnet das physiologischerweise größere Wachstum einer Seite, beispielsweise beim menschlichen Herzen.
2. Antisymmetrie: die ausgeprägter entwickelte Seite ist variabel, wie beispielsweise bei der menschlichen Rechts- bzw. Linkshändigkeit.
3. Fluktuierende Asymmetrie: resultiert aus der Unfähigkeit des Organismus, sich exakt symmetrisch zu entwickeln. Sie ist ubiquitär vorhanden und kann durch Umwelt- oder genetischen Stress hervorgerufen werden (Van Valen 1962, Manning and Chamberlain 1993, Scott and Turner II 1997).

Koppe and Nagai (1997) entwickeln die relative Asymmetrie. In Form des Asymmetrie-Index wird die Differenz zwischen zwei Strukturen ausgedrückt, z.B. zwischen dem linken und dem rechten Sinus maxillaris eines Individuums.

Koppe et al. (2004) untersuchten den Zusammenhang zwischen dem Volumen der Kieferhöhle und dem Asymmetrie-Index bei *Alouatta caraya*. Obwohl die männlichen Tiere größere Sinus aufweisen als weibliche Tiere, fanden sie lediglich eine geringe Asymmetrie bezüglich des Kieferhöhlenvolumens ohne Bevorzugung einer Richtung. Sie interpretieren diese Art der Asymmetrie bei *Alouatta caraya* als fluktuierende Asymmetrie.

Bei männlichen Tieren korreliert die Asymmetrie mit Teilaspekten des Sexualdimorphismus wie dem Dimorphismus der Canini, der Größe der Canini, dem Größendimorphismus und dem Wettbewerb zwischen männlichen Tieren. Keine signifikante Korrelation wurde zu Nahrungsart und Körpermasse gefunden (Manning and Chamberlain 1993). Hershkovitz et al. (1993), die sich mit der fluktuierenden Asymmetrie bei menschlichen Zähnen beschäftigen, stellen fest, dass die Hauptvariablen, die Einfluss nehmen, die Zahnklasse (Incisivi, Canini, Prämolaren, Molaren) und die Position (mesial, distal) sind.

# 3. Material und Methoden

## 3.1. Material

Für die Untersuchungen standen uns 4 Köpfe subadulter Tiere, sowie 8 Schädel adulter Primaten der Spezies *Callithrix jacchus* zur Verfügung. Die Köpfe entstammen dem Deutschen Primatenzentrum Göttingen, die Schädel dem Primate Research Institute, Kyoto University, Japan (Tab. 1).

**Tab. 1** Verwendetes Tiermaterial von *Callithrix jacchus*

| Deutsches Primatenzentrum | Primate Research Institute | |
|---|---|---|
| | männlich | weiblich |
| W 203 | KUPRI 1514 | KUPRI 1995 |
| W 216 | KUPRI 1706 | KUPRI 1997 |
| W 227 | KUPRI 1994 | KUPRI 1710 |
| W 282 | KUPRI 1996 | KUPRI 1993 |

W/KUPRI: Bezeichnung der Tiere durch das jeweilige Institut. Bei den Präparaten des Deutschen Primatenzentrum Göttingen lag keine Geschlechtbestimmung vor.

## 3.2. Methoden

### 3.2.1. Histologische Untersuchung

Im Rahmen einer Studie des Deutschen Primatenzentrums Göttingen wurden die Tiere getötet und anschließend dekapitiert. Nach der Dekapitierung wurden die Köpfe sofort in einer 4%igen puffernden Formalinlösung fixiert und gelagert. Die weitere histologische Aufarbeitung erfolgte im Institut für Anatomie der Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald. Die Köpfe wurden mit unterschiedlicher Entkalkungsflüssigkeit behandelt. Bei 2 Köpfen (W216 und W227) erfolgte die Entkalkung mittels folgender Entkalkungsflüssigkeit: 1000ml Aqua destillata, 60ml 25 %ige Salzsäure, 83ml konzentrierte Ameisensäure, 20g Ascorbinsäure. Das Präparat W203 wurde mit einer 25%igen EDTA-Lösung (ROMEIS 1989) und das Präparat W282 mittels DE-CAL® (National Diagnostics, Atlanta, Georgia) entkalkt.

Daraufhin erfolgte die Einbettung der Köpfe im HiTec Gewebe-Einbettautomaten DDM-P800 (MEDis Weber, Buseck) in Paraffin. Mit Hilfe des Jung Histoslide 2000 (Leica) wurden von den Präparaten 6µm dicke Schnitte in der Frontalebene erstellt. Von jedem 10. Schnitt wurde eine Übersichtsfärbung mit Hämalaun-Eosin (ROMEIS 1989) angefertigt. Die gefärbten Schnitte wurden mit dem Lupenmikroskop SZX 12 (Olympus) auf dem Film 64T (Fuji) abfotografiert. Anschließend erfolgte das Einscannen der Diapositive und das Speichern auf CD-ROM im JPG- bzw. TIFF-Format. Schließlich konnten die Volumina der Nasenhöhle und der Nasennebenhöhlen mit Hilfe der 3-D-Rekonstruktionssoftware SURFdriver 3.5® (Doll und Lozanoff 2003) bestimmt werden. Hierbei werden an fortlaufenden Schnittbildern einzelne Flächen (z.B. die Fläche der Nasenhöhle) gekennzeichnet. Unter Berücksichtigung der Abstände zwischen den einzelnen Schnittbildern ermöglicht SURFdriver® die Errechnung des Volumens, sowie eine 3-D-Rekonstruktion der gekennzeichneten Struktur.

### 3.2.2. Computertomographische Untersuchung

Von den Schädeln wurden im Primate Research Institute, Japan, computertomographische Schnittbilder im XCT-Research SApQCT (STRATEC) bei 49,9KV und 0,450mA angefertigt. Die Schichtdicke betrug dabei 0,2mm bei 2 weiblichen (KUPRI 1995; KUPRI 1997) und 2 männlichen (KUPRI 1514; KUPRI 1706) Tieren und 0,5mm bei den jeweils anderen 2 weiblichen (KUPRI 1710; KUPRI 1993) und 2 männlichen (KUPRI 1994; KUPRI 1996) Tieren.

Die CT-Schichtaufnahmen dienten der quantitativen Erfassung der Volumina der Nasenhöhle und der Nasennebenhöhlen. Dazu wurden die Schichtaufnahmen als RAW-Data auf CD-ROM gespeichert. Die Analyse erfolgte mit Hilfe des Computerprogramms OSIRIS Imaging Software (Digital Imaging Unit, University Hospital of Geneva). An allen Aufnahmen wurden die ausgewählten Flächen (z.B. die Fläche der Nasenhöhle) gekennzeichnet. Daraus wurden unter Berücksichtigung des Abstandes zwischen den einzelnen Schnittbildern Volumina errechnet. Infolge des unterschiedlichen Erhaltungszustandes der Conchae nasales konnten diese Strukturen bei der Berechnung der Nasenhöhlenvolumina nicht

berücksichtigt werden. Während die Nasennebenhöhlen komplett vermessen wurden, beginnen die Messungen der Nasenhöhle am dorsalen Rand des Foramen incisivum und enden am dorsalen Rand des Palatum durum.

### 3.2.3. Maße am Schädel

Um die Volumina der Nasenhöhle und der Nasennebenhöhle einordnen zu können, wurden verschiedene lineare Maße am Schädel erhoben. Zusätzlich erfolgte die Vermessung des Durchmessers des Caput femoris. Letzterer korreliert eng mit dem Körpergewicht und der Körpergröße. Alle Messungen erfolgten mit einer digitalen Schiebelehre (Mitutoyo, Japan). Die Messung von Gaumenbreite und Maxilloalveolarbreite erfolgte direkt an den CT-Aufnahmen mit Hilfe der Osiris Imaging Software. Im Einzelnen wurden folgende Längen-, Breiten- und Höhenmaße nach Bräuer (1988) erhoben (Abb. 11-13):

Längenmaße:

PL: Gaumenlänge (Orale – Staphylion)

SL: Gesamtschädellänge (Prosthion – Opisthokranion)

BL: Schädelbasislänge (Nasion –Basion)

Breitenmaße:

MAB: Maxilloalveolarbreite (Ekmolare – Ekmolare)

FW: Mittelgesichtsbreite (Zygomaxillare – Zygomaxillare)

PW: Gaumenbreite (Endomolare - Endomolare)

BW: Jochbogenbreite (Zygion –Zygion)

Höhenmaße:

FH: Gesichtshöhe (Nasion – Prosthion)

HD: Durchmesser des Femurkopfes (geradlinige vertikale Entfernung der Endpunkte einer Ebene durch das Caput an dessen größter Ausdehnung senkrecht zur Collumachse)

**Abb. 10** Markiertes Skelett eines adulten Tieres der Spezies *Callithrix jacchus.* Präparat: Institut für Anatomie der Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald.

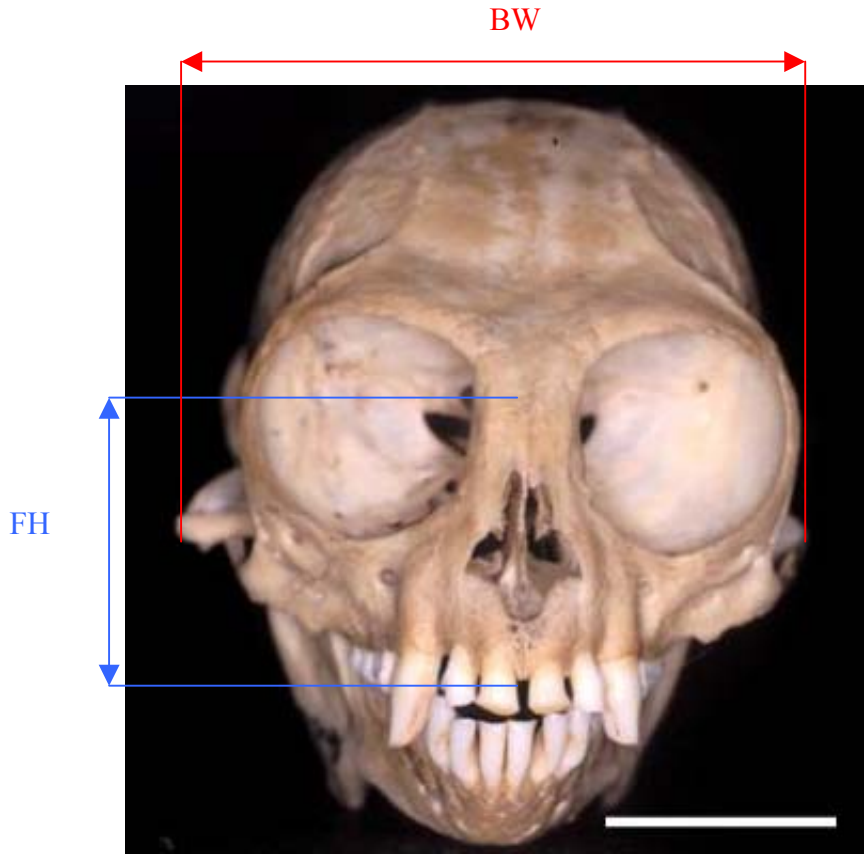


**Abb. 11** Schädel eines adulten Tieres der Spezies *Callithrix jacchus* in der Norma frontalis. (Präparat KUPRI 1993, männlich) Primate Research Institute, Inuyama, Japan. BW: Jochbogenbreite, FH: Gesichtshöhe. Balken 1cm.

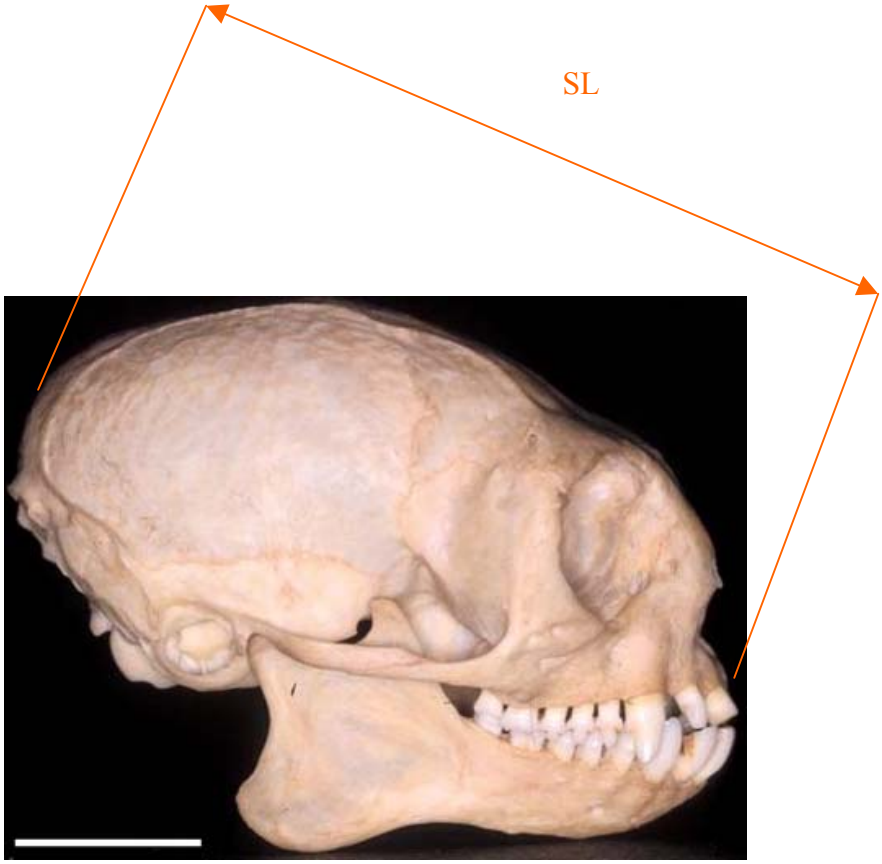


**Abb. 12** Schädel eines adulten Tieres der Spezies *Callithrix jacchus* in der Norma lateralis. (Präparat KUPRI 1993, männlich) Primate Research Institute, Inuyama, Japan. SL: Gesamtschädellänge. Balken 1cm.

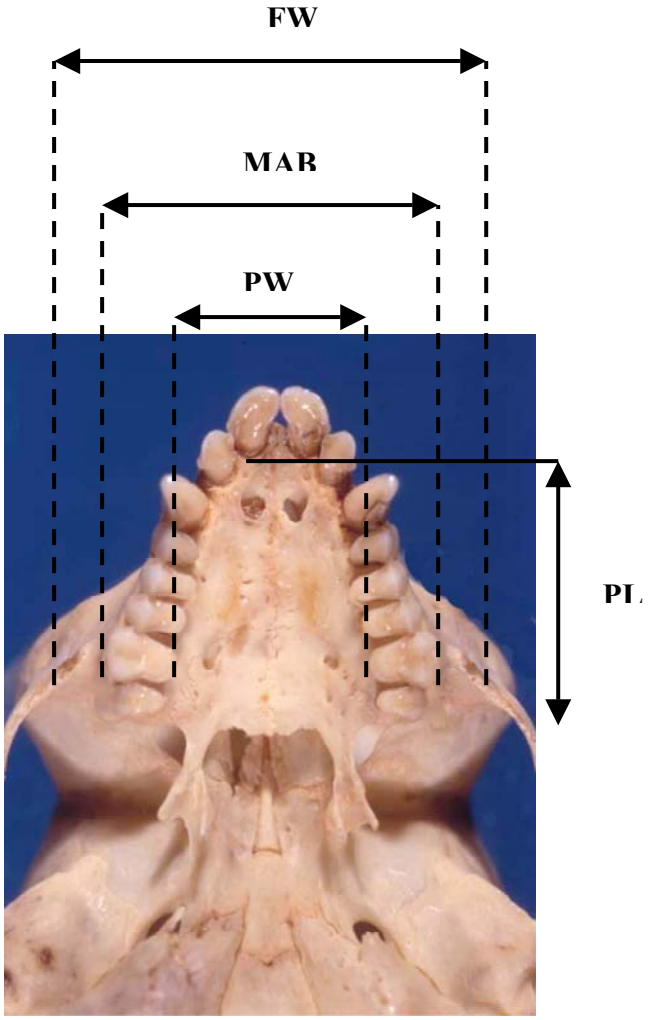


**Abb. 13** Schädel eines adulten männlichen Tieres der Spezies *Callithrix jacchus* in der Norma basilaris. (Präparat: Zoologische Staatssammlung) FW: Mittelgesichtsbreite, MAB: Maxilloalveolarbreite, PW: Gaumenbreite, PL: Gaumenlänge. Balken 1cm.

### 3.2.4. Statistische Auswertung

Zunächst wurden von allen Maßen Mittelwerte und Standardabweichungen berechnet. Zur Analyse der Geschlechtsunterschiede diente der *Sexual Dimorphism Index* (SDI) nach Lovich and Gibbons (1992). Dazu wurden folgende Formeln verwendet:

- Messwerte männlicher Tiere > Messwerte weiblicher Tiere

$$SDI = \left[ -\left( \frac{GM}{KM} \right) \right] + 1$$

- Messwerte weiblicher Tiere > Messwerte männlicher Tiere

$$SDI = \left[ + \left( \frac{GM}{KM} \right) \right] - 1$$

Hierbei gilt: GM – Mittelwert des Messwertes des größeren Geschlechts
KM – Mittelwert des Messwertes des kleineren Geschlechts

Um die Asymmetrie des Sinus maxillaris zu berücksichtigen, wurde der Asymmetrie-Index in Anlehnung an Lovich and Gibbons (1992) und an Koppe and Nagai (1997) verwendet. Folgende Formeln dienten zur Feststellung der Asymmetrie:

- rechter Sinus maxillaris > linker Sinus maxillaris

$$AI = \left[ - \left( \frac{GSM}{KSM} \right) \right] + 1$$

- linker Sinus maxillaris > rechter Sinus maxillaris

$$AI = \left[ + \left( \frac{GSM}{KSM} \right) \right] - 1$$

Hierbei gilt: GSM – größerer Sinus maxillaris
KSM – kleinerer Sinus maxillaris

Zur Prüfung von Merkmalszusammenhängen erfolgte zunächst eine Korrelationsanalyse zwischen den gemessenen Volumina und den Schädelmaßen, sowie dem Durchmesser des Femurkopfes. Infolge der eingeschränkten Präparatezahl, sowie angesichts des gering ausgeprägten Geschlechtsdimorphismus von *Callithrix jacchus* (Röhrer-Ertl 2005) wurden die Daten der weiblichen und männlichen Tiere zusammengefasst. Ausgehend vom Ergebnis der Korrelationsanalyse erfolgte zur Prüfung der Art des Zusammenhangs ausgewählter Merkmalspaare eine einfache lineare

Regressionsanalyse (Glantz 1992, Sokal and Rohlf 1995). Den Berechnungen wurde eine Irrtumswahrscheinlichkeit von $p<0,05$ zugrunde gelegt. Die Ergebnisse der Regressionsanalyse wurden graphisch dargestellt. Der Regressionsgeraden liegt dabei folgender Gleichungssatz zugrunde:

$$y = bx + a$$

Hierbei gilt:

x, y - korrelierendes Merkmalspaar

a - Schnittpunkt der Regressionsgeraden mit der y-Achse

b - Anstieg der Regressionsgeraden

Die biomathematische Auswertung der Messergebnisse erfolgte mittels des Programms Excel für Windows, sowie des Statistikprogramms JMP (SAS).

# 4. Ergebnisse

## 4.1. Morphologie der Nasenhöhle und der Nasennebenhöhlen anhand der histologischen und computertomographischen Untersuchungen

Die Beschreibungen der Nasenhöhle und der Nasennebenhöhlen erfolgen von rostral nach dorsal. Dabei orientieren sie sich an markanten Strukturen wie Zähnen und Foramina.

Das Foramen incisivum befindet sich auf der Höhe des Caninus (Abb. 14). In diesem Bereich weisen die Umrisse der Nasenhöhle eine kreuzähnliche Gestalt auf, die in der Höhe weiter ausgedehnt ist als in der Breite. Die Nasenhöhle verbreitert sich von oben nach unten, wobei sie unten von lateral durch die Zahnwurzeln der Canini eingeengt wird. Die Nasenscheidewand ist an dieser Stelle dünn, sie lässt sich auf den CT-Aufnahmen auf der Höhe der Nasenmuscheln nicht als durchgängig erkennen. Die mittlere Nasenmuschel dehnt sich nach rostral bis in Höhe des Foramen incisivum aus, wobei hier keine Verbindung mehr zur lateralen Wand besteht. Die mittlere Nasenmuschel zeigt sich hier als mittig in der Nasenhöhle gelegene, dreieckige Struktur. Im weiteren Verlauf verdünnt sie sich nach kranial.

**Abb. 14** *Callithrix jacchus* (Präparat W203). Frontalschnitt in Höhe des Caninus. 1: Nasenhöhle; 2: Nasenseptum; 3: mittlere Nasenmuschel; 4: untere Nasenmuschel; 5: Caninus.

Am Übergang von der Eckzahn- zur Prämolarenregion wird die Nasenhöhle höher und schmaler (Abb. 15, 16). Ihre Wände zeigen Unregelmäßigkeiten in Kontur und Wandstärke. Von lateral stülpt sich fingerförmig die untere Nasenmuschel aus. Innerhalb des Os frontale sind weite Spongiosaräume erkennbar (Abb. 15).

In Höhe des 1. Prämolaren erscheint die Nasenhöhle birnenförmig (Abb. 15). Die Variation bei den von uns untersuchten Präparaten reicht von einer leichten Einengung der Nasenhöhle auf halber Höhe bis zu einer scharfen Taille. Der Ductus nasolacrimalis lässt sich ebenfalls in Höhe des 1. Prämolaren erkennen. Medial unterhalb des Nasenseptums liegt das paarige Jacobson-Organ. Auf den weiter posterior gelegenen Schnittbildern erscheint der Sinus maxillaris in Höhe des Übergangs vom 1. zum 2. Prämolaren. Er stellt sich als ovaler Hohlraum seitlich der Nasenhöhle dar, der von anterior nach posterior an Größe zunimmt, indem er schlauchförmig ausgezogen wird und durch eine dünne Knochenlamelle von der Nasenhöhle getrennt ist.

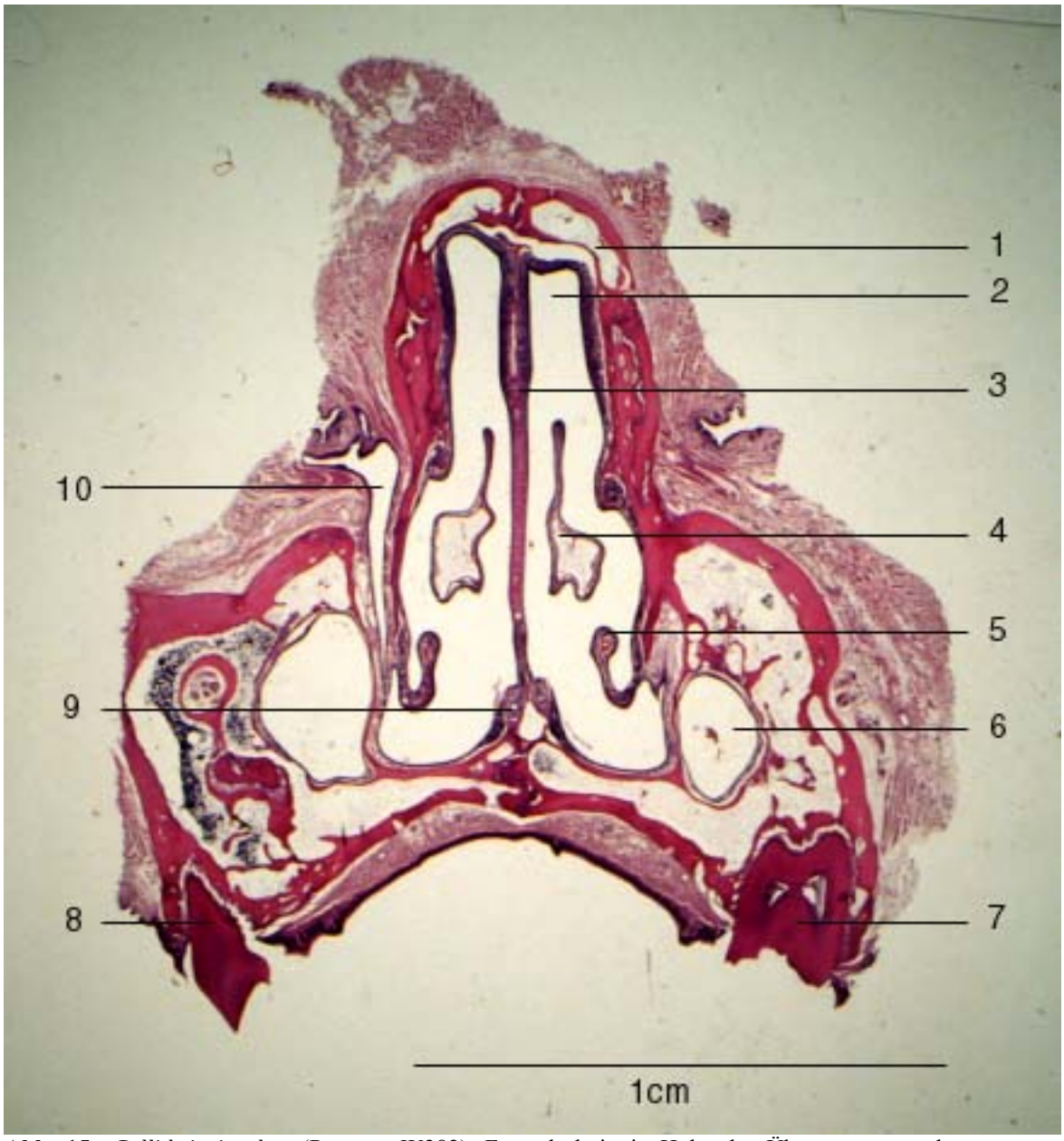


**Abb. 15** *Callithrix jacchus* (Präparat W282). Frontalschnitt in Höhe des Übergangs von der Caninus- zur Prämolarenregion. HE-Färbung. 1: Spongiosaräume im Os frontale; 2: Nasenhöhle; 3: Nasenseptum; 4: mittlere Nasenmuschel; 5: untere Nasenmuschel; 6: Sinus maxillaris; 7: Prämolar; 8: Caninus; 9: Jacobson Organ; 10: Ductus nasolacrimalis.

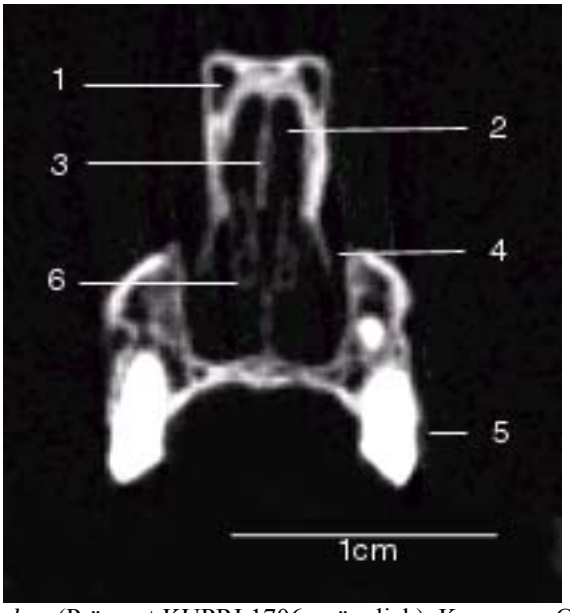


**Abb. 16** *Callithrix jacchus* (Präparat KUPRI 1706, männlich). Koronarer CT-Schnitt in Höhe des Caninus. 1: Spongiosaräume im Os frontale; 2: Nasenhöhle; 3: Nasenseptum; 4: Ductus nasolacrimalis; 5: Caninus; 6: mittlere Nasenmuschel.

Der Sinus maxillaris beginnt bei einem Grossteil der Tiere im Bereich des Überganges vom 1. zum 2. Prämolaren und erstreckt sich bis zum Übergang vom 1. Molaren zum 2. Molaren (Abb. 19,20). In Höhe des 2. Prämolaren erscheint das Ostium der Kieferhöhle.

Auf den HE-gefärbten Schnitten lässt sich deutlich die Verbindung zwischen Sinus maxillaris und Nasenhöhle erkennen. Der Sinus maxillaris mündet durch einen schmalen Gang, das Infundibulum ethmoidale, in die Nasenhöhle (Abb. 19). Das Dach der Kieferhöhle wird an dieser Stelle sehr dünn. Nach lateral liegt die Kieferhöhle in enger Nachbarschaft zum Canalis infraorbitalis. Bei einem Teil der Präparate bleibt die Kieferhöhle medial des Canalis infraorbitalis, teilweise reicht sie kaudal von ihm weiter nach lateral.

Ebenfalls in enger Nachbarschaft zum Sinus maxillaris und zum Canalis infraorbitalis liegt die Wurzel des 2. Prämolaren, die von unten bis zur halben Höhe des Sinus maxillaris heraufreicht und in direkten Kontakt zur palatinalen Wurzel tritt (Abb. 19, 20). Die Zahnwurzeln der Prämolaren und Molaren überragen das Niveau des Sinusbodens, liegen aber lateral der Kieferhöhle. Das

wird insbesondere anhand der 3D-Rekonstruktion der Zahnwurzeln und der Sinus maxillaris deutlich.

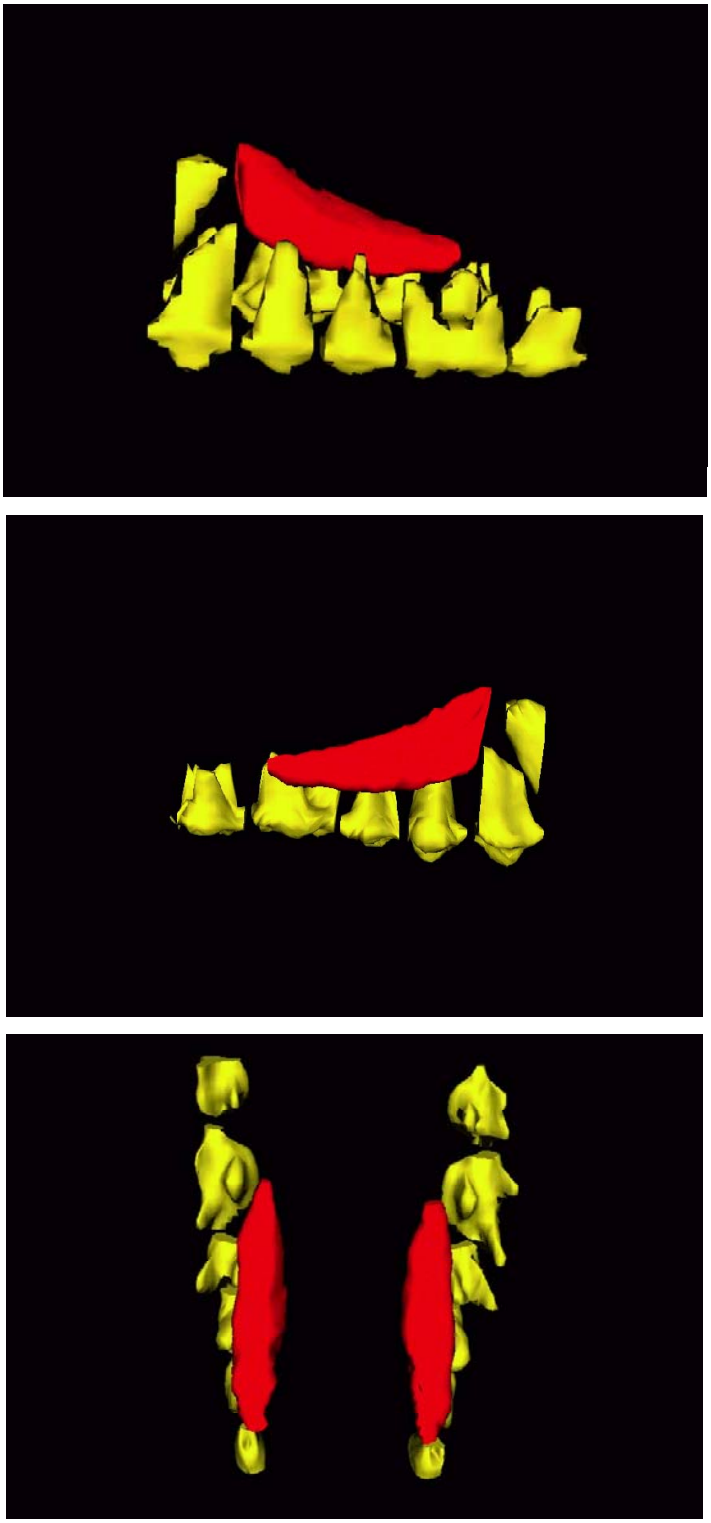

**Abb. 17** 3-D-Abbildung zur Veranschaulichung der räumlichen Beziehung des Sinus maxillaris und der oberen Zahnreihe bei einem weiblichen Marmoset (*Callithrix jacchus*). Oben: laterale Ansicht, Mitte: mediale Ansicht, Unten: superiore Ansicht.

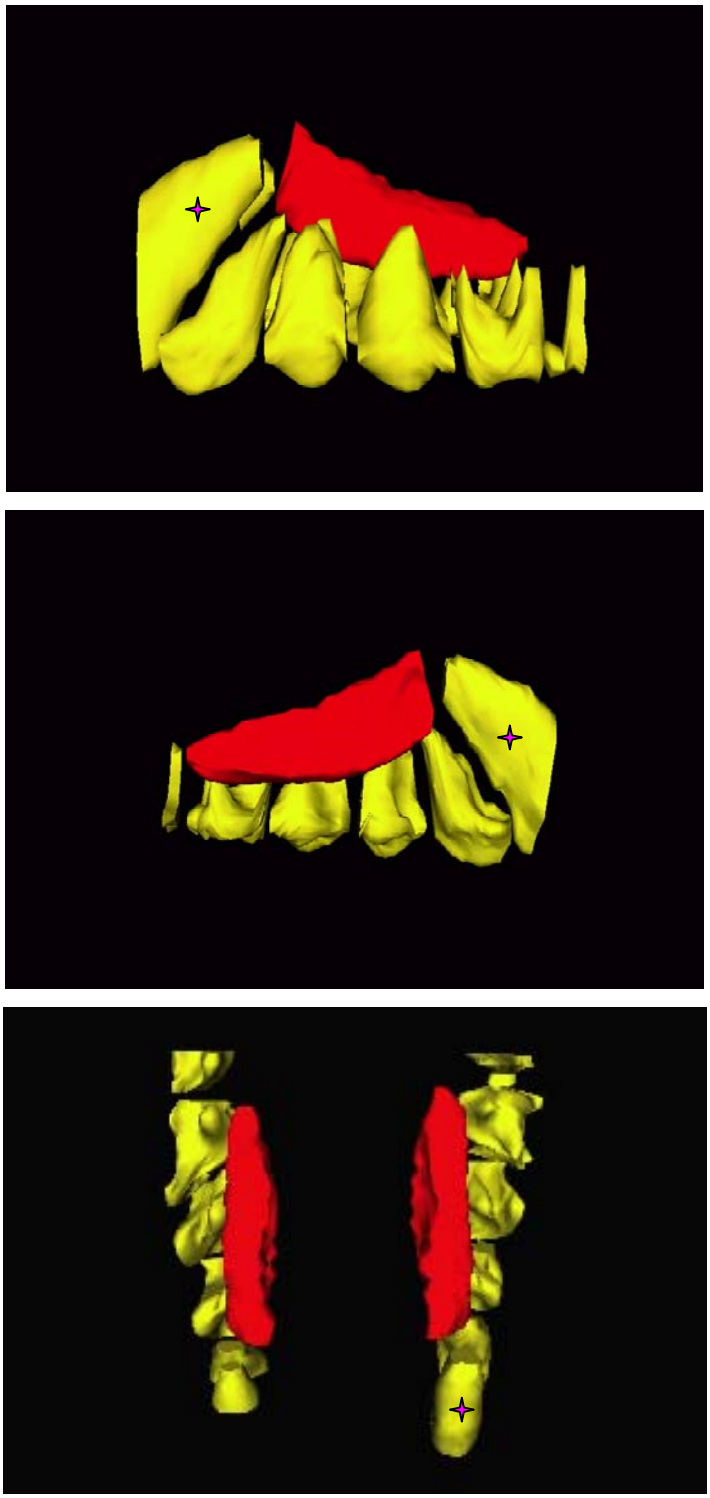

**Abb. 18** 3-D-Abbildung zur Veranschaulichung der räumlichen Beziehung des Sinus maxillaris und der oberen Zahnreihe bei einem männlichen Marmoset (*Callithrix jacchus*). Oben: laterale Ansicht, Mitte: mediale Ansicht, Unten: superiore Ansicht. Der Stern markiert den oberen Caninus.

Oberhalb der Nasenhöhle zeigt sich innerhalb des Os frontale Knochenmark (Abb. 19). Der Boden der Kieferhöhle liegt auf weiter dorsal gelegenen Schnitten tiefer als der Boden der Nasenhöhle (Abb. 20). In der Höhe des 2. Prämolaren, von der Nasenhöhlenwand ausgehend, teilt sich die mittlere Nasenmuschel in einen oberen und einen unteren Teil (Abb. 20).

**Abb. 19** *Callithrix jacchus* (PräparatW203). Frontalschnitt in Höhe der Prämolaren. HE-Färbung. 1: Spongiosaräume im Os frontale, mit Knochenmark gefüllt; 2: Nasenhöhle; 3: Nasenseptum; 4: mittlere Nasenmuschel; 5: untere Nasenmuschel; 6: Prämolar; 7: Jacobson Organ; 8: Canalis infraorbitalis; 9: Sinus maxillaris; 10: Infundibulum ethmoidale.

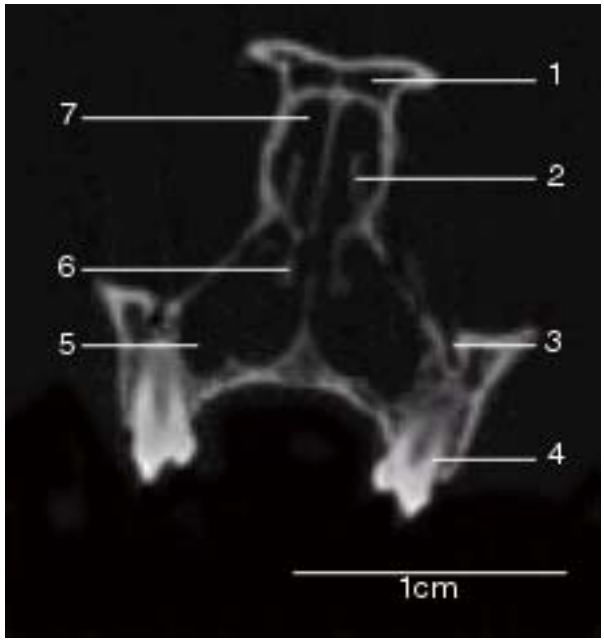


**Abb. 20** *Callithrix jacchus* (Präparat KUPRI 1995, weiblich). Koronarer CT-Schnitt in Höhe der Prämolaren. 1: Spongiosaräume; 2: mittlere Nasenmuschel, oberer Teil; 3: Canalis infraorbitalis; 4: Wurzel des 2. Prämolaren; 5: Sinus maxillaris; 6: mittlere Nasenmuschel, unterer Teil; 7: Nasenhöhle.

In Höhe des 3. Prämolaren erscheinen die Sinus maxillares in ihrer Form fast rechteckig (Abb. 21, 22). Die trennende Knochenlamelle ist so dünn, dass sie auf den CT-Schichtaufnahmen nur am unteren Ansatz sicher zu erkennen ist. In den HE-gefärbten Schnitten stellt sie sich als eine vollständig trennende Wand dar. Die Sinus maxillares liegen lateral in direkter Nachbarschaft zum 3. Prämolaren.

Die Orbita erscheint am Übergang von der Prämolaren- zur Molarenregion im Schnittbild und engt den lateralen Teil der oberen Nasenhöhle mehr und mehr ein, die in ihrer gesamten Gestalt schmaler und schlanker wird. Der mediale Anteil des Orbitabodens liegt hier höher als der laterale Anteil (Abb. 21).

Die Interorbitalregion wird dominiert durch die drei Nasenmuscheln (Abb. 21), die sich in den HE-gefärbten Schnitten gut darstellen. Während die obere Nasenmuschel als kleine Ausstülpung der lateralen Nasenhöhlenwand imponiert, liegen mittlere und untere Nasenmuschel hakenförmig übereinander. Sie tragen jeweils eine keulenförmige Auftreibung an ihrem Ende. Das Nasenseptum zeigt in

seiner Mitte eine kleine Verdickung, die teilweise pneumatisiert erscheint (Abb. 21).

Am kranialen Ende der Nasenhöhle grenzen sich zwei Räume ab, die zuerst von flacher, dann von runder, und schließlich von ovaler Gestalt sind (Abb.21, 22). Diese Ausläufer der Cavitas crani sind gegen sich selbst, wie auch gegen die Nasenhöhle, durch eine dünne Knochenlamelle abgegrenzt. Die Wand zwischen beiden Räumen verdünnt sich mehr und mehr, so dass die beiden Räume bis zur Höhe der 1. Molaren zu einer einzigen Höhle verschmelzen. Diese liegt der Nasenhöhle kuppelförmig auf und ist von dieser durch eine klar erkennbare Knochenlamelle getrennt.

**Abb. 21** *Callithrix jacchus* (Präparat W203) Frontalschnitt in Höhe des 3. Prämolaren. HE-Färbung. 1: Spongiosaräume, mit Knochenmark gefüllt; 2: Bulbus olfactorius in der Cavitas crani; 3: Orbita; 4: Nasenhöhle; 5: obere Nasenmuschel; 6: Nasenseptum; 7: Infundibulum ethmoidale; 8: mittlere Nasenmuschel; 9: Sinus maxillaris; 10: untere Nasenmuschel; 11: Zahnwurzel des 3. Prämolaren.

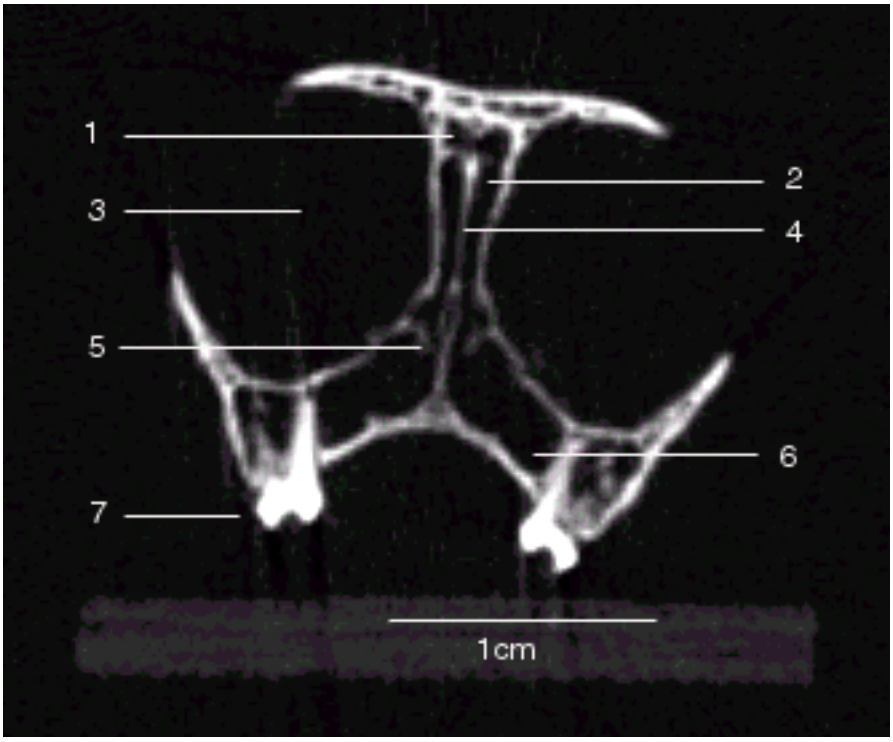


**Abb. 22** *Callithrix jacchus* (Präparat KUPRI 1995, weiblich). Koronarer CT-Schnitt in Höhe des 3. Prämolaren. 1: Ausläufer der Cavitas crani; 2: Nasenhöhle; 3: Orbita; 4: Nasenseptum; 5: mittlere Nasenmuschel; 6: Sinus maxillaris; 7: 3. Prämolar.

In Höhe des 3. Prämolaren verengt sich die Taille der Nasenhöhle zum Interorbitalseptum (Abb. 24, 25). Cranial des Interorbitalseptums schnürt sich ein schmaler, hoher Raum ab. Der beidseitig angelegte Recessus frontalis weist in seiner Ausprägung eine große Variabilität auf und beginnt selbst innerhalb eines Schädels selten auf derselben Höhe. Bei dieser Struktur handelt es sich um einen schmalen Ausläufer der Nasenhöhle, der sich auf die Übergangsregion zwischen Prämolaren und Molaren erstreckt.

Histologische Untersuchungen zeigen zahlreiche Nervenfasern im subepithelialen Bindegewebe des Recessus frontalis. Diese, die Nervi olfactorii enthaltenden Fasern finden sich im Bereich des Recessus frontalis. Dieses Epithel des Recessus frontalis weist alle Charakteristika eines olfaktorischen Epithels auf.

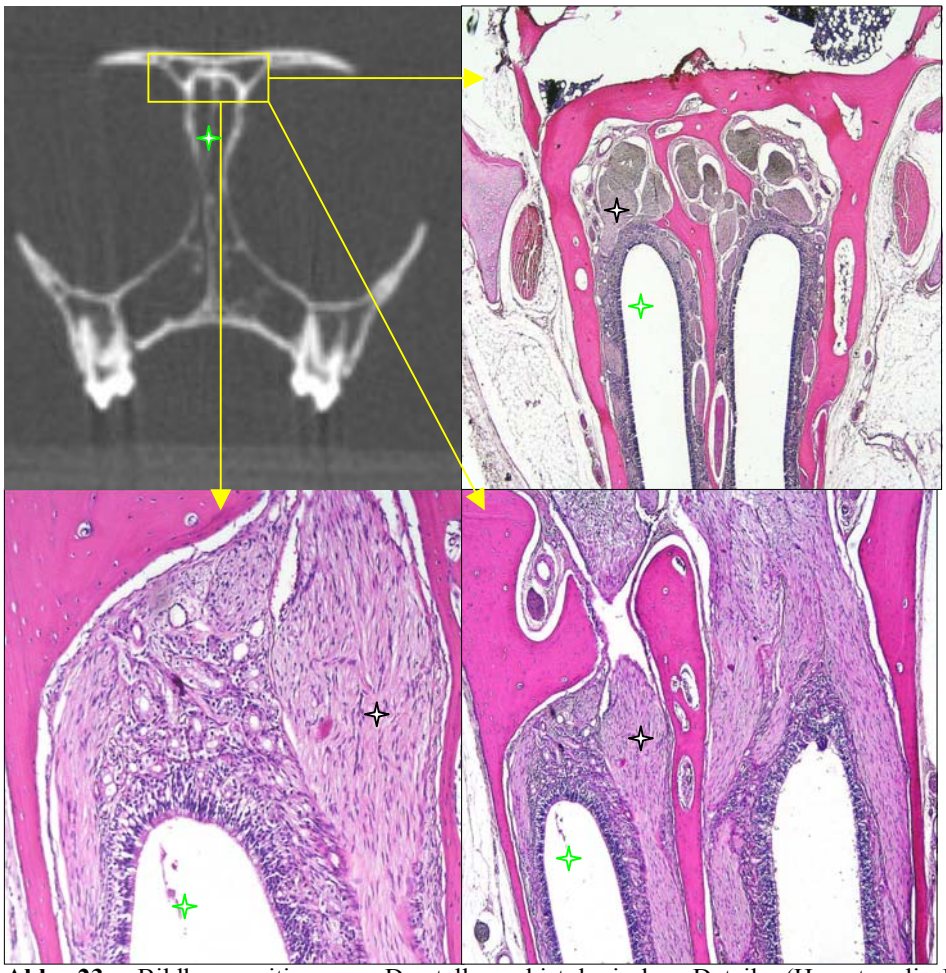

**Abb. 23** Bildkomposition zur Darstellung histologischer Details (Hematoxylin-Eosin) der Nasenhöhle von *Callithrix jacchus*. Das coronare Computertomogramm befindet sich auf Höhe des 1. Molaren und zeigt die histologisch untersuchten Regionen in der Übersicht. Grüne Markierung: Recessus frontalis, schwarze Markierung: Nervenfasern des Riechnerven.

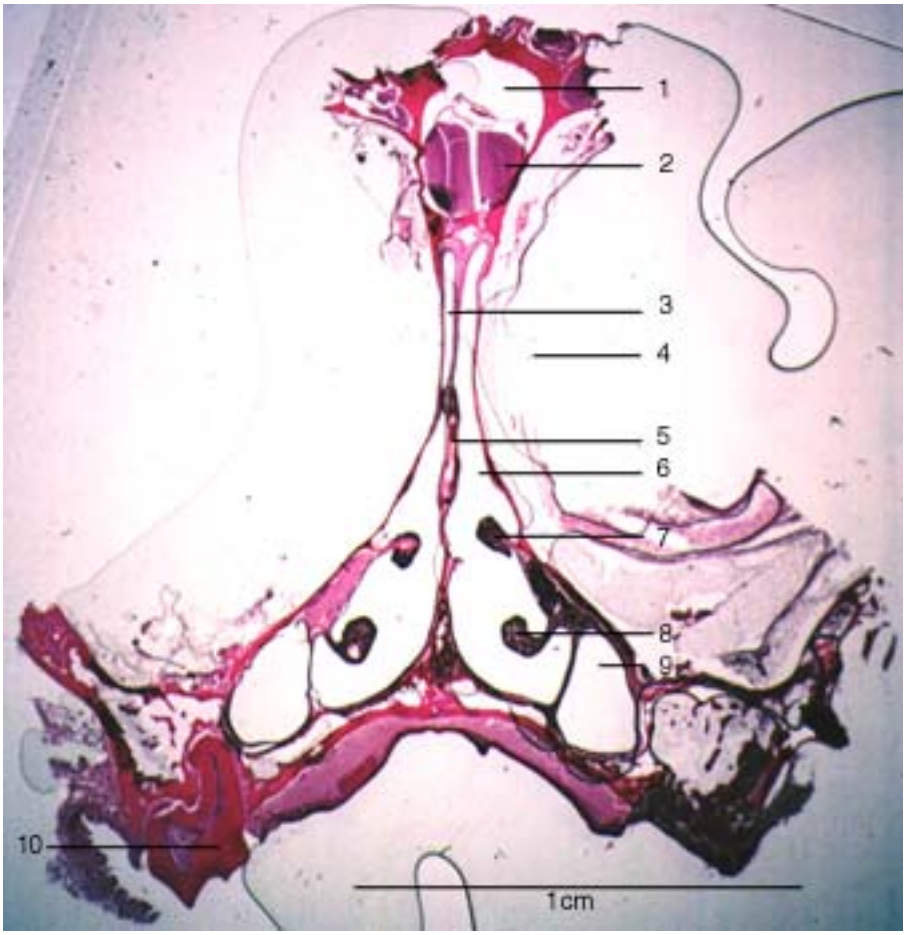


**Abb. 24** *Callithrix jacchus* (Präparat W227) Frontalschnitt in Höhe des 3. Prämolaren. HE-Färbung. 1: Cavitas crani; 2: Bulbus olfactorius; 3: Recessus frontalis der Nasenhöhle; 4: Orbita; 5: Nasenseptum; 6: Nasenhöhle; 7: mittlere Nasenmuschel, oberer Teil; 8: mittlere Nasenmuschel, unterer Teil; 9: Sinus maxillaris; 10: 3. Prämolar.

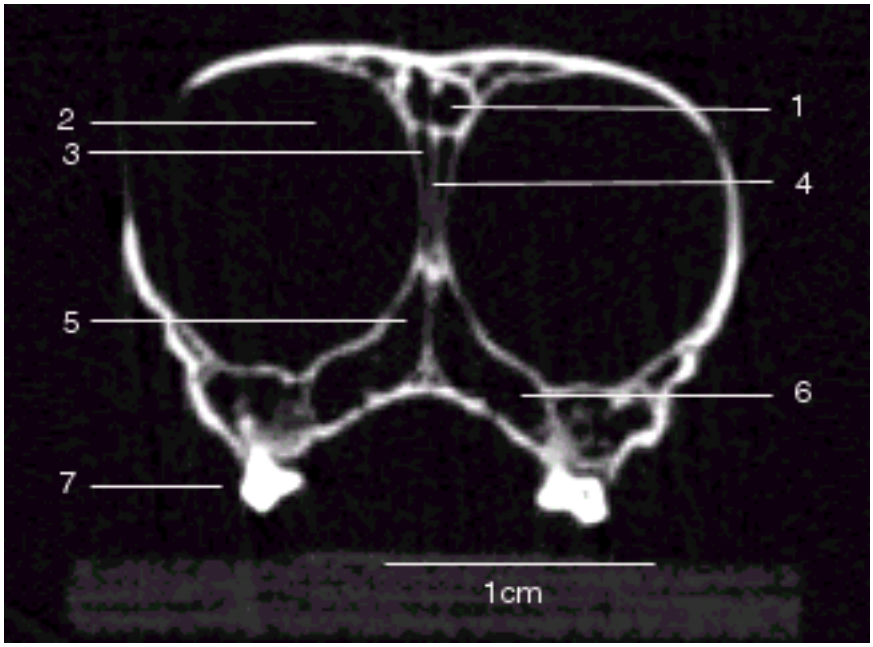


**Abb. 25** *Callithrix jacchus* (Präparat KUPRI 1996, männlich). Koronarer CT-Schnitt in Höhe des 3. Prämolaren. 1: Cavitas crani; 2: Orbita; 3: Rezessus frontalis der Nasenhöhle; 4: Nasenseptum; 5: Nasenhöhle; 6: Sinus maxillaris; 7: 3. Prämolar.

Der Sinus maxillaris und der untere Teil der Nasenhöhle erscheinen in Höhe des Übergangs von der Prämolaren- zur Molarenregion klein und eiförmig. Die beiden lateralen Wände der Nasenhöhle nähern sich im oberen Bereich bis zur Höhe des 1. Molaren immer mehr an und vereinigen sich schließlich auf langer Strecke zum Interorbitalseptum. Es bleibt nur noch der untere Teil der Nasenhöhle bestehen (Abb. 27).

In Höhe des 1. Molaren zeigt sich der Recessus frontalis der Nasenhöhle als schmale, tropfenförmige Struktur. Auf den weiter posterior gelegenen Schnittbildern verkleinert sich der Recessus frontalis und endet noch vor dem dorsalen Ende der Nasenhöhle. Es verbleibt ein zum Teil pneumatisiertes Interorbitalseptum. In Höhe des 1. Molaren erhält auch die Orbita ihre vollständige knöcherne Umrahmung. In dem Maße, in dem die Orbita sich ausweitet, wird der Raum der Nasenhöhle deutlich kleiner. Am Übergang vom 1. zum 2. Molaren verschmelzen die mittlere und die untere Nasenmuschel miteinander und liegen der lateralen Nasenhöhlenwand an. Auch der Sinus maxillaris wird kleiner und ist schließlich in Höhe des 2. Molaren nicht mehr

vorhanden. Die Abbildung X zeigt die Topographie des Recessus frontalis als kraniodorsalen Abschnitt der Nasenhöhle.

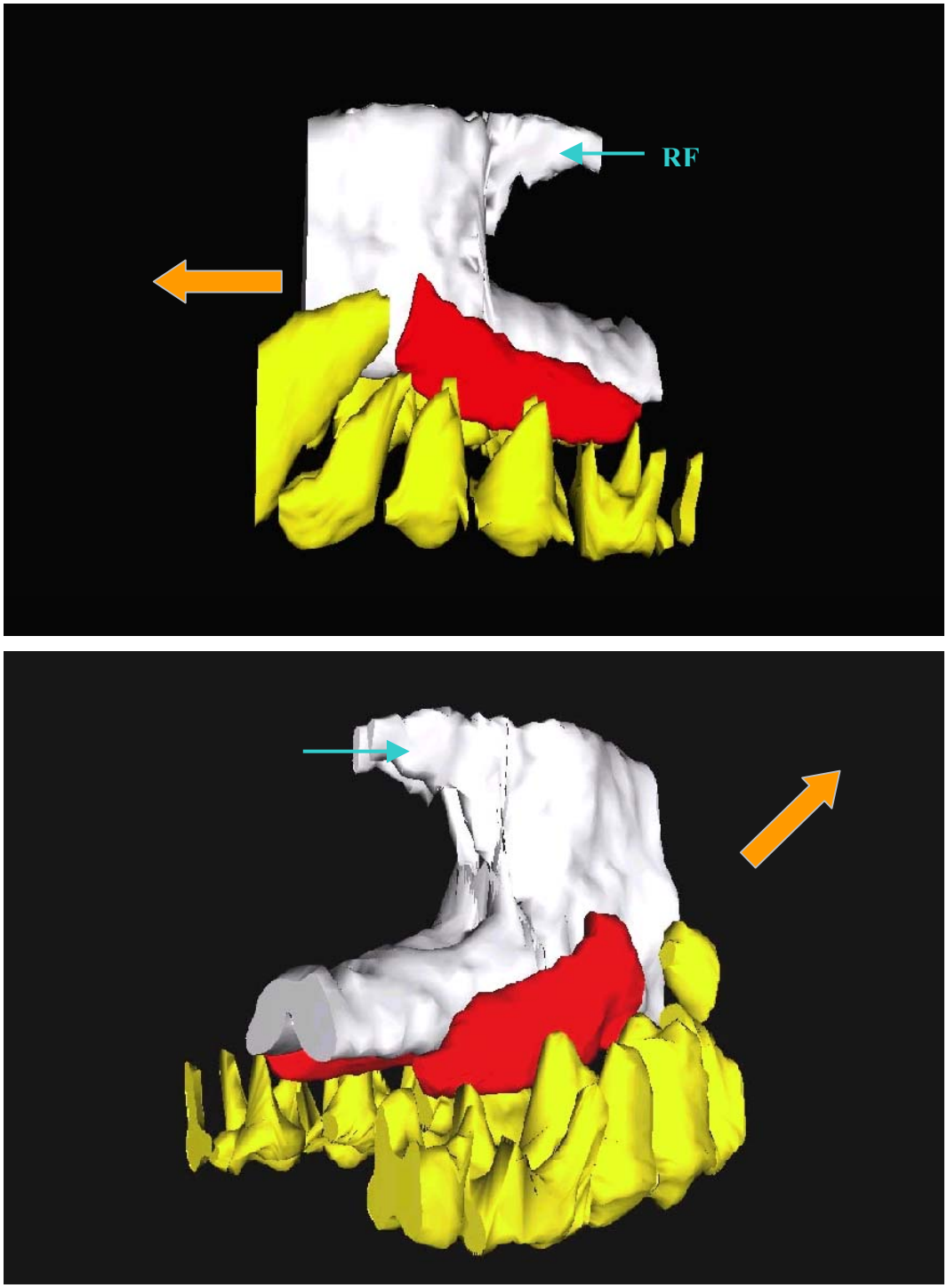


**Abb. 26** 3-D-Abbildung zur Veranschaulichung der räumlichen Verhältnisse zwischen Sinus maxillaris (rot), der postcaninen Dentition (gelb) und der Nasenhöhle (grau) bei *Callithrix jacchus*. RF: Recessus frontalis. Der Pfeil zeigt nach anterior. Oben: laterale Ansicht, Unten: Ansicht von schräg hinten.

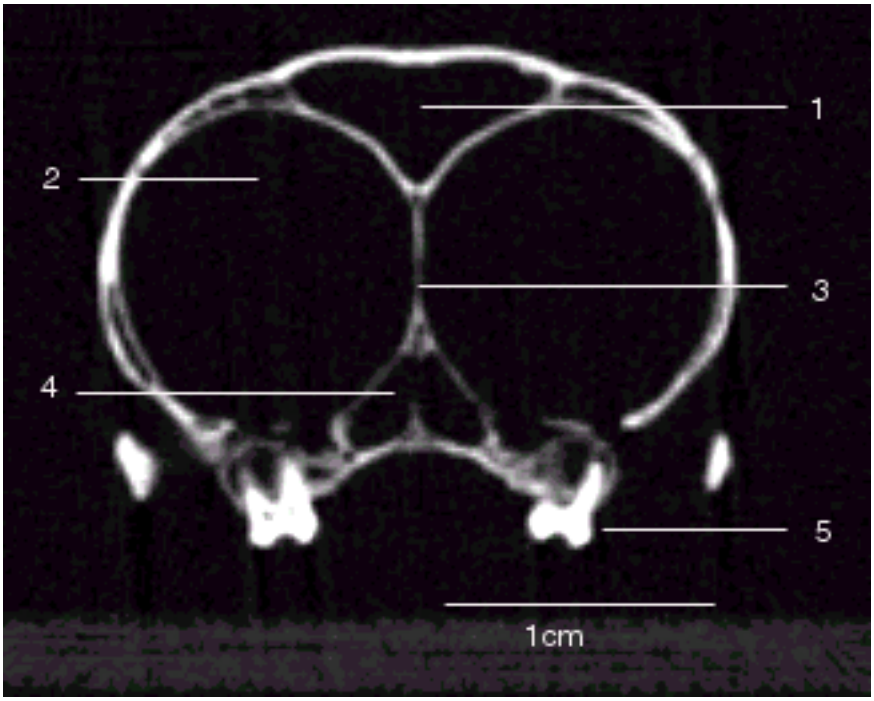


**Abb. 27** *Callithrix jacchus* (Präparat KUPRI 1994, männlich). Koronarer CT-Schnitt in Höhe des 2. Molaren. 1: Cavitas crani; 2: Orbita; 3: Interorbitalseptum; 4: Nasenhöhle; 5: 2. Molar.

## 4.2. Metrische Untersuchung der Nasenhöhle und der Nasennebenhöhlen

Einen Überblick über die Mittelwerte und Standardabweichungen der Nasenhöhlenvolumina von *Callithrix jacchus* gibt Tabelle 2. Die Werte sind nach Geschlechtern aufgeschlüsselt und einzeln für die rechte bzw. linke Nasenhöhle aufgelistet. In der anschließenden statistischen Untersuchung werden sie für beide Geschlechter und zu einer Nasenhöhle zusammengefasst.

**Tab. 2** Mittelwerte und Standardabweichungen der Volumina der Nasenhöhle von *Callithrix jacchus* für männliche und weibliche Tiere, Angaben in $mm^3$.

| | | NH links | | | NH rechts | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $\bar{x}$ | SD | n | $\bar{x}$ | SD | n |
| PRI | w | 14,12 | 1,63 | 4 | 22,44 | 1,00 | 4 |
| | m | 13,13 | 0,5 | 4 | 23,21 | 1,98 | 4 |
| DPZ | | 10,65 | 1,18 | 4 | 6,25 | 1,04 | 4 |

NH: Nasenhöhle; $\bar{x}$: Mittelwert; SD: Standartabweichung; n: Anzahl der untersuchten Präparate; PRI: Primate Research Institute; DPZ: Deutsches Primatenzentrum; w: weibliches Geschlecht; m: männliches Geschlecht.

Die an den CT-Aufnahmen bzw. an den histologischen Schnitten ermittelten Werte der Volumina des Sinus maxillaris von *Callithrix jacchus* sind in Tabelle 3 aufgeführt. Während die Werte in der Tabelle nach Geschlechtern aufgeschlüsselt dargestellt sind, werden sie in der anschließenden statistischen Untersuchung zusammengefasst.

**Tab. 3** Mittelwerte und Standardabweichungen der Volumina des Sinus maxillaris von *Callithrix jacchus* für männliche und weibliche Tiere, Angaben in $mm^3$.

| | | SM links | | | SM rechts | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $\bar{x}$ | SD | n | $\bar{x}$ | SD | n |
| PRI | w | 4,67 | 0,83 | 4 | 4,56 | 0,63 | 4 |
| | m | 4,23 | 0,72 | 4 | 4,18 | 0,5 | 4 |
| DPZ | | 1,75 | 0,49 | 4 | 1,85 | 0,34 | 4 |

SM: Sinus maxillaris; $\bar{x}$: Mittelwert; SD: Standartabweichung; n: Anzahl der untersuchten Präparate; PRI: Primate Research Institute; DPZ: Deutsches Primatenzentrum; w: weibliches Geschlecht; m: männliches Geschlecht.

Die Kieferhöhlen der weiblichen Tiere sind sowohl links als auch rechts geringfügig größer als die Kieferhöhlen der männlichen Tiere. Infolge der geringen Anzahl der Tiere haben wir auf eine statistische Überprüfung des Sexualdimorphismus verzichtet.

## 4.3 Maße am Schädel und am Femurkopf

Tabelle 4 zeigt die Mittelwerte und Standardabweichungen der erhobenen Messdaten am Schädel und am Femurkopf von *Callithrix jacchus*. Sofern messbar, werden auch diese Werte getrennt nach Geschlechtern aufgelistet. In der folgenden statistischen Untersuchung wurden die Werte der männlichen und weiblichen Tiere zusammengefasst.

**Tab. 4** Mittelwerte und Standardabweichungen der Maße am Schädel und am Femurkopf für männliche und weibliche Tiere, Angaben in mm.

| Maß | Herkunft | Geschlecht | N | $\bar{x}$ | SD |
|---|---|---|---|---|---|
| FH | PRI | W | 4 | 13,02 | 0,66 |
| | | M | 4 | 13,04 | 0,68 |
| PL | PRI | W | 4 | 14,47 | 0,64 |
| | | M | 4 | 14,53 | 0,29 |
| BW | PRI | W | 4 | 20,72 | 0,73 |
| | | M | 4 | 20,51 | 0,80 |
| HD | PRI | W | 4 | 4,47 | 0,24 |
| | | M | 4 | 4,57 | 0,27 |
| SL | PRI | W | 4 | 43,3 | 0,80 |
| | | M | 4 | 43,24 | 1,11 |
| BL | PRI | W | 4 | 29,55 | 1,01 |
| | | M | 4 | 29,56 | 0,86 |
| FW | PRI | W | 4 | 26,51 | 1,17 |
| | | M | 4 | 26,78 | 1,07 |
| PW | PRI | W | 4 | 9,45 | 1,28 |
| | | M | 4 | 8,90 | 0,77 |
| | DPZ | | 4 | 8,90 | 0,76 |
| MAB | PRI | W | 4 | 14,85 | 0,48 |
| | | M | 4 | 14,85 | 0,52 |
| | DPZ | | 4 | 13,50 | 0,96 |

FH: Gesichtshöhe; PL: Gaumenlänge; BW: Jochbogenbreite; HD: Durchmesser des Femurkopfes; SL: Gesamtschädellänge; BL: Schädelbasislänge; FW: Mittelgesichtsbreite; PW: Gaumenbreite; MAB: Maxilloalveolarbreite; PRI: Primate Research Institute; DPZ: Deutsches Primatenzentrum; w: weibliches Geschlecht; m: männliches Geschlecht.

Es zeigt sich, dass die Werte der männlichen Tiere bei der Mehrzahl der Präparate größer sind als die Werte der weiblichen Tiere. Dies trifft nicht zu für die Jochbogenbreite, die Gesamtschädellänge, sowie die Gaumenbreite. Die Größendifferenzen fallen sehr gering aus. Die Maxilloalveolarbreite ist bei beiden Geschlechtern gleich groß.

## 4.4. Sexualdimorphismus-Indizes

Das Verhältnis der erhobenen Messdaten zwischen männlichen und weiblichen Tieren wird durch den Sexualdimorphismus-Index (SDI) ausgedrückt. Tabelle 5

zeigt den SDI aller gemessen Werte von *Callithrix jacchus*. Zur Errechnung des SDI wurden die erhobenen Daten aus den Tabellen 2-4 (in mm/mm³) herangezogen. Hierbei fanden nur die Tiere des Primate Research Institute Verwendung. Die Werte in Tabelle 5 sind in absteigender Ordnung aufgelistet.

**Tab. 5** SDI aller erhobenen Maße von *Callithrix jacchus*.

| Maße | SDI |
|---|---|
| SM | 0,097 |
| NH | 0,092 |
| PW | 0,062 |
| BW | 0,010 |
| SL | 0,001 |
| MAB | 0 |
| BL | 0 |
| FH | -0,001 |
| PL | -0,004 |
| FW | -0,010 |
| HD | -0,021 |

SDI: Sexual Dimorphism Index; SM: Sinus maxillaris; PW: Gaumenbreite; BW: Jochbogenbreite; NH: Nasenhöhle; SL: Gesamtschädellänge; MAB: Maxilloalveolarbreite; BL: Schädelbasislänge; FH: Gesichtshöhe; PL: Gaumenlänge; FW: Mittelgesichtsbreite; HD: Durchmesser Femurkopf.

Die positiven Werte sprechen dafür, dass der Messwert der weiblichen Tiere größer ist als der Messwert der männlichen Tiere. Im Gegensatz dazu zeigen die negativen Werte, dass der Messwert der männlichen Tiere größer ist. Für die Maxilloalveolarbreite und die Schädelbasislänge wurde ein SDI von 0 errechnet. In beiden Fällen konnte keine Größendifferenz zwischen weiblichen und männlichen Tieren festgestellt werden. Es lässt sich feststellen, dass die restlichen Werte nur geringfügig in beide Richtungen abweichen und dass keine Richtung bevorzugt wird. Zur Veranschaulichung werden die Werte des SDI in Abb. 28 graphisch dargestellt.

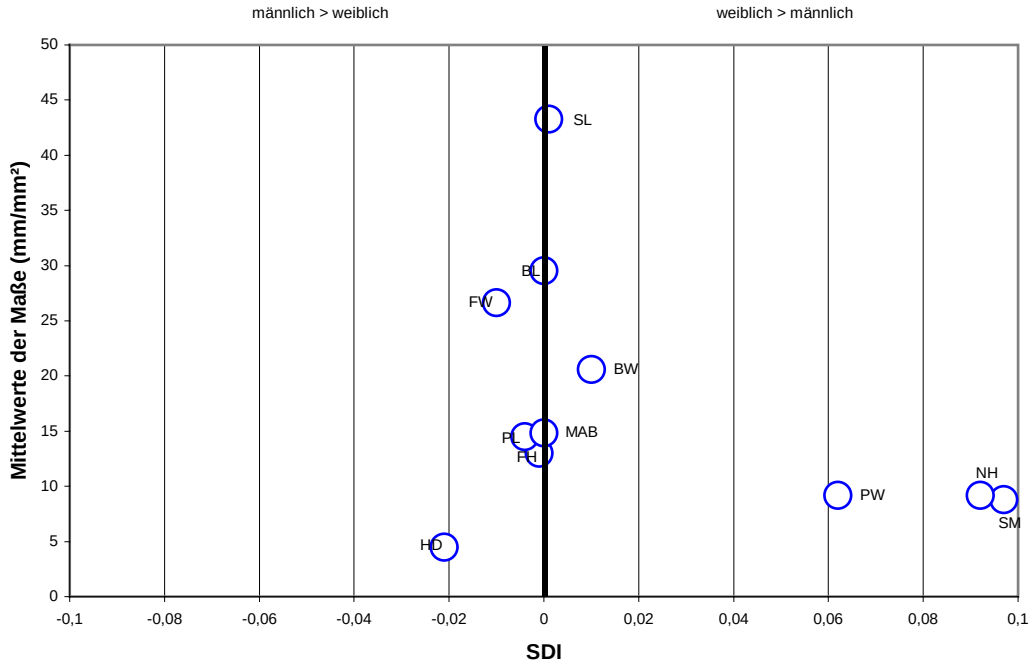


**Abb. 28** Diagramm zur Darstellung des Sexual Dimorphism Index (SDI). SDI: Sexual Dimorphism Index; SM: Sinus maxillaris; NH: Nasenhöhle; RF: Rezessus frontalis; FH: Gesichtshöhe; PL: Gaumenlänge; BW: Jochbogenbreite; HD: Durchmesser des Femurkopfes; PW: Gaumenbreite; MAB: Maxilloalveolarbreite.

## 4.5. Asymmetrie-Index der Kieferhöhle

Mit Hilfe des Asymmetrie-Index (AI) vergleichen wir die rechte mit der linken Kieferhöhle von *Callithrix jacchus.* Die erhobenen Daten sind in der Tabelle 6 aufgelistet.

**Tab. 6** Asymmetrie-Index (AI) des Sinus maxillaris von *Callithrix jacchus*

| No. | AI |
|---|---|
| KUPRI CXj 10020, #1995 | 0,229 |
| KUPRI CXj 10019, #1994 | 0,213 |
| KUPRI CXj 10015, #1710 | 0,131 |
| W203 | 0,114 |
| KUPRI CXj 10011, #1706 | 0,112 |
| W282 | 0,067 |
| KUPRI CXj 10002, #1514 | -0,041 |
| KUPRI CXj 10022, #1997 | -0,047 |
| W227 | -0,160 |
| KUPRI CXj 10018, #1993 | -0,230 |
| KUPRI CXj 10021, #1996 | -0,272 |
| W261 | -0,426 |

AI: Asymmetrie-Index; No.: Nummer des Tieres.

Während die positiven Werte anzeigen, dass die linke Kieferhöhle ein größeres Volumen aufweist als die rechte, zeigen die negativen Werte an, dass die rechte Kieferhöhle ein größeres Volumen besitzt. Es wird deutlich, dass bei der Hälfte der Präparate die linke Kieferhöhle größer ist als die rechte, bei der anderen Hälfte verhält es sich umgekehrt. Die Asymmetrien sind zufällig, so dass die beobachteten Abweichungen als fluktuierende Asymmetrie gedeutet werden. Die graphische Darstellung des Asymmetrie-Index erfolgt in Abbildung 29.

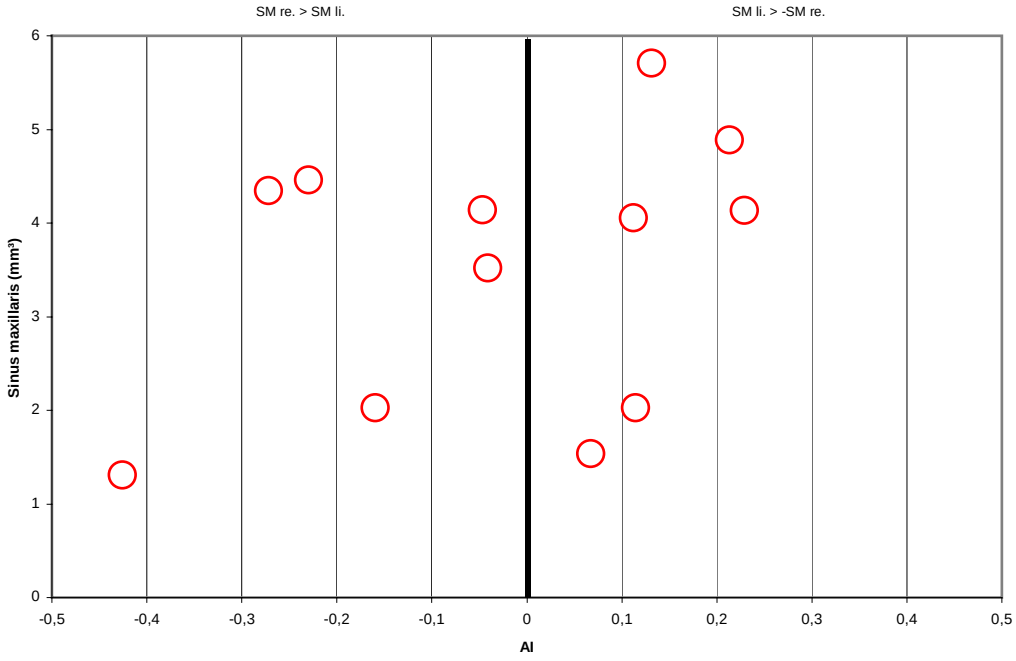


**Abb. 29** Diagramm zur Darstellung des Asymmetrie-Index (AI) in Abhängigkeit zum Volumen des Sinus maxillaris. AI: Asymmetrie-Index; SM: Sinus maxillaris

## 4.6. Korrelationsanalyse

An den vorliegenden Messdaten wurde eine Korrelationsanalyse durchgeführt, um zu untersuchen, ob sich Zusammenhänge zwischen den Werten erkennen lassen. In die Korrelationsanalyse wurden lediglich die Präparate des Primate Research Institutes einbezogen. Einen Überblick über das Ergebnis der Korrelationsanalyse gibt Tabelle 7.

**Tab. 7** Ergebnis der Korrelationsanalyse der erhobenen Messdaten von *Callithrix jacchus*.

| | FH | PL | BW | HD | PW | MAB | SL | BL | FW | SM |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| PL | 0,780* | | | | | | | | | |
| BW | 0,609 | 0,759* | | | | | | | | |
| HD | 0,488 | 0,225 | 0,447 | | | | | | | |
| PW | 0,2313 | 0,204 | 0,346 | 0,204 | | | | | | |
| MAB | 0,048 | 0,204 | 0,141 | -0,542 | -0,042 | | | | | |
| SL | 0,959** | 0,666 | 0,592 | 0,540 | 0,065 | 0,084 | | | | |
| BL | 0,571 | 0,491 | 0,737* | 0,803* | 0,362 | -0,012 | 0,624 | | | |
| FW | 0,363 | 0,390 | 0,378 | 0,448 | 0,213 | 0,326 | 0,410 | 0,794* | | |
| SM | 0,329 | 0,546 | 0,268 | 0,038 | -0,345 | -0,129 | 0,335 | 0,104 | 0,117 | |
| NH | 0,348 | 0,492 | 0,217 | 0,026 | -0,421 | -0,205 | 0,361 | -0,001 | -0,056 | 0,976** |

FH: Gesichtshöhe; PL: Gaumenlänge; BW: Jochbogenbreite; HD: Durchmesser des Femurkopfes; PW: Gaumenbreite; MAB: Maxilloalveolarbreite; SL: Gesamtschädellänge; BL: Schädelbasislänge; FW: Mittelgesichtsbreite; SM: Sinus maxillaris; NH: Nasenhöhle; * $p<0,05$; **$p<0,01$; alle Werte basierend auf dem natürlichen Logarithmus.

Eine signifikante Korrelation lässt sich nachweisen zwischen der Gesichtshöhe und der Gesamtschädellänge, sowie zwischen dem Kieferhöhlenvolumen und dem Nasenhöhlenvolumen. Die Schädelbasislänge korreliert mit der Jochbogenbreite, der Mittelgesichtsbreite und dem Durchmesser des Femurkopfes. Des weiteren besteht ein enger statistischer Zusammenhang zwischen der Gaumenlänge und der Gesichtshöhe, sowie zwischen der Gaumenlänge und der Jochbogenbreite. Ein statistisch signifikanter Zusammenhang der Volumina der Kieferhöhle und der Nasenhöhle zu den erhobenen Schädelmaßen besteht nicht.

## 4.7. Regressionsanalyse

Von den Wertepaaren, die in der Korrelationsanalyse einen statistisch signifikanten Zusammenhang aufwiesen, wurde im Anschluss eine einfache lineare Regressionsanalyse durchgeführt, um die Art des Zusammenhangs genauer zu betrachten. Die Ergebnisse sind in Tabelle 8 zusammengefasst.

**Tab. 8** Ergebnisse der einfachen linearen Regressionsanalyse sowie Anstiegsvergleich der Regressionsgeraden.

| x - y | y=bx+a | n | r |
|---|---|---|---|
| SM - NH | 1,007x+0,023 | 8 | 0,976** |
| FH - SL | 0,417x+2,697 | 8 | 0,959** |
| HD - BL | 0,438x+2,726 | 8 | 0,803* |
| BL - FW | 1,046x-0,260 | 8 | 0,794* |
| FH - PL | 0,507x+1,374 | 8 | 0,780* |
| PL - BW | 0,839x+0,783 | 8 | 0,759* |
| BW - BL | 0,636x+1,461 | 8 | 0,737* |

n: Anzahl der Tiere; r: Korrelationskoeffizient; SM: Sinus maxillaris; NH: Nasenhöhle; FH: Gesichtshöhe; SL: Gesichtsschädellänge; HD: Durchmesser des Femurkopfes; BL: Schädelbasislänge; FW: Mittelgesichtsbreite; PL: Gaumenlänge; BW: Jochbogenbreite;
** $p<0,01$; * $p<0,05$; alle Werte basierend auf dem natürlichen Logarithmus.

Die Abbildungen 30 bis 36 veranschaulichen den Anstieg der Regressionsgeraden und geben einen Überblick über die Verteilung der einzelnen Messwerte der Wertepaare, die einen statistisch signifikanten Zusammenhang aufweisen. Dabei basieren alle Werte auf dem natürlichen Logarithmus (ln). Die Werte sind für männliche und weibliche Tiere getrennt gekennzeichnet.

Aus der graphischen Darstellung geht deutlich hervor, dass die Punktwolken bezüglich des Geschlechts der Tiere unregelmäßig um die Regressionsgerade verteilt sind. Eine Gruppierung der Wertepaare der weiblichen oder der männlichen Tiere ist in keinem Fall zu erkennen.

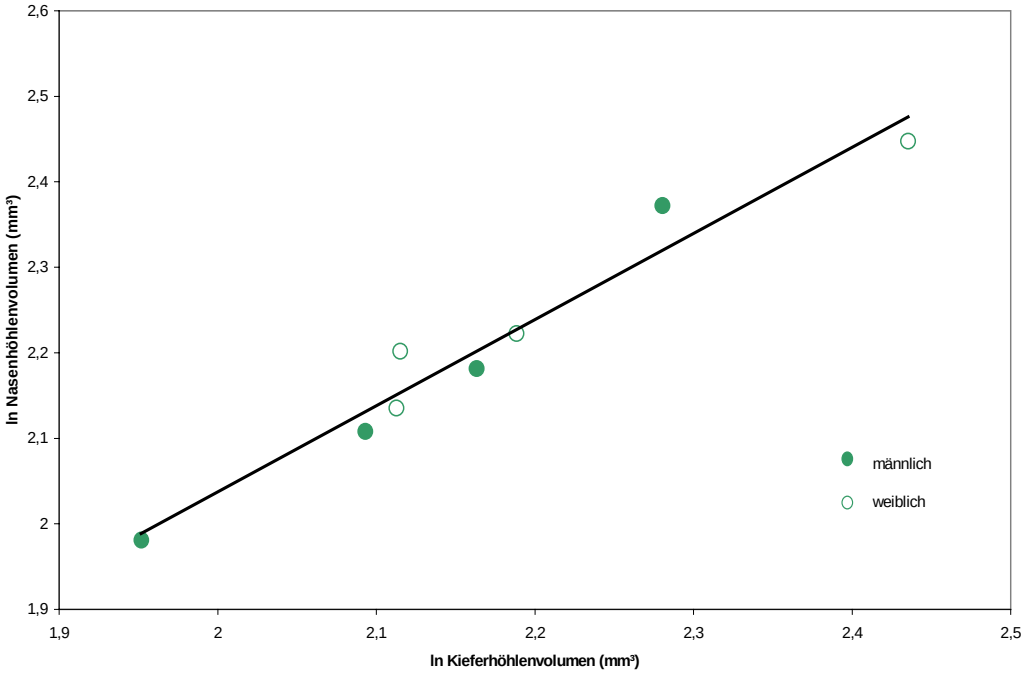


**Abb. 30** Graphische Darstellung des Merkmalspaares Kieferhöhlenvolumen – Nasenhöhlenvolumen für *Callithrix jacchus*. Regressionsgleichung: y=1,007x+0,023. Alle Werte basierend auf dem natürlichen Logarithmus.

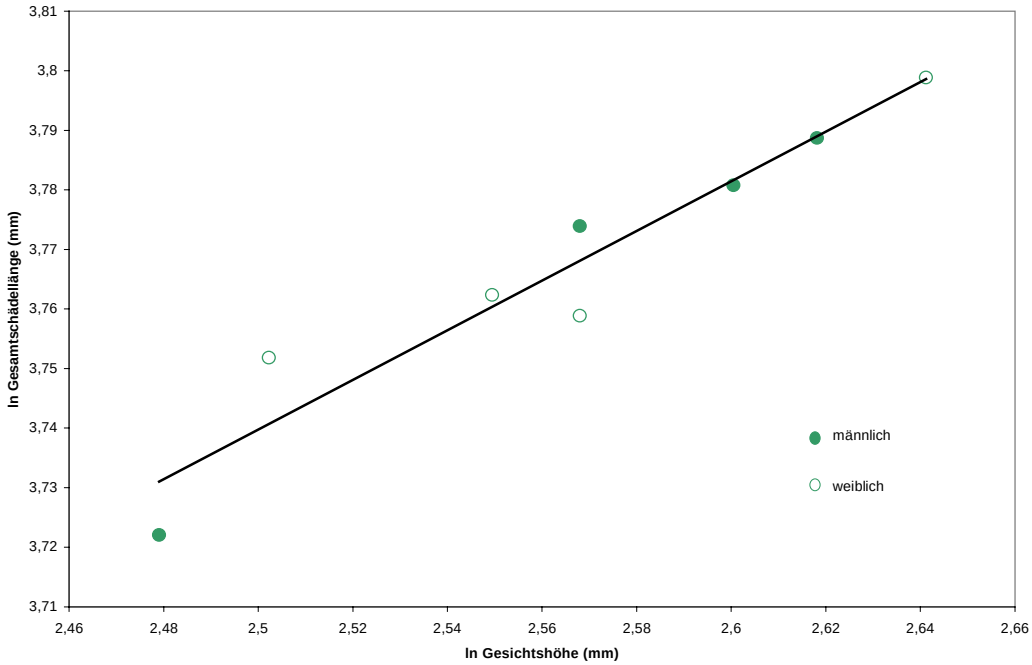


**Abb. 31** Graphische Darstellung des Merkmalspaares Gesichtshöhe - Gesamtschädellänge für *Callithrix jacchus*. Regressionsgleichung: y=0,417x+2,697. Alle Werte basierend auf dem natürlichen Logarithmus.

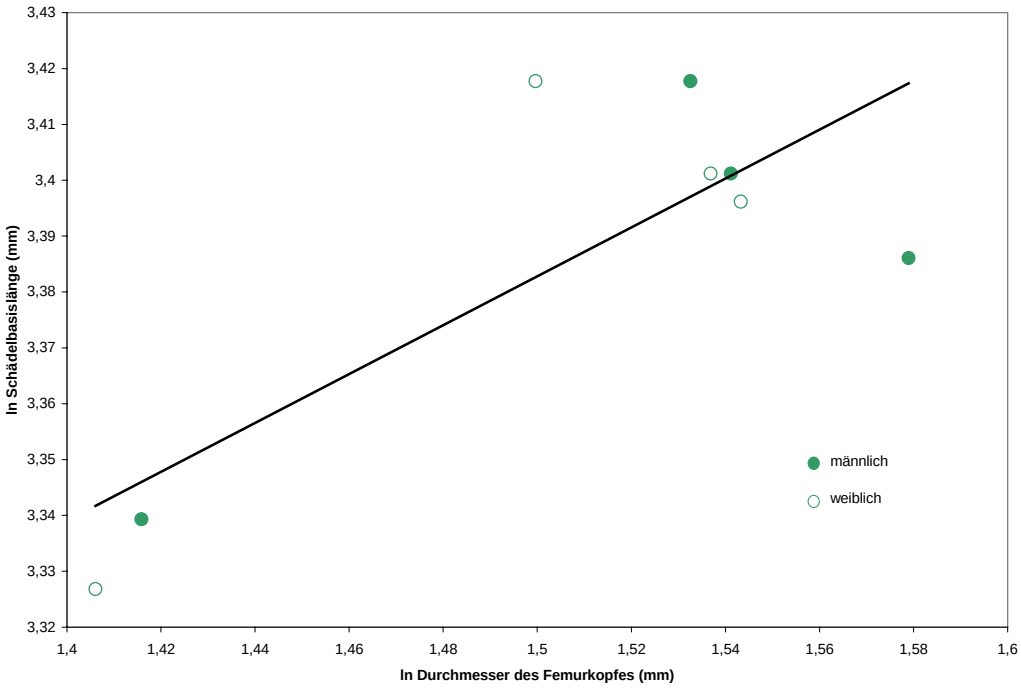


**Abb. 32** Graphische Darstellung des Merkmalspaares Durchmesser des Femurkopfes - Schädelbasislänge für *Callithrix jacchus*. Regressionsgleichung: y=0,438x+2,726. Alle Werte basierend auf dem natürlichen Logarithmus.

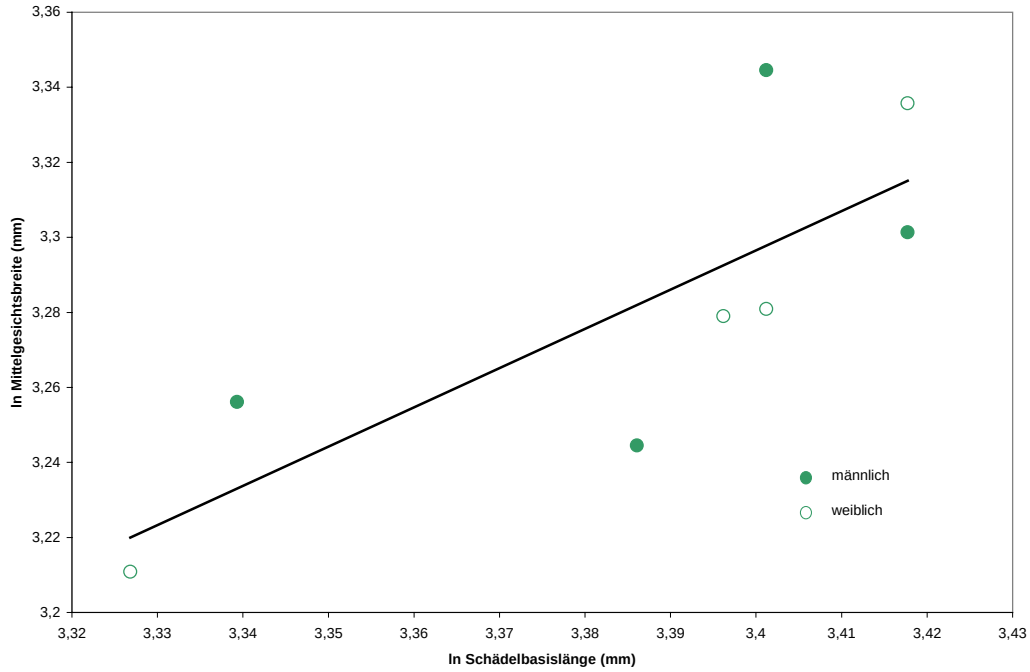


**Abb. 33** Graphische Darstellung des Merkmalspaares Schädelbasislänge - Mittelgesichtsbreite für *Callithrix jacchus*. Regressionsgleichung: y=1,046x+0,260. Alle Werte basierend auf dem natürlichen Logarithmus.

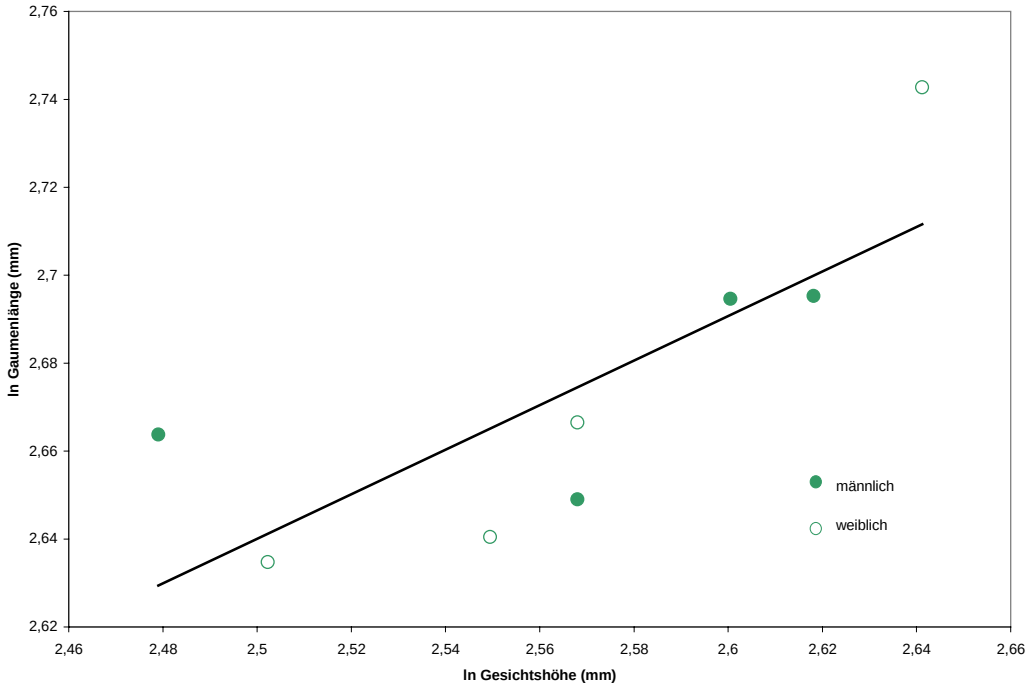


**Abb. 34** Graphische Darstellung des Merkmalspaares Gesichtshöhe - Gaumenlänge für *Callithrix jacchus*. Regressionsgleichung: y=0,507x+1,374. Alle Werte basierend auf dem natürlichen Logarithmus.

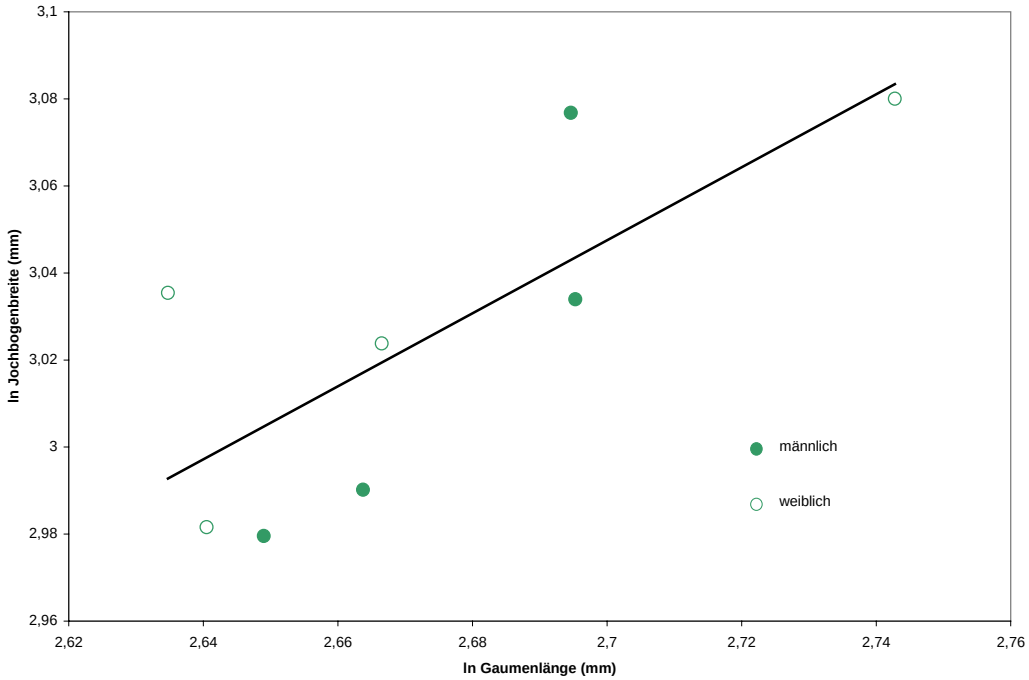


**Abb. 35** Graphische Darstellung des Merkmalspaares Gaumenlänge - Jochbogenbreite für *Callithrix jacchus*. Regressionsgleichung: y=0,839x+0,783. Alle Werte basierend auf dem natürlichen Logarithmus.

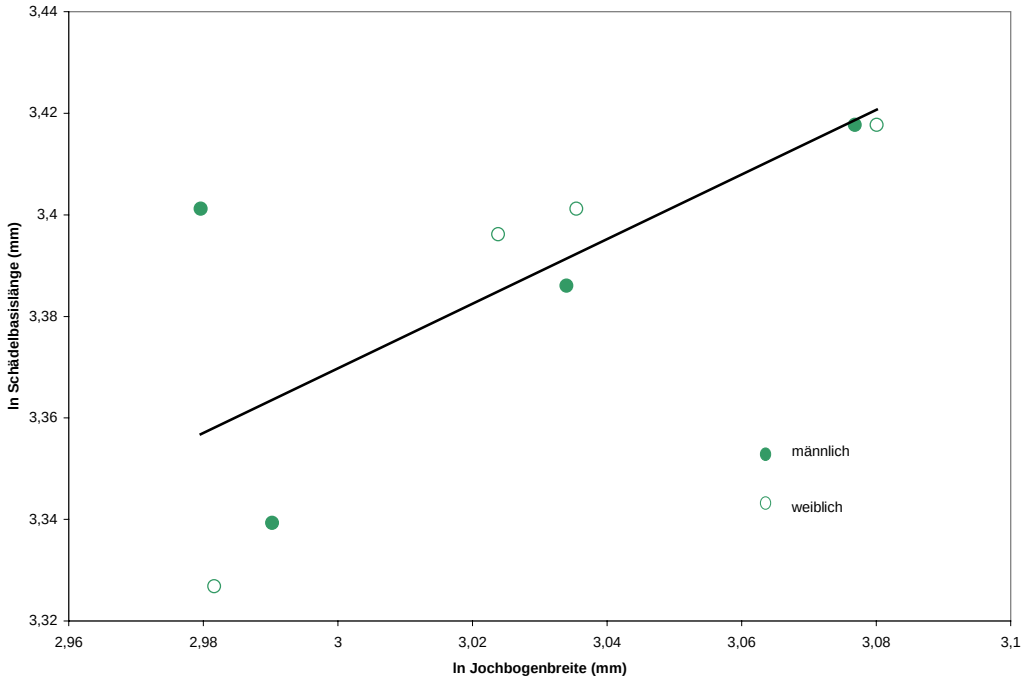


**Abb. 36** Graphische Darstellung des Merkmalspaares Jochbogenbreite - Schädelbasislänge für *Callithrix jacchus*. Regressionsgleichung: y=0,636x+1,461. Alle Werte basierend auf dem natürlichen Logarithmus.

## 4.8. Vergleich von *Callithrix jacchus* mit anderen Spezies

Im Folgenden werden die Kieferhöhlenvolumina und die Gaumenlängen im Vergleich mit entsprechenden Daten anderer Neuweltaffenspezies beschrieben. Tabelle 9 gibt einen Überblick über die Mittelwerte und Standardabweichungen der genannten Messwerte bei den unterschiedlichen Spezies.

**Tab. 9** Mittelwerte und Standardabweichungen der Kieferhöhlenvolumina und Gaumenlängen für verschiedene Neuweltaffen, Angaben in cm bzw. $cm^3$.

| Spezies | n | SM rechts | | PL | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | $\bar{x}$ | SD | $\bar{x}$ | SD |
| *Aotus trivirgatus* [a] | 10 | 0,14 | 0,04 | 1,55 | 0,09 |
| *Callicebus torquatus* [a] | 3 | 0,61 | 0,29 | 0,58 | 0,18 |
| *Callicebus moloch* [a] | 8 | 0,27 | 0,09 | 1,71 | 0,07 |
| *Cebus albifrons* [a] | 7 | 1,25 | 0,29 | 2,54 | 0,10 |
| *Pithecia sp.* [a] | 7 | 0,61 | 0,28 | 2,39 | 0,21 |
| *Callithrix jacchus* [b] | 8 | 0,04 | 0,01 | 0,45 | 0,05 |

n: Anzahl der Tiere; SM: Sinus maxillaris; PL: Gaumenlänge, [a] Werte von Koppe et al. 1999, [b] eigene Werte.

Zur Beurteilung der unterschiedlichen Volumina der Kieferhöhlen wurde eine einfache lineare Regressionsanalyse durchgeführt.

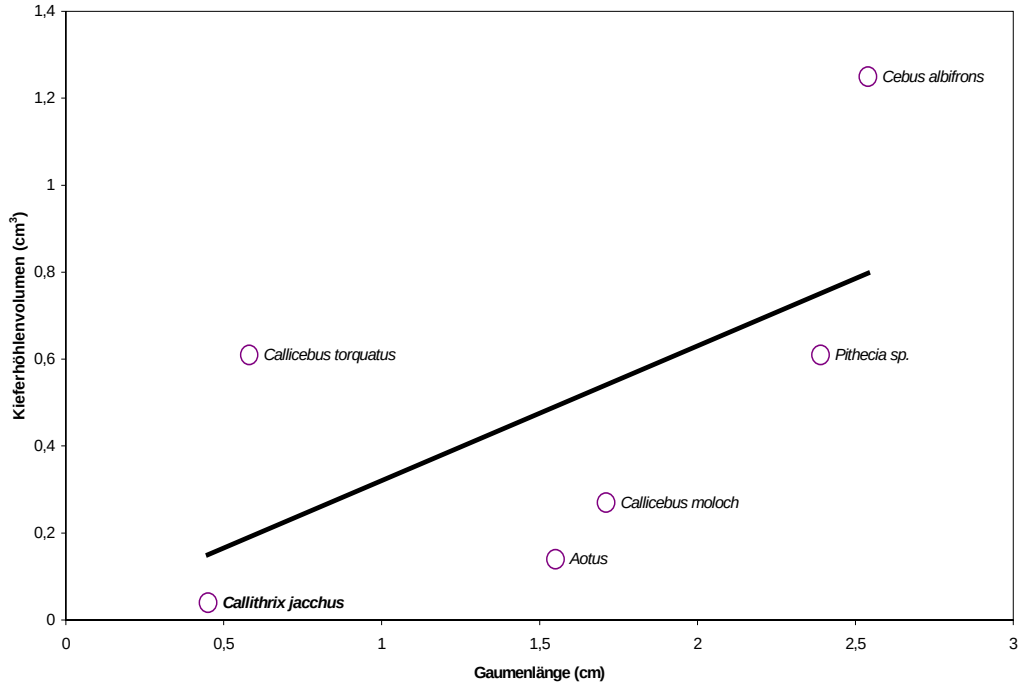


**Abb. 37** Graphische Darstellung des Merkmalspaares Gaumenlänge - Kieferhöhlenvolumen unterschiedlicher Spezies im Vergleich. Regressionsgleichung: y = 0,3098x + 0,0105, r=0,836, p<0.001.

Aus der Abbildung lässt sich entnehmen, dass sowohl das Kieferhöhlenvolumen als auch die Gaumenlänge von *Callithrix* im Vergleich zu den anderen Spezies am kleinsten ist, gefolgt von *Aotus*.

# 5. Diskussion

## 5.1. Nasennebenhöhlen von *Callithrix jacchus*

Die Ergebnisse dieser Arbeit belegen, dass *Callithrix jacchus* als einzige Nasennebenhöhle einen paarigen Sinus maxillaris besitzt. Wie bei den Catarrhini, so stellt auch bei den Platyrrhini der Sinus maxillaris ein typisches Merkmal dar (Cave 1967). Eine Ausnahme innerhalb der Catarrhini bilden allerdings die Colobinae, die keine Nasennebenhöhlen besitzen (Rae et al. 2002b). Bereits Hershkovitz (1977) weist darauf hin, dass ein Sinus maxillaris bei kleineren platyrrhinen Primaten nicht immer auffindbar ist. Das wird durch neuere computertomographische Untersuchungen von Rossie (2003) und Nishimura et al. (2005) bestätigt. Nach Angaben dieser Autoren fehlt ein Sinus maxillaris bei *Saimiri*, *Cacajao* und *Chiropotes*. Im Gegensatz zu den meisten anderen platyrrhinen Primaten mit einem Sinus maxillaris, der z.T. die Maxilla vollständig pneumatisiert (Cave 1967, Hershkovitz 1977, Rossie 2003, Koppe et al. 2005a), ist der Sinus maxillaris von *Callithrix jacchus* deutlich in seiner Ausdehnung nach lateral reduziert. Nishimura et al. (2005) berichten, dass dieser Typ eines Sinus maxillaris bei allen Callitrichidae zu beobachten ist. Das bestätigen auch die Ergebnisse dieser Arbeit, die darauf hindeuten, dass insbesondere die langen Zahnwurzeln der Prämolaren und Molaren eine weitere Pneumatisation nach lateral verhindern.

Mit dieser Arbeit bestätigen wir das Vorhandensein des Sinus maxillaris bei *Callithrix jacchus*. Bei allen unseren Präparaten findet sich auf jeder Schädelseite in Höhe der Prämolaren- und Molarenregion ein länglicher, mit Schleimhaut ausgekleideter Sinus maxillaris. Er mündet stets auf Höhe des zweiten Prämolaren durch das Infundibulum ethmoidale, einem schmalen Gang, unterhalb der mittleren Nasenmuschel in die Nasenhöhle (Abb. 19). Der Ort der maximalen Ausdehnung des Sinus maxillaris variiert stark, selbst zwischen rechter und linker Schädelhälfte innerhalb eines Schädels. Hierbei sollte berücksichtigt werden, dass die Schädel nicht immer exakt in der Frontalebene geschnitten werden konnten.

Im Gegensatz zu Rossie (2003) sind wir jedoch der Auffassung, dass es sich beim Sinus maxillaris von *Callithrix jacchus* um einen echten Sinus handelt. Rossie (2003) vertritt die Meinung, dass nur solche Nebenhöhlen als echte Sinus zu bezeichnen sind, die sich lateral des Bereichs der ursprünglichen Nasenkapsel ausdehnen. Wir schließen uns der Auffassung von Cave (1967) an, nach der ein von Knochen umgebener, von Schleimhaut ausgekleideter Hohlraum mit Verbindung zur Nasenhöhle ein echter Sinus ist.

Ein viel diskutiertes Problem ist die Pneumatisation des Os frontale innerhalb der Primaten. Echte Sinus frontales gehen meist von einer vorderen Siebbeinzelle oder einem schmalen Gang zwischen benachbarten Siebbeinzellen aus (Mafee 1993). Nach unseren Untersuchungen verfügt *Callithrix jacchus* weder über Siebbeinzellen, noch über einen Sinus frontalis.

Der Sinus frontalis zeichnet sich durch eine hohe Variabilität aus (Andrews and Martin 1987, Blaney 1986, Siebert and Swindler 2002). Hajniš and Pozděnovà (1972) fanden ihn beim Menschen ausschließlich mit einer konvexen anterioren und einer konkaven posterioren Fläche. Nach Blaney (1986) ist sowohl eine Entwicklung vom anterioren Sinus ethmoidalis, als auch eine Öffnung in den antero-superioren Bereich des mittleren Nasenganges obligat, um den Kriterien eines Sinus frontalis zu genügen. Zur Identifizierung eines Sinus frontalis bediente er sich zusätzlich einer Linie, die tangential zu den oberen Rändern der Orbitae verläuft. Hohlräume, die in ihrer Höhenausdehnung diese Linie nicht erreichen, werden nicht als Sinus frontalis bezeichnet (Blaney 1986).

Bezüglich des Vorhandenseins eines Sinus frontalis bei *Callithrix jacchus* stimmen unsere Ergebnisse mit vorausgehenden Darstellungen nicht überein. Während Weinert (1927), der Platyrrhini mit und ohne Sinus frontalis beschreibt, bei *Callithrix jacchus* ein doppelwandiges, lufthaltiges Stirnbein mit Verbindung zur Nasenhöhle fand, beschreibt Hershkovitz (1977) bei *Callithrix jacchus* einen Sinus frontalis von zellulärer Struktur ohne erkennbare Verbindung zur

Nasenhöhle. Nach Hershkovitz (1977) ist ein Sinus frontalis bei allen Platyrrhini präsent.

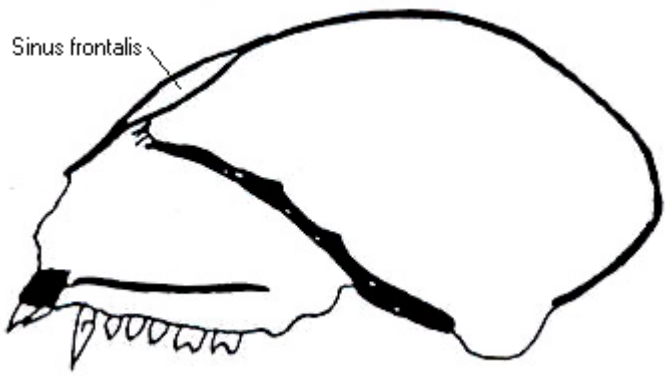


**Abb. 38** Saggitalschnitt durch den Schädel von *Callithrix jacchus* mit Stirnhöhle. Verändert nach Weinert (1927).

Im Gegensatz zu Weinert (1927) und Hershkovitz (1977) zeigen wir mit dieser Arbeit, dass *Callithrix jacchus* keinen Sinus frontalis besitzt. Diese Erkenntnis ist nicht nur für *Callithrix jacchus* im Speziellen wichtig. Sie zeigt, dass der Sinus frontalis bei Neuweltaffen kein konstantes Merkmal ist.

Bei den von Weinert (1927) und Hershkovitz (1977) beschriebenen Hohlräumen im Os frontale handelt es sich vermutlich um weite Spongiosaräume, die wir auch in dieser Arbeit beschrieben haben (Abb. 19). Eine Verbindung dieser mit Knochenmark gefüllten Räume, die sich am Übergang von der Caninus- zur Prämolarenregion befinden, zur Nasenhöhle konnten wir in keinem Fall beobachten. Es liegt auch keine Auskleidung dieser spongiösen Räume mit respiratorischer Schleimhaut vor. Damit wird unter anderem deutlich, dass konventionelle makroskopische Untersuchungsverfahren, einschließlich CT, für bestimmte Strukturen keine verlässlichen Ergebnisse liefern.

Die Computertomographie hat hinsichtlich der Auflösung Grenzen. Das wiederum ist bei kleinen Objekten von Bedeutung. Mittels histologischer Untersuchungen konnten wir im Hinblick auf die Schädelpneumatisation neue

Einblicke gewinnen. Weitere Arbeiten auf diesem Gebiet werden benötigt, um beispielsweise den Vergleich der Morphologie zu anderen Spezies zu ermöglichen und weitere Informationen über die evolutionäre und biologische Rolle der Nasennebenhöhlen zu gewinnen.

Obwohl die Nasenhöhle einen Recessus frontalis besitzt, der in die Interorbitalregion hineinreicht, erreicht dieser Recessus in keinem der von uns untersuchten Präparate die Margo supraorbitalis. Es handelt sich um einen doppelt angelegten, mit olfaktorischem Schleimhautepithel ausgekleideten Ausläufer der Nasenhöhle, der ihr cranial kegelförmig, mit der Spitze nach dorsal zeigend, aufliegt, und eine große Anzahl von Nervenfasern enthält. Das bestätigen auch Untersuchungen von Smith et al. (2004). Beginn und Ende des Recessus frontalis liegen am Übergang der Prämolaren- zur Molarenregion und sind sehr variabel. Über ähnliche Verhältnisse wie bei *Callithrix jacchus* berichten auch Kay et al. (2004). In ihrer Abbildung 7, Seite 1167, wird ein coronares CT in Höhe des 1. Molaren von *Pithecia sp.* gezeigt, dessen Interorbitalseptum Hohlräume zeigen, die dem Recessus frontalis bei *Callithrix jacchus* gleichen. Darüber hinaus befindet sich bei *Pithecia* oberhalb des Recessus frontalis ein Hohlraum, welcher den Bulbus olfactorius beherbergt (Kay et al. 2004). Solche Verhältnisse finden sich auch bei *Callithrix jacchus* (s. Abb. 21). Nicht zu verwechseln ist der oben beschriebene Recessus frontalis beim adulten Tier mit dem cartilaginösen Recessus frontalis, der durch primäre Pneumatisation entsteht und als Vorläufer des Sinus frontalis beim Feten zu finden ist (Weiglein 1999).

Bei der Ausbildung der Schädelform sind multiple Faktoren beteiligt. Verschiedene Studien belegen, dass die Morphologie des Schädels bestimmte Verhaltensweisen begünstigen. *Callithrix jacchus* bedient sich z.B. bei der Gewinnung von Harz einer im Vergleich zu anderen Primaten sehr weiten Kieferöffnung. Eng et al. (2005) zeigen, dass *Callithrix jacchus* Besonderheiten der Kaumuskulatur aufweist, welche die weite Kieferöffnung begünstigen. Mork et al. (2005) fanden, dass die Kiefer von *Callithrix jacchus* eine die Kieferöffnung erleichternde Form aufweisen.

Schumacher (1968) weist darauf hin, dass die anatomische Entwicklung des Schädels von zahlreichen allgemeinen und lokalen Faktoren beeinflusst wird. Zu den allgemeinen Faktoren zählt Schumacher (1968) unter anderem Vererbung, Ernährung, Klima und Statik. Nasennebenhöhlen stellen einen wichtigen lokalen Faktor für die Schädelform dar. Da die Nasennebenhöhlen selbst durch verschiedene Faktoren wie Zähne, genetische Faktoren und Nahrung in ihrer Morphologie beeinflusst werden (Koppe et al. 1999), wirken diese Faktoren auf die Nasennebenhöhlen und somit indirekt auch auf die Schädelform ein.

Bereits Weidenreich (1924) war der Auffassung, dass Nasennebenhöhlen lediglich Strukturen sind, die der Einsparung von biomechanisch funktionslosem Knochen dienen. Eine ähnliche Auffassung vertreten auch Preuschoft et al. (2002), die in diesen Hohlräumen Strukturen zur Optimierung der Schädelarchitektur sehen. In diesem Zusammenhang sind die Untersuchungen von Rae and Koppe (2005) von Interesse, welche die Größe des Sinus maxillaris von *Cebus apella* und *Cebus albifrons* verglichen. Beide Neuweltaffen unterscheiden sich durch die Nahrungsaufnahme. Während *Cebus apella* sich insbesondere von verschiedenen harten Pflanzensamen ernährt, ist *Cebus albifrons* an weiche Nahrung wie z.B. Früchte angepasst (Kinzey 1997). Beide Spezies zeigen jedoch keine signifikanten Unterschiede im Volumen des Sinus maxillaris (Rae and Koppe 2005). Ein Zusammenhang zwischen der Schädelarchitektur und der Morphologie der Nasennebenhöhlen kann sicherlich nicht ausgeschlossen werden. Das bestätigen verschiedene Untersuchungen an Primaten.

So fanden Koppe et al. (1999), dass das Volumen des Sinus maxillaris mit steigender Schädelgröße ansteigt. Koppe und Fanghänel (2000) beschrieben einen Zusammenhang zwischen der Gesichtsschädellänge und dem Sinus maxillaris. Die Untersuchungen von Rae and Koppe (2005) an *Cebus apella* und *Cebus albifrons* zeigen jedoch, dass weitere Untersuchungen notwendig sind, um die Rolle der Biomechanik für die Ausformung der Nasennebenhölen zu verifizieren.

Ein wesentlicher Prozess, der die Ausbildung der Kieferhöhlen beeinflusst, ist die Dentition (Keith 1902, Runge 1928, Reike 1991). Innerhalb der Platyrrhini und Catarrhini variiert die Beziehung zwischen Prämolaren und Molaren und der Kieferhöhle. Koppe and Nagai (1997) beschreiben, dass bei *Macaca fuscata* so gut wie kein Kontakt besteht zwischen Zahnwurzeln und Kieferhöhle. Der Orang-Utan weist teilweise Kieferhöhlen ohne Kontakt zu den Zahnwurzeln auf, teilweise reichen die Zahnwurzeln in die Kieferhöhlen hinein (Koppe et al. 2003). Moormann (2004) zeigt, dass bei *Alouatta caraya* eine enge räumliche Beziehung der Zahnwurzeln der Prämolaren und Molaren zur Kieferhöhle besteht. Der Sinus maxillaris reicht bei dieser Spezies weiter nach lateral als die Dentition, in Folge wölben sich die Zahnwurzeln von caudal in den Kieferhöhlenboden (Rossie 2004).

Rossie (2004) vermutet, dass das Kieferhöhlenwachstum nach lateral hauptsächlich beeinflusst wird durch den Raum, der zwischen der Orbita und den Zahnwurzeln zur Verfügung steht. Dabei ist zu beobachten, dass die Größe der Orbita mit abnehmender Schädelgröße zunimmt. Der Sinus maxillaris der von uns untersuchten Präparate von *Callithrix jacchus* pneumatisiert die Maxilla nur teilweise. Die langen Wurzeln der Prämolaren, die lateral und in engem Kontakt zur Kieferhöhle liegen, sowie der tiefe Orbitaboden verhindern vermutlich, dass der Sinus maxillaris weiter nach lateral pneumatisiert.

Da der Sinus maxillaris entwicklungsgeschichtlich aus der Nasenhöhle entsteht, lässt sich ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen diesen beiden Merkmalen erwarten. Unsere Untersuchungen bei *Callithrix jacchus* zeigen dementsprechend neben einem engen Zusammenhang zwischen der Gesichtshöhe und der Gesamtschädellänge (r=0,959) die erwartete signifikante Korrelation zwischen dem Volumen der Kieferhöhle und dem Volumen der Nasenhöhle.

Kein statistisch signifikanter Zusammenhang ließ sich jedoch zwischen dem Kieferhöhlenvolumen und den gemessenen Schädelmaßen feststellen. Ebenso

wenig zeigt sich eine signifikante Korrelation zwischen dem Nasenhöhlenvolumen und den gemessenen Schädelmaßen (Tab. 7).

Für die fehlende Korrelation zwischen dem Kieferhöhlenvolumen und den Schädelmaßen lassen sich in der Literatur zwei Erklärungsansätze finden. Nach Schumacher (1968) ist die Pneumatisation ein lokaler Faktor für die Schädelarchitektur. Da die Pneumatisation des Sinus maxillaris bei *Callithrix jacchus* wie oben beschrieben durch die enge Nachbarschaft zu Orbita und Zahnwurzeln behindert wird, kann sie nicht auf die Schädelarchitektur einwirken. Andere Spezies, bei denen der Sinus maxillaris größere Anteile der Maxilla pneumatisiert, weisen dementsprechend eine höhere Korrelation zwischen Kieferhöhlenvolumen und Schädelmaßen auf. Das bestätigen Untersuchungen von Moormann (2004) an *Alouatta caraya*.

Rae and Koppe (2000) zeigen, dass bei den Hominoiden eine signifikante Korrelation zwischen der Körpermasse und dem Nasennebenhöhlenvolumen besteht. *Callithrix jacchus* stellt eine der kleinsten Spezies innerhalb der Platyrrhini dar (Hershkovitz 1972, Fleagle 1988). Erwartungsgemäß zeigt der Vergleich des Kieferhöhlenvolumens von *Callithrix jacchus* zu anderen Neuweltaffen, dass *Callithrix jacchus* das kleinste Kieferhöhlenvolumen aufweist. Obwohl die statistische Untersuchung keinen Anhalt für signifikante Zusammenhänge zwischen Schädelmorphologie und Sinus maxillaris bei *Callithrix jacchus* zeigt, so zeigt der Vergleich zu anderen Neuweltaffen, dass sich die Volumina des Sinus maxillaris von *Callithrix jacchus* gut einordnen lassen. Die Größenunterschiede zwischen den hier betrachteten einzelnen Spezies von Neuweltaffen bezüglich des Sinus maxillaris ergeben sich somit aus der unterschiedlichen Schädelgröße (Abb. 37). Dies entspricht den Ergebnissen von Rae and Koppe (2000).

## 5.2. Nasenhöhle von *Callithrix jacchus*

Sofern nicht ausschließlich respiratorische Anforderungen vorherrschen, wie z.B. bei Cetacea, ist die Nasenhöhle der Säugetiere in ihrer Form außerordentlich konstant. Ihre Morphologie wird weder beeinflusst von Faktoren wie Körpergröße, Nahrungsart und Lebensgewohnheiten, noch spielen externe Faktoren eine Rolle (Cave 1973).

Die morphologischen Untersuchungen, die wir an juvenilen und adulten Tieren durchführten, zeigen eine kurze, hohe Nasenhöhle. Sie entspricht laut Cave (1973) der Nasenhöhle eines Primaten, dessen Sehsinn dominiert. Hierbei muss berücksichtigt werden, dass der Zustand der uns für unsere Untersuchungen zur Verfügung stehenden CT-Schnittbilder des Primate Research Institutes, sowie die begrenzte Auflösung am Computertomogramm keine komplette Darstellung der Strukturen zuließen. Wir fanden zwei Ethmoturbinalia, die der oberen und der mittleren Nasenmuschel entsprechen, sowie ein Maxilloturbinale, der unteren Nasenmuschel entsprechend. Hiermit bestätigen wir die von Smith et al. (2004) bei *Callithrix jacchus* gefundenen zwei Ethmoturbinalia, im Gegensatz zu Wako et al. (1999), die bei *Callithrix jacchus* lediglich ein Ethmoturbinale sowie ein Maxilloturbinale beschreiben. Hershkovitz (1977) beschreibt einen knöchernen Kamm, Simon (1981) berichtet von einer Crista semicircularis, einem Atrioturbinale, sowie dem Ansatz des Nasoturbinales. Hierzu fehlt uns in unseren Untersuchungen jeglicher Anhaltspunkt. Es ist denkbar, dass diese Merkmale inkonstant auftreten, und sie bei den von uns untersuchten Tieren nicht ausgebildet sind. Ebenso ist es möglich, dass sich Crista semicircularis, Atrioturbinale und Ansatz des Nasoturbinales im Wachstum wieder zurückbilden und sie beim juvenilen, beziehungsweise adulten Tier nicht mehr erkennbar sind.

Von den 8 uns zur Verfügung stehenden Schädeln des Primate Research Institutes weisen 4 Schädel eine Septumdeviation nach rechts auf (davon zwei weibliche Schädel und zwei männliche Schädel) (Abb. 20) , ein Schädel (weiblich) zeigt eine Septumdeviation nach links, und bei drei Schädel (davon ein weiblicher Schädel und zwei männliche Schädel) lässt sich keine Septumdeviation finden.

Ein Sexualdimorphismus lässt sich somit hinsichtlich der Septumdeviation nicht nachweisen. Die Köpfe des Deutschen Primatenzentrums wurden von uns nicht auf eine Septumdeviation hin untersucht, da bei der Herstellung der histologischen Schnittbilder eine leichte Verschiebung der Strukturen nicht ausgeschlossen werden kann. Eine präzise Aussage bezüglich des Vorhandenseins einer Septumdeviation bei diesen Präparaten kann somit nicht getroffen werden.

Der weiter oben diskutierte Recessus frontalis ist nach unseren Untersuchungen zentraler Bestandteil der Nasenhöhle. Er ist vollständig mit olfaktorischer Schleimhaut ausgekleidet. Für die Gesamtfläche der olfaktorischen Schleimhaut bei einem adulten Tier der Spezies *Callithrix jacchus* geben Smith et al. (2004) eine Größe von 55,13mm² an.

Der Recessus frontalis von *Callithrix jacchus* ist ein blindsackartiger Ausläufer der Nasenhöhle. Solche blindsackartigen Ausläufer der Nasenhöhle sind bei höheren Primaten selten (Smith et al. 2004). Nichtprimaten und Halbaffen verfügen im hinteren Teil der Nasenhöhle über eine Lamina transversalis (Abb. 5), welche den Bereich der Ethmoturbinalia nach caudal vom Canalis nasopharyngeus abgrenzt. Die Existenz der Lamina transversalis soll den Luftstrom in Richtung der Ethmoturbinalia begünstigen (Cave 1967). Im Gegensatz zu Primaten sind die Ethmoturbinalia anderer Säugetiere komplett mit olfaktorischer Schleimhaut ausgekleidet (Novacek 1993). Obgleich *Callithrix jacchus* wie alle höheren Primaten über keine Lamina transversalis verfügt, so begünstigt das lang gestreckte Viscerocranium dieses Primaten (Abb. 12) mit der Ausbildung eines Recessus frontalis vermutlich ebenfalls eine Verteilung des Luftstroms in diese Region. Smith et al. (2004) weisen darauf hin, dass beide Ethmoturbinalia von *Callithrix jacchus* teilweise mit olfaktorischer Schleimhaut ausgekleidet sind. Neuere Untersuchungen zur Verteilung der olfaktorischen Schleimhaut weisen darauf hin, dass auch beim Menschen in über 50% der Fälle auch im Bereich der Concha nasalis media olfaktorische Schleimhaut vorkommen kann (Feron et al. 1998).

5.3. Sexualdimorphismus und Asymmetrie

Neben der Erhebung der Volumina der Nasenhöhlen und Nasennebenhöhlen der Präparate erfolgte eine Vermessung verschiedener linearer Maße am Schädel, sowie die Vermessung des Durchmessers des Femurkopfes. Um die Beziehung der vorliegenden Daten zueinander zu untersuchen, führten wir neben einer Korrelationsanalyse auch lineare Regressionsanalysen der Wertepaare durch, die einen statistisch signifikanten Zusammenhang aufwiesen. In diese Untersuchung konnten nur die Schädel aus dem Primate Research Institue, Kyoto, einbezogen werden.

Bei den Köpfen, die uns aus dem Deutschen Primatenzentrum in Göttingen zugestellt wurden, ließen sich weder die Geschlechter, noch die unterschiedlichen Maßen ermitteln, mit Ausnahme der Gaumenbreite und der Maxilloalveolarbreite, die wir selbst an den Präparaten maßen.

Bei unseren Untersuchungen des Sexualdimorphismus stellte sich heraus, dass *Callithrix jacchus* geringe Größenunterschiede zwischen den Geschlechtern aufweist. Die Differenzen betreffen insbesondere das Kieferhöhlenvolumen (SDI=0,097), sowie das Volumen der Nasenhöhle (SDI=0,092) und fallen zugunsten des weiblichen Geschlechts aus (Tab. 5, Abb. 28). Moormann (2004) berechnete den Sexualdimorphismus Index für *Alouatta caraya* und stellte fest, dass bei dieser Spezies sämtliche vermessen Schädelmaße inklusive des Sinus maxillaris einen Sexualdimorphismus zugunsten des männlichen Geschlechts aufweisen. Die Differenzen sind mit Werten zwischen SDI=–0,04 für die große Schädellänge und SDI=–0,27 für das Volumen der Kieferhöhlen bedeutender als bei *Callithrix jacchus*.

Plavcan (2002), der sich mit dem craniofacialen Geschlechtsdimorphismus bei Primaten befasst, stellt fest, dass alle Callitrichinen wenige signifikante Unterschiede zwischen männlichen und weiblichen Tieren aufweisen. Geschlechtliche Unterschiede sind weniger stark ausgeprägt, je kleiner die Tiere sind und je verborgener ihr Lebensstil ist (Leutenegger and Cheverud 1982,

Röhrer-Ertl 2005). Mit unseren Ergebnissen stützen wir Plavcan (2002) und Röhrer-Ertl (2005) und widersprechen Sampson et al. (1987), der bei *Callithrix jacchus* keinen Sexual Dimorphismus feststellte.

Wettstein (1963) fand, dass weibliche Tiere bei *Callithrix jacchus* insgesamt größer sind als männliche Tiere. Er begründet dies mit der Länge der langen Röhrenknochen, die bei weiblichen Tieren größer war als bei männlichen Tieren. Betrachtet man unsere Ergebnisse bezüglich der Nasenhöhle, so fällt auf, dass die Volumina der Nasenhöhle der weiblichen Präparate konstant größer sind als die der männlichen (Tab. 2). Diese Beobachtung trifft auch auf die Volumina der Kieferhöhle zu. Hier übertreffen die Werte der weiblichen Tiere ebenfalls die Maße der männlichen Werte (Tab. 3).

Bei *Callithrix jacchus* sind Asymmetrien bezüglich des Kieferhöhlenvolumens zwischen rechter und linker Schädelhälfte gering ausgeprägt. Dies wird anhand des Asymmetrie Index in Anlehnung an Lovich and Gibbons (1992) und an Koppe and Nagai (1997) in Abbildung X graphische dargestellt. Die geringen, zufälligen Abweichungen ohne Tendenz in eine Richtung sprechen für die von Valen (1962) beschriebene fluktuierende Asymmetrie. Sie bezeichnet eine ubiquitär vorhandene Form der Asymmetrie, die daraus resultiert, dass sich der Organismus nicht exakt symmetrisch entwickelt (Van Valen 1962).

## 6. Schlussfolgerungen

Unter Bezugnahme auf die in der Einleitung formulierten Fragestellungen ergeben sich folgende Schlussfolgerungen:

1. Bezüglich der Morphologie der Nasenhöhle und der Nasennebenhöhlen von *Callithrix jacchus* lässt sich feststellen, dass als einzige Nasennebenhöhle ein doppelt angelegter Sinus maxillaris vorhanden ist, der auf Höhe des 2. Prämolaren durch ein Infundibulum ethmoidale mit der Nasenhöhle kommuniziert. Dieser wird durch die in enger Nachbarschaft liegenden Wurzeln der Prämolaren, sowie durch den tief liegenden Orbitaboden in seiner lateralen Ausdehnung begrenzt.
2. Als Besonderheit halten wir fest, dass wir keinen Hohlraum finden konnten, dem der Definition eines Sinus frontalis entspricht. Stattdessen stellt sich eine Abschnürung der Nasenhöhle dar, der ihr im dorsalen Bereich kranial aufliegt. Diesen Hohlraum bezeichnen wir als Recessus frontalis. Er ist integrativer Bestandteil der Nasenhöhle.
3. Die von uns ermittelten Werte lassen darauf schließen, dass bezüglich der Nasenhöhlen- und Nasennebenhöhlenvolumina bei *Callithrix jacchus* ein geringer Sexualdimorphismus zugunsten des weiblichen Geschlechts, sowie eine gering ausgeprägte Asymmetrie vorhanden sind.
4. Bei der Untersuchung der Schädelmaße bzw. des Durchmessers des Femurkopfes in Bezug auf das Volumen der Nasenhöhle und der Nasennebenhöhlen kamen wir zu dem Ergebnis, dass eine hohe Korrelation besteht zwischen dem Volumen der Nasenhöhle und dem Volumen der Kieferhöhle, sowie zwischen der Gesichtshöhe und der Gesamtschädellänge. Es lässt sich jedoch keine Korrelation feststellen zwischen dem Kieferhöhlenvolumen und den Schädelmaßen.
5. Im Vergleich zu anderen Spezies besitzt *Callithrix jacchus* sowohl das kleinste Kieferhöhlenvolumen, als auch die kleinste Gaumenlänge. Trotz der fehlenden Korrelation zwischen Kieferhöhle und Schädelmaßen ordnet sich *Callithrix jacchus* bezüglich anderer Spezies gut ein. Ein Vergleich mit anderen Neuweltaffen zeigt jedoch, dass sich die Unterschiede im

Volumen des Sinus maxillaris zwischen *Callithrix jacchus* und anderen Neuweltaffen durch die unterschiedliche Schädelgröße erklären lassen.

## 7. Zusammenfassung

Die Nasenhöhle sowie die Nasennebenhöhlen bei Neuweltaffen sind weitgehend noch nicht erforscht. Insbesondere im Hinblick auf den Sinus frontalis bei *Callithrix jacchus* bestehen Uneinigkeiten in der Literatur.

In der vorliegenden Arbeit wurden Form und Größe der Nasenhöhle und der Nasennebenhöhlen von *Callithrix jacchus* untersucht. Hierzu standen uns computertomographische Aufnahmen von 8 adulten Tieren beiderlei Geschlechts, sowie 4 Köpfe von subadulten Tieren der Spezies *Callithrix jacchus* zur Verfügung. Von den Köpfen wurden histologische Schnittbilder angefertigt, die eine genaue Analyse von Nasenhöhle und Nasennebenhöhlen ermöglichte. Wir kommen zu dem Schluss, dass *Callithrix jacchus* eine kurze, hohe Nasenhöhle besitzt, wie sie bei Primaten üblich ist. Sie beherbergt zwei Ethmoturbinalia, sowie ein Maxilloturbinale. Ein doppelt angelegter Sinus maxillaris war in allen von uns untersuchten Präparaten vorhanden. Er mündet durch das Infundibulum ethmoidale, einem schmalen Gang, unterhalb der mittleren Nasenmuschel in die Nasenhöhle. Einen Sinus frontalis konnten wir nicht finden, stattdessen zeigen wir, das die Nasenhöhle von *Callithrix jacchus* einen doppelt angelegten, ihr kranial aufliegenden, mit Schleimhaut ausgekleideten Ausläufer der Nasenhöhle besitzt, der nicht der Definition eines Sinus entspricht. Wir nennen ihn Recessus frontalis.

Die Volumina der Nasenhöhle bzw. der Nasennebenhöhlen wurden ausgemessen und unter Berücksichtigung des Sexualdimorphismus und der Asymmetrie untersucht. Die errechneten Werte wurden daraufhin sowohl miteinander in Beziehung gesetzt, wie auch mit Werten anderer Spezies verglichen.

Bezüglich der Asymmetrie fanden wir keine signifikanten Unterschiede zwischen der rechten und der linken Kieferhöhle der untersuchten Tiere. Es fanden sich geringfügige Geschlechtsunterschiede bezüglich der von uns untersuchten Schädelmaßen ohne Bevorzugung einer Richtung. Ein geringer Sexualdimorphismus ist somit vorhanden. Unser Vergleich des

Kieferhöhlenvolumens zwischen *Callithrix jacchus* und einigen anderen Neuweltaffen (*Aotus, Callicebus torquatus, Callicebus moloch, Cebus albifrons, Pithecia sp.*) zeigt, dass *Callithrix jacchus* das kleinste Kieferhöhlenvolumen aufweist. Die Analyse unterschiedlicher Schädelmaße und des Durchmessers des Femurkopfes in Bezug auf die Volumina von Nasenhöhle und Nasennebenhöhle ergab einen engen Zusammenhang zwischen dem Volumen der Kieferhöhle und der Nasenhöhle, sowie zwischen der Gesichtshöhe und der Gesamtschädellänge.

# 8. Literaturverzeichnis

**Aguiar JM, Lacher TE**: Cranial morphology of callitrichid genera: Variability and diversification. American Journal of Physical Anthropology 2005; Suppl. 40: 63. (abstract)

**Anderhuber W, Weiglein A, Wolf G**: Cavitas nasi und Sinus paranasales im Neugeborenen- und Kindesalter. Acta Anatomica 1992; 144: 120-126.

**Andrews P, Martin L**: Cladistic relationships of extant and fossil hominoids. Journal of Human Evolution 1987; 16: 101-118.

**Blaney S**: An allometric study of the frontal sinus in *Gorilla*, *Pan* and *Pongo*. Folia Primatologica 1986; 47: 81-96.

**Blaney S**: Why paranasal sinuses? The Journal of Laryngology and Otology 1990; 104: 690-693.

**Blanton PL, Biggs N**: Eighteen hundred years of controversy: the paranasal sinuses. American Journal of Anatomy 1969; 124: 135-148.

**Bräuer G**: Osteometrie. In: Knußmann R (Hrsg.): Anthropologie, Band 1, Gustav Fischer, Verlag Stuttgart 1988, pp. 160-231.

**Cave A**: Observations on the platyrrhine nasal fossa. American Journal of Physical Anthropology 1967; 26: 277-288.

**Cave A**: The primate nasal fossa. Biological Journal of the Linnean Society 1973; 5: 377-387.

**Cave A, Haines R**: The paranasal sinuses of the anthropoid apes. Journal of Anatomy 1940; 74: 493-523.

**Dean C**: Jaws and teeth. In: Jones S, Martin R, Pilbeam D (Eds.): The Cambridge Encyclopedia of Human Evolution. Cambridge University Press, Cambridge 1992, pp. 56-59.

**Doll S, Lozanoff S**: 3D-Rekonstruktionen von anatomischen Strukturen. Der Präparator; 49; 3: 129-136.

**Eng CM, Vinyard CJ, Anapol F, Taylor AB**: Stretching the limits: jaw-muscle fiber architecture in tree-gouging and nongouging callitrichid monkeys. American Journal of Anthroplogy 2005; Suppl. 40: 99-100.

**Feron F, Perry C, McGrath JJ, Mackay-Sim A.**: New techniques for biopsy and culture of human olfactory epithelial neurons. Archieves of Otolaryngology: Head Neck Surgery 1998; 124: 861-866.

**Fleagle JG**: Primate Adaptation and Evolution. Academic Press, London 1988.

**Ford SM**: Systematics of the new world monkeys. In: Swindler DR, Erwin J (Eds.): Comparative Primate Biology, Vol. 1: Systematics, Evolution and Anatomy. Alan R. Liss., New York 1986.

**Gannon PJ, Doyle WJ, Ganjian E, Marquez S, Gnoy A, Gabrielle HS, Lawson W**: Maxillary sinus mucosal blood flow during nasal vs tracheal respiration. Archives of Otolaryngology: Head and Neck Surgery 1997; 123: 1336-1340.

**Geissmann T**: Vergleichende Primatologie. Springer, Berlin 2003.

**Glantz SA**: Primer of Biostatistics. Third Edition. Mc Graw-Hill, Inc, New York 1992.

**Godfrey L, Lyon S, Sutherland M**: Sexual dimorphism in large-bodied primates: The case of the subfossil lemurs. American Journal of Physical Anthropology 1993; 90; 3: 315-334.

**Greenfield LO**: Relative canine size, behavior and diet in male ceboids. Journal of Human Evolution 1992; 23: 469-480.

**Hajniš K, Pozděnovà L**: The form, size and capacity of the frontal sinus. Folia morphologica 1972; 20: 273 - 276.

**Henke W, Rothe H**: Stammesgeschichte des Menschen – Eine Einführung. Springer, Berlin 1999.

**Hershkovitz P**: Notes on New World Monkeys. The International Zoo Yearbook: Published for the Zoological Society of London. Volume 12. Hutchinson, London 1972.

**Hershkovitz P**: Comments on the taxonomy of brazilian marmosets (*Callithrix*, Callitrichidae). Folia Primatologica 1975; 24: 137-172.

**Hershkovitz P**: Living New World Monkeys (Platyrrhini), with an Introduction to the Primates. Vol. 1. Chicago University Press, Chicago 1977.

**Hershkovitz I, Livshits G, Moskona D, Arensburg B, Kobyliansky E**: Variables affecting dental fluctuating asymmetry in human isolates. American Journal of Physical Anthropology 1993; 91: 349-365.

**Hillenius WJ**: The evolution of nasal turbinates and mammalian endothermy. Paleobiology 1992; 18: 17-29.

**Kaliner M, Osguthorpe J, Fireman P, Anon J, Georgitis J, Davis M, Naclerio R, Kennedy D**: Sinusitis, bench to bedside: Current findings, future directions.

Journal of Allergy and Clinical Immunology 1997; 100: S829-S849.

**Kay RF, Campbell VM, Rossie JB, Colbert MW, Rowe TB**: Olfactory fossa of *Tremacebus harringtoni* (platyrrhini, early miocene, sacanana, argentina): implications for activity pattern. The Anatomical Record Part A 2004; 281A: 1157-1172.

**Keith A**: The relationship of the eruption of the permanent molar teeth to the expansion of the maxillary sinus (antrum of Highmore). Bristish Journal of Dental Science 1902; 16: 529-544.

**Kinzey WG**: New World Primates. Ecology, Evolution, and Behavior. Aldine de Gruyter, New York 1997.

**Koppe T, Nagai H**: Growth pattern of the maxillary sinus in the Japanese macaque (*Macaca fuscata*): reflections on the structural role of the paranasal sinuses. Journal of Anatomy 1997; 190: 533-544.

**Koppe T, Rae T, Swindler DR**: Influence of craniofacial morphology on primate paranasal pneumatization. Annals of Anatomy 1999; 181: 77-80.

**Koppe T, Ohkawa Y**: Pneumatization of the facial skeleton in catarrine primates. In: Koppe T, Hiroshi N, Alt KW (Eds.): The Paranasal Sinuses of Higher Primates: Development, Function and Evolution. Quintessence, Chicago 1999, pp. 77-119.

**Koppe T, Fanghänel J**: Welche Faktoren beeinflussen die Variabilität des Sinus maxillaris höherer Primaten? Rostocker Medizinische Beiträge 2000; 9: 265-269.

**Koppe T**: Nasenhöhle, Cavitas nasi und Nasennebenhöhlen, Sinus paranasales. In: J Fanghänel FP, F Anderhuber, R Nitsch (Hrsg): Waldeyer, Anatomie des Menschen. Volume 17. Walter de Gruyter, Berlin 2003; pp. 312-325.

**Koppe T, Moormann T, Nakatsukasa M, Yamanaka A**: Implications of the palatal size on the pneumatization of the human maxillary sinus floor. Verhandlungen der Anatomischen Gesellschaft 2003; 185: 272-273.

**Koppe T, Moormann T, Wallner C-P, Röhrer-Ertl O**: Extensive enlargement of the maxillary sinus in *Alouatta caraya* (Mammalia, Primates, Cebidae): An allometric approach to skull pneumatization in atelinae. Journal of Morphology 2005a; 263: 238-246.

**Koppe T, Rae TC, Schiwal OS, Lozanoff S**: New insights into the paranasal sinuses of *Callithrix jacchus*. American Journal of Physical Anthropology 2005b; Suppl. 40: 132. (abstract)

**Leigh S**: Socioecology and the ontogeny of sexual size dimorphism in anthropoid primates. American Journal of Physical Anthropology 1995; 97: 339-356.

**Leutenegger W, Kelly JT**: Relationship of sexual dimorphism in canine size and body size to social, behavioral, and ecological correlates in anthropoid primates. Primates 1977; 18: 117-136.

**Leutenegger W**: Scaling of sexual dimorphism in body weight and canine size in primates. Folia Primatologica 1982; 37: 163-176.

**Leutenegger W, Cheverud J**: Correlates of sexual dimorphism in primates. International Journal of Primatology 1982; 3: 387-402.

**Lovich JE, Gibbons JW**: A review of techniques for quantifying sexual size dimorphism. Growth, Development and Aging 1992; 56: 269-281.

**Ludwig W**: Das Rechts- Links- Problem im Tierreich und beim Menschen, In: Gildemeister, Goldschmidt, Neuberg, et al. (Hrsg.): Monographien aus dem Gesamtgebiet der Physiologie der Pflanzen und der Tiere. Band 27. Springer, Berlin 1932.

**Mafee, MF**: Preoperative imaging anatomy of nasal-ethmoid complex for functional endoscopic sinus surgery. Radiologic Clinics of North America 1993; 31: 1-20.

**Manning J, Chamberlain A**: Fluctuating asymmetry, sexual selection and canine teeth in primates. Proceedings of the Royal Society London, Series B: Biological Sciences, London 1993; 251: 83-87.

**Moormann T**: Funktionelle Morphologie der Nasennebenhöhlen des Brüllaffen *Alouatta caraya* (Primates, Platyrrhini). Inaug. Diss. Greifswald 2004.

**Mork AL, Wall CE, Williams SH, Garner BA, Johnson KR, Schmitt D, Hylander WL, Vinyard CJ**: The biomechanics of tree gouging in common marmosets (*Callithrix jacchus)*. American Journal of Physical Anthropology 2005; Suppl. 40: 153-154.

**Napier J, Napier J**: A Handbook of Living Primates. Academic Press, London 1967.

**Nishimura T, Takai M, Tsubamoto T, Egi N, Shigehara N**: Three-dimensional analysis on the variation in maxillary sinus anatomy among platyrrhine monkeys. American Journal of Physical Anthropology 2005; 40: 158. (abstract)

**Novacek J**: Patterns of diversity in the mammalian skull. In: Hanken J, Hall BK (Eds.): The Skull – Patterns of Structural and Systematic Diversity. Vol. 2. The University of Chicago Press, Chicago 1993, pp. 438-546.

**Paulli S**: Über die Pneumaticität des Schädels bei den Säugetieren. Eine morphologische Studie. III. Gegenbaurs Morpologisches Jahrbuch 1900; 28: 483-

564.

**Plavcan JM, Van Schaik CP**: Intrasexual competition and canine dimorphism in anthropoid primates. American Journal of Physical Anthropology 1992; 87: 461-477.

**Plavcan JM, Van Schaik CP**: Intrasexual competition and body weight dimorphism in anthropoid primates. American Journal of Physical Anthropology 1997; 103: 37-68.

**Plavcan JM**: Intrasexual selection and dimorphism in primates. 3. Göttinger Freilandtage 2001. (abstract)

**Plavcan JM**: Taxonomic variation in the patterns of craniofacial dimorphism in primates. Journal of Human Evolution 2002; 42: 579-608.

**Preuschoft H, Witte H, Witzel U**: Pneumatized spaces, sinuses and spongy bones in the skulls of primates. Anthropologischer Anzeiger 2002; 60: 67-79.

**Prossinger H, Bookstein FL**: Statistical estimators of frontal sinus cross section ontogeny from very noisy data. Journal of Morphology 2003; 257: 1-8.

**Rae TC, Koppe T**: Isometric scaling of maxillary sinus volume in hominoids. Journal of Human Evolution 2000; 38: 411-423.

**Rae TC, Koppe T, Spoor F, Benefit B, McCrossin M**: Ancestral loss of the maxillary sinus in Old World Monkeys and independent acquisition in *Macaca*. American Journal of Physical Anthropology 2002a; 117: 293-296.

**Rae T, Koppe T, Spoor F, Benefit B, McCrossin M**: Ancestral loss of the maxillary sinus in Old World monkeys and independent acquisition in *Macaca*. American Journal of Physical Anthropology 2002b; 117: 293-296.

**Rae TC, Koppe T**: Holes in the head: evolutionary interpretations of the paranasal sinuses in catarrhines. Evolutionary Anthropology 2004; 13: 211-223.

**Rae TC, Koppe T**: Independence of biomechanical forces and craniofacial pneumatization in *Cebus*. American Journal of Physical Anthropology 2005; Suppl. 40: 169-170. (abstract)

**Ravosa MJ, Ross CF**: Craniodental allometry and heterochrony in two Howler monkeys: *Alouatta seniculus* and *Alouatta palliata*. American Journal of Primatology 1994; 33: 277-299.

**Reike R**: Osteometrische Untersuchung zur postnatalen Entwicklung des Sinus maxillaris von *Pongo satyrus borneensis* von Wurmb, 1984 unter Berücksichtigung des Geschlechtsdimorphismus. Inaug. Diss. Rostock 1991.

**Rhys Evans PH**: The paranasal sinuses and other enigmas: An aquatic evolutionary theory. The Journal of Laryngology and Otology 1992; 106: 214-225.

**Romeis, Benno**: Mikroskopische Technik. In: Böck P: Mikroskopische Technik, 17. Auflage. Urban und Schwarzenberg, München 1989.

**Rossie JB**: Platyrrhine paranasal sinus patterns: A preliminary investigation. American Journal of Physical Anthropology 2000: 265. (abstract)

**Rossie JB, Simons EL, Gauld SC, Rasmussen DT**: Paranasal sinus anatomy of *Aegyptopithecus*. Implications for hominoid origins. Proceedings of the National Academy of Sciences 2002; 99: 8454-8456.

**Rossie JB**: Ontogeny, Homology, and Phylogenetic Significance of Anthropoid Paranasal Sinuses. PhD-thesis. Yale 2003.

**Rossie JB**: Ontogeny and homology of the paranasal sinuses in platyrrhini (Mammalia: Primates). Journal of Morphology (in press)

**Rossie JB**: Anatomy of the nasal cavity and paranasal sinuses in *Aegyptopithecus* and early miocene African catarrhines. American Journal of Physical Anthropology 2005; 126: 250-267.

**Rowe N**: The Pictorial Guide to the Living Primates. Pogonias Press, New York 1996.

**Röhrer-Ertl**: About the properties of cranial measures taken from primate species, especially concerning metrical age- and gender-diagnosis. II. Lorisidae Gregory, 1915, Cebidae Swainson, 1835 and Callitrichidae Gray, 1821.1. Durham Anthropological Journal 2005; 12: 2-3.

**Runge H**: Die Beziehungen der Zahnkeime und Zahnwurzeln zur Oberkieferhöhle während des Kindesalters. Zeitschrift für Anatomie und Entwicklungsgeschichte 1928; 85: 734-761.

**Rylands AB**: Marmosets and Tamarins. Oxford University Press, New York 1993.

**Sampson W, Townsend G, Goss A**: A cephalometric study of young marmosets (*Calllithrix jacchus*). Journal of Dental Research 1987; 66: 1684-1686.

**Schneider H, Rosenberger AL**: Molecules, morphology, and platyrrhine systematics. In: Norconk MA, Rosenberger AL, Graber PA (Eds.): Adaptive Radiations of Neotropical Primates. Plenum Press, New York 1996, pp. 3-19.

**Schumacher G-H**: Der maxillo-mandibuläre Apparat unter dem Einfluß formgestaltender Faktoren. In: Mothes K (Hrsg.): Nova Acta Leopoldina.

Abhandlungen der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina. Nummer 182, Band 33: Johann Ambrosius Barth, Leipzig 1968.

**Scott GR, Turner II CG**: The Anthropology of Modern Human Teeth. Cambridge University Press, Cambridge 1997.

**Shoshani J, Groves CP, Simons EL, Gunnell GF**: Primate phylogeny: Morphological vs. molecular results. Molecular Phylogenetics and Evolution 1996; 5: 102-154.

**Siebert JR, Swindler DR**: Evolutionary changes in the midface and mandible: Establishing the primate form. In: Mooney MP, Siegel MI (Eds.): Understanding Craniofacial Anomalies: The Etiopathogenesis of Craniosynostoses and Facial Clefting: Wiley-Liss, Inc., New York 2002, pp. 345-378.

**Simon K-H**: Beitrag zur Craniogenese von *Callithrix jacchus* L. (Platyrrhini, Primates). Inaug. Diss. Frankfurt 1981.

**Simons E, Plavcan J, Fleagle J**: Canine sexual dimorphism in Egyptian eocene anthropoid primates: *Catopithecus* and *Proteopithecus*. Proceedings of the National Academy of Science USA 1999; 96; 5: 2559-2562.

**Smith TD, Bhatnagar KP, Tuladhar P, Burrows AM**: Distribution of olfactory epithelium in the primate nasal cavity: Are microsmia and macrosmia valid morphological concepts? The Anatomical Record Part A 2004; 281A: 1173-1181.

**Sokal R, Rohlf J**: Biometry. The Principles and Practice of Statistics in Biological Research. Third Edition. W.H. Freeman and Company, New York 1995.

**Starck D**: Systematik, Phylogenese, Verbreitung, In: Kaestner A (Hrsg.): Lehrbuch der speziellen Zoologie. Band 2. Gustav Fischer Verlag, Jena 1995.

**Stevenson MF, Rylands AB**: The marmosets, genus *Callithrix*. In: Mittermeier RA, Rylands AB, Coimbra-Filho AF, da Fonseca GAB (Eds.): Ecology and Behavior of Neotropical Primates. Volume 2. World Wildlife Fund, Washington, D.C. 1988.

**Stierna P**: Physiology, mucociliary clearance, and neural control. In: Kennedy D, Bolger W, Zinnreich S (Eds.): Diseases of the Sinuses: Diagnosis and Management. Hamilton: B.C. Decker, pp. 35-45.

**Swindler DR**: Introduction to the Primates. University of Washington Press, Washington 1998.

**Swindler DR**: Primate Dentition. An Introduction to the Teeth of Nun-human Primates. Cambridge University Press, Cambridge 2002.

**Takai M, Setoguchi T**: Origin and evolution of platyrrhines. Primate Research 1996; 3: 270. (abstract)

**Thurnquist JE, Hong N**: Functional morphology. In: Bennett BT, Abee CR, Henrickson R (Eds.): Nonhuman Primates in Biomedical Research. Academic Press, London 1995, pp. 50-76.

**Van Valen L**: A study of fluctuating asymmetry. International Journal of Organic Evolution 1962; 16: 125-142.

**Vinyard CE, Wall CE, Williams SH, Schmitt D, Hylander WL**: A preliminary report on the jaw mechanics during tree gouging in common marmosets (*Callithrix jacchus*). In: Brook A (Ed.): Dental Morphology. Sheffield Academic Press Ltd, Sheffield 2001, pp. 283-297.

**Wako K, Hiratsuka H, Katsuta O, Tsuchitani M**: Anatomical structure and surface epithelial distribution in the nasal cavity of the common cotton-eared marmoset (*Callithrix jacchus*). Experimental Animal 1999; 48: 31-36.

**Weidenreich F**: Über die pneumatischen Nebenräume des Kopfes – Ein Beitrag zur Kenntnis des Bauprinzips der Knochen, des Schädels und des Körpers. Zeitschrift für Anatomie und Entwicklungsgeschichte 1924; 72: 55-93.

**Weiglein AH**: Development of the paranasal sinuses in humans. In: Koppe T, Nagai H, Alt KW (Eds.): The Paranasal Sinuses of Higher Primates. Development, Function and Evolution. Chapter 3. Quintessence, Chicago 1999, pp. 33-50.

**Weinert H**: Die Ausbildung der Stirnhöhlen als stammesgeschichtliches Merkmal. Zeitschrift für Morphologische Anthropologie 1927; 25: 243-357.

**Wettstein EB**: Variabilität, Geschlechtsunterschiede und Altersveränderungen bei *Callithrix jacchus* L. Gegenbaurs Morphologisches Jahrbuch 1963; 104: 185-271.

**Whitney RA**: Taxonomy. In: Bennett BT, Abee CR, Henrickson R (Eds.): Nonhuman Primates in Biomedical Research. Academic Press, London 1995, pp. 33-49.

**Witmer LM**: The evolution of the antorbital cavity of Archosaurs: a study in soft-tissue reconstruction in the fossil record with an analysis of the function of pneumaticy. Journal of Vertebrate Paleontology 1997; 17 Suppl. to number 1: 1-73.

**Witmer LM**: The phylogenetic history of paranasal air sinuses. In: Koppe T, Nagai H, Alt KW (Hrsg.): The Paranasal Sinuses of Higher Primates. Quintessence, Chicago 1999, pp. 21-32.

Eidesstattliche Erklärung

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

Olivia Schiwal

Lebenslauf

**Zur Person**

| | |
|---|---|
| Name und Anschrift | Olivia Sakura Schiwal<br>Immeuble Le Serpolet<br>Appartement 44<br>41, Av. Du Petit Barthélémy<br>F-13090 Aix-en-Provence |
| Geburtstag | 14. Juni 1978 |
| Geburtsort | Kassel |
| Staatsangehörigkeit | deutsch |
| Konfession | römisch-katholisch |
| Familienstand | ledig |
| Eltern | Takako Schiwal, geb. Kasaoka und Alfred Schiwal |

**Schulausbildung**

| | |
|---|---|
| 1984 – 1988 | Dorothea-Viehmann-Schule, Grundschule Kassel |
| 1988 – 1997 | Engelsburg-Gymnasium Kassel |
| 1997 | Abitur |

**Studium der Humanmedizin**

| | |
|---|---|
| 1997 – 1999 | Vorklinisches Studium / Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald |
| 1999 – 2004 | Klinisches Studium / Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald |

*Ärztliche Prüfungen*

| | |
|---|---|
| 22.09.1999 | Ärztliche Vorprüfung |
| 29.08.2000 | 1. Abschnitt der Ärztlichen Prüfung |

| | |
|---|---|
| 26.09.2002 | 2. Abschnitt der Ärztlichen Prüfung |
| 19.05.2004 | 3. Abschnitt der Ärztlichen Prüfung |

*Famulaturen*

| | |
|---|---|
| 02/2000 – 03/2000 | Anästhesiologie / Klinikum Kassel |
| 02/2001 – 03/2001 | Praxis für Innere Medizin / Nephrologie, Kassel |
| 07/2001 – 09/2001 | Pädiatrie I / Hôpital Arnaud de Villeneuve, Montpellier, Frankreich |

04/2003 – 03/2004 *Praktisches Jahr*

Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald

| | |
|---|---|
| 1. Tertial | Chirurgie / Hôpital cantonal, Fribourg, Schweiz |
| 2. Tertial | Innere Medizin / Uniklinikum Greifswald |
| 3. Tertial | Pädiatrie / Uniklinikum Dresden |

**Ärztliche Tätigkeit**

| | |
|---|---|
| 07/2004 – 10/2004 | Notaufnahme, Hôpital Nord, Marseille, France |
| seit 11/2004 | Psychiatrie, Hôpital Montperrin, Aix-en-Provence, France |

Aix-en-Provence,

Danksagung

Besonders herzlich danken möchte ich Herrn Dr. med. habil. Thomas Koppe, wissenschaftlicher Oberassistent am Institut für Anatomie der Ernst-Moritz-Arndt Universität Greifswald, für die Überlassung des Themas dieser Dissertation und für seine intensive und geduldige Betreuung bis zur Fertigstellung dieser Arbeit.

Ich danke Herrn Prof. Dr. med. Jochen Fanghänel, Direktor des Instituts für Anatomie der Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald, der mir freundlicherweise die Räumlichkeiten und technischen Hilfsmittel zur Verfügung stellte.

Ich bedanke mich bei Frau M.Bansemir für ihre kompetente wissenschaftliche Betreuung im Labor, die ich jederzeit in Anspruch nehmen konnte und ihr freundliches Wesen, das mir einige Stunden und Tage gerettet hat.

Ein weiterer Dank gilt Frau I.Dirks, Graphikerin am Institut für Anatomie der Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald für die Erstellung einiger Zeichnungen dieser Arbeit.

Ich danke meinem aktuellen Arbeitgeber, Docteur Rémy Defer, Psychiatre Chef de Service, Hôpital Montperrin, meinen Oberärztinnen Docteur Isabelle Boudier und Docteur Enrica Adamoli, sowie Herrn Dr. Philippe Fornari, Psychiatre Chef de Service, Hôpital Montperrin für Ermutigung und Ermöglichung von zeitlichen Freiräumen für die Fertigstellung dieser Arbeit.

Ich danke Ludwig Galle für so manchen diplomatischen Einsatz zwischen meinem Computer und mir, für sein immer offenes Ohr und für die Durchsicht dieser Arbeit.

Schließlich und vor allem gilt mein Dank meinen Eltern, die mir durch ihre ausdauernde Unterstützung, Geduld und Rückhalt das Studium und diese Arbeit überhaupt erst ermöglicht haben.