

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

**Zur Anatomie des Canalis infraorbitalis und seiner Beziehungen zu verschiedenen
Strukturen des Schädels von Strepsirrhini und Haplorrhini. Eine morphometrische
Studie auf Grundlage der Computertomografie (CT)**

Inaugural – Dissertation
zur
Erlangung des akademischen
Grades
Doktor der Zahnmedizin
(Dr. med. dent.)
der
Universitätsmedizin
der
Universität Greifswald
2021

vorgelegt von:
Andreas Pätzold
geb. am 02. Juni 1995
in Neuss

Dekan: Prof. Dr. med. Karlhans Endlich

1. Gutachter: Herr Prof. Dr. Thomas Koppe (Betreuer)

2. Gutachter: Herr PD Dr. Christian Kirschnek (Regensburg)

Ort, Raum: Greifswald, Online-Konferenz

Tag der Disputation: Dienstag, den 30.11.2021

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung und Fragestellung.....	1
2.	Literaturübersicht.....	3
2.1	Taxonomie der Primaten.....	3
2.1.1	Strepsirrhini (Feuchtnasenprimaten).....	4
2.1.2	Haplorrhini (Trockennasenprimaten).....	7
2.2	Anatomie und Funktion des Canalis infraorbitalis.....	10
2.3	Pränatale Morphogenese der Maxilla und des Canalis infraorbitalis.....	13
2.4	Faktoren des Schädelwachstums.....	14
2.5	Untersuchungstechniken des Canalis infraorbitalis und Foramen infraorbitale.....	20
3.	Material und Methoden.....	22
3.1	Material.....	22
3.2	Methoden.....	24
3.2.1	Anfertigung der CT-Aufnahmen.....	24
3.2.2	Vermessung des Canalis infraorbitalis.....	25
3.2.2.1	Bestimmung der Lage des Canalis infraorbitalis.....	25
3.2.2.2	Längenmaße des Canalis infraorbitalis	28
3.2.2.3	Winkelmaße am Canalis infraorbitalis	30
3.2.3	Lineare Schädelmaße	34
3.2.4	Bestimmung der Volumina von Orbita und Sinus maxillaris	35
3.3	Statistische Auswertung	37
4.	Ergebnisse.....	39
4.1	Lage des Canalis infraorbitalis.....	39
4.2	Projektivische Längenmaße des Canalis infraorbitalis.....	44
4.3	Projektivische Winkelmaße des Canalis infraorbitalis.....	48
4.4	Typisierung des Canalis infraorbitalis.....	53
4.5	Ergebnisse der Schädelmessungen.....	58
4.5.1	Lineare Schädelmaße.....	59
4.5.2	Volumina von Orbita, Sinus maxillaris und Gesichtsschädel	60
4.5.3	Schädelindizes.....	60

4.6	Einfluss von Orbita und Sinus maxillaris auf die Morphologie des Canalis infraorbitalis	62
4.7	Ergebnisse der Rangkorrelationsanalyse.....	67
4.8	Ergebnisse der Regressionsanalyse.....	71
5.	Diskussion	77
5.1	Ausrichtung des Canalis infraorbitalis	77
5.2	Länge des Canalis infraorbitalis	79
5.3	Zum Einfluss von Orbita und Sinus maxillaris auf die Morphologie des Canalis infraorbitalis.....	82
5.4	Zum Einfluss der Nahrung auf die Morphologie des Canalis infraorbitalis.....	85
6.	Schlussfolgerungen	88
7.	Zusammenfassung.....	91
8.	Literaturverzeichnis	94
9.	Anhang.....	

1. Einleitung und Fragestellung

Der Canalis infraorbitalis stellt einen bei allen Säugetieren nachweisbaren Knochenkanal innerhalb der Maxilla dar (Starck 1995). Dieser Knochenkanal verläuft von der Facies orbitalis des Corpus maxillae bis zu seiner Facies anterior (Schumacher 1997). Der Infraorbitalkanal beinhaltet A. et V. infraorbitalis sowie den N. infraorbitalis. Zusammen mit direkten Ästen aus dem N. maxillaris (Rami alveolares superiores posteriores) bildet der N. infraorbitalis den Plexus dentalis superior, welcher der Innervation von Zähnen und Gingiva im Oberkiefer dient. Weitere Äste des N. infraorbitalis innervieren Hautareale im Bereich der äußeren Nase, des unteren Augenlides sowie der Oberlippe und ziehen zur Innervation der Kieferhöhlenschleimhaut mitunter durch den Sinus maxillaris (Schumacher 1997).

Der Inhalt des Canalis infraorbitalis begründet das Interesse verschiedener Fachdisziplinen wie der Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie und weiterer Fachdisziplinen innerhalb der Zahnmedizin, der Hals-Nasen-Ohrenheilkunde und der Ophthalmologie (Lee et al. 2006; von Arx et al. 2013; Fontolliet et al. 2019). Das Verständnis dieser anatomischen Struktur ist insbesondere in der Traumatologie von großer Bedeutung, da Mittelgesichtsfrakturen häufig unter Beteiligung des Foramen infraorbitale auftreten (El-Anwar and Sweed 2018). Ein zeitnahe chirurgischer Eingriff bedarf genauer Kenntnisse in Hinblick auf die Kanalanatomie, um langfristige Sensibilitätsstörungen des N. infraorbitalis zu vermeiden (Kumar et al. 2012). In Bezug auf das Fachgebiet der zahnärztlichen Implantologie ist der N. infraorbitalis ebenfalls von maßgebender Bedeutung. So sind temporäre Sensibilitätsstörungen des N. infraorbitalis bei vorangehenden Kieferaugmentationen in 2,6% der Fälle zu diagnostizieren (Sakkas et al. 2017).

Für die Einordnung der strukturellen Besonderheiten des menschlichen Canalis infraorbitalis und seiner zahlreichen Variationen, können Untersuchungen des Kanals bei nichtmenschlichen Primaten von Bedeutung sein. Obgleich bereits zahlreiche morphologische Studien zum Canalis infraorbitalis am Menschen durchgeführt wurden, existieren bislang nur wenige Untersuchungen an nichtmenschlichen Primaten (Huanmanop et al. 2007; Przygocka et al. 2013; Fontolliet et al. 2019). Der Fokus solcher Studien an nichtmenschlichen Primaten lag dabei weniger auf der Morphologie des Canalis infraorbitalis selbst, als vielmehr auf dem Foramen infraorbitale (Muchlinski 2008, 2010).

Im Gegensatz zum Foramen infraorbitale beim Menschen, verfügen die meisten nichtmenschlichen Primaten über mehr als ein Foramen infraorbitale. So können beim Schimpansen durchschnittlich 2,5 und beim Orang-Utan 3,4 Foramina infraorbitalia beobachtet werden (Schaefer 1954). Mouri (1990) untersuchte verschiedene Makakenspezies und beobachtete bis zu 3,8 Foramina infraorbitalia. Solche multiplen Foramina infraorbitalia stellen meist die Öffnungen von Seitenkanälen des Canalis infraorbitalis dar. Die vorliegende Studie befasst sich daher mit der Morphologie des Canalis infraorbitalis am nichtmenschlichen Primaten und soll wesentliche strukturelle Besonderheiten herausarbeiten.

Um einen Überblick über die Morphologie des Canalis infraorbitalis innerhalb der nichtmenschlichen Primaten zu geben, werden in dieser Studie sowohl Spezies der Haplorrhini als auch der Strepsirrhini untersucht. Da sich Haplorrhini und Strepsirrhini durch unterschiedliche Merkmalskombinationen auszeichnen (Geissmann 2003), lassen sich so mögliche Einflussfaktoren auf die Kanalmorphologie näher beleuchten. So ist insbesondere der Einfluss von Orbita und Sinus maxillaris auf die Kanalmorphologie aufgrund der topographischen Nachbarschaftsbeziehung dieser Strukturen von besonderem Interesse.

Im Einzelnen verfolgt die vorliegende Dissertationsschrift folgende Zielstellungen:

1. Beschreibung der Lage des Canalis infraorbitalis von juvenilen und adulten Haplorrhini sowie von Strepsirrhini anhand computertomographischer Schichtaufnahmen
2. Untersuchung der Länge des Canalis infraorbitalis von juvenilen und adulten Haplorrhini sowie von Strepsirrhini
3. Untersuchung der Verlaufsrichtung des Canalis infraorbitalis von Haplorrhini und Strepsirrhini
4. Prüfung statistischer Beziehungen zwischen Maße und Verlaufsrichtung des Canalis infraorbitalis sowie Sinus maxillaris, Orbita und ausgewählten Schädelmaßen
5. Darstellung der Bedeutung der vorliegenden Studie

2. Literaturübersicht

2.1 Taxonomie der Primaten

Die Taxonomie der Primaten unterliegt fortlaufenden Veränderungen (Swindler 1998). Vor allem die Zuteilung der Tarsiiformes (Koboldmakis) nimmt eine maßgebliche Rolle in der Primatenklassifikation ein und wurde bereits häufig kontrovers in der Literatur diskutiert (Yoder 2003). So zählte Pocock (1918) die Tarsiiformes aufgrund des trockenen Rhinariums zu den Haplorrhini (Trockennasenprimaten) und stellte sie den Strepsirrhini (Feuchtnasenprimaten) gegenüber. Gregory (1915) jedoch fasste die Tarsiiformes mit den Lemuriformes (Lemuren) und Loriformes (Loriartige) zu den Lemuroidea zusammen. Die Infraordnung der Lemuroidea wurde später von Simpson (1945) in die Gruppe der Prosimii („Halbaffen“) umbenannt und den Anthropeidea („eigentliche Affen“) gegenübergestellt. Eine weitere, weniger verbreitete Primatenklassifikation wird von Gingerich (1975) beschrieben. Entsprechend der Einteilung nach Gingerich (1975) werden die Tarsiiformes mit den Plesiadapiformes als Gruppe der Plesitarsiiformes charakterisiert und allen restlichen Primaten, den sogenannten Simiolemuriformes, gegenübergestellt. Die drei aufgeführten Klassifikationen beruhen größtenteils auf Ähnlichkeitskriterien verschiedener Merkmalspaare. Für eine genauere Untersuchung der Verwandtschaftsbeziehungen gaben zahlreiche molekulare Untersuchungen unterschiedliche Ergebnisse, die sowohl die Zugehörigkeit der Tarsiiformes zu den Haplorrhini als auch zu den Prosimii erklären konnten (Yoder 2003). Ein Großteil der Untersuchungen basierte dabei jedoch auf der Analyse von mitochondrialer DNA und lieferte ungenaue Ergebnisse (Raum 2015). Neuere DNA-Analysen bestärken jedoch die Zuordnung der Tarsiiformes zu den Haplorrhini und unterstützen somit eine Differenzierung zwischen Haplorrhini und Strepsirrhini (Ziętkiewicz et al. 1999; Poux and Douzery 2004; Jameson et al. 2011; Hartig et al. 2013). Die Haplorrhini lassen sich somit weiter in die Tarsiiformes (Koboldmakis) und die Anthropeidea („eigentliche Affen“) einteilen. Die Infraordnung der Anthropeidea setzt sich aus den Platyrrhini (Neuweltaffen) und den Catarrhini (Altweltaffen) zusammen. Zur Unterordnung der Strepsirrhini gehören die Lemuriformes (Lemuren) und die Loriformes (Loriartigen) (Geissmann 2003). Die verwandtschaftlichen Beziehungen innerhalb der Primaten nach Geissmann (2003) sind in Abbildung 1 dargestellt.

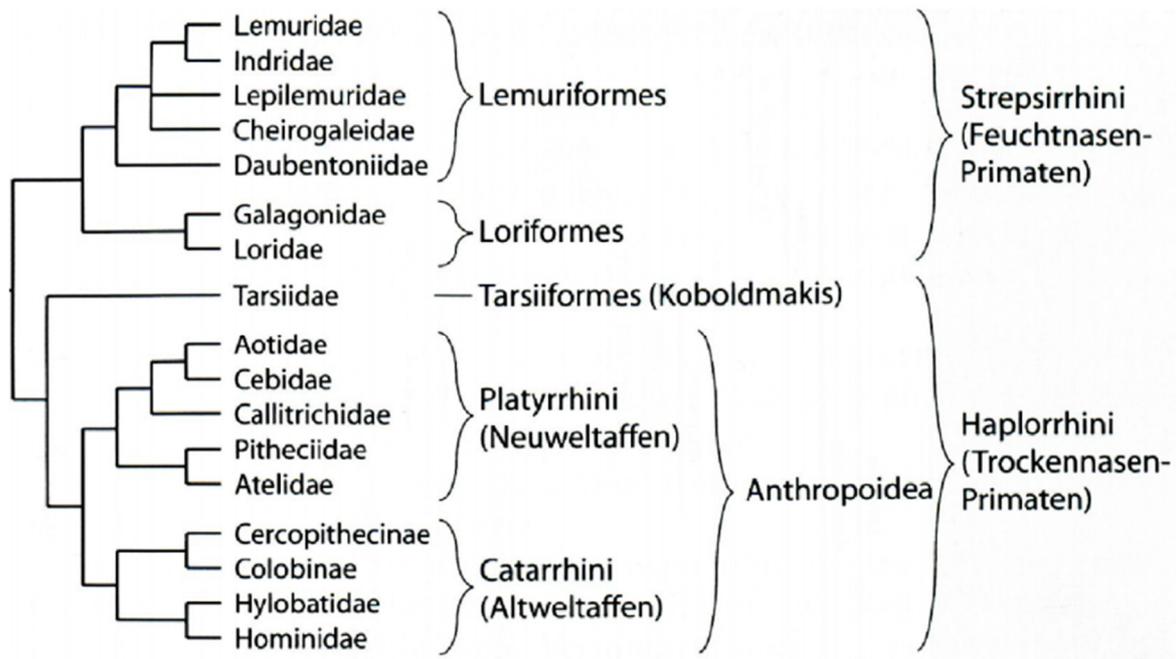


Abb. 1: Verwandtschaftliche Beziehung zwischen den wichtigsten systematischen Gruppierungen innerhalb der Primaten (aus Geissmann 2003; mit freundlicher Genehmigung des Verlages).

Die Strepsirrhini weisen zahlreiche ursprüngliche Primatenmerkmale auf und unterscheiden sich von den Haplorrhini mitunter durch ein überwiegend nachtaktives Verhalten, einem feuchten, drüsenreichen Rhinarium und einem Orbitaring ohne knöchernes Septum (Geissmann 2003; Schröpel 2012). Zusätzlich haben die nachtaktiven Strepsirrhini aufgrund des relativ großen Bulbus olfactorius einen stärker ausgeprägten Geruchssinn als die tagaktiven Haplorrhini (Geissmann 2003). Geissmann (2003) vermutet, dass die Reduktion des Geruchssinns durch das unterschiedliche Aktivitätsmuster bedingt sein kann.

2.1.1 Strepsirrhini (Feuchtnasenprimaten)

Lemuren (Lemuriformes)

Die Lemuren sind ausschließlich auf Madagascar zu finden und entwickelten sich unabhängig und isoliert vom afrikanischen Kontinent. Durch eine geringe Konkurrenz haben sich die Lemuren breit adaptiert und diversifiziert (adaptive Radiation) (Watts 1975). Sie zeichnen sich durch eine saisonale Fortpflanzung, Weibchendominanz und geringem Geschlechtsdimorphismus aus und lassen sich in fünf Familien einteilen: *Cheirogaleidae*

(Katzenmakis), *Daubentoniidae* (Fingertiere), *Indridae* (Indriartige), *Lemuridae* (Kleinlemuren), *Lepilemuridae* (Wieselmakis) (Geissmann 2003). Die Lemuren unterscheiden sich voneinander insbesondere durch das Gewicht und die jeweilige Ernährung. Das Körpergewicht der Lemuren geht vom circa 70 bis 80 Gramm leichten, allesfressenden *Microcebus* bis hin zum ungefähr 10,5 Kilogramm schweren *Indri indri* (Swindler 1998). Eine besonders starke Spezialisierung und für Primaten bemerkenswerte ökologische Nische hat das Fingertier (*Aye-aye*) als einzig noch lebende Spezies der Familie *Daubentoniidae*. Es ernährt sich hauptsächlich von Larven und Insekten aus verfaultem Holz und ist dafür mit nagetierartigen Frontzähnen und einem speziellen langen und schmalen Mittelfinger zum Aufspießen seiner potentiellen Nahrung angepasst (Watts 1975).

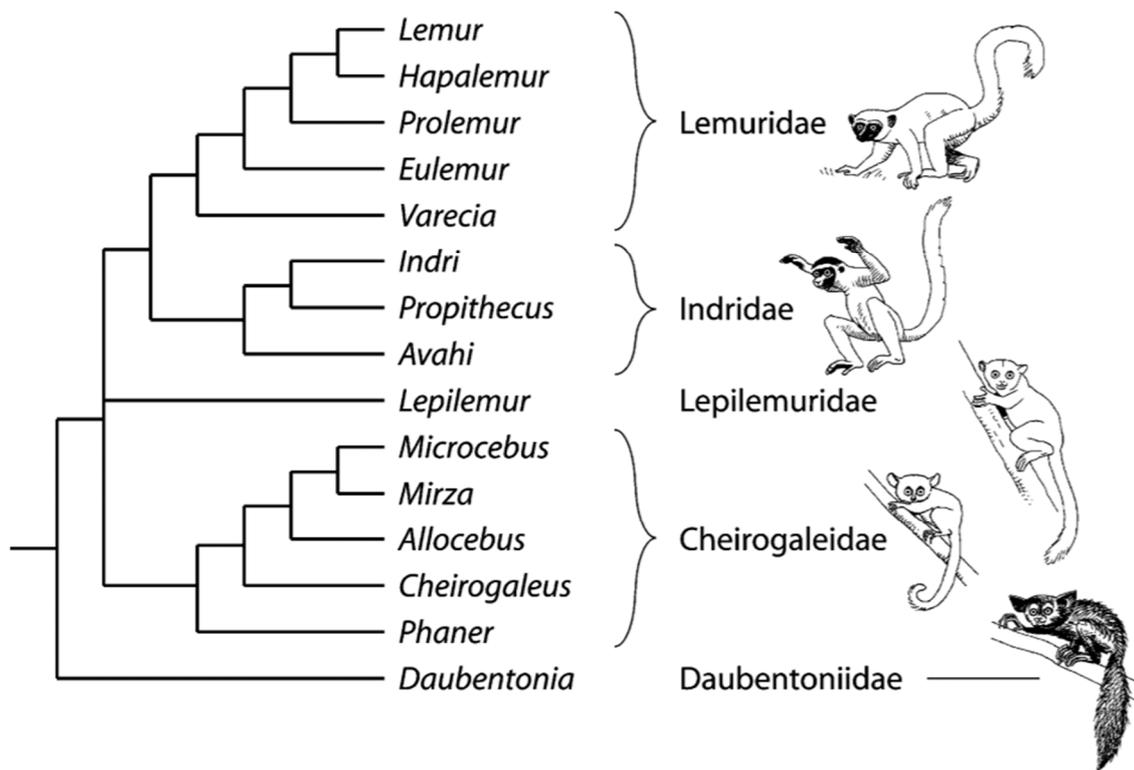


Abb. 2: Vermutete verwandtschaftliche Beziehungen innerhalb der Lemuriformes (aus Geissmann 2003; mit freundlicher Genehmigung des Verlages)

Loriartige (Loriformes)

Die Infraordnung der Loriformes ist in tropischen Waldgebieten Asiens und Afrikas zu finden und lässt sich in zwei Untergruppen einteilen: *Loridae* mit veränderten Merkmalen und *Galagonidae* mit hauptsächlich ursprünglichen Merkmalen (Swindler 1998; Geissmann 2003). Die Loriformes haben sich durch einen stärkeren Selektionsdruck weniger breit diversifiziert und adaptiert, als die auf Madagaskar isoliert lebenden Lemuren. Sie sind alle nachtaktiv, haben eine arboreale Lebensweise und ernähren sich hauptsächlich von Insekten (Watts 1975). Ein weiterer Unterschied ist die Tendenz zur Reduktion des zweiten Strahls an Händen und Füßen. Diese Reduktion wird als synapomorphes Merkmal der Loriformes gewertet und steht mit den unterschiedlichen Lokomotionen der beiden Infraordnungen in Zusammenhang (Geissmann 2003). Durch eine überwiegend langsam kletternde Fortbewegung, insbesondere die der *Loridae*, führt eine Reduktion des zweiten Strahls und Verstärkung des antagonistischen ersten Strahls zu einer erhöhten Griffkraft (Geissmann 2003).

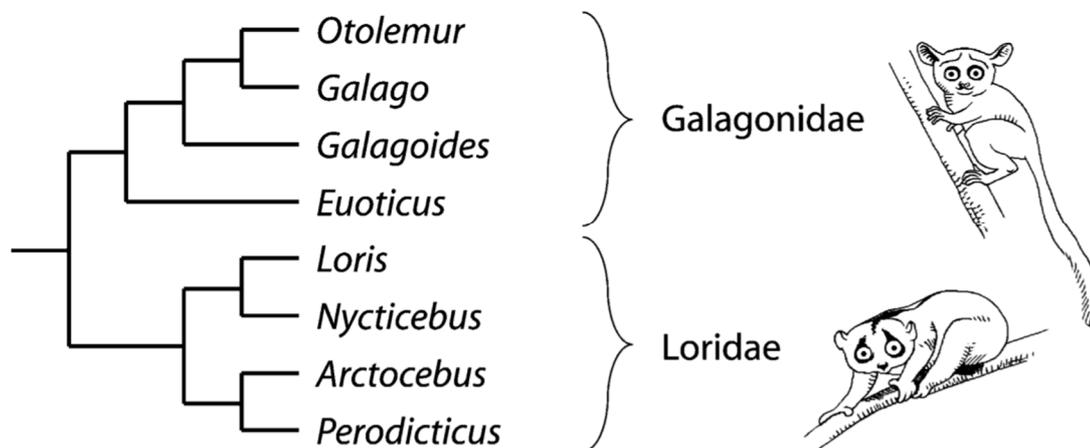


Abb. 3: Vermutete verwandtschaftliche Beziehungen innerhalb der Loriformes (aus Geissmann 2003; mit freundlicher Genehmigung des Verlages)

2.1.2 Haplorrhini (Trockennasenprimaten)

Koboldmakis (Tarsiiformes)

Die Tarsiiformes sind in Südostasien und den Philippinen angesiedelt, weisen für Haplorrhini selten, ein nachtaktives Verhalten auf und ernähren sich von kleinen Tieren wie Fröschen und Insekten (Swindler 1998). Die beiden Hälften des Unterkiefers sind bei den Koboldmakis nicht verwachsen. Die Mandibula weist einen V-förmigen Verlauf mit zwei Incisivi auf (Geissmann 2003).

Anthropoidea

Die Anthropoidea teilten sich vermutlich vor ungefähr 40 Millionen Jahren in die Catarrhini (Altweltaffen) und in die Platyrrhini (Neuweltaffen) auf (Goodman et al. 1998). Die Platyrrhini unterscheiden sich von den ökologisch diversifizierten Catarrhini unter anderem durch ein rein arboreale Lebensweise und einem nicht opponierbaren Daumen. Zudem besitzen die Catarrhini im Vergleich zu den Platyrrhini einen knöchernen, äußeren Gehörgang, eine schmale Nase und zwei anstatt drei Prämolaren (Geissmann 2003). Die Catarrhini teilten sich vor ungefähr 25 Millionen Jahren in die monophyletische Gruppen der Cercopithecoidea (geschwänzte Altweltaffen) und der Hominoidea (Menschenaffen) (Goodman et al. 1998). Die Hominoidea unterscheiden sich von den Cercopithecoidea ferner durch eine breitere Nase, ein breites Gaumendach und durch ein vergrößertes Gehirn. Letzteres ist ein synapomorphes Merkmal (Geissmann 2003).

Die in Asien und Afrika weit verbreiteten Cercopithecoidea lassen sich in die Cercopithecinae und Colobinae einteilen (Watts 1975). Fossilienfunde weisen auf einen gemeinsamen Vorfahren beider Subfamilien in dem Miozän hin (Davies and Oates 1994). Die Colobinae, zu denen unter anderem *Colobus guereza* gehört, sind Pflanzenfresser und haben Merkmale ausgebildet, um einen Großteil der Nährstoffe aus ihrer Nahrung effizient verwerten zu können. Dazu zählen größere Höcker der Molaren zur verbesserten Nahrungsverkleinerung und eine erhöhte Verdauungszeit im Magen (Swindler 1998). Die Cercopithecinae haben Backentaschen, in denen sie ihre Nahrung vor Feinden verstecken und zwischenlagern können. Dies verleiht ihnen den Namen Backentaschenaffen (Watts

1975; Geissmann 2003). Abgesehen von den Makaken, die sowohl in Afrika als auch in Asien vorkommen, leben die Cercopithecinae hauptsächlich in Afrika (Geissmann 2003).

Für die Einteilung der Hominoidea gibt es unterschiedliche Ansätze. Simpson (1945) unterteilt die Hominoidea anhand morphologischer Kriterien in die Menschenaffen (Pongidae), zu denen Gibbons, Gorilla, Schimpansen und Orang-Utan gehören und in die Menschen (Hominidae). Molekulare Untersuchungen haben gezeigt, dass eine höhere Verwandtschaftsbeziehung zwischen den afrikanischen Affen zum Menschen als zum Orang-Utan besteht (Andrews 1992). Die Hominoidea werden nach DNA Untersuchungen deshalb in die Homininae und Ponginae unterteilt (Andrews 1992). Die Gibbons werden von Andrews and Cronin (1982) als separate Gruppe innerhalb der Hominoidea angesehen. Die Gruppe der Ponginae beinhaltet ausschließlich den in Südostasien lebenden Orang-Utan. Zu den Homininae gehören die afrikanischen Menschenaffen *Pan*, *Gorilla* und die Gattung *Homo* (Kishino and Hasegawa 1989; Andrews 1992).

Über die Einteilung der Neuweltaffen (Platyrrhini) gibt es ebenfalls in der Literatur bis heute unterschiedliche Meinungen (Swindler 1998). In der Einteilung der Platyrrhini nach Hershkovitz (1977) wurde *Callimico* (Springtamarin), da dieses Merkmale der Callitrichidae und der restlichen Platyrrhini aufweist, als eigene Untergruppe (Callimiconidae) angesehen und den Callitrichidae gegenübergestellt (Hershkovitz 1977; Schneider 2000). Diese Einteilung legte den Grundstein der aktuellen Taxonomie für die Neuweltaffen (Rylands and Mittermeier 2009).

Nach Rosenberger (1981), Ford (1986) und Kay (1990) werden die Platyrrhini hauptsächlich nach ihren anatomisch-morphologischen Merkmalen eingeteilt. Ford (1986) unterteilte die Platyrrhini in drei Gruppen (Atelidae, Cebidae und Callitrichidae), Rosenberger et al. (1990) in zwei (Cebidae und Atelidae), indem Rosenberger et al. (1990) die Callitrichidae den Cebidae zuordnete. *Callimico* ordnen Rosenberger (1981), Ford (1986) und Kay (1990) im Gegensatz zu Hershkovitz (1977) den Callitrichidae zu. Die genannten Autoren nehmen hauptsächlich anhand des Verzeigungsmusters der verschiedenen Untergruppen und der Zuordnung von *Saimiri*, *Cebus*, *Aotus*, *Callicebus* und *Callimico* Unterscheidungen in der Einteilung vor (Schneider 2000).

Neuere molekulare Untersuchungen der DNA ermöglichen eine Einteilung der Platyrrhini in drei Unterfamilien (Atelidae, Cebidae, Pitheciidae) (Schneider et al. 1993; Goodman et al. 1998). Zur Familie der Cebidae gehören *Cebus*, *Saimiri* und *Aotus*, sowie die Callitrichinae bestehend aus *Saguinus*, *Leontopithecus*, *Callimico* und *Callithrix*. Den Pitheciidae werden die *Cacajao*, *Chiropotes*, *Pithecia* und *Callicebus* zugeordnet. Die Familie der Atelidae umfasst die *Lagothrix*, *Brachyteles*, *Ateles* und *Alouatta* (Schneider 2000). Trotz der aktuellen, molekularen Untersuchungsmethoden ist das Verzweigungsmuster der drei Familien und die phylogenetische Position von *Aotus* weiterhin umstritten (Opazo et al. 2006). In Abbildung 4 ist die Phylogenie der Platyrrhini nach Schneider (2000) dargestellt.

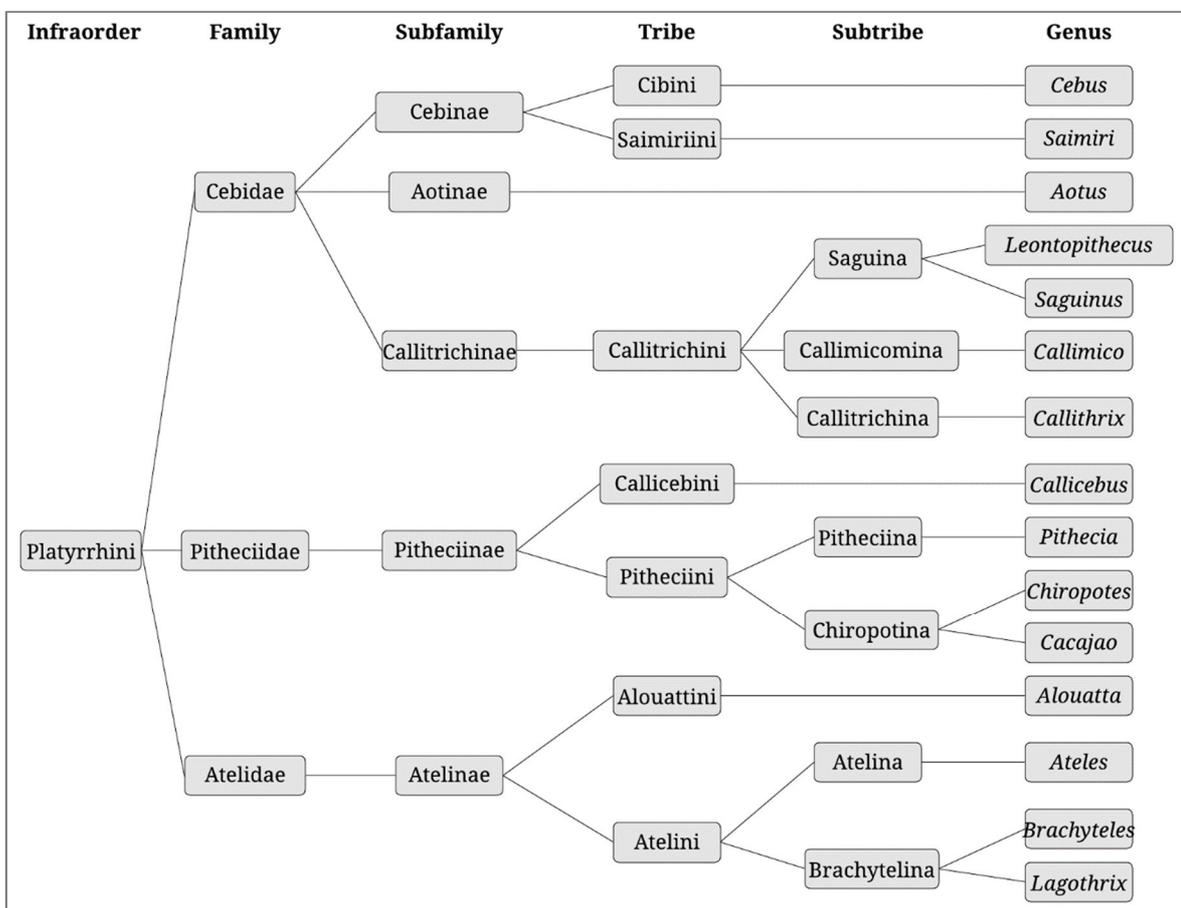


Abb. 4: Darstellung der Phylogenie der Neuweltaffen, basierend auf den Untersuchungen von Schneider (2000)

2.2 Anatomie und Funktion des Canalis infraorbitalis

Der Canalis infraorbitalis liegt in der Facies orbitalis, die eine von vier Flächen des Corpus maxillae darstellt und den Großteil des Orbitabodens (Pariet inferior) bildet (Schumacher 1997). Der Orbitaboden wird von der Fissura orbitalis inferior dorsolateral begrenzt; diese liegt zwischen der Ala major ossis sphenoidalis und der Maxilla. Die Fissura orbitalis inferior verbindet die Orbita mit der Fossa infratemporalis sowie mit der Fossa pterygopalatina. Sie ist durch eine Bindegewebsplatte ausgefüllt und durch den M. orbitalis bedeckt. Durch die Bindegewebsplatte tritt die Vena ophthalmica inferior von der Orbita in den Plexus pterygoideus. Die A. infraorbitalis, der N. infraorbitalis sowie der N. zygomaticus, verlaufen über die Fissura orbitalis inferior von der Fossa pterygopalatina in die Orbita (Schumacher 1997; Fanghänel et al. 2003). Im hinteren Drittel des Orbitabodens beginnt der Sulcus infraorbitalis, der in den Canalis infraorbitalis übergeht und am Foramen infraorbitale endet, welches sich in der Facies anterior des Corpus maxillae befindet (Schumacher 1997).

Form und Anzahl der Foramina infraorbitalia unterscheiden sich innerhalb der Primaten sehr stark. So wird beim Gibbon eine elliptische Form, beim Gorilla, Schimpansen sowie beim Orang-Utan hingegen eine runde Form beschrieben (Ashton and Zuckerman 1958). Schaefer (1954) beobachtete in seinen Untersuchungen über die Anzahl der Foramina infraorbitalia, dass innerhalb der Strepsirrhini die Familie der Lemuridae durchschnittlich 1,8 und die Familie der Indridae durchschnittlich 3 Foramina infraorbitalia haben. Die Cercopithecinae nahmen mit einer relativ großen Anzahl von bis zu 10 Foramina infraorbitalia beim *Papio* eine Sonderstellung unter den Catarrhini ein. Innerhalb der Hominoidea hat der Orang-Utan mit durchschnittlich 3,44 die meisten Foramina infraorbitalia, gefolgt vom Schimpansen mit durchschnittlich 2,5 Foramina und dem Gorilla mit durchschnittlich 1,54 Foramina. Der Mensch hat mit durchschnittlich 1,11 Foramina infraorbitalia die geringste Anzahl unter den Hominoidea (Schaefer 1954).

Treten mehrere Foramina auf, schlagen Ashton and Zuckerman (1958) vor, das deutlich vergrößerte Foramen als eigentliches Foramen zu bezeichnen und die übrigen als akzessorische Foramina. So liegt das erste akzessorische Foramen beim Gibbon, Orang-Utan und Gorilla meistens inferolateral, beim Schimpansen liegt es hingegen superolateral vom

eigentlichen Foramen. Tritt mehr als ein akzessorisches Foramen auf, befinden sich weitere Foramina beim Gorilla lateral, beim Schimpansen lateral oder medial und beim Orang-Utan lateral oder kaudal in Bezug auf das eigentliche Foramen (Ashton and Zuckerman 1958). Oppenheim (1911) vermutet, dass die hohe Anzahl an Foramina infraorbitalia mit einer frühen Auftrennung des N. infraorbitalis in die Rami nasales und Rami alveolares superiores anteriores und einer daraus resultierenden Bildung von eigenen, zusätzlichen Kanälen im Knochen zusammenhängt. Die Untersuchungen von Mouri (1990) an Makaken deuten darauf hin, dass die Anzahl der akzessorischen Foramina und Kanäle jedoch nicht von Alter und Geschlecht beeinflusst wird.

Der Abstand des Foramen infraorbitale zur Margo orbitalis inferior wurde ebenfalls von Ashton and Zuckerman (1958) untersucht und in Relation mit dem Abstand des Foramen infraorbitale zum Alveolarrand gesetzt. Dabei konnte für Gibbons ein Abstand zwischen Foramen infraorbitale und Orbitaunterrand ermittelt werden, der zu 20% dem Abstand des Foramens zum Alveolarrand entspricht. Für den Gorilla konnten in diesem Zusammenhang Werte von 45%, beim Schimpansen Werte von 40% und beim Orang-Utan Werte von 35% ermittelt werden. Zusätzlich konnten Variationen dieses relativen Abstandes durch das Alter der Primaten beobachtet werden. So lag das Foramen infraorbitale während des Milchzahndurchbruchs vergleichsweise nah am Orbitaunterrand. Die finale Position des Foramen infraorbitale zum Orbitaunterrand stellt sich bei den Schimpansen und Gorillas mit dem Durchbruch des ersten Molars und bei den Orang-Utans erst im ausgewachsenen Zustand ein (Ashton and Zuckerman 1958).

Der Canalis infraorbitalis kann trichterförmig, tunnelförmig oder tropfenförmig sein (Zaizen and Sato 2014). Innerhalb des Canalis infraorbitalis befindet sich der N. infraorbitalis und die A. infraorbitalis (Schumacher 1997). Der N. infraorbitalis verläuft als Endast des N. maxillaris innerhalb der Orbita über den Sulcus infraorbitalis in den Canalis infraorbitalis (Fanghänel et al. 2003). Im Sulcus infraorbitalis teilt sich der N. infraorbitalis bei einem Großteil der nichtmenschlichen Primaten in mehrere Äste auf und verläuft zusätzlich in akzessorischen Kanälen. Bei den Menschenaffen kommt es neben der Aufteilung im Sulcus infraorbitalis in meist zwei Äste zu einem gemeinsamen Verlauf in einen Kanal (Ashton and Oxnard 1958). Innerhalb des Canalis infraorbitalis gibt der gleichnamige Nerv den Ramus

alveolaris superior medius ab, welcher über den Plexus dentalis superior zu den Prämolaren und der zugehörigen Gingiva zieht und diese sensibel innerviert. Außerdem werden im weiteren Kanalverlauf die Rami alveolares superiores anteriores abgegeben, welche Inzisiven und die Gingiva in diesem Bereich innervieren. Nach Verlassen des Foramen infraorbitale gibt er seine Endäste ab, die zur Haut des unteren Augenlids (Rami palpebrales inferiores), zur äußeren Nase (Rami nasales externi), zur Schleimhaut der Nasenhöhle (Rami nasales interni) und zur Haut der Oberlippe bis hin zur angrenzenden Gingiva (Rami labialis superiores) verlaufen und diese sensibel innervieren (Fanghänel et al. 2003). Die genaue Organisation des N. infraorbitalis wird in der Literatur hauptsächlich anhand von Nicht-Primaten untersucht. So stellten Jacquin et al. (1984) fest, dass der N. infraorbitalis bei adulten Ratten aus 18-25 Faszikeln mit einer Querschnittsfläche von 575-87.923 μm^2 pro Faszikel besteht. Innerhalb des N. infraorbitalis befanden sich durchschnittlich 19.740 myelinisierte und 13.319 nicht myelinisierte Axone. Dabei betrug der Durchmesser der myelinisierten Axone durchschnittlich 4,42 μm und der nicht myelinisierten Axone durchschnittlich 0,60 μm (Jacquin et al. 1984).

Die A. infraorbitalis ist ein terminaler Ast der A. maxillaris. Die A. infraorbitalis verläuft wie der gleichnamige Nerv ebenfalls von der Orbita über den Sulcus infraorbitalis durch den Canalis infraorbitalis. Im Kanalverlauf gibt sie die Aa. alveolares superiores anteriores ab, welche die Frontzähne im Oberkiefer arteriell versorgen. Weitere kleine Äste versorgen die Haut der Wange, der seitlichen Nase, des Nasenrückens und des Augenlids sowie die Schleimhäute des Sinus maxillaris (Schumacher 1997; Fanghänel et al. 2003).

Weitere Untersuchungen beschäftigen sich intensiver mit den möglichen Ursachen für die unterschiedlichen Durchmesser des Foramen infraorbitale. In der Literatur gibt es dafür verschiedene Theorien. So vermuten einige Autoren Faktoren wie das Klima oder die Ernährungsform (Churcher 1959; Muchlinski 2010). Muchlinski (2008) vermutet, dass vor allem der N. infraorbitalis und nicht die A. infraorbitalis maßgeblich über den Durchmesser des Foramen infraorbitale bestimmt. Nach Ebara et al. (2002) verläuft ein Großteil der Nervenfasern zu den Mechanorezeptoren der Vibrissen, um ein genaueres taktiles Empfinden zu ermöglichen. Kay and Cartmill (1977) vermuten, dass der Durchmesser des Foramen infraorbitale von der Entwicklung der Vibrissen abhängig sein kann.

2.3 Pränatale Morphogenese der Maxilla und des Canalis infraorbitalis

Um die Anatomie und Funktion des Canalis infraorbitalis besser einordnen zu können, ist die Beschreibung der Entwicklung von Maxilla und Canalis infraorbitalis sinnvoll. Dabei ist die pränatale Morphogenese des Canalis infraorbitalis eng mit der Entwicklung der Maxilla verknüpft.

Die Maxilla entwickelt sich aus dem ersten Schlundbogen und wird desmal aus dem Bindegewebe ossifiziert (Schumacher 1997, 1997). Über den Beginn der Ossifikation und über die Anzahl der Ossifikationszentren der Maxilla gibt es in der Literatur unterschiedliche Meinungen. So beschreiben mehrere Untersuchungen beim Menschen ein erstes Ossifikationszentrum in der 6. Woche (Mall 1906; Moore and Lavelle 1974), während andere Autoren von einem Ossifikationszentrum in der 7. Woche berichten (Kjaer 1989; Lange 1999). O’Rahily and Gardner (1972) bestätigen diesen unterschiedlichen, individuellen Ossifikationsbeginn. So begann bei der Hälfte der untersuchten menschlichen Embryonen die Ossifikation in der 7. Woche (47,5. Tag), wohingegen die andere Hälfte bis zu Beginn der 8. Woche (50,5. Tag) noch keine klaren Anzeichen einer Ossifikation aufwies (O’Rahily and Gardner 1972).

Weitere Untersuchungen zur Anzahl der Ossifikationszentren zeigten, dass die Maxilla aus zwei Ossifikationszentren entsteht. Ausgehend vom ersten Ossifikationszentrum verknöchert die Prämaxilla, während die Verknöcherung der Maxilla vom zweiten Ossifikationszentrum ausgeht (Mall 1906). Weitere Untersuchungen gehen jedoch davon aus, dass es beim Menschen keine zwei getrennten Ossifikationszentren gibt. Wood et al. (1969) untersuchten vier Rhesusaffenembryonen (*Macaca mulatta*) und 128 menschliche Embryonen und beobachteten bei den Makaken zwei getrennte Ossifikationszentren. Bei den menschlichen Embryonen konnte hingegen nur ein Ossifikationszentrum beobachtet werden, welches die gesamte Maxilla bilateral ossifiziert. Eine Verbindung von Maxilla und Prämaxilla beginnt nach Starck und Kummer (1962) sowohl beim Menschen, als auch beim Schimpansen relativ früh. Dabei vereinigen sich zunächst beide Knochen im Bereich des Gaumens und setzen in der weiteren Entwicklung ihre Verbindung nach kranial fort. Im Vergleich zum Menschen persistiert die Verbindungsnaht zwischen den beiden Knochen

beim Schimpansen deutlich länger. Bei den Cercopitheciden stellen Starck und Kummer (1962) einen späteren Verbindungszeitpunkt von Maxilla und Prämaxilla fest.

Die Entwicklung des Canalis infraorbitalis wird von Benedikter (2005) anhand von menschlichen Embryonen nach begonnener Ossifikation detailliert beschrieben. In seinen Untersuchungen konnte innerhalb der 9. Woche eine Entwicklung der Maxilla entlang des N. infraorbitalis nach kaudoventral festgestellt werden. Zusätzlich bildete sich innerhalb der Maxilla ein erstes Anzeichen für ein Foramen infraorbitale an der Teilungsstelle des N. infraorbitalis in seine Endäste. Nach ungefähr 14 Wochen breitete sich das Ossifikationszentrum nach kraniodorsal aus, wodurch der Canalis infraorbitalis als U-förmige Rinne, die nach kranial offenbleibt, entsteht. Zu diesem Zeitpunkt hat das Foramen infraorbitale einen Durchmesser von 400-500 μm . Mit Schließung der Rinne in der 27. Woche durch eine kraniale Knochenlamelle entsteht der Canalis infraorbitalis und umgibt den N. infraorbitalis und die A. infraorbitalis nun vollständig. Das Foramen infraorbitale hat zu diesem Zeitpunkt einen Durchmesser von 750-800 μm (Benedikter 2005). Jedoch gibt es ebenfalls hinsichtlich des Entstehungszeitpunkts des Foramen infraorbitale Uneinigkeiten in der Literatur. Bollobas (1984) konnte in seinen Untersuchungen schon in der 7. Woche eine Entwicklung des Foramen infraorbitale beobachten. Kjaer (1990) stellte hingegen erst in der 10. Woche die Ausbildung des Foramen infraorbitale fest.

Im weiteren Entwicklungsverlauf konnten Radlanski et al. (2013) anhand menschlicher Embryonen Unterschiede in der Größenzunahme von Maxilla und Mandibula feststellen. Durch kephalometrische Vermessungen konnten im Zeitraum zwischen der 8. und 21. Entwicklungswoche sagittale Größenunterschiede für die Maxilla von bis zu 6,55 mm und für die Mandibula von bis zu 1,64 mm beobachtet werden. Zusätzlich nahm die Neigung der Maxilla zur Schädelbasis rechts im Vergleich zur Gegenseite stärker zu.

2.4 Faktoren des Schädelwachstums

Die Entwicklung von Größe und Form des knöchernen Schädels ist ein komplexer Prozess, der sowohl von genetischen als auch von epigenetischen Faktoren beeinflusst wird (Atchley and Hall 1991; Lieberman 1996; Hallgrímsson et al. 2007). Dabei haben pränatale und frühe

postnatale Faktoren die größte Auswirkung auf die unterschiedliche Schädelmorphologie zwischen den Spezies (Singleton 2012). Lieberman (2011) beschreibt, dass die Komplexität der Schädelentwicklung auf die vielen unterschiedlichen skelettalen Einheiten mit ihren spezifischen Funktionen beruht. Der Begriff der skelettalen Einheit geht auf Moss and Young (1960) zurück. Innerhalb der Maxilla haben Moss and Greenberg (1967) eine Vielzahl skelettaler Einheiten unterschieden. Dabei haben die einzelnen skelettalen Einheiten zwar ihr eigenes Wachstumsmuster, stehen jedoch alle in enger Beziehung zueinander (Lieberman 2011). Moss and Greenberg (1967) vermuten jedoch, dass sich die skelettalen Einheiten der Maxilla größtenteils unabhängig voneinander entwickeln und maßgeblich durch die sogenannte funktionelle Matrix beeinflusst werden. Als funktionelle Matrix beschreiben Moss und Greenberg (1967) die Gesamtheit der Weichgewebsanteile, die zusammen eine Funktion erfüllen.

Die verschiedenen skelettalen Einheiten des Schädels entwickeln sich aus dem Chondrocranium und Desmocranium (Schumacher 1997). Das Chondrocranium umfasst größtenteils die Knochen der Schädelbasis. Die Anteile des Chondrocraniums entwickeln sich zunächst aus Knorpelgewebe, das im weiteren Verlauf enchondral ossifiziert wird. Das Desmocranium hingegen wird direkt aus einer bindegewebigen Grundlage ohne Knorpelgewebe ossifiziert und umfasst Knochen des Schädeldaches, der Nasenhöhle und des Ober- sowie Unterkiefers (Schumacher 1997). Van Limborgh (1983) postuliert, dass das Wachstum des Chondrocraniums überwiegend von genetischen Faktoren bestimmt wird, während die Ausbildung des Desmocraniums, zu dem auch der Gesichtsschädel mit dem Canalis infraorbitalis gehört, hauptsächlich von epigenetischen Faktoren abhängt. Im Folgenden wird deshalb näher auf einige epigenetische Faktoren und deren Auswirkung auf die Entwicklung des Gesichtsschädels eingegangen.

Nutrition

Wie anfangs in Kapitel 2.1 angedeutet, gibt es innerhalb der Primaten unterschiedliche Ernährungsformen. Um zu zeigen, dass die Nutrition überhaupt einen Einfluss auf die Morphogenese des Schädels ausübt, haben Dressino and Pucciarelli (1997) fünf Totenkopffaffen (*Saimiri sciureus*) im Alter von sechs Monaten unterernährt und einer Kontrollgruppe mit normaler Ernährung gegenübergestellt. Bei Unterernährung war ein

verzögertes und verringertes Größenwachstum insbesondere des Kauorgans zu beobachten. Zudem wird in der Literatur von einem verspäteten Zahndurchbruch und einer verminderten Größe von Inzisivi und Molaren (Diorio et al. 1973) sowie einer daraus resultierenden Funktionsstörung des kranio-mandibulären Systems berichtet (Ferraz-Pereira et al. 2013).

Um eine mögliche Auswirkung der Nahrungskonsistenz auf die Entwicklung des stomatognathen Systems zu beschreiben, untersuchten Corruccini and Beecher (1982) 43 Totenkopffaffen (*Saimiri sciureus*) und teilten diese in zwei Gruppen ein. Die erste Gruppe wurde ihrer typischen Ernährungsweise folgend mit natürlicher Hartkost ernährt. Die zweite Gruppe hingegen wurde mit weicher Kost gefüttert. Bei den Totenkopffaffen, die sich ausschließlich von weichem Futter ernährt haben, konnte eine Verminderung der Breite von Maxilla und Mandibula sowie eine Abnahme der Gaumenhöhe beobachtet werden. Zusätzlich traten vermehrt dentale Fehlstellungen, wie Rotationen und Verlagerungen der Zähne auf. Gleiche Ergebnisse lieferte eine weitere Studie von Corruccini and Beecher (1984), in der nach derselben Methodik der Einfluss von weicher und harter Nahrung auf Paviane (*Papio cynocephalus*) untersucht wurde. Eine ähnliche Studie an Makaken zeigte zusätzlich, dass bei einer Ernährung mit hartem Futter eine höhere Knochenumbaurate im Unterkiefer als bei einer Ernährung mit weichem Futter vorkam (Bouvier and Hylander 1981).

Ein Zusammenhang zwischen der Ernährungsform und dem Durchmesser des Foramen infraorbitale wurde von Muchlinski (2010) beobachtet. Bei einer frugivoren Ernährungsweise konnten größere Durchmesser als bei einer folivoren und insektivoren Ernährungsform festgestellt werden. Muchlinski (2010) vermutet, dass ein vergrößertes Foramen infraorbitale zu einer besseren Innervation der Mechanorezeptoren der Maxilla führt und somit als sensorisches Merkmal bei der Interpretation der Nahrung hilft.

Ein Großteil der Primaten bezieht jedoch nicht nur eine Nahrungsquelle, vielmehr sind Primaten Nahrungsgeneralisten, die mehrere unterschiedliche Nahrungsquellen nutzen (Burda et al. 2014). Trotzdem gibt es einige Primatenarten, die sich größtenteils von einer Nahrungsquelle ernähren (Pirie 1978). So hat Pirie (1978) den Einfluss von unterschiedlichen, spezifischen Ernährungsformen der Primaten untersucht. Primaten die sich hauptsächlich durch nährstoffreiche, kleine Insekten ernähren (*Cebuella*, *Callithrix*,

Saguinus, Saimiri) oder einen Großteil ihres Energiebedarfs über nährstoffreiche, weiche Früchte decken (*Ateles*), haben relativ kleine Molaren bezogen auf ihre Schädelgröße. Relativ große Molaren haben hingegen blätterfressende (*Alouatta, Presbytis, Colobus*) und samenfressende (*Theropithecus*) Primaten, die große Mengen benötigen, um ihren Energiebedarf zu decken. Pirie (1978) vermutet, dass die unterschiedliche Größe der Molaren weniger von der spezifischen Nahrung abhängt, sondern vielmehr durch die Quantität der Nahrung und damit von der Kauzeit bestimmt wird.

Muskulatur

Um den Einfluss der Kaumuskulatur auf die Schädelmorphologie zu beschreiben, untersuchten Fabre et al. (2018) anhand von 59 Strepsirrhini Unterschiede an den Ansatz- und Ursprungsgebieten der Kaumuskeln und stellten diese mit der Muskelmasse in Zusammenhang. Dabei haben der M. masseter (Pars profunda), M. zygomatico-
mandibularis und M. temporalis (Pars suprazygomatica) den größten Einfluss auf die Entwicklung des Schädels. Starke Variationen der Schädelmorphologie in Abhängigkeit von der Muskelmasse traten unter anderem im Bereich des Arcus zygomaticus, der Fossa temporalis und der Linea temporalis auf. Zusätzlich analysierten Fabre et al. (2018) die Korrelation zwischen Schädelmorphologie und Kaumuskulatur mit der Nahrungsbeschaffenheit. So haben Arten, die sich größtenteils von Blättern ernähren (*Otolemur*), eine ausgeprägtere Pars profunda des M. masseter, mit dem sie Blätter durch Transversalbewegungen des Unterkiefers besser verarbeiten können. Da der M. masseter seinen Ursprung am Jochbogen hat, konnte bei erhöhter Muskelmasse ein verbreiteter Jochbogen festgestellt werden (Fabre et al. 2018).

In Untersuchungen an verschiedenen Arten von *Colobus* konnte bei stark ausgeprägten Kaumuskeln ein Trend zu anteroposterior verkürzten Gesichtsschädeln, postcanin verkürzten Zahnreihen, vergrößerten Jochbogenbreiten und einer anteroposterioren Verlängerung der Jochbogens festgestellt werden (Koyabu and Endo 2009). Weitere Autoren berichten beim Menschen über eine verbreiterte Maxilla bei ausgeprägter Kaumuskulatur (Ingervall and Helkimo 1978).

Das Unterkieferwachstum wird ebenfalls durch die Kaumuskulatur beeinflusst (Yonemitsu et al. 2007). So konnte beim Menschen eine positive Korrelation zwischen dem Volumen von Mm. masseter und pterygoideus medialis und der Ramuslänge des Unterkiefers

festgestellt werden. Zudem war bei einem höheren Volumen beider Muskeln ein kleinerer Gonialwinkel (Winkel zwischen Ramus und Corpus des Unterkiefers) mit abgeflachter Okklusionsebene zu beobachten (Gionhaku and Lowe 1989). Weitere Studien beschreiben die Mastikation als maßgeblichen Faktor für die Unterkiefermorphologie (Daegling and Hylander 2000). Aufgrund zunehmender Kaukräfte wird die Unterkiefersymphyse mit dorsoventralen Scherkräften belastet. Um diesen Scherkräften entgegenzuwirken, kommt es im Unterkiefer zu einer Verschmelzung der Symphyse. Zusätzlich führt eine unilaterale Mastikation auf der Balanceseite zu einer erhöhten Biegebelastung und auf der Arbeitsseite zu erhöhten Torsionskräften im Unterkiefer. Der Biegebelastung wird durch vertikale Knochenausdehnung im Molarenbereich entgegengewirkt, die Torsionskräfte bewirken eine transversale Knochenausdehnung im Molarenbereich zur Stabilisation (Hylander 1979).

Zudem stellt auch der Winkel und die Länge der Muskelfasern einen maßgeblichen Faktor für die Schädelentwicklung dar. Durch eine bilaterale chirurgische Transposition des Ansatzes der Mm. masseter und temporalis nach posterosuperior verkürzte Hohl (1983) die Länge des M. masseter und verlängerte den M. temporalis bei ein- bis zweijährigen Makaken. Die Zugrichtung beider Muskeln wurde damit stärker nach anterosuperior verlagert. Es konnten Veränderungen des Wachstumsmusters im Mittelgesicht und im Unterkiefer mit Verlagerung der Maxilla und Mandibula nach anterosuperior beobachtet werden. Zusätzlich ließen sich kompensatorische Veränderungen der Oberkieferinzisiven nach labial und eine aufrechtere Stellung der Unterkieferinzisiven feststellen (Hohl 1983).

Weitere Untersuchungen stellten neben der Bedeutung der Kaumuskulatur den Einfluss der mimischen Muskulatur auf das Schädelwachstum fest. In einer Studie von Sinsel et al. (1998) wurde Hasen im Alter von 12 Tagen je nach Gruppe entweder der N. facialis oder die mimische Muskulatur einseitig chirurgisch entfernt. In beiden Gruppen ließ sich gegenüber der Kontrollgruppe eine Wachstumsveränderungen am Mittelgesicht insbesondere der Nase und der Maxilla mit Entwicklung der Schnauze zur operierten Seite hin beobachten (Sinsel et al. 1998).

Die aufgeführten Abweichungen der Gesichtsschädelmorphologie basieren auf die Reaktion des Knochens auf die mechanischen Kräfte der Muskeln (Scott 1957). Diese Beziehung wird in der Literatur häufig als Wolffsches Gesetz bezeichnet (Enlow 1968; Cowin 1986; Frost 1994). Mullender and Huijkes (1995) vermuten, dass es durch den Knochenzug zu einer

Stimulation der Osteozyten kommt, die wiederum die Osteoblasten- und Osteoklastenaktivität reguliert und somit ein Knochenwachstum induziert. Enlow (1968), sowie Ruff et al. (2006) postulieren, dass neben der muskulären Zugbelastung weitere Faktoren für die Interpretation der Knochenmorphologie einbezogen werden müssen.

Klima

Dass sich klimatische und geografische Faktoren auf die Morphologie verschiedener Spezies auswirken, wurde bereits in mehreren Studien festgestellt (z.B. Millien et al. 2006; Lomolino et al. 2006; Weinstein 2011). Viele Untersuchungen an Primaten zeigen den Einfluss des Klimas auf die Körpergröße. Dabei wurde anhand von Makaken die Temperatur, gemäß der Bergmannschen Regel, als maßgeblicher Faktor für die unterschiedlichen Größen beschrieben (Paterson 1996; Clarke and O'Neil 1999). Nach der Bergmannschen Regel (Bergmann 1847) sind gleichwarme Lebewesen in kälteren Gebieten größer und haben damit eine kleinere Oberfläche bezogen auf ihr Volumen. Dies führt zu einem niedrigeren Wärmeverlust in kalten Gebieten (Hesse 1925). Yom-Tov and Nix (1986) stellten jedoch eine stärkere Korrelation zwischen der Körpergröße und dem Niederschlag, als zwischen der Körpergröße und der Temperatur fest. Rosenzweig (1968) vermutet hingegen die Nahrungsverfügbarkeit als limitierenden Wachstumsfaktor. Yom-Tov and Geffen (2006) schließen auf eine maßgebliche Beeinflussung der Nahrungszugänglichkeit von Lebewesen durch den Niederschlag sowie durch multifaktorielle Beziehungen von Temperatur, Sonneneinstrahlung und Wind, die sich auf das Größenwachstum auswirken.

Weit weniger Literatur beschäftigt sich speziell mit der Morphologie des Schädels in Abhängigkeit vom Klima. Um den Einfluss der Temperatur zu untersuchen, eignen sich besonders gut Untersuchungen an Makaken, da sie geografisch am weitesten unter den nichtmenschlichen Primaten verbreitet sind (Fleagle 2013). Ito et al. (2014) stellten fest, dass die Makaken in wärmeren Lebensräumen vergleichsweise längere Schnauzen und einen größeren Gesichtsschädel haben. Ito et al. (2014) vermuten hier einen Zusammenhang mit der Allenschen Regel (Allen 1877), wonach Lebewesen in warmen Gebieten längere Körperanhänge zur Wärmeabgabe haben. Wird der Gesichtsschädel ebenfalls als Körperanhang betrachtet, vermuten Ito et al. (2014), dass die aufgeführten Merkmalsunterschiede teilweise auf klimatische Unterschiede beruhen.

In weiteren Studien wurden die Größen- und Formveränderungen des knöchernen Schädels an Primaten anhand anderer geografischer Faktoren untersucht. Cardini et al. (2007) setzten ihren Fokus auf die Längengrade und konnten bei Äthiopischen Grünmeerkatzen (*Cercopithecus aethiops*) eine Abnahme der Schädelgröße von Westafrika über Zentralafrika nach Ostafrika beobachten. Der Anteil des Gesichtsschädels am gesamten Schädelvolumen ist in Ostafrika dementsprechend kleiner als in Westafrika (Cardini et al. 2007). Meloro et al. (2014) stellten bei Brüllaffen (*Alouatta*) aus Gebieten mit einer hohen Saisonalität ein kleineres Neurocranium, größere Molaren und schmalere Inzisivi fest als bei Brüllaffen aus dem Amazonas. Cáceres et al. (2014) ermittelten ähnliche Ergebnisse für Kapuzinerartige (*Cebidae*) aus saisonalen Gebieten. Diese haben im Vergleich zu *Cebidae* aus den Subtropen kleinere Schädel und längere Schnauzen. MacKinnon (2006) stellte fest, dass Kapuzineraffen (*Cebus capucinus*) aus saisonalen Lebensräumen während der Trockenzeit vermehrt harte Samen aufnehmen. Cardini et al. (2007) nehmen an, dass Unterschiede in der Schädelmorphologie durch die Saisonalität indirekt von der Nahrung abhängig sind.

Churcher (1959) untersuchte am Rotfuchs (*Vulpes vulpes*) die Auswirkung des Klimas auf den Durchmesser des Foramen infraorbitale. In kälteren Gebieten konnte ein größerer Durchmesser des Foramen infraorbitale ermittelt werden, als in äquatorial gelegenen Gebieten. Churcher (1959) vermutet in kälteren Gebieten eine vergrößerte A. infraorbitalis, die aufgrund einer verstärkten Durchblutung und Wärmezufuhr im Gesicht Ursache für den erhöhten Durchmesser des Foramen infraorbitale ist.

2.5 Untersuchungstechniken des Canalis infraorbitalis und Foramen infraorbitale

Für die Untersuchung des Canalis infraorbitalis und Foramen infraorbitale werden in der Literatur verschiedene Methoden beschrieben. Grundsätzlich kann zwischen direkten Untersuchungen am knöchernen Schädel und Untersuchungen mithilfe von bildgebenden Verfahren unterschieden werden. So bestimmten Schaefer (1954) und Mouri (1990) die Anzahl der Foramina infraorbitalia direkt am knöchernen Schädel durch einfache Inspektion. Die Längenbestimmung des Canalis infraorbitalis wurde von Przygocka et al. (2013), Nguyen et al. (2016) sowie Nam et al. (2017) mittels Schieblehre und Draht direkt am Schädel durchgeführt.

Für die Untersuchung des Canalis infraorbitalis anhand bildgebender Verfahren werden sowohl zweidimensionale als auch dreidimensionale Bildgebung genutzt. Die zweidimensionale Bildgebung umfasst konventionelle Röntgenaufnahmen und Panoramaschichtaufnahmen. Kazkayasi et al. (2001) untersuchten die Länge des Canalis infraorbitalis am knöchernen Schädel durch Fernröntgenseitenaufnahmen. Die Panoramaschichtaufnahmen werden von Scarfe et al. (1998) und Yesilova and Bayrakdar (2018) ausschließlich für eine Typisierung des Canalis infraorbitalis verwendet. Die dreidimensionale Bildgebung zur Untersuchung des Canalis infraorbitalis umfasst CT- und DVT-Aufnahmen. Hwang et al. (2013) und Fontolliet et al. (2019) nutzten die dreidimensionale Bildgebung an menschlichen Probanden sowohl zur Längenmessung des Canalis infraorbitalis als auch zur Abstandsmessung des Foramen infraorbitale zu definierten Messpunkten.

Die aufgeführten Messmethoden unterscheiden sich untereinander hinsichtlich ihrer Präzision. Küker (2010) verglich die Genauigkeit von CT- und DVT-Aufnahmen mit der Panoramaschichtaufnahme in Bezug auf die Streckenmessung und konnte für die dreidimensionalen Röntgenverfahren eine höhere Präzision feststellen. An knöchernen Schädeln ermittelten Berlis et al. (1992) und Kamburoğlu et al. (2011) eine ähnliche Genauigkeit bei der Vermessung dreidimensionaler Aufnahmen wie bei der direkten Vermessung. Für präzise Messungen in der Mund-Kiefer-Gesichtsregion am Patienten empfehlen Kamburoğlu et al. (2011) daher DVT-Aufnahmen. Für die Streckenmessung am knöchernen Schädel beschreiben Adams et al. (2004) und Kamburoğlu et al. (2009) die direkte Vermessung mittels Schieblehre weiterhin als Goldstandard.

3. Material und Methoden

3.1 Material

Für die Untersuchung standen 65 computertomographische Datensätze von Primatenschädeln unterschiedlicher Spezies zur Verfügung. Die Schädel wurden entsprechend ihrer Spezies in Strepsirrhini (Feuchtnasenprimaten) und Haplorrhini (Trockennasenprimaten) eingeteilt, wobei letztere sowohl Platyrrhini (Neuweltaffen) als auch Catarrhini (Altweltaffen) beinhalten. Bei den vorliegenden Präparaten handelt es sich um 38 adulte Schädel und 27 nicht adulte Schädel. Insgesamt wurden 19 männliche und 16 weibliche Schädel vermessen. Bei 30 Präparaten war das Geschlecht unbekannt und konnte nicht zugeordnet werden.

Tab. 1: Einteilung der verwendeten Schädel der Strepsirrhini

Rang/Infraordnung	Gattung/Spezies	Geschlecht		
		M	W	O
Lemuriformes				
	<i>Aye aye</i>			1
	<i>Cheirogaleus major</i>			1
	<i>Cheirogaleus medius</i>			1
	<i>Eulemur macaco</i>			1
	<i>Eulemur mongoz</i>			1
	<i>Hapalemur griseus olivaceus</i>			1
	<i>Indri indri</i>			1
	<i>Lemur catta</i>			1
	<i>Lepilemur microdon</i>			1
	<i>Lepilemur mustelinus leucopus</i>			1
	<i>Microcebus murinus</i>			1
	<i>Phaner furcifer</i>			1
	<i>Varecia varigata</i>			1
Loriformes				
	<i>Loris tardigradus</i>			1
	<i>Nycticebus coucang</i>			1
	<i>Otolemur crassicaudatus</i>			1
	<i>Perodicticus potto</i>			1
Gesamt				17

M=männlich, W=weiblich, O= Geschlecht unbekannt

Tab. 2: Einteilung der verwendeten Schädel der Haplorrhini

Rang/Infraordnung	Gattung/Spezies	Geschlecht			Anzahl
		M	W	O	
Catarrhini					
	<i>Pan troglodytes</i>	11	3	2	16
	<i>Pongo pygmaeus</i>			9	9
	<i>Colobus guereza</i>	6	11	1	18
Platyrrhini					
	<i>Alouatta caraya</i>	1		1	2
	<i>Alouatta seniculus</i>		3		3
Gesamt		19	16	13	48

M=männlich, W=weiblich, O= Geschlecht unbekannt

Die Schädel der Strepsirrhini stammen vom Grant Museum of Zoology, University College, London, dem Hunterian Museum of Zoology, Royal College of Surgeons, London und dem Natural History Museum, London. Die Schädel von *Pan troglodytes* stammen aus der Zoologischen Staatssammlung München, dem Institut für Anatomie und Zellbiologie der Universitätsmedizin Greifswald und dem Museum für Naturkunde der Humboldt-Universität zu Berlin. Die Schädel von *Colobus guereza* sind Teil der Sammlung der Universität Hildesheim. Die Schädel von *Pongo pygmaeus* und der *Alouatta* stammen aus dem Institut für Anatomie und Zellbiologie, Universitätsmedizin Greifswald.

3.2 Methoden

3.2.1 Anfertigung der CT-Aufnahmen

Die CT-Datensätze der Feuchtnasenprimaten (*Strepsirrhini*) wurden mit dem Computertomografen Stratec XCT Research SA+ (Stratec Medizintechnik, Pforzheim, Deutschland) bei einer Spannung von 50,6 kV und einer Stromstärke von 0,284 mA erstellt. Die Schichtdicke betrug 0,5 mm. Die Aufnahmen entstanden am Department of Life Science der University of Roehampton, London.

Die CT-Datensätze der Mantelaffen (*Colobus guereza*) wurden mithilfe des 3D Accuitomo F17 CT Morita (J Morita Corp. Kyoto, Japan) bei einer Spannung von 80 kV und einer Stromstärke von 3 mA erstellt. Die Schichtdicke betrug für jedes Präparat 0,16 mm und 0,48 mm. Verwendet wurden aufgrund der höheren Genauigkeit jedoch nur die Datensätze mit 0,16 mm Schichtdicke. Die Aufnahmen entstanden in der Poliklinik für MKG Chirurgie/Zahnärztliche Chirurgie des Zentrums für Zahn- Mund- und Kieferheilkunde der Universitätsmedizin Greifswald.

Die CT-Datensätze der Orang-Utans (*Pongo pygmaeus*) wurden mit dem Siemens Sensation 16 CT (Siemens Helthineers Erlangen, Deutschland) bei einer Spannung von 120 kV und einer Stromstärke von 74 mA erstellt. Die Schichtdicke betrug 0,7 mm. Die Aufnahmen entstanden am Institut für Diagnostische Radiologie der Universitätsmedizin Greifswald. Die CT-Datensätze der Schimpansen (*Pan troglodytes*) wurden ebenfalls mit dem Siemens Sensation 16 CT (Siemens Helthineers Erlangen, Deutschland) bei einer Spannung von 120 kV und einer Stromstärke von 75 mA am Institut für diagnostische Radiologie der Universitätsmedizin Greifswald erstellt. Die Schichtdicke betrug 0,7 mm bzw. 1,0 mm.

Die CT-Datensätze der Brüllaffen (*Alouatta*) wurden in der Poliklinik für MKG Chirurgie/Zahnärztliche Chirurgie des Zentrums für Zahn- Mund- und Kieferheilkunde Greifswald mithilfe des 3D Accuitomo F17 CT Morita (J Morita Corp. Kyoto, Japan) bei 3 mA und 80 kV erstellt. Die Schichtdicke betrug 0,25 mm.

Alle aufgenommenen CT-Datensätze lagen uns im DICOM-Format vor.

3.2.2 Vermessung des Canalis infraorbitalis

3.2.2.1 Bestimmung der Lage des Canalis infraorbitalis

Die DICOM Datensätze der CT-Aufnahmen wurden mittels des Programms RadiAnt® Dicom Viewer Vers. 4.6.9 (Medixant, 2011) geöffnet. Durch die Programmfunktion 3D MPR konnten die Aufnahmen in einer dreidimensionalen multiplanaren Rekonstruktion untersucht werden. Alle Präparate wurden zunächst in den einzelnen Ebenen nach ausgesuchten Referenzpunkten ausgerichtet (siehe Abb. 5).

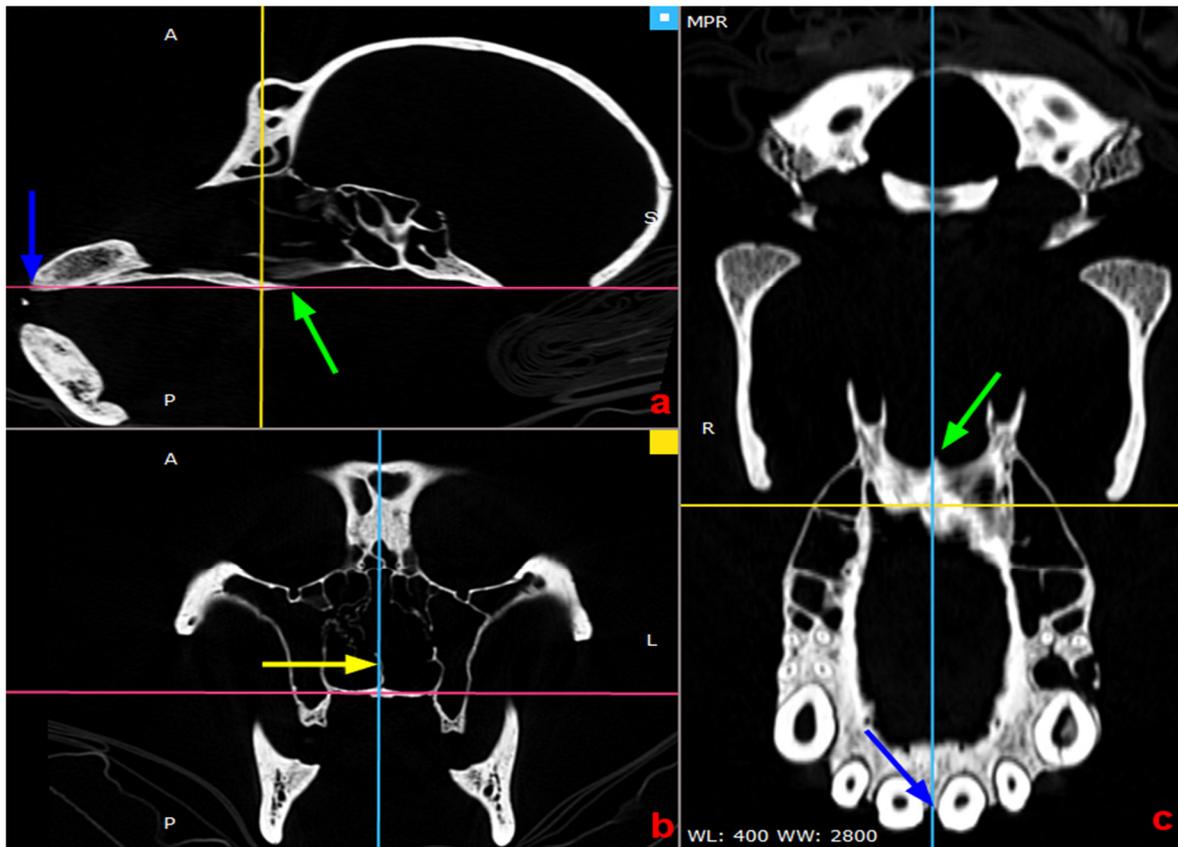


Abb. 5: Benutzeroberfläche des RadiAnt® DICOM Viewers mit Darstellung eines CT-Datensatzes des Schädels eines männlichen adulten Schimpansen (*Pan troglodytes*) mittels multiplanarer Rekonstruktion. Das Präparat ist im Sagittalschnitt (a), im Frontalschnitt (b) und im Transversalschnitt (c) dargestellt. Die Transversalebene (pinke Linie in Bild a) verläuft im ausgerichteten Datensatz durch die Messpunkte Prosthion (blauer Pfeil) und Spina nasalis posterior (grüner Pfeil). Die Sagittalebene (blaue Linie in b und in c) verläuft durch das Septum nasi (gelber Pfeil in b), sowie durch das Prosthion (blauer Pfeil in c) und durch die Spina nasalis posterior (grüner Pfeil in c).

Nach dem Ausrichten des Datensatzes (Abb. 5) wurde der orbitale Kanaleingang OE und der faciale Kanalausgang FA des Canalis infraorbitalis zuerst im Frontalschnitt bestimmt (Abb. 6). Da der Canalis infraorbitalis zunächst als Rinne im hinteren lateralen Teil des Orbitabodens imponiert, definierten wir in den frontalen Schichtaufnahmen den Übergang von der Rinne in einen komplett knöchern geschlossenen Kanal als orbitalen Kanaleingang OE. Den am weitesten medial gelegenen Punkt des orbitalen Eingangs legten wir als Messpunkt fest (Abb. 6a).

In ähnlicher Weise gingen wir bei der Definition des facialen Kanalausgangs FA des Canalis infraorbitalis vor. Dabei bestimmten wir in den frontalen Schnittebenen den Übergang vom komplett geschlossenen Kanal in die inkomplett geschlossene Struktur als facialen Ausgang des Canalis infraorbitalis und legten den am weitesten medial gelegenen Punkt als Messpunkt fest (Abb. 6b). Wenn es im Kanalverlauf zur Teilung in zwei oder mehr Kanälen kam, wurde der Kanal mit dem größten Durchmesser ausgewählt.

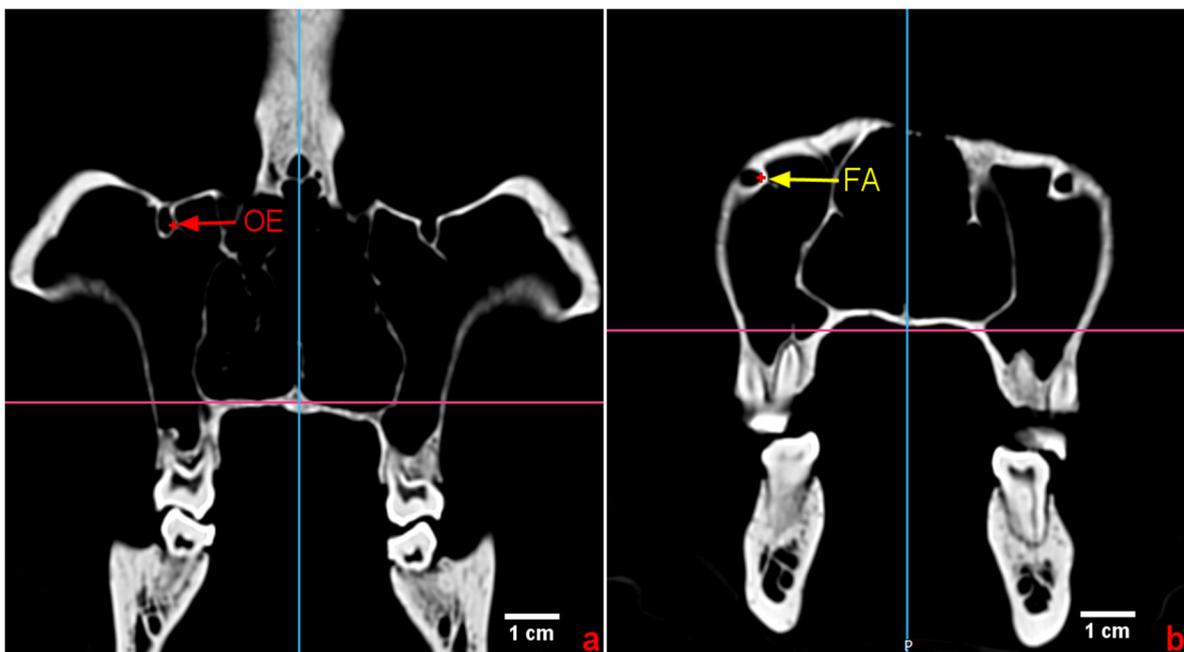


Abb. 6: Koronare CT-Schnittaufnahmen eines adulten männlichen Schimpansen (*Pan troglodytes*) zur Darstellung des orbitalen Kanaleingangs (a) und facialen Kanalausgangs (b) des rechten Canalis infraorbitalis. Der rote Pfeil in Bild (a) zeigt dabei auf den Messpunkt (rotes Kreuz) am orbitalen Kanaleingang OE. Der grüne Pfeil in Bild (b) zeigt auf den Messpunkt (rotes Kreuz) des facialen Kanalausgangs FA.

Um die Lage des Canalis infraorbitalis einzuordnen, wurden im Frontalschnitt folgende Maße erhoben:

Breitenmaße

- CBR1: Horizontaler Abstand zwischen orbitalen Kanaleingang rechts und Mediansagittalebene
- CBR2: Horizontaler Abstand zwischen fazialen Kanalausgang rechts und Mediansagittalebene
- CBL1: Horizontaler Abstand zwischen orbitalen Kanaleingang links und Mediansagittalebene
- CBL2: Horizontaler Abstand zwischen fazialen Kanalausgang links und Mediansagittalebene

Höhenmaße:

- CHR1: Vertikaler Abstand zwischen fazialen Kanalausgang rechts und Margo orbitalis inferior
- CHL1: Vertikaler Abstand zwischen fazialen Kanalausgang links und Margo orbitalis inferior

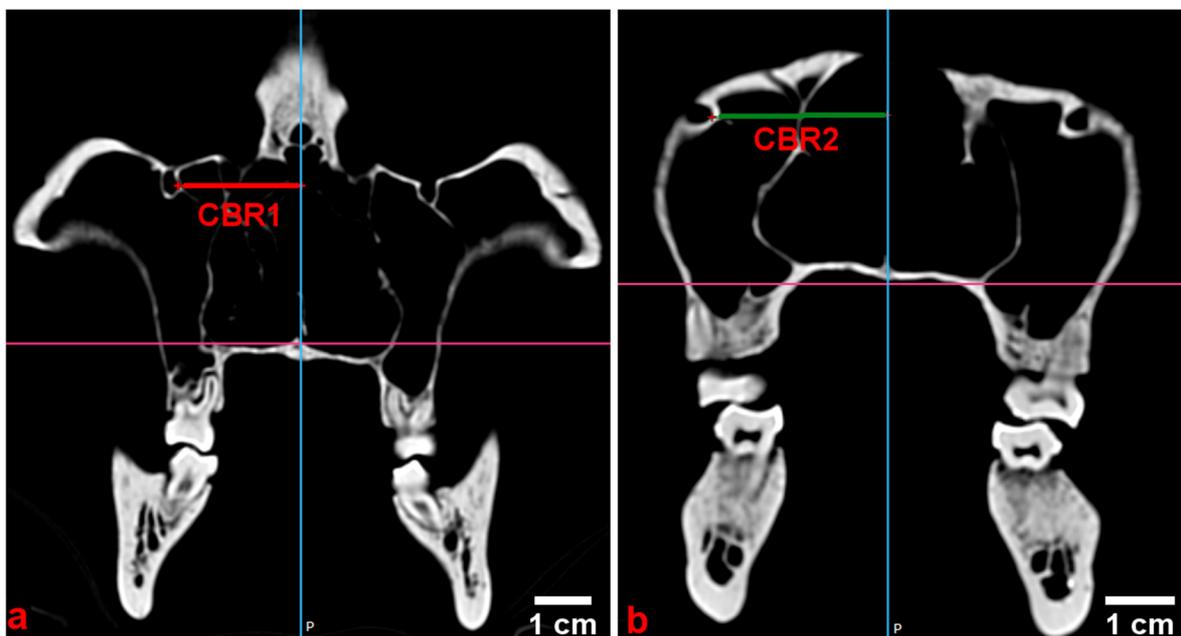


Abb. 7: Koronare CT-Schichtaufnahmen des adulten männlichen Schimpansen (*Pan troglodytes*) der Abbildung 6, zur Darstellung der Breitenmaße am orbitalen Kanaleingang (a) und fazialen Kanalausgang (b) des rechten Canalis infraorbitalis. **a** Darstellung des Breitenmaßes CBR1 (rote Linie). **b** Darstellung des Breitenmaßes CBR2 (grüne Linie).

3.2.2.2 Längenmaße des Canalis infraorbitalis

In der 3D MPR Funktion von RadiAnt® wurde im Frontalschnitt das Fadenkreuz auf den Messpunkt am orbitalen Kanaleingang OE (c in Abb. 8) bzw. am fazialen Kanalausgang FA verschoben (c in Abb. 9). Die Position der Messpunkte wurde anschließend in der Transversalebene (b in Abb. 8 für OE; b in Abb. 9 für FA) und in der Sagittalebene markiert (a in Abb. 8 für OE; a in Abb. 9 für FA). Somit konnte durch Verbinden der Messpunkte am orbitalen Kanaleingang OE und am fazialen Kanalausgang FA der Verlauf des Canalis infraorbitalis in allen drei Ebenen linear dargestellt und vermessen werden (s. Abb. 10).

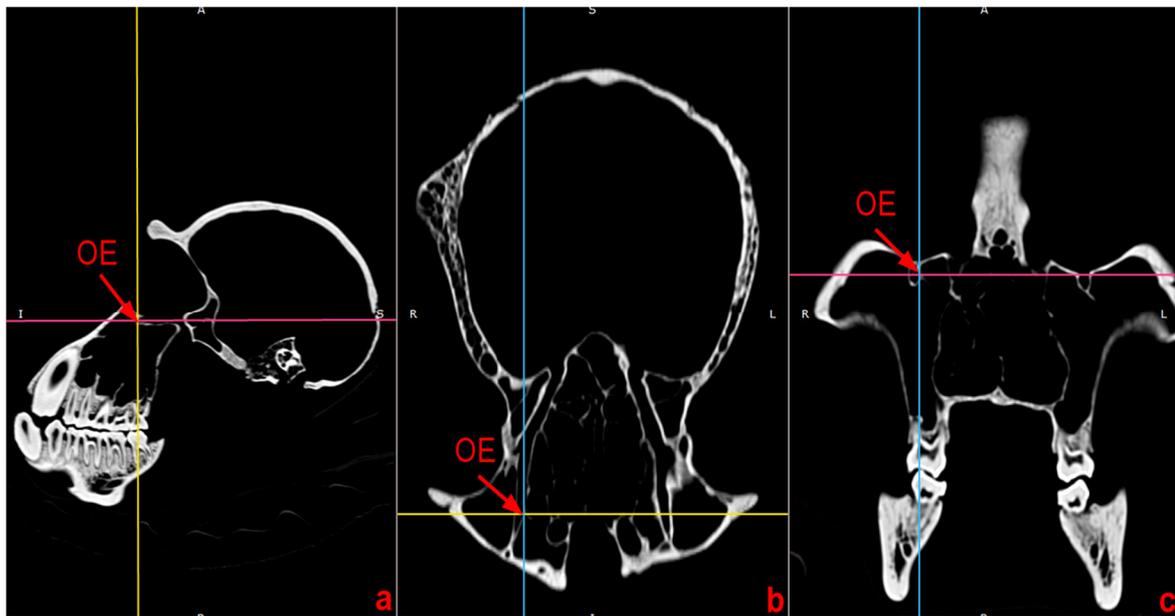


Abb. 8: Sagittale (a), transversale (b) und frontale (c) CT-Schichtaufnahmen eines adulten männlichen Schimpansen (*Pan troglodytes*) mittels der 3MPR Funktion zur Darstellung des orbitalen Kanaleingangs OE des rechten Canalis infraorbitalis. Das Fadenkreuz markiert in den drei Schichtebenen jeweils den Messpunkt am orbitalen Kanaleingang OE.

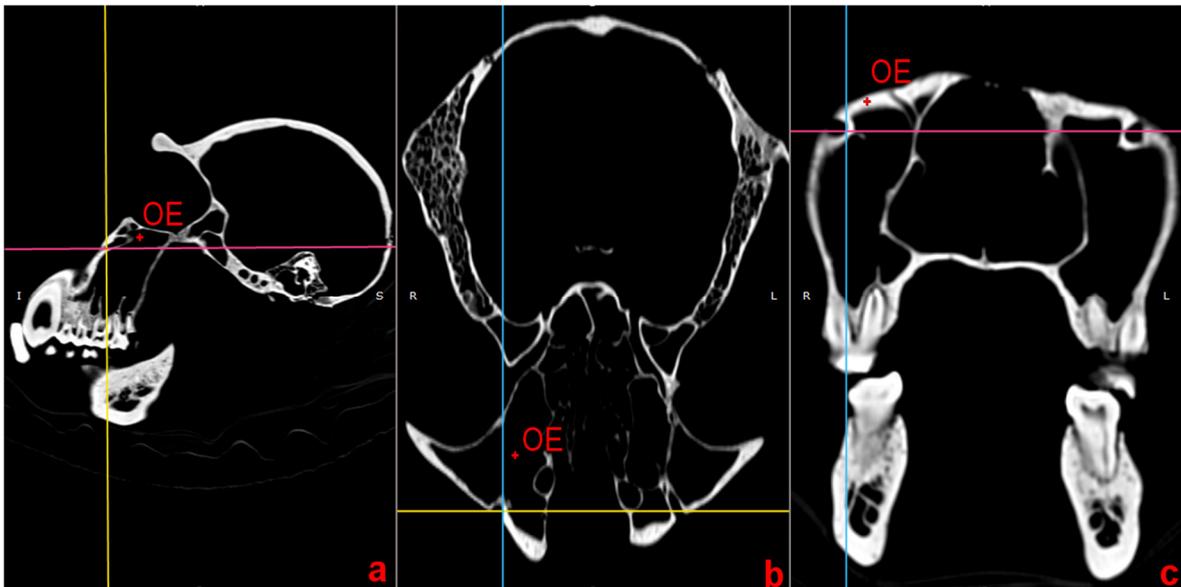


Abb. 9: Sagittale (a), transversale (b) und frontale (c) CT-Schichtaufnahmen des adulten männlichen Schimpansen (*Pan troglodytes*) der Abbildung 8, zur Darstellung der Messpunkte am fazialen Kanalausgang FA und der übertragenen Messpunkte am orbitalen Kanaleingang OE des Canalis infraorbitalis rechts. Der faziale Kanalausgang FA ist in allen drei Ebenen durch das Fadenkreuz gekennzeichnet. Die Position des orbitalen Kanaleingangs OE ist jeweils mit einem roten Kreuz markiert.

Der lineare Abstand zwischen dem orbitalen Kanaleingang und dem fazialen Kanalausgang des Canalis infraorbitalis wurde mithilfe der Messfunktion im RadiAnt® Dicom Viewer für alle drei Schnitte bestimmt (Abb. 10).

Da die Messpunkte OE und FA nicht in einer Ebene liegen, wurde die Position des Messpunktes OE immer in die entsprechende Ebene übertragen, in der sich der Messpunkt FA befand. Deshalb handelt es sich bei den unten aufgeführten Längenmaßen nicht um direkte Maße, sondern um projektivische Maße (Scheffler und Schüler 2013).

Länge des Canalis infraorbitalis im Sagittalschnitt

LCSR: linearer Abstand zwischen Kanaleingangspunkt und Kanalausgangspunkt des rechten Canalis infraorbitalis

LCSL: linearer Abstand zwischen Kanaleingangspunkt und Kanalausgangspunkt des linken Canalis infraorbitalis

Länge des Canalis infraorbitalis im Transversalschnitt

LCTR: linearer Abstand zwischen Kanaleingangspunkt und Kanalausgangspunkt des rechten Canalis infraorbitalis

LCTL: linearer Abstand zwischen Kanaleingangspunkt und Kanalausgangspunkt des linken Canalis infraorbitalis

Länge des Canalis infraorbitalis im Frontalschnitt

LCFR: linearer Abstand zwischen Kanaleingangspunkt und Kanalausgangspunkt des rechten Canalis infraorbitalis

LCFL: linearer Abstand zwischen Kanaleingangspunkt und Kanalausgangspunkt des linken Canalis infraorbitalis

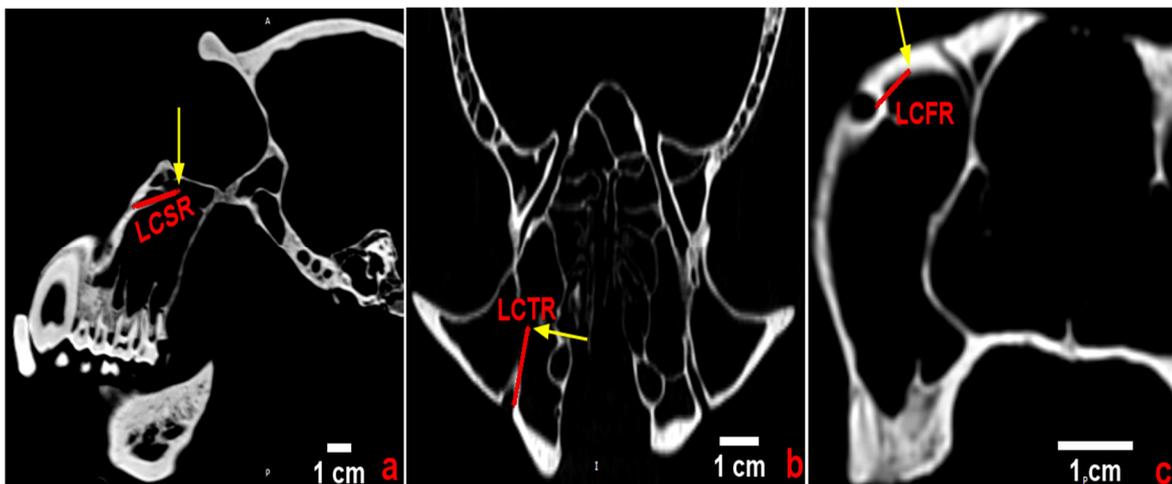


Abb. 10: Darstellung von CT-Schnittaufnahmen des adulten männlichen Schimpansen (*Pan troglodytes*) der Abbildung 8, zur Veranschaulichung der projektivischen Längenmaße des rechten Canalis infraorbitalis im RadiAnt® Dicom Viewer. Die verschiedenen Längenmaße sind auf die jeweilige Ebene des facialen Ausganges des Canalis infraorbitalis projiziert. Die gelben Pfeile weisen auf die Position des orbitalen Kanaleinganges. **a** Sagittalschnitt mit Darstellung von LCSR (rote Linie). **b** Transversalschnitt mit Darstellung von LCTR (rote Linie). **c** Frontalschnitt mit Darstellung von LCFR (rote Linie).

3.2.2.3 Winkelmaße am Canalis infraorbitalis

Um die Ausrichtung des Canalis infraorbitalis darzustellen, wurde zwischen den bereits oben erläuterten projektivischen Längen des Canalis infraorbitalis und den verschiedenen Ebenen in den drei Schnittbildern Winkelmessungen mit Hilfe des Programms ImageJ Version 1.52e (Wayne Rasband, 2018) durchgeführt. Es handelt sich bei den nachfolgend aufgeführten Winkeln um projektivische Winkel (Scheffler und Schüler, 2013).

Winkel im Sagittalschnitt

WSF: Winkel zwischen LCSR bzw. LCSL und der Frontalebene (Abb. 7)

WST: Winkel zwischen LCSR bzw. LCSL und der Transversalebene (Abb. 7)

Winkel im Transversalschnitt

WTS: Winkel zwischen LCTR bzw. LCTL und der Sagittalebene (Abb. 8)

WTF: Winkel zwischen LCTR bzw. LCTL und der Frontalebene (Abb. 8)

Winkel im Frontalschnitt

WFS: Winkel zwischen LCFR bzw. LCFL und der Sagittalebene (Abb. 9)

WFT: Winkel zwischen LCFR bzw. LCFL und der Transversalebene (Abb. 9)

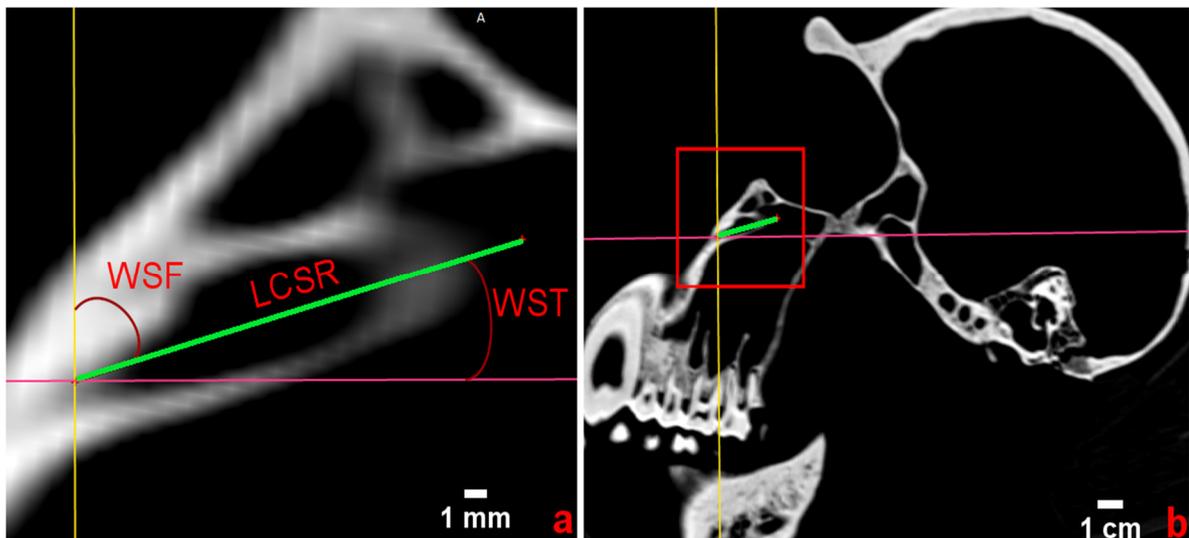


Abb. 11: Screenshot von Sagittalschnitten eines CT-Datensatzes vom männlichen adulten Schimpanse (*Pan troglodytes*) der Abbildung 8, zur Veranschaulichung der projektivischen Winkelmaße des rechten Canalis infraorbitalis im RadiAnt® Dicom Viewer. **a** Ausschnittsvergrößerung der Region des rechten Canalis infraorbitalis der Abbildung 11b zur Darstellung der Winkel WSF und WST zwischen der Länge des rechten Canalis infraorbitalis im Sagittalschnitt (LCSR) und der Frontalebene (gelbe Linie) bzw. Transversalebene (pinke Linie). **b** Sagittalschnitt zur Darstellung des vergrößerten Bereichs in a.

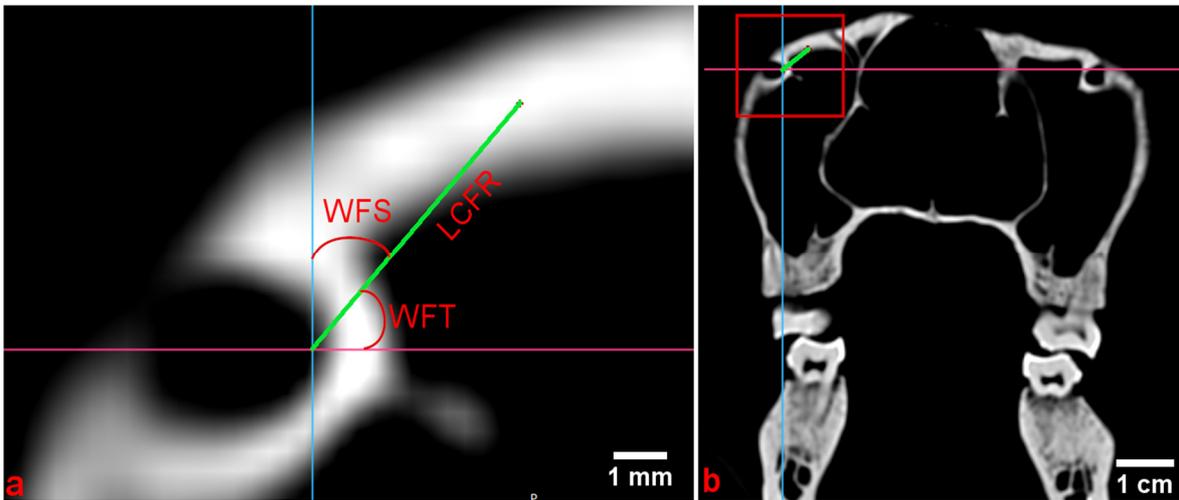


Abb. 12: Screenshot von Frontalschnitten eines CT-Datensatzes vom männlichen adulten Schimpansen (*Pan troglodytes*) der Abbildung 8, zur Veranschaulichung der projektivischen Winkelmaße des rechten Canalis infraorbitalis im RadiAnt® Dicom Viewer. **a** Ausschnittsvergrößerung der Region des rechten Canalis infraorbitalis der Abbildung 12b zur Darstellung der Winkel WFS und WFT zwischen der Länge des rechten Canalis infraorbitalis im Frontalschnitt (LCFR) und der Sagittalebene (blaue Linie) bzw. Transversalebene (pinke Linie). **b** Frontalschnitt zur Darstellung des vergrößerten Bereichs in a.

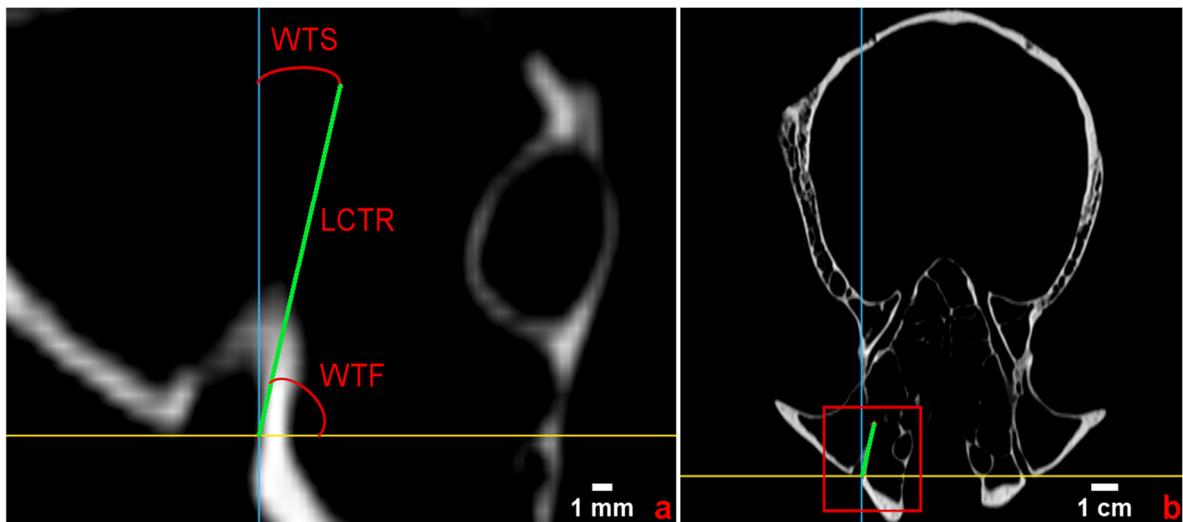


Abb. 13: Screenshot von Transversalschnitten eines CT-Datensatzes vom männlichen adulten Schimpansen (*Pan troglodytes*) der Abbildung 8, zur Veranschaulichung projektivischen der Winkelmaße des rechten Canalis infraorbitalis im RadiAnt® Dicom Viewer. **a** Ausschnittsvergrößerung der Region des rechten Canalis infraorbitalis der Abbildung 13b zur Darstellung der Winkel WTS und WTF zwischen der Länge des rechten Canalis infraorbitalis im Transversalschnitt (LCTR) und der Sagittalebene (blaue Linie) bzw. Frontalebene (gelbe Linie). **b** Transversalschnitt zur Darstellung des vergrößerten Bereichs in a.

In Bezug auf die Frontalebene wurden verschiedene Verlaufsrichtungen des Canalis infraorbitalis beobachtet (Abb. 14), die einem der vier folgenden Typen zugeordnet werden konnten:

- Typ 1: Verlaufsrichtung von kranio-lateral nach kaudomedial
- Typ 2: Verlaufsrichtung von kranio-medial nach kaudolateral
- Typ 3: Verlaufsrichtung von kaudomedial nach kranio-lateral
- Typ 4: Verlaufsrichtung von kaudolateral nach kranio-medial

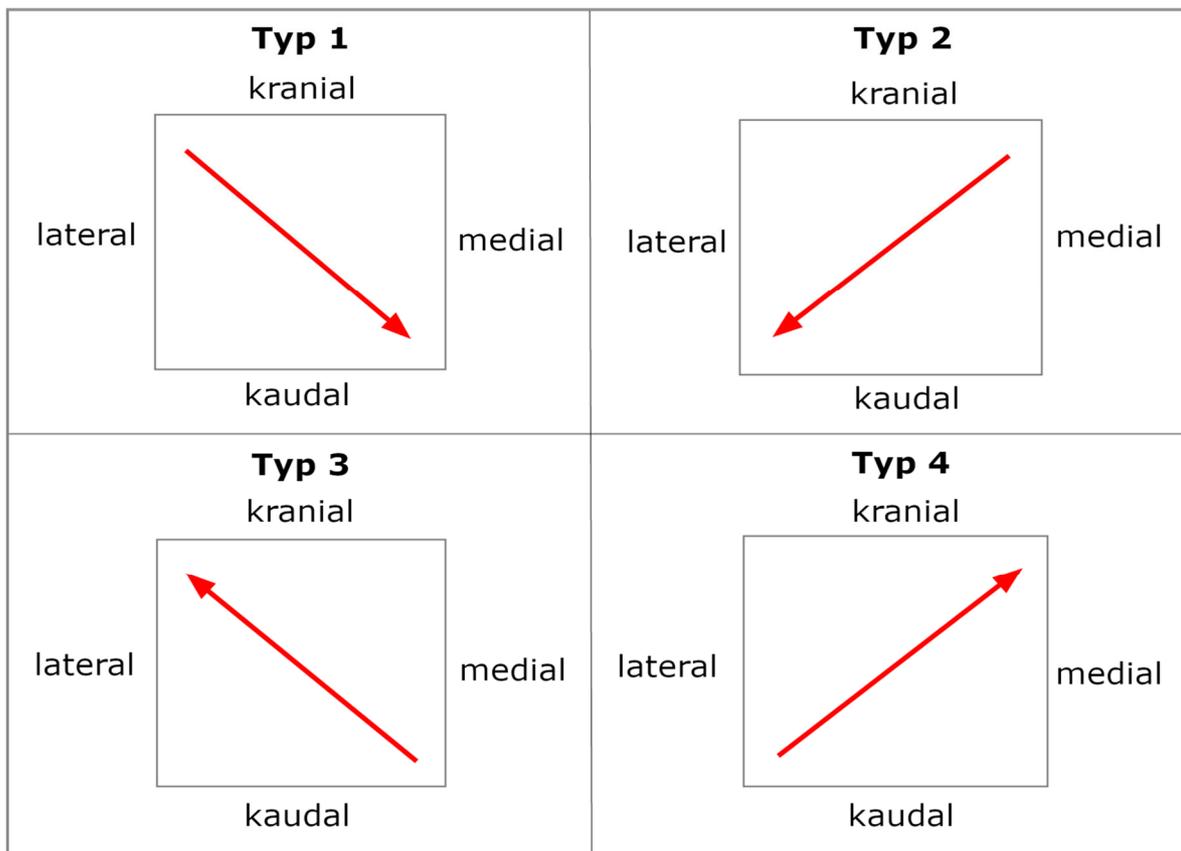


Abb. 14: Schematische Darstellung der Verlaufstypen 1 bis 4 des rechten Canalis infraorbitalis in der Normal frontalis.

3.2.3 Lineare Schädelmaße

Um die Maße des Canalis infraorbitalis besser einordnen zu können, wurde an den Präparaten lineare Schädelmaße mit Hilfe des Programms RadiAnt® erhoben. Mittels der „3D Volume Rendering“ Funktion wurde in RadiAnt® aus den CT-Datensätzen ein dreidimensionales Modell erstellt, die Messpunkte markiert und die entsprechenden Maße erhoben (Abb. 15).

SBL:	Schädelbasislänge (Nasion-Basion)
GSL:	Gesichtsschädellänge (Basion - Prosthion)
OGH:	Obergesichtshöhe (Nasion - Prosthion)
MGB:	Mittelgesichtsbreite (Zygomaxillare - Zygomaxillare)
MAB:	Maxilloalveolarbreite (Ekmolare - Ekmolare)
JBB:	Jochbogenbreite (Zygion - Zygion)
IOB:	Interorbitalbreite (vorderer Rand der Fossa sacci lacrimalis – beidseits)

Einige Schädelmaße der Schimpansenpräparate (*Pan troglodytes*) wurden von Töpke (2010) übernommen. Die Schädelmaße der Colobuspräparate (*Colobus guereza*) wurden uns von Koppe (2019) zur Verfügung gestellt.

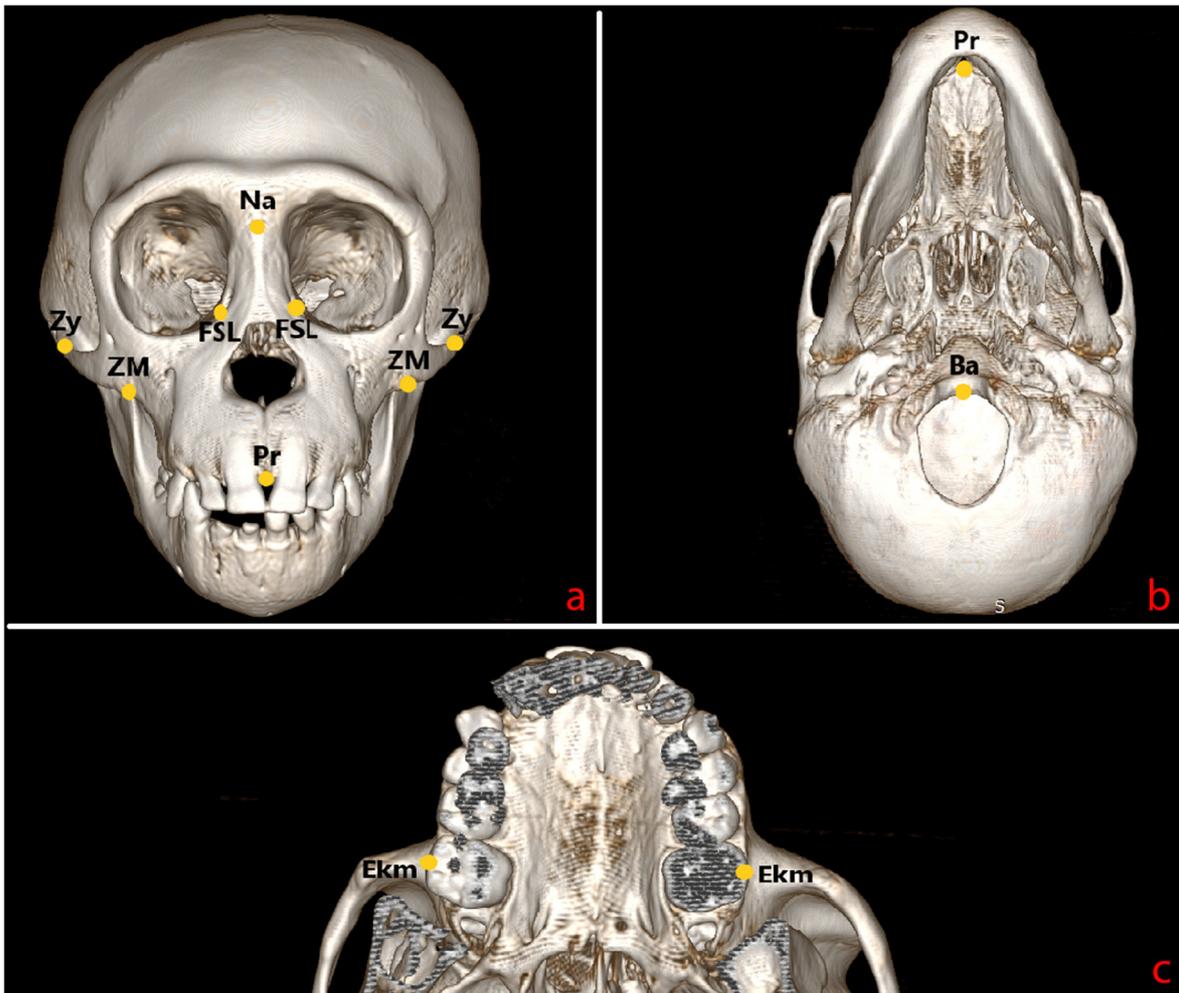


Abb. 15: Dreidimensionale Schädelrekonstruktion eines juvenilen Orang-Utans (*Pongo pygmaeus*) von frontal (a) und basal (b und c). Markiert sind die Punkte Nasion (Na), vorderer Rand der Fossa sacci lacrimalis (FSL), Zygion (Zy), Zygomaxillare (ZM), Prosthion (Pr), Basion (Ba) und Ekmolar (Ekm).

3.2.4 Bestimmung der Volumina von Orbita und Sinus maxillaris

Der Canalis infraorbitalis befindet sich im Grenzbereich zwischen Orbita und Sinus maxillaris. Da nicht ausgeschlossen werden kann, dass diese Strukturen einen Einfluss auf die Morphologie des Canalis infraorbitalis ausüben, haben wir Orbita und Sinus maxillaris ebenfalls metrisch erfasst und deren Volumina vermessen.

Die vorliegenden DICOM Datensätze wurden dazu mit dem Programm DICOM to JPEG Vers. 1.7.12 (DICOM Apps) in JPEG Dateien umgewandelt. Die JPEG Dateien wurden in WinSurf® 4.0 (Lozanoff and Moody 2011) geöffnet und ausgewertet. Mithilfe von Winsurf lassen sich Flächen in den einzelnen, fortlaufenden Schnittbildern markieren und

dreidimensional darstellen. Das Volumen des markierten Objekts wird von WinSurf systemintern berechnet.

Folgende Volumina wurden berechnet:

VOR:	Volumen Orbita rechts
VOL:	Volumen Orbita links
VSMR:	Volumen Sinus maxillaris rechts
VSML:	Volumen Sinus maxillaris links

Die Volumina des Sinus maxillaris der Schimpansenpräparate (*Pan troglodytes*) wurden größtenteils von Töpke (2010) übernommen.

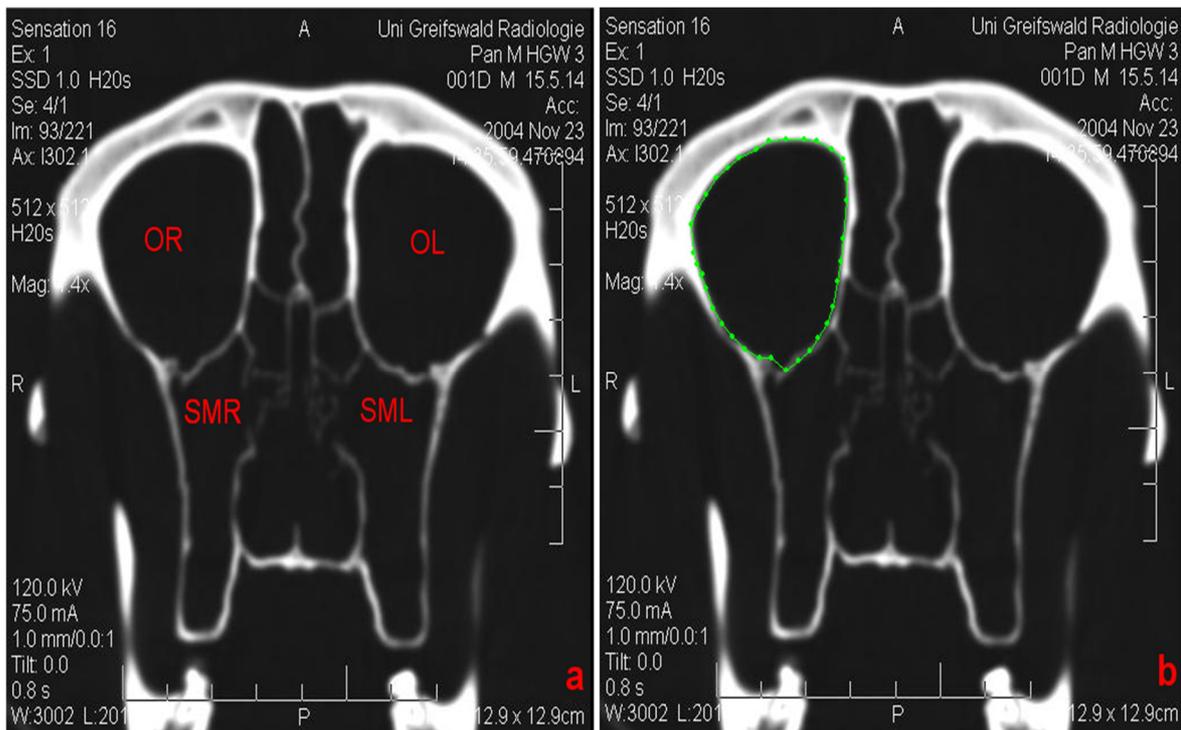


Abb. 16: Benutzeroberfläche des Programms WinSurf® mit Darstellung einer frontalen CT-Schnittaufnahme eines männlichen, adulten Schimpansen (*Pan troglodytes*). **a** Der Sinus maxillaris und die Orbita sind auf beiden Seiten markiert: SMR Sinus maxillaris rechts, SML Sinus maxillaris links, OR Orbita rechts, OL Orbita links **b** Markierung der knöchernen Begrenzung der rechten Orbita (grün gepunktete Linie)

3.3 Statistische Auswertung

Zu Beginn der statistischen Auswertung wurden von allen Maßen Mittelwerte und Standardabweichungen erhoben und teilweise in Boxplots dargestellt. Die erhobenen Messwerte wurden mittels Kolmogorov-Smirnov-Test und Shapiro-Wilk-Test auf Normalverteilung überprüft. Bei einem Großteil der Daten ließ sich keine Normalverteilung feststellen, sodass im weiteren Verlauf der U-Test (Mann-Whitney-U-Test) als nicht parametrischer Test zur Überprüfung von Unterschieden zwischen den Strepsirrhini und Haplorrhini durchgeführt wurde.

Anschließend wurde mittels Rangkorrelationsanalyse nach Pearson untersucht, welche der verschiedenen Merkmalspaare miteinander korrelieren. Bei signifikanter Korrelation wurden für ausgewählte Merkmalspaare der Zusammenhang in Form einer Regressionsanalyse weiter beschrieben. Dazu wurde für die erhobenen Daten entsprechend der Empfehlung von Jungers et al. (1995) zunächst der natürliche Logarithmus berechnet. Mit den logarithmierten Werten wurde der Zusammenhang der Merkmalspaare in Form einer Geraden überprüft. Diese wird durch die folgende Formel dargestellt:

$$y = b \cdot x + a \quad \text{bzw.} \quad \ln y = b \cdot \ln x + a$$

Die Variablen y und x bezeichnen dabei das korrelierende Merkmalspaar, b beschreibt die Steigung der Regressionsgeraden und a den Y-Achsenabschnitt des Koordinatensystems.

Da der Canalis infraorbitalis in direkter Nachbarschaft zur Orbita und dem Sinus maxillaris steht, wurde angenommen, dass eine Korrelation zwischen Verlauf und Lage des Canalis infraorbitalis mit den Volumina der beiden Grenzstrukturen besteht. Um das Volumen der Orbita und des Sinus maxillaris miteinander zu verknüpfen und im weiteren Verlauf in Bezug zum Canalis infraorbitalis setzen zu können, wurde ein Index erstellt. Dieser gibt das Verhältnis vom Volumen des Sinus maxillaris zum Volumen der Orbita auf der rechten Seite an und wurde anhand folgender Formel erstellt:

$$ISOR = \frac{VSMR}{VOR} \cdot 100$$

Um das Volumen der Orbita und des Sinus maxillaris in Bezug zur Schädelgröße setzen zu können, wurde das Gesichtsschädelvolumen (GSV) berechnet. Anhand der Schädelbasislänge (SBL), Gesichtsschädellänge (GSL), Obergesichtshöhe (OGH) und Mittelgesichtsbreite (MGB) konnte das Gesichtsschädelvolumen (GSV) nach der Heronischen Formel (Bartsch 1982) bestimmt werden. Die Heronische Formel ist wie folgt definiert:

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

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

Das Gesichtsschädelvolumen (GSV) wurde anschließend mit dem Volumen der Orbita und dem Sinus maxillaris der rechten Seiten in Bezug gesetzt. Dafür wurden zwei neue Indices erhoben.

$$I_O = \frac{VOR}{GSV} \cdot 100 \qquad I_{SM} = \frac{VSMR}{GSV} \cdot 100$$

Die gemessenen Größen wurden in Microsoft Excel 2019 Version 17.0 erfasst und zunächst in das Programm IBM SPSS Statistics Version 26 importiert und dort ausgewertet.

4. Ergebnisse

4.1 Lage des Canalis infraorbitalis

In Tabelle 3 sind die Mittelwerte und Standardabweichungen der erhobenen Abstände des Ein- und Ausganges des Canalis infraorbitalis zu definierten Messpunkten zur Beurteilung der Lage des Kanals dargestellt. Für die rechte Seite wurde die Verteilung der Werte grafisch in Form von Boxplots dargestellt (Abb. 17-18). Die Mittelwerte der ermittelten Abstände sind bei den juvenilen Präparaten erwartungsgemäß kleiner, als bei den adulten Präparaten. Die adulten und juvenilen Haplorrhini haben im Vergleich zu den Strepsirrhini bis zu 3-mal so große Abstände zwischen Ein- und Ausgang des Canalis infraorbitalis und der Medianebene. Mit Ausnahme der adulten Schimpansenpräparate sind die Abstände zwischen dem fazialen Ausgangspunkt des Kanals und der Margo orbitalis inferior bei den Strepsirrhini größer als die der Haplorrhini.

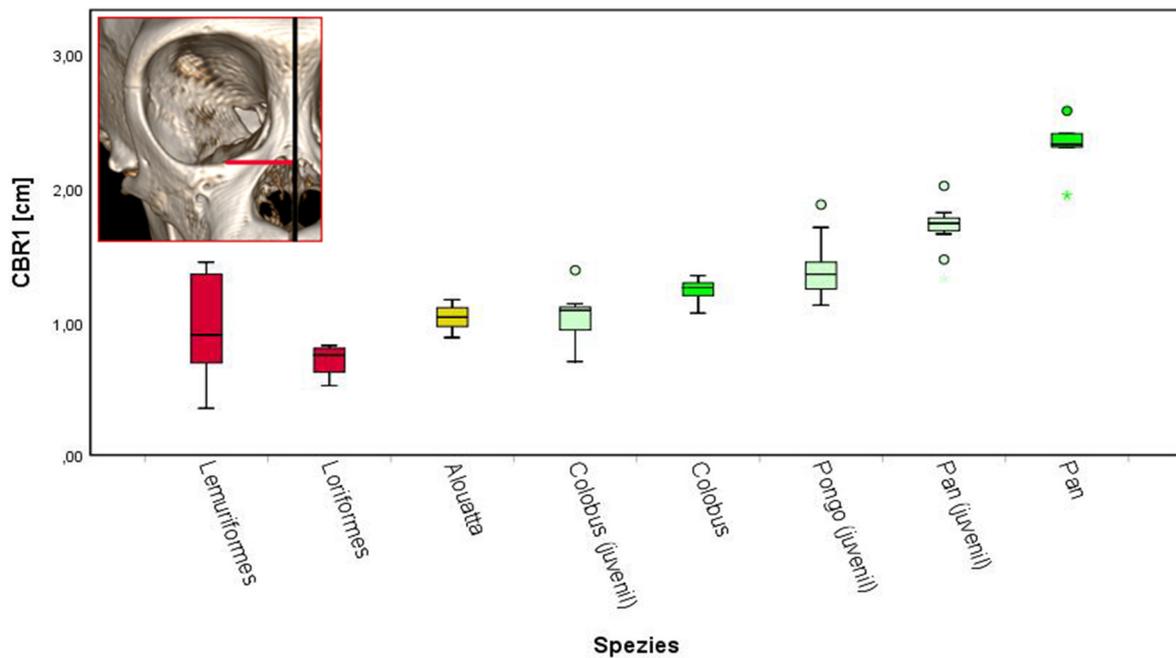
Der Mann-Whitney-U-Test (U-Test) zeigte signifikante Unterschiede für die Abstände zwischen Ein- und Ausgang des Canalis infraorbitalis und der Medianebene zwischen den adulten Strepsirrhini und den adulten Haplorrhini. Die Abstände zwischen fazialen Ausgang und der Margo orbitalis inferior zeigten jedoch keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Gruppen. Die Ergebnisse des U-Tests sind in Tabelle 4 dargestellt.

Tab. 3: Mittelwerte und Standardabweichungen der Abstände des Ein- und Ausganges des Canalis infraorbitalis zu definierten Messpunkten für adulte Strepsirrhini, sowie für juvenile und adulte Haplorrhini. Angaben in cm

	n	CBR1		CBR2		CHR1		CBL1		CBL2		CHL1	
		\bar{x}	SD										
Strepsirrhini													
Lemuriformes	13	0,99	0,38	0,88	0,25	0,32	0,22	1	0,4	0,88	0,25	0,33	0,24
Loriformes	4	0,71	0,13	0,68	0,13	0,37	0,08	0,7	0,13	0,66	0,12	0,32	0,15
Haplorrhini (adult)													
<i>Pan</i>	5	2,31	0,23	2,56	0,31	0,43	0,33	2,2	0,19	2,55	0,29	0,51	0,04
<i>Colobus</i>	11	1,24	0,88	1,33	0,95	0,26	0,11	1,2	0,12	1,25	0,11	0,26	0,1
<i>Alouatta</i>	5	1,03	0,11	1,18	0,1	0,17	0,05	1,1	0,12	1,17	0,12	0,18	0,07
Haplorrhini (juvenil)													
<i>Pan</i>	11	1,71	0,18	1,72	0,19	0,27	0,13	1,71	0,17	1,69	0,18	0,23	0,11
<i>Colobus</i>	7	1,04	0,21	1,12	0,17	0,17	0,06	1,01	0,19	1,07	0,19	0,18	0,1
<i>Pongo</i>	9	1,41	0,25	1,53	0,27	0,25	0,07	1,35	0,22	1,49	0,24	0,23	0,69

n: Anzahl, \bar{x} : Mittelwert, SD: Standardabweichung, CBR1: Horizontaler Abstand zwischen dem orbitalen Kanaleingang rechts und der Mediansagittalebene, CBR2: Horizontaler Abstand zwischen dem fazialen Kanalausgang rechts und der Mediansagittalebene, CBL1: Horizontaler Abstand zwischen dem orbitalen Kanaleingang links und der Mediansagittalebene, CBL2: Horizontaler Abstand zwischen dem fazialen Kanalausgang links und der Mediansagittalebene, CHR1: Vertikaler Abstand zwischen dem fazialen Kanalausgang rechts und der Margo orbitalis inferior, CHL1: Vertikaler Abstand zwischen dem fazialen Kanalausgang links und der Margo orbitalis inferior

Canalis infraorbitalis: Abstand orbitaler Eingang - Mediane Ebene



Canalis infraorbitalis: Abstand fazialer Ausgang – Mediane Ebene

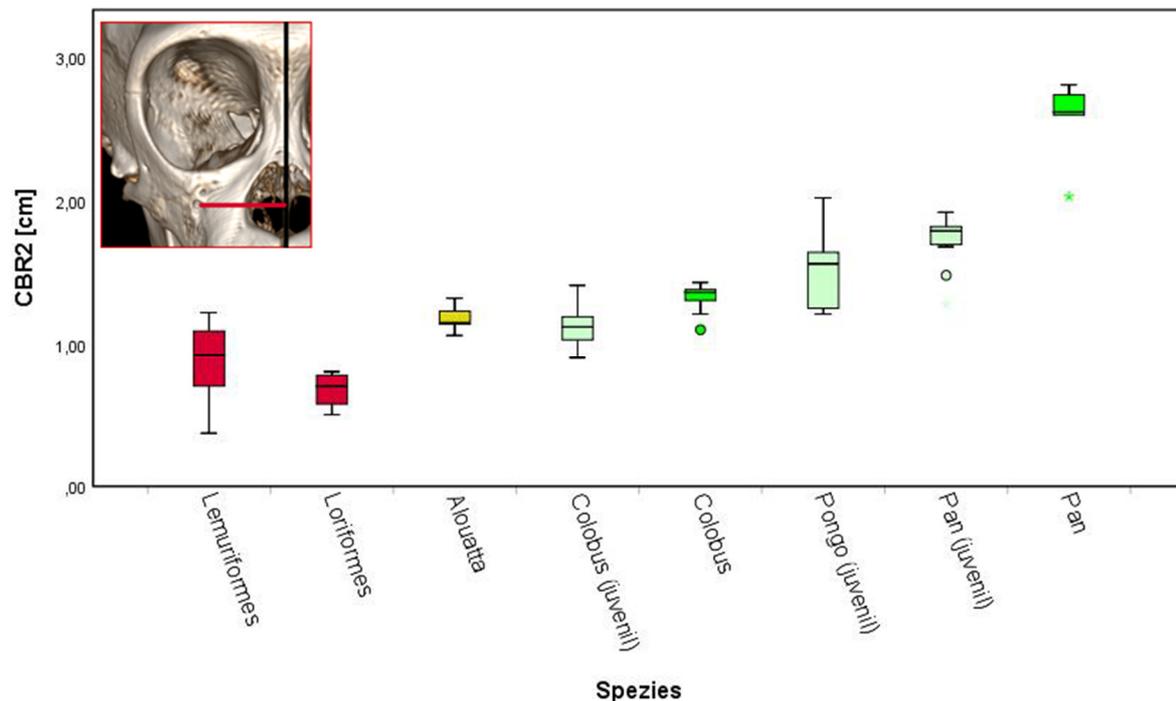


Abb. 17: Boxplots zur Darstellung vom horizontalen Abstand zwischen dem orbitalen Kanaleingang rechts und der Mediansagittalebene (CBR1, oben) und vom horizontalen Abstand zwischen dem fazialen Kanalausgang rechts und der Mediansagittalebene (CBR2, unten) für Strepsirrhini (rot), Platyrrhini (gelb) und Catarrhini (grün). Juvenile Catarrhini sind hellgrün markiert. Die rote Linie im Inset symbolisiert CBR1 (oben) und CBR2 (unten).

Canalis infraorbitalis: Abstand fazialer Ausgang – Margo orbitalis inferior

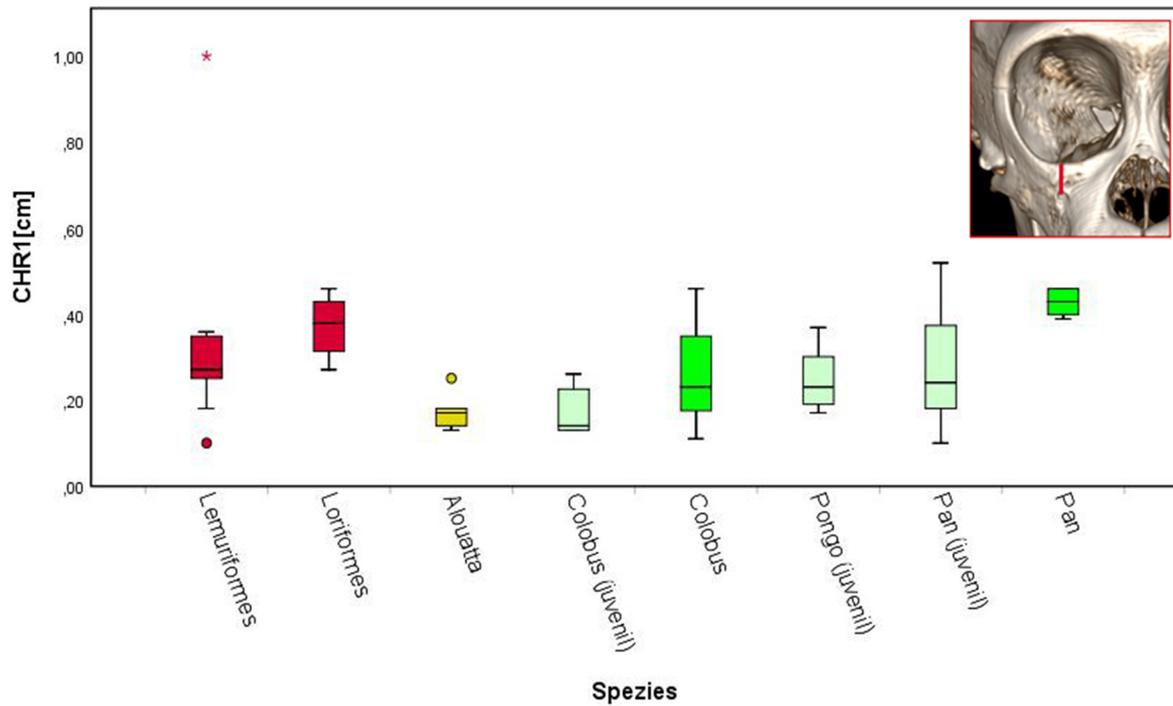


Abb. 18: Boxplots zur Darstellung vom vertikalen Abstand zwischen dem fazialen Kanalausgang rechts und der Margo orbitalis inferior (CHR1) für Strepsirrhini (rot), Platyrrhini (gelb) und Catarrhini (grün). Juvenile Catarrhini sind hellgrün markiert. Die rote Linie im Inset symbolisiert CHR1.

Tab. 4: Mittlere Ränge und Ergebnisse des U-Tests für die Abstände des Ein- und Ausganges des Canalis infraorbitalis zu definierten Messpunkten der adulten Strepsirrhini und adulten Haplorrhini

	Strepsirrhini		Haplorrhini	
	n	mR	n	mR
CBR1	17	14,41	21	23,62*
CBR2	17	9,71	21	27,43***
CHR1	17	21,09	21	18,21
CBL1	17	14,29	21	23,71**
CBL2	17	9,68	21	27,45***
CHL1	17	19,94	21	19,14

n: Anzahl, mR: mittlerer Rang, CBR1: Horizontaler Abstand zwischen dem orbitalen Kanaleingang rechts und der Mediansagittalebene, CBR2: Horizontaler Abstand zwischen dem fazialen Kanalausgang rechts und der Mediansagittalebene, CBL1: Horizontaler Abstand zwischen dem orbitalen Kanaleingang links und der Mediansagittalebene, CBL2: Horizontaler Abstand zwischen dem fazialen Kanalausgang links und der Mediansagittalebene, CHR1: Vertikaler Abstand zwischen dem fazialen Kanalausgang rechts und dem Margo orbitalis inferior, CHL1: Vertikaler Abstand zwischen dem fazialen Kanalausgang links und dem Margo orbitalis inferior, * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$

4.2 Projektivische Längenmaße des Canalis infraorbitalis

Die Mittelwerte und Standardabweichungen der projektivischen Kanallängen wurden in Tabelle 5 eingetragen. Zusätzlich wurde, um die unterschiedlichen Spezies untereinander zu vergleichen, die relative Länge des Canalis infraorbitalis ermittelt. Hierbei haben wir die projektivische rechte Kanallänge (LCSR) mit der Gesichtsschädellänge (GSL) in Bezug gesetzt und als RLCSR beschrieben.

$$RLCSR = \frac{LCSR}{GSL}$$

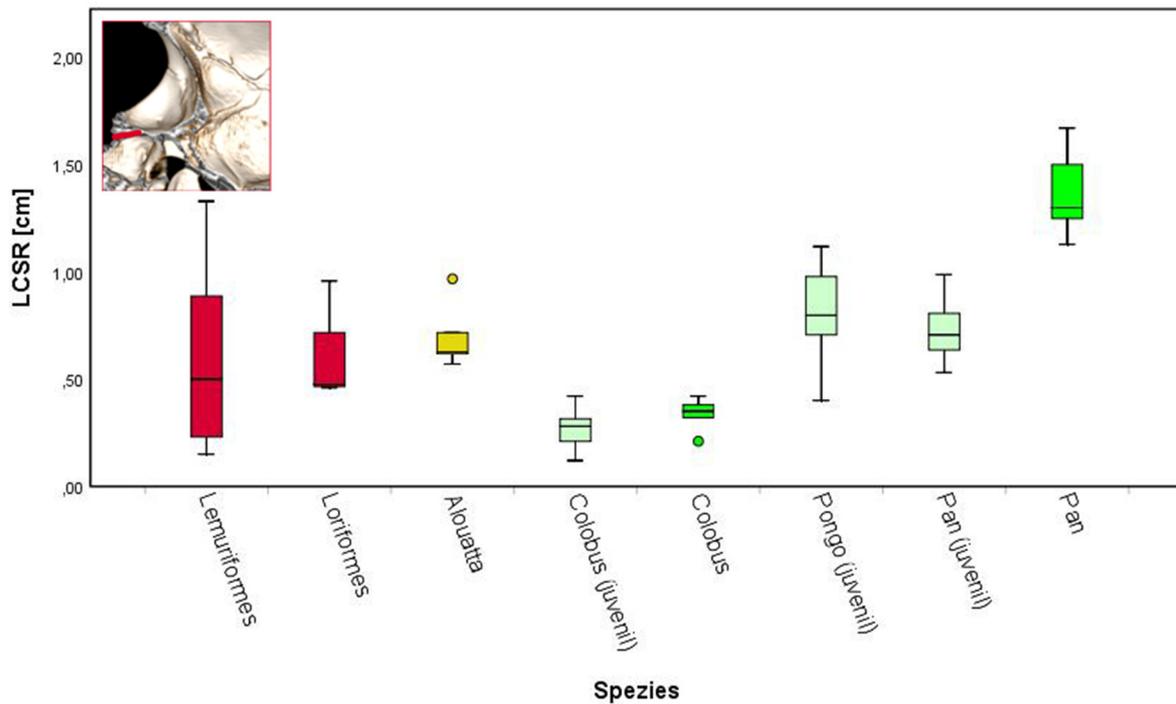
Für den rechten Canalis infraorbitalis wurde die Verteilung der Werte von LCSR, LCTR und LCFR grafisch in Form von Boxplots dargestellt (Abb. 19-20). Die projektivische Kanallänge ist bei den juvenilen Präparaten erwartungsgemäß kleiner, als bei den adulten Präparaten. Die juvenilen und adulten Haplorrhini haben mit Ausnahme der Colobuspräparate einen längeren Kanalverlauf, als die Strepsirrhini. Die relative Kanallänge ist bei den Strepsirrhini jedoch größer als bei den Haplorrhini. Innerhalb der Haplorrhini haben die juvenilen Schimpansen und die juvenilen Orang-Utan die größten relativen Kanallängen. Bei den Mantelaffen unterscheiden sich die relativen Kanallängen zwischen juvenilen und adulten Präparaten nicht. Der Mann-Whitney-U-Test zeigte außer für LCFR keine signifikanten Unterschiede für die projektivische Kanallänge zwischen den adulten Strepsirrhini und den adulten Haplorrhini. Die relative Kanallänge unterscheidet sich jedoch signifikant zwischen den beiden Spezies. Die Ergebnisse des U-Tests sind in Tabelle 6 dargestellt.

Tab. 5: Mittelwerte und Standardabweichungen der projektivischen Längenmaße des Canalis infraorbitalis und der relativen Kanallänge für adulte Strepsirrhini, sowie juvenile und adulte Haplorrhini. Angaben in cm

	n	LCSR		LCSL		LCTR		LCTL		LCFR		LCFL		RLCSR	
		\bar{x}	SD												
Strepsirrhini															
Lemuriformes	13	0,61	0,43	0,63	0,44	0,61	0,44	0,63	0,45	0,17	0,12	0,19	0,14	0,1	0,04
Loriformes	4	0,59	0,25	0,61	0,26	0,59	0,24	0,59	0,27	0,11	0,08	0,12	0,08	0,13	0,05
Haplorrhini (adult)															
<i>Pan</i>	5	1,37	0,21	1,31	0,15	1,31	0,24	1,25	0,18	0,5	0,06	0,56	0,07	0,04	0,01
<i>Colobus</i>	11	0,35	0,06	0,34	0,09	0,36	0,04	0,34	0,07	0,12	0,07	0,22	0,3	0,04	0,01
<i>Alouatta</i>	5	0,7	0,16	0,61	0,17	0,68	0,15	0,61	0,18	0,4	0,09	0,28	0,07	0,08	0,01
Haplorrhini (juvenil)															
<i>Pan</i>	11	0,73	0,15	0,75	0,15	0,69	0,13	0,71	0,14	0,3	0,14	0,24	0,1	0,09	0,02
<i>Colobus</i>	7	0,27	0,1	0,26	0,07	0,28	0,1	0,27	0,07	0,11	0,08	0,13	0,05	0,04	0,01
<i>Pongo</i>	9	0,79	0,24	0,82	0,26	0,75	0,25	0,79	0,25	0,33	0,12	0,34	0,12	0,09	0,02

n: Anzahl, \bar{x} : Mittelwert, SD: Standardabweichung, LCSR: projektivischer Abstand zwischen dem orbitalen Kanaleingang und dem fazialen Kanalausgang des rechten Canalis infraorbitalis in der Sagittalebene, LCSL: projektivischer Abstand zwischen dem orbitalen Kanaleingang und dem fazialen Kanalausgang des linken Canalis infraorbitalis im Sagittalschnitt, LCTR: projektivischer Abstand zwischen dem orbitalen Kanaleingang und dem fazialen Kanalausgang des rechten Canalis infraorbitalis im Transversalschnitt, LCTL: projektivischer Abstand zwischen dem orbitalen Kanaleingang und dem fazialen Kanalausgang des linken Canalis infraorbitalis im Transversalschnitt, LCFR: projektivischer Abstand zwischen dem orbitalen Kanaleingang und dem fazialen Kanalausgang des rechten Canalis infraorbitalis im Frontalschnitt, LCFL: projektivischer Abstand zwischen dem orbitalen Kanaleingang und dem fazialen Kanalausgang des linken Canalis infraorbitalis im Frontalschnitt, RLCSR: relative Länge des rechten Canalis infraorbitalis in der Sagittalebene

Projektivische Länge des rechten Canalis infraorbitalis in der Sagittalebene



Projektivische Länge des rechten Canalis infraorbitalis in der Transversalebene

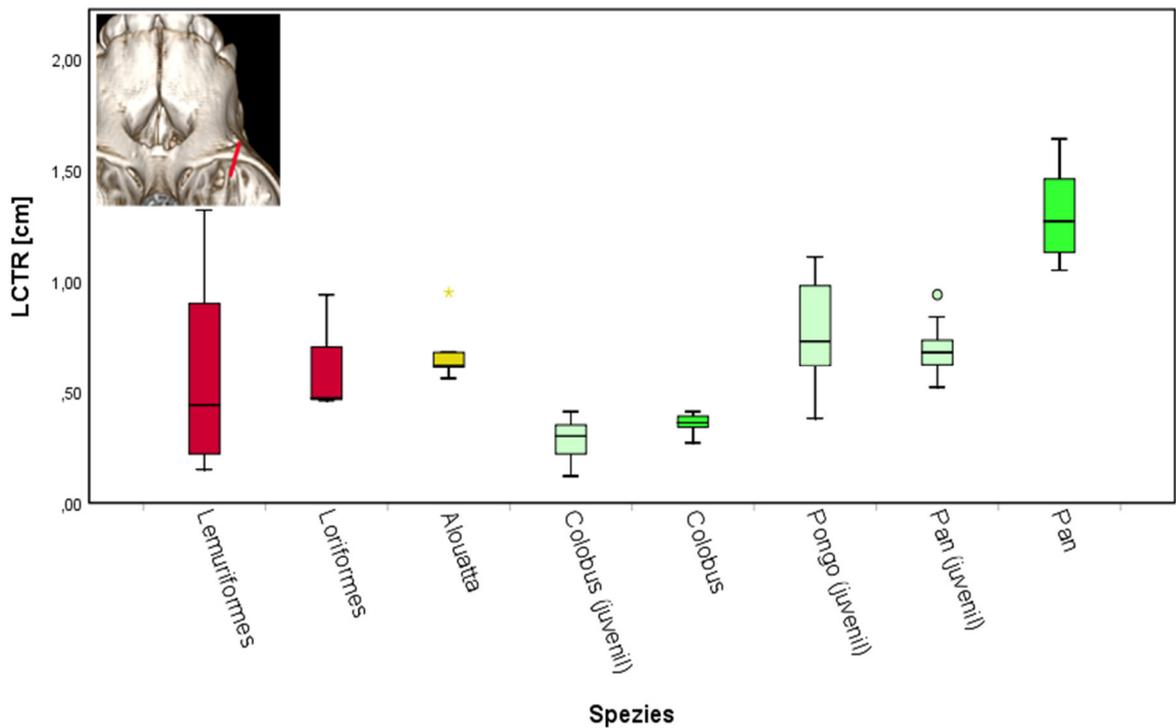


Abb. 19: Boxplots zur Darstellung der projektivischen Länge des rechten Canalis infraorbitalis in der Sagittalebene (LCSR, oben) und der projektivischen Länge des rechten Canalis infraorbitalis in der Transversalebene (LCTR, unten) für Strepsirrhini (rot), Platyrrhini (gelb) und Catarrhini (grün). Juvenile Catarrhini sind hellgrün markiert. Die rote Linie im Inset symbolisiert LCSR (oben) und LCTR (unten).

Projektivische Länge des rechten Canalis infraorbitalis in der Frontalebene

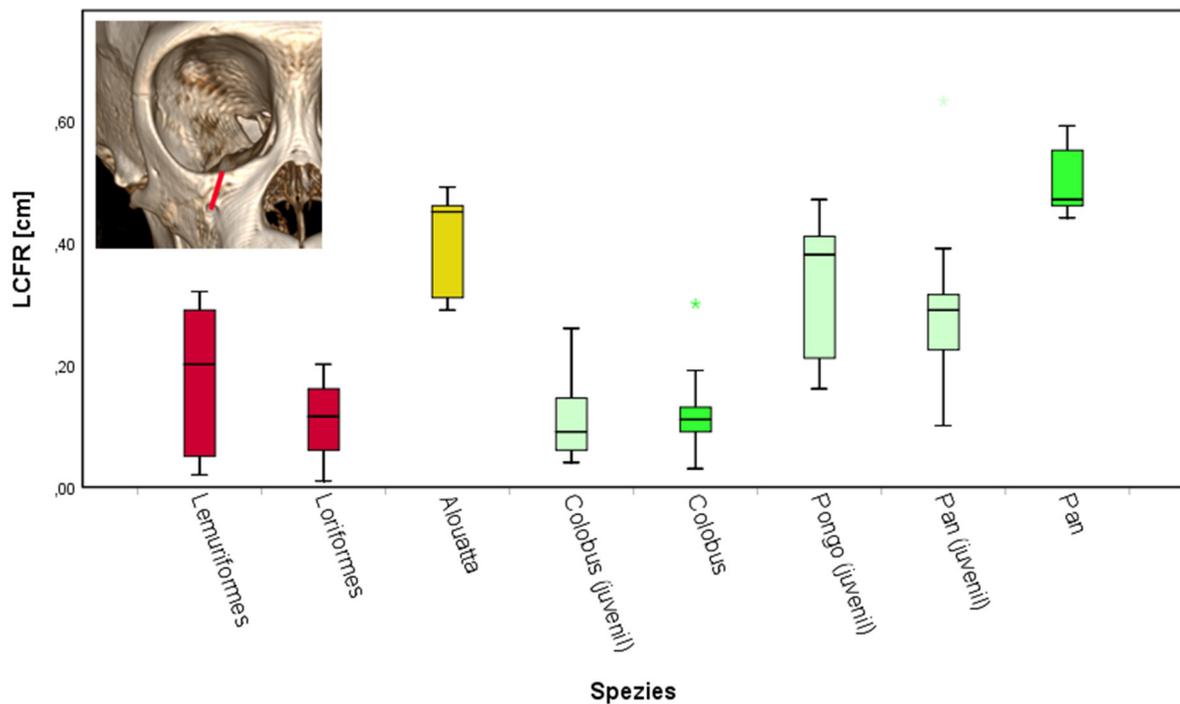


Abb. 20: Boxplots zur Darstellung der projektivischen Länge des rechten Canalis infraorbitalis in der Frontalebene für Strepsirrhini (rot), Platyrrhini (gelb) und Catarrhini (grün). Juvenile Catarrhini sind hellgrün markiert. Die rote Linie im Inset symbolisiert LCFR.

Tab. 6: Mittlere Ränge und Ergebnisse des U-Tests für die projektivischen und relativen Längenmaße des Canalis infraorbitalis der adulten Strepsirrhini und adulten Haplorrhini. Angaben in cm

	Strepsirrhini		Haplorrhini	
	n	mR	n	mR
LCSR	17	18,59	21	20,24
LCSL	17	19,41	21	19,57
LCTR	17	18,71	21	20,14
LCTL	17	19,21	21	19,74
LCFR	17	15,38	21	22,83*
LCFL	17	16,32	21	22,07
RLCSR	16	24,69**	21	14,67

n: Anzahl, mR: mittlerer Rang, LCSR: projektivischer Abstand zwischen dem orbitalen Kanaleingang und dem fazialen Kanalausgang des rechten Canalis infraorbitalis in der Sagittalebene, LCSL: projektivischer Abstand zwischen dem orbitalen Kanaleingang und dem fazialen Kanalausgang des linken Canalis infraorbitalis im Sagittalschnitt, LCTR: projektivischer Abstand zwischen dem orbitalen Kanaleingang und dem fazialen Kanalausgang des rechten Canalis infraorbitalis im Transversalschnitt, LCTL: projektivischer Abstand zwischen dem orbitalen Kanaleingang und dem fazialen Kanalausgang des linken Canalis infraorbitalis im Transversalschnitt, LCFR: projektivischer Abstand zwischen dem orbitalen Kanaleingang und dem fazialen Kanalausgang des rechten Canalis infraorbitalis im Frontalschnitt, LCFL: projektivischer Abstand zwischen dem orbitalen Kanaleingang und dem fazialen Kanalausgang des linken Canalis infraorbitalis im Frontalschnitt, RLCSR: relative Länge des rechten Canalis infraorbitalis in der Sagittalebene
* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$

4.3 Projektivische Winkelmaße des Canalis infraorbitalis

Die Mittelwerte und Standardabweichungen der projektivischen Winkel wurden in Tabelle 7 aufgeführt. Für die Winkel der rechten Seite wurde die Verteilung der Werte grafisch in Form von Boxplots dargestellt (Abb. 21-22). Die projektivischen Winkel sind bei den Strepsirrhini mit Ausnahme vom Winkel WSF spitz. Die adulten Haplorrhini haben ausschließlich spitze Winkel. Bei den juvenilen Schimpansenpräparaten ist der

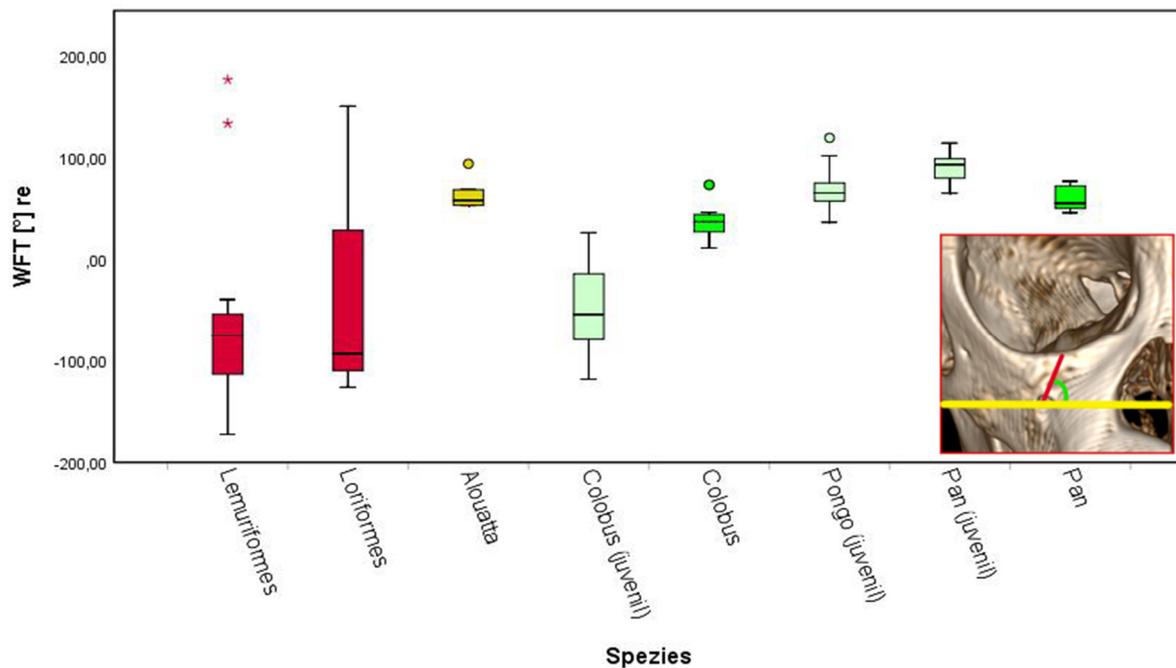
projektivische Winkel WFT annähernd rechtwinklig. Ansonsten unterscheiden sich die restlichen Winkel für die juvenilen und adulten Schimpansen nur minimal. Im Vergleich zu den adulten Colobuspräparaten wird der Winkel WSF bei den juvenilen Colobuspräparaten stumpf. Die restlichen Winkel sind bei den juvenilen Colobuspräparaten wie bei den adulten Colobuspräparaten ebenfalls spitz. Die projektivischen Winkel sind bei den Orang-Utans ausschließlich spitz. Der Mann-Whitney-U-Test zeigte signifikanten Unterschiede für die projektivischen Winkelmaße zwischen den adulten Strepsirrhini und den adulten Haplorrhini. Die Ergebnisse des U-Tests sind in Tabelle 8 dargestellt.

Tab. 7: Mittelwerte und Standardabweichungen der projektivischen Winkelmaße des Canalis infraorbitalis für adulte Strepsirrhini, sowie juvenile und adulte Haplorrhini

	n	WFT _{re}		WTS _{re}		WSF _{re}		WFT _{li}		WTS _{li}		WSF _{li}	
		\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD
Strepsirrhini													
Lemuriformes	13	-58,69	103,8	-5,01	11,75	96,15	10,34	-65,1	104,94	-4,89	11,84	97,15	10,66
Loriformes	4	-40,7	128,48	-4,93	4,26	97,68	6,68	-37,3	137,75	-3,73	1,91	99,9	7,87
Haplorrhini (adult)													
<i>Pan</i>	5	60,06	13,68	10,48	4,88	73,26	4,2	68,48	12,93	10,48	5,5	70,32	3,69
<i>Colobus</i>	11	39,63	19,40	14,6	10,46	76,75	8,32	41,26	44,11	8,67	5,04	79,55	9,48
<i>Alouatta</i>	5	65,42	17,17	15,02	14,15	57,5	10,28	67,18	18,72	10,44	10,63	62,98	10,15
Haplorrhini (juvenil)													
<i>Pan</i>	11	89,95	14,79	-0,23	4,98	70,61	5,12	92,58	16,04	-0,09	7,16	72,11	5,43
<i>Colobus</i>	7	-47,51	50,73	14,44	17,12	95,64	17,22	-47,6	44,67	13,16	15,15	102,6	13,81
<i>Pongo</i>	9	71,97	25,07	7,36	10,35	69,48	7,16	67,88	29,08	9,56	11,45	70,45	4,7

n: Anzahl, \bar{x} : Mittelwert, SD: Standardabweichung, WFT_{re}: projektivischer Winkel zwischen LCFR und der Sagittalebene, WTS_{re}: projektivischer Winkel zwischen LCTR und der Transversalebene, WSF_{re}: projektivischer Winkel zwischen LCSR und der Frontalebene, WFT_{li}: projektivischer Winkel zwischen LCFL und der Transversalebene, WTS_{li}: projektivischer Winkel zwischen LCTL und der Sagittalebene, WSF_{li}: projektivischer Winkel zwischen LCSL und der Frontalebene

Ausrichtung des rechten Canalis infraorbitalis in der Frontalebene



Ausrichtung des rechten Canalis infraorbitalis in der Transversalebene

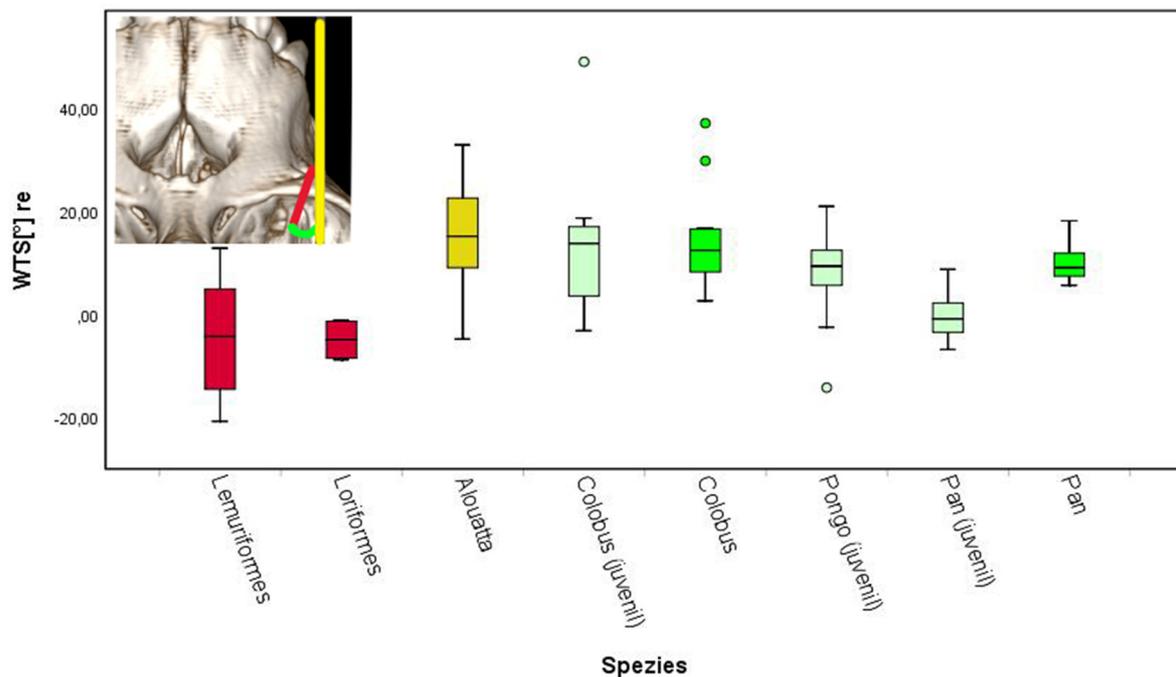


Abb. 21: Boxplots zur Darstellung des projektivischen Winkels zwischen der projektivischen Länge des rechten Canalis infraorbitalis im Frontalschnitt LCFR und der Transversalebene (WFT_{re} , oben) und des projektivischen Winkels zwischen der projektivischen Länge des rechten Canalis infraorbitalis im Transversalschnitt LCTR und der Sagittalebene (WTS_{re} , unten) für Strepsirrhini (rot), Platyrrhini (gelb) und Catarrhini (grün). Juvenile Catarrhini sind hellgrün markiert. Im Inset ist WFT_{re} (oben) und WTS_{re} (unten) in grün dargestellt.

Ausrichtung des rechten Canalis infraorbitalis in der Sagittalebene

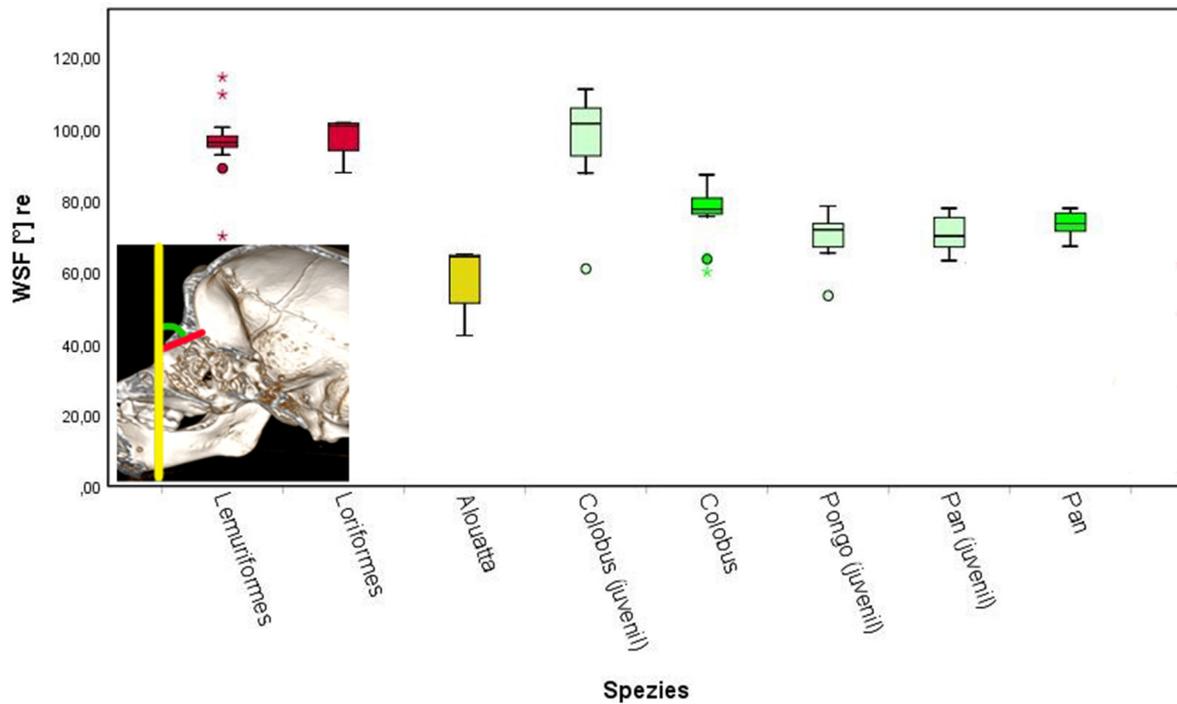


Abb. 22: Boxplots zur Darstellung des projektivischen Winkels zwischen der projektivischen Länge des rechten Canalis infraorbitalis im Sagittalschnitt LCSR und der Frontalebene (WSF_{re}) für Strepsirrhini (rot), Platyrrhini (gelb) und Catarrhini (grün). Juvenile Catarrhini sind hellgrün markiert. Im Inset ist WSF in grün dargestellt.

Tab. 8: Mittlere Ränge und Ergebnisse des U-Tests für die projektivischen Winkelmaße des Canalis infraorbitalis der adulten Strepsirrhini und adulten Haplorrhini

	Strepsirrhini		Haplorrhini	
	n	mR	n	mR
WFT _{re}	17	12,71	21	25***
WTS _{re}	17	10,88	21	26,48***
WSF _{re}	17	29,24***	21	11,62
WFT _{li}	17	12,76	21	24,95***
WTS _{li}	17	11,47	21	26***
WSF _{li}	17	28,76***	21	12

n: Anzahl, mR: mittlerer Rang, WFT_{re}: projektivischer Winkel zwischen LCFR und der Sagittalebene, WTS_{re}: projektivischer Winkel zwischen LCTR und der Sagittalebene, WSF_{re}: projektivischer Winkel zwischen LCSR und der Frontalebene, WFT_{li}: projektivischer Winkel zwischen LCFL und der Sagittalebene, WTS_{li}: projektivischer Winkel zwischen LCTL und der Sagittalebene, WSF_{li}: projektivischer Winkel zwischen LCSL und der Frontalebene, *** p<0,001

4.4 Typisierung des Canalis infraorbitalis

Anhand der Winkelmessung konnten vier Verlaufstypen des Canalis infraorbitalis dargestellt werden (s. Kap. 3.2.2.3). Dabei zeigte sich, dass Kanaltyp 1 mit einer Verlaufsrichtung von kranio-lateral nach kaudomedial bei den Strepsirrhini, adulten Haplorrhini und juvenilen Haplorrhini vorkam. Eine vermehrte Häufigkeit vom Typ 1 konnte bei den juvenilen Schädeln der Schimpansen beobachtet werden. Kanaltyp 2 mit Verlaufsrichtung von kranio-medial nach kaudolateral kam nur bei den adulten und juvenilen Haplorrhini vor. Bei den Strepsirrhini konnte der Kanaltyp 2 nicht nachgewiesen werden. Kanaltyp 3 mit einer Verlaufsrichtung von kaudomedial nach kranio-lateral kam nur bei den Strepsirrhini der Infraordnung Lemuriformes und den Colobuspräparaten vor. Kanaltyp 4 mit einer Verlaufsrichtung von kaudolateral nach kranio-medial konnte nur bei den Strepsirrhini und den juvenilen Schädeln der Mantelaffen beobachtet werden. In der Tabelle 9 und der Abbildung 23 sind die Häufigkeiten der Kanaltypen für jede Spezies dargestellt.

Anschließend wurde für jeden Kanaltyp eine repräsentative Abbildung erstellt, in welcher der Canalis infraorbitalis mittels 3D-Rekonstruktion visualisiert wurde. In diesen 3D-Rekonstruktionen, wurde der Kanal in ein dreidimensionales Schädelmodell eingefügt, um die Nachbarschaftsbeziehungen zur Orbita und dem Sinus maxillaris darzustellen (Abb. 24-27)

Tab. 9: Häufigkeit der verschiedenen Typen des Canalis infraorbitalis bei den adulten Strepsirrhini, sowie den juvenilen und adulten Haplorrhini

	n	Typ 1		Typ 2		Typ 3		Typ 4	
		rechts	links	rechts	links	rechts	links	rechts	links
Strepsirrhini									
Lemuriformes	13	2	2			6	6	5	5
Loriformes	4	1	1					3	3
Haplorrhini (adult)									
<i>Pan</i>	5			5	5				
<i>Colobus</i>	11			11	10		1		
<i>Alouatta</i>	5	1	1	4	4				
Haplorrhini (juvenil)									
<i>Pan</i>	11	6	6	5	5				
<i>Colobus</i>	7			2	1	4	5	1	1
<i>Pongo</i>	9	2	1	7	8				

Typ 1: Verlaufsrichtung von kraniallateral nach kaudomedial, Typ 2: Verlaufsrichtung von kranialmedial nach kaudolateral, Typ 3: Verlaufsrichtung von kaudomedial nach kraniallateral, Typ 4: Verlaufsrichtung von kaudolateral nach kranialmedial

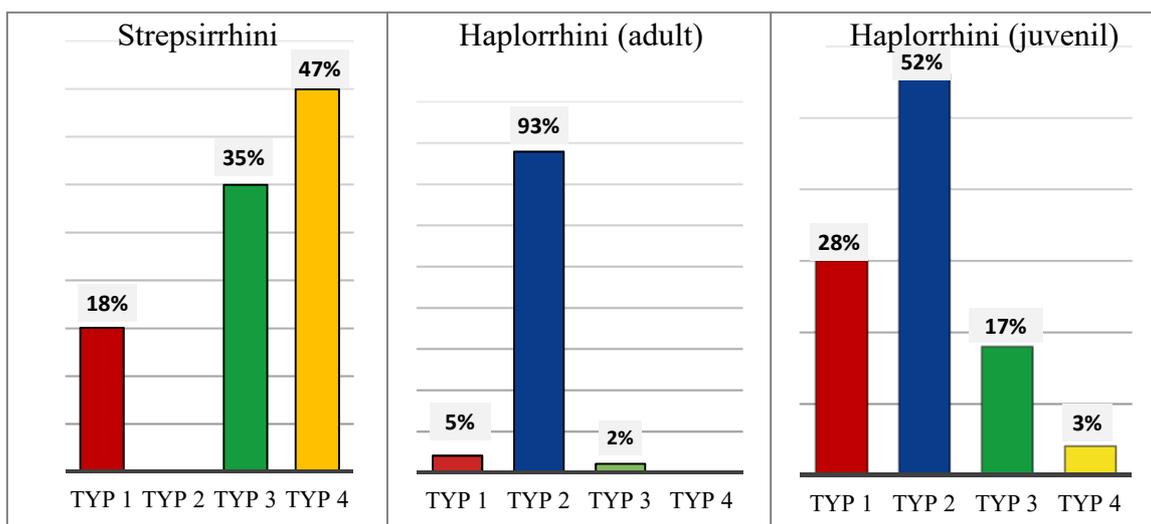


Abb. 23: Säulendiagramme zur Darstellung der prozentualen Verteilung der vier verschiedenen Kanaltypen rechts und links bei den Strepsirrhini sowie den adulten und juvenilen Haplorrhini.

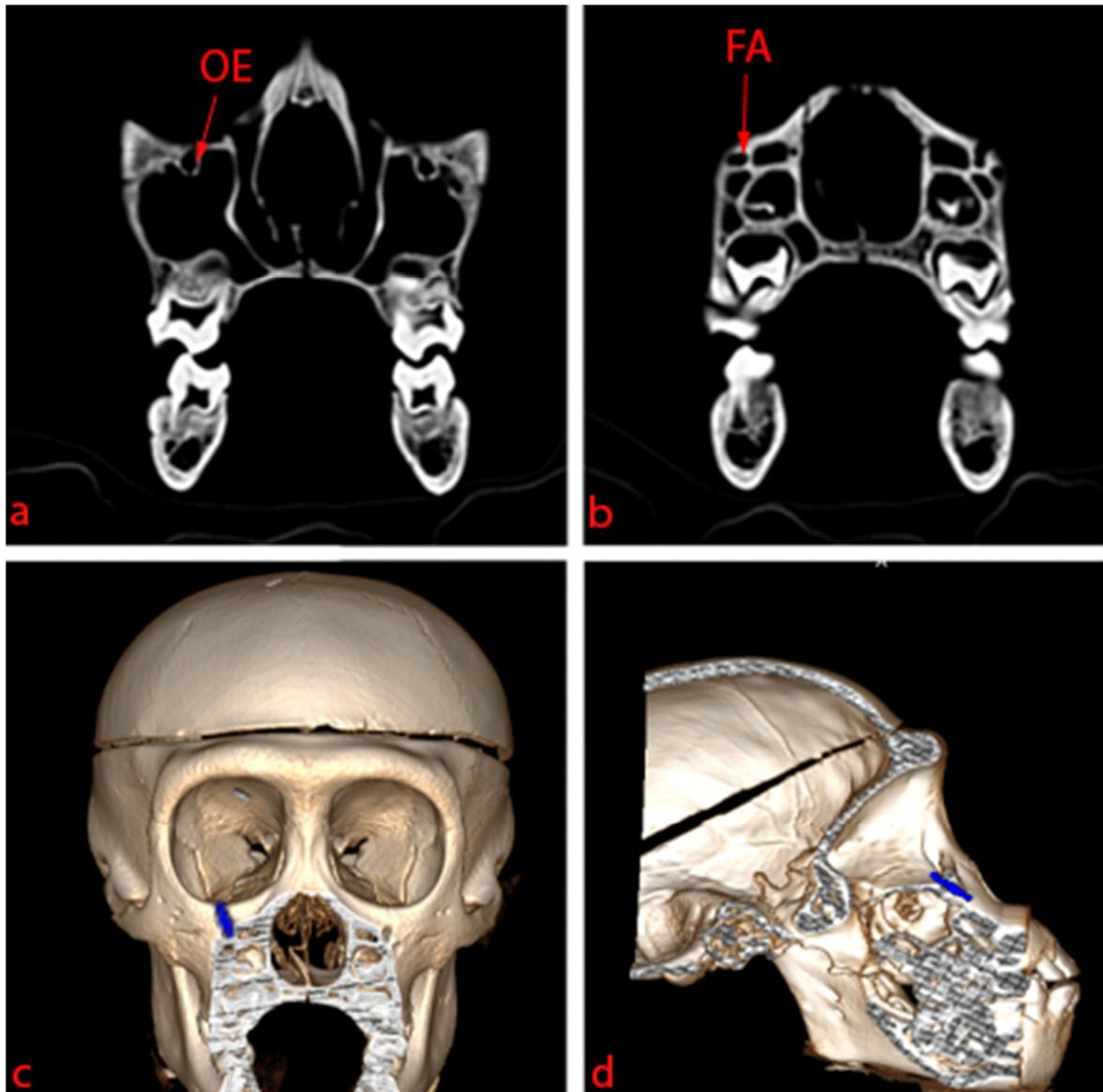


Abb. 24: Koronare CT-Schichtaufnahmen, sowie 3D-Rekonstruktion des juvenilen Schädels eines Schimpansen (*Pan troglodytes*) zur Darstellung des Kanaltyps 1 des Canalis infraorbitalis. **a** koronare Schichtaufnahme auf Höhe des orbitalen Eingangs OE, **b** koronare Schichtaufnahme auf Höhe des fazialen Ausgangs FA des Canalis infraorbitalis. 3D-Rekonstruktion des Schädels mit Visualisierung des Kanaltyps 1 des Canalis infraorbitalis in der Ansicht von anterior (**c**) und lateral (**d**). Die 3D-Figur in **c** ist in Höhe des fazialen Ausgangs des Canalis infraorbitalis frontal und in **d** sagittal geschnitten.

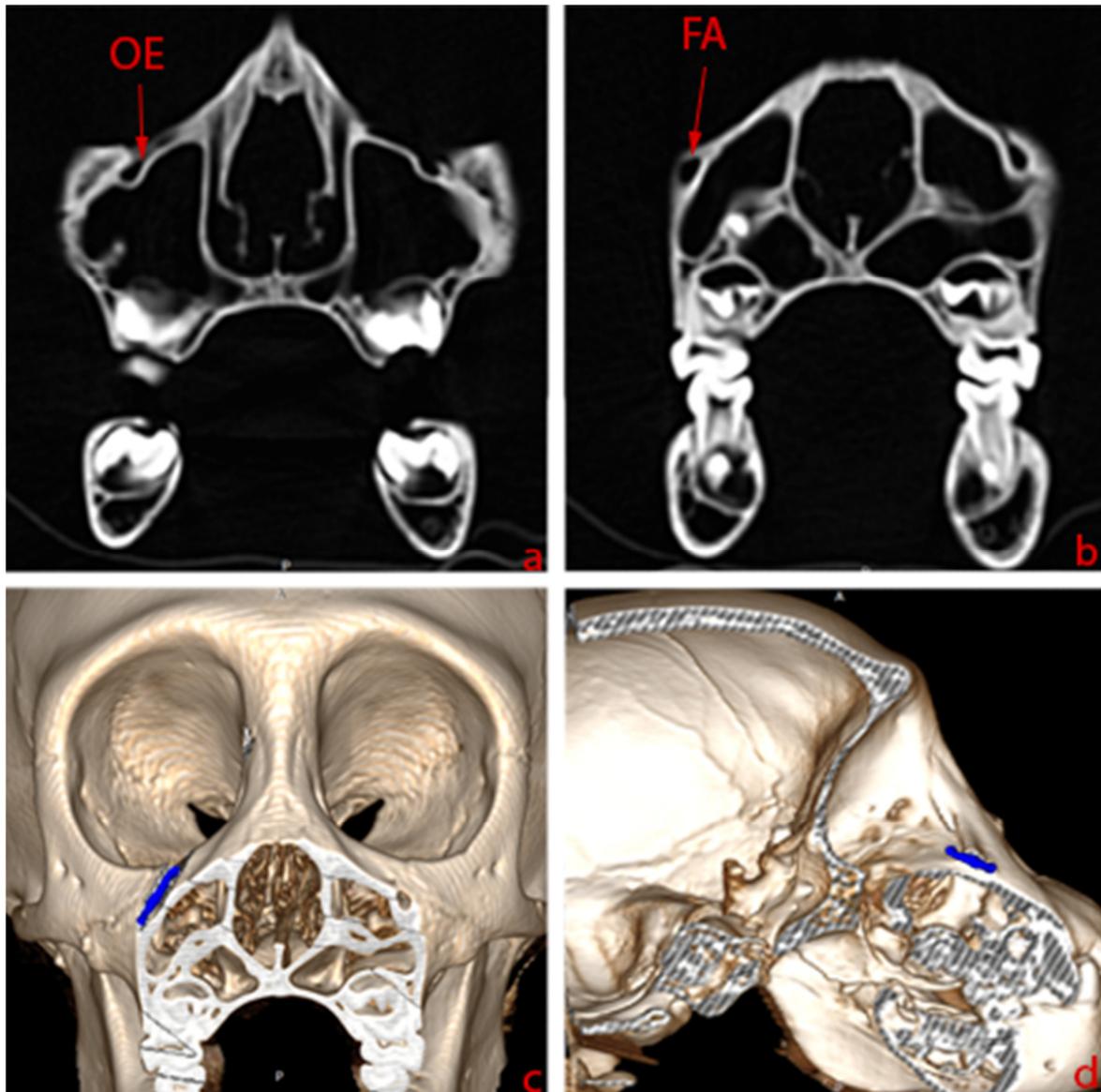


Abb. 25: Koronare CT-Schichtaufnahmen, sowie 3D-Rekonstruktion des juvenilen Schädels eines Schimpansen (*Pan troglodytes*) zur Darstellung des Kanaltyps 2 des Canalis infraorbitalis. **a** koronare Schichtaufnahme auf Höhe des orbitalen Eingangs OE, **b** koronare Schichtaufnahme auf Höhe des fazialen Ausgangs FA des Canalis infraorbitalis. 3D-Rekonstruktion des Schädels mit Visualisierung des Kanaltyps 2 des Canalis infraorbitalis in der Ansicht von anterior (**c**) und lateral (**d**). Die 3D-Figur in **c** ist in Höhe des fazialen Ausgangs des Canalis infraorbitalis frontal und in **d** sagittal geschnitten.

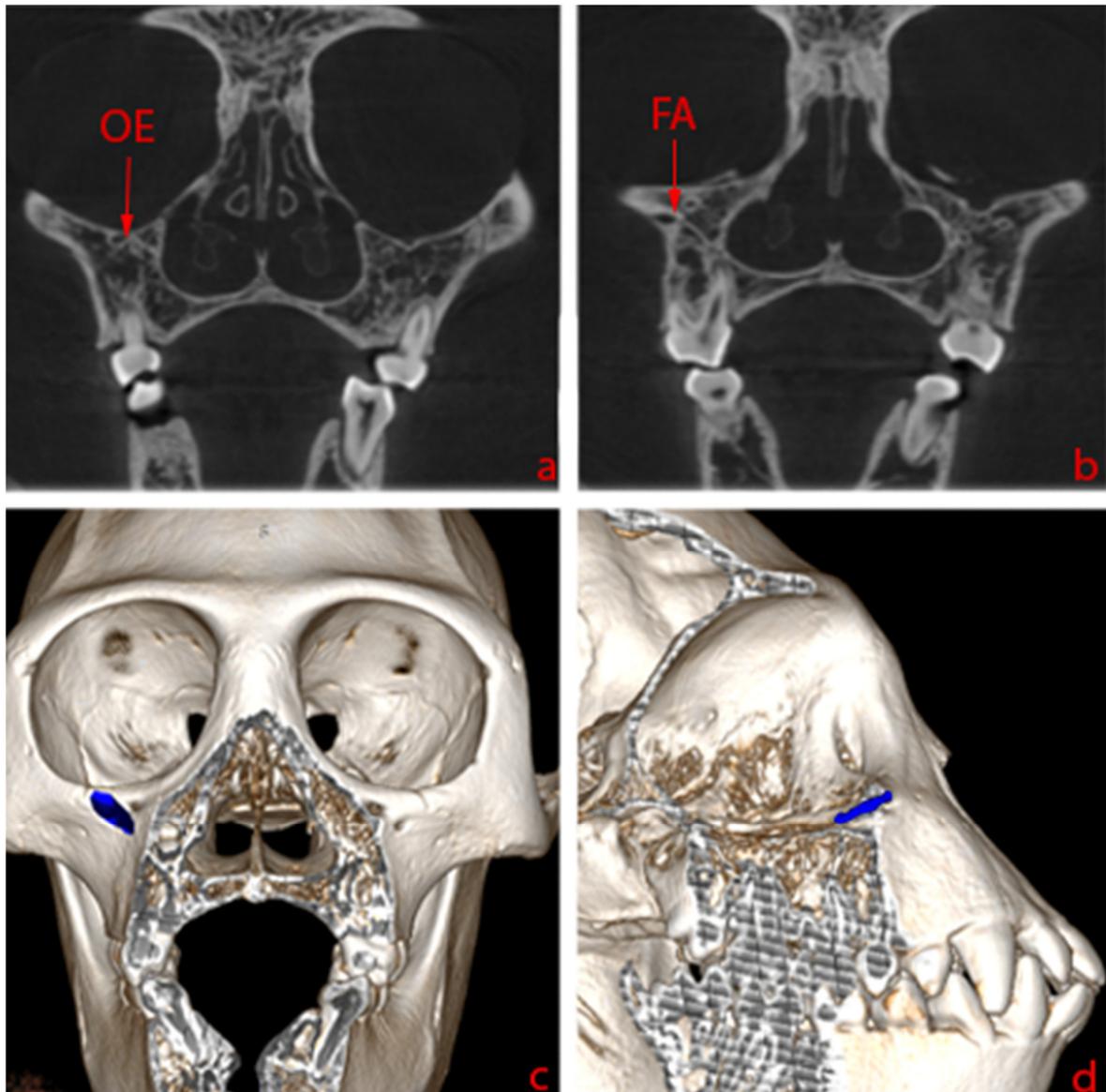


Abb. 26: Koronare CT-Schichtaufnahmen, sowie 3D-Rekonstruktion des juvenilen Schädel eines Mantelaffen (*Colobus guereza*) zur Darstellung des Kanaltyps 3 des Canalis infraorbitalis. **a** koronare Schichtaufnahme auf Höhe des orbitalen Eingangs OE, **b** koronare Schichtaufnahme auf Höhe des fazialen Ausgangs FA des Canalis infraorbitalis. 3D-Rekonstruktion des Schädels mit Visualisierung des Kanaltyps 3 des Canalis infraorbitalis in der Ansicht von anterior (**c**) und lateral (**d**). Die 3D-Figur in **c** ist in Höhe des fazialen Ausgangs des Canalis infraorbitalis frontal und in **d** sagittal geschnitten.

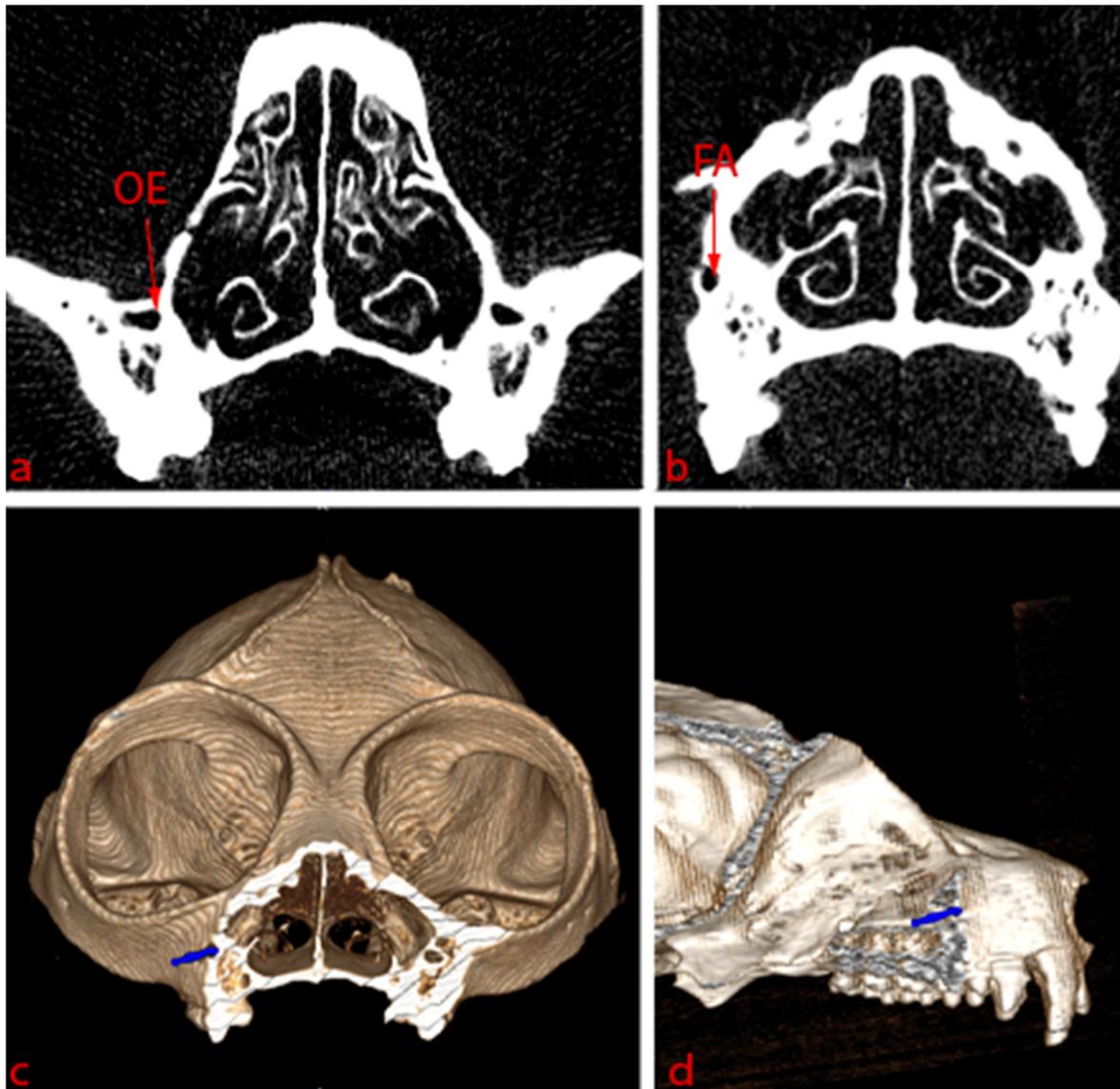


Abb. 27: Koronare CT-Schichtaufnahmen, sowie 3D-Rekonstruktion des adulten Schädels eines Strepsirrhini der Spezies *Nycticebus coucang* zur Darstellung des Kanaltyps 4 des Canalis infraorbitalis. **a** koronare Schichtaufnahme auf Höhe des orbitalen Eingangs OE, **b** koronare Schichtaufnahme auf Höhe des fazialen Ausgangs FA des Canalis infraorbitalis. 3D-Rekonstruktion des Schädels mit Visualisierung des Kanaltyps 4 des Canalis infraorbitalis in der Ansicht von anterior (**c**) und lateral (**d**). Die 3D-Figur in **c** ist in Höhe des fazialen Ausgangs des Canalis infraorbitalis frontal und in **d** sagittal geschnitten.

4.5 Ergebnisse der Schädelmessungen

Um die Maße des Canalis infraorbitalis in Relation zur Schädelmorphologie setzen zu können, wurden die linearen Schädelmaße ermittelt. In Tabelle 10 sind die Mittelwerte und Standardabweichungen für die linearen Schädelmaße der Untersuchungsgruppen zusammengefasst.

4.5.1 Lineare Schädelmaße

Tab. 10: Mittelwerte und Standardabweichungen der linearen Schädelmaße für adulte Strepsirrhini, sowie juvenile und adulte Haplorrhini. Angaben in cm bzw. cm³

	SBL		GSL		OGH		MGB		MAB		JBB		IOB								
	n	\bar{x}	SD	n	\bar{x}	SD	n	\bar{x}	SD	n	\bar{x}	SD	n	\bar{x}	SD						
Strepsirrhini																					
Lemuriformes	13	4,33	1,6	12	5,86	1,91	12	2,41	0,77	13	3,02	0,89	13	2,14	0,69	13	4,17	1,11	13	1,68	0,66
Loriformes	4	3,88	0,7	4	4,9	1,17	4	1,85	0,41	4	2,62	0,9	4	1,69	3,14	4	3,57	0,86	4	0,92	0,35
Haplorrhini																					
<i>Pan</i>	5	9,66	0,66	5	13,5	1,4	5	8,87	1,4	5	8,8	0,73	5	6,02	0,59	5	11,5	0,82	5	1,85	0,36
<i>Colobus</i>	11	6,62	0,38	11	8,28	0,57	11	4	0,3	11	5,48	0,29	11	3,61	0,15	11	7,24	0,26	11	1,12	0,15
<i>Alouatta</i>	5	6,64	1,08	5	8,82	0,91	5	3,51	0,46	5	5,58	0,71	5	3,84	0,57	5	7,01	0,65	5	1,32	0,09
Haplorrhini (juvenil)																					
<i>Pan</i>	11	7,05	0,65	11	7,96	0,78	11	5,21	0,74	11	5,86	0,58	11	4,39	0,4	11	7,58	0,79	11	1,01	0,13
<i>Colobus</i>	7	5,45	0,33	7	6,09	0,57	7	3,14	0,29	7	4,57	0,36	7	3,15	0,19	7	6,15	0,48	7	0,8	0,09
<i>Pongo</i>	9	6,94	0,78	9	8,97	1,26	9	5,1	0,59	9	6,97	0,73	9	4,54	0,48	9	8,75	1,04	9	0,77	0,19

n: Anzahl, \bar{x} : Mittelwert, SD: Standardabweichung, SBL: Schädelbasislänge, GSL: Gesichtsbasislänge, OGH: Obergesichtshöhe, MGB: Mittelgesichtsbreite, MAB: Maxilloalveolarbreite, JBB: Jochbogenbreite, IOB: Interorbitalbreite

4.5.2 Volumina von Orbita, Sinus maxillaris und Gesichtsschädel

Die Mittelwerte und Standardabweichungen der Volumina der Orbita, des Sinus maxillaris und des Gesichtsschädels sind in Tabelle 11 eingetragen.

Tab. 11: Mittelwerte und Standardabweichungen der Volumina von Orbita und Sinus maxillaris für adulte Strepsirrhini, sowie juvenile und adulte Haplorrhini. Angaben in cm³

	VOR			VOL			VSMR			VSML			GSV		
	n	\bar{x}	SD	n	\bar{x}	SD	n	\bar{x}	SD	n	\bar{x}	SD	n	\bar{x}	SD
Strepsirrhini															
Lemuriformes	13	2,82	1,9	13	2,87	1,95	13	0,63	0,79	13	0,59	0,73	11	19,03	15,28
Loriformes	4	1,71	0,87	4	1,71	0,84	4	0,15	0,11	4	0,15	0,1	4	8,51	6,5
Haplorrhini (adult)															
<i>Pan</i>	5	24,73	3,91	5	24,78	3,6	5	26,4	8,11	5	27,65	9,19	5	380,84	101,3
<i>Colobus</i>	9	9,27	1,09	10	9,32	0,98							11	71,99	11,78
<i>Alouatta</i>	5	6,9	1,01	5	6,86	1,17	5	4,26	1,74	5	4,32	1,77	5	57,67	26,5
Haplorrhini (juvenil)															
<i>Pan</i>	11	13,48	2,16	11	13,2	2,28	11	4,85	1,98	11	4,85	2,09	11	108,14	30,1
<i>Colobus</i>	7	6,54	0,84	7	6,54	0,83							7	39,1	8,52
<i>Pongo</i>	9	12,24	2,04	9	12,51	2,1	9	4,64	2,51	9	4,58	2,67	9	125,13	38,61

n: Anzahl, \bar{x} : Mittelwert, SD: Standardabweichung, VOR: Volumen der rechten Orbita, VOL: Volumen der linken Orbita, VSMR: Volumen des rechten Sinus maxillaris, VSML: Volumen des linken Sinus maxillaris, GSV: Gesichtsschädelvolumen

4.5.3 Schädelindizes

Der Index ISOR, mit dem das Verhältnis vom Volumen des Sinus maxillaris zum Volumen der Orbita auf der rechten Seite bestimmt wird, zeigt bei den adulten Haplorrhini die größten Werte. Der Index I_{SM}, mit dem das Volumen des Sinus maxillaris in Relation zum Gesichtsschädel gesetzt wurde, zeigt ebenfalls die größten Werte bei den adulten Haplorrhini. Bei den Mantelaffen konnten die beiden Indizes aufgrund des Fehlens eines Sinus maxillaris nicht berechnet werden. Mit dem Index I_o konnte das Volumen der Orbita auf das Gesichtsschädelvolumen bezogen werden. Hier kommen die größten Werte bei den

Strepsirrhini vor. Zusätzlich wurde für eine bessere Vergleichbarkeit sowie Darstellung der Indizes der Index I_{RLCSR} für die relative Kanallänge erhoben.

$$I_{RLCSR} = \frac{LCSR}{GSL} \times 100$$

Die Mittelwerte und Standardabweichungen sind in Tabelle 12 aufgeführt und in Abbildung 28 grafisch in Form eines Netzdiagramms dargestellt. Um die Unterschiede besser zu visualisieren, wurden die Werte im Netzdiagramm mit dem natürlichen Logarithmus logarithmiert.

Tab. 12: Mittelwerte und Standardabweichungen der erhobenen Indizes für adulte Strepsirrhini, sowie juvenile und adulte Haplorrhini

	ISOR			I _O			I _{SM}			I _{RLCSR}		
	n	\bar{x}	SD	n	\bar{x}	SD	n	\bar{x}	SD	n	\bar{x}	SD
Strepsirrhini												
Lemuriformes	13	16,15	12,95	11	29,59	32,85	11	4,22	3,59	12	9,68	4,36
Loriformes	4	9,01	4,16	4	24,64	8,22	4	2,11	1,16	4	12,54	5,21
Haplorrhini												
<i>Pan</i>	5	104,76	20,81	5	6,68	0,92	5	6,94	1,38	5	10,12	1,03
<i>Colobus</i>				9	13,59	1,58				11	4,19	0,69
<i>Alouatta</i>	5	64,44	28,82	5	13,35	3,92	5	7,91	3,05	5	7,91	1,16
Haplorrhini (juvenil)												
<i>Pan</i>	11	34,93	12,18	11	13,07	2,66	11	4,32	1,13	11	9,11	1,52
<i>Colobus</i>				7	17,01	1,5				7	4,34	1,38
<i>Pongo</i>	9	36,37	15,42	9	10,15	1,42	9	3,58	1,27	9	8,76	2,34

n: Anzahl, \bar{x} : Mittelwert, SD: Standardabweichung, ISOR: Index für das Verhältnis vom Volumen des rechten Sinus maxillaris zum Volumen der rechten Orbita, I_O: Index für das Verhältnis vom Volumen der rechten Orbita zum Gesichtsschädelvolumen, I_{SM}: Index für das Verhältnis vom Volumen des rechten Sinus maxillaris zum Gesichtsschädelvolumen, I_{RLCSR}: Index für die relative Länge des rechten Canalis infraorbitalis in der Sagittalebene

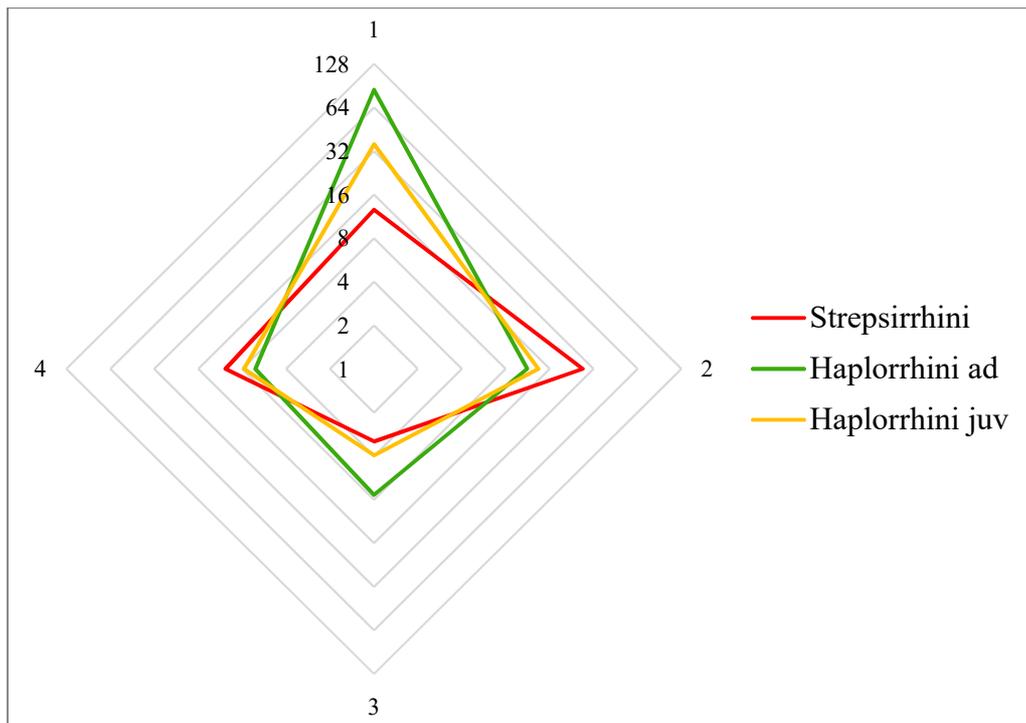


Abb. 28: Netzdiagramm zur Darstellung der logarithmierten Werte für die erhobenen Indizes für adulte Strepsirrhini sowie für juvenile und adulte Haplorrhini, 1: Index für das Verhältnis vom Volumen des rechten Sinus maxillaris zum Volumen der rechten Orbita (ISOR), 2: Index für das Verhältnis vom Volumen der rechten Orbita zum Gesichtsschädelvolumen (I_O), 3: Index für das Verhältnis vom Volumen des rechten Sinus maxillaris zum Gesichtsschädelvolumen (I_{SM}), 4: Index für die relative Länge des rechten Canalis infraorbitalis in der Sagittalebene (I_{RLCSR})

4.6 Einfluss von Orbita und Sinus maxillaris auf die Morphologie des Canalis infraorbitalis

Eine Kernfrage dieser Arbeit war, ob die Beziehung von Orbita und Sinus maxillaris zueinander Auswirkungen auf die Ausrichtung oder Größe des Canalis infraorbitalis hat. Dazu wurden die erhobenen Schädelindizes verwendet. Die Mittelwerte der Indizes wurden für die einzelnen Verlaufstypen des rechten Canalis infraorbitalis ermittelt und in Tabelle 13 eingetragen. Zusätzlich wurde für die adulten Strepsirrhini und adulten Haplorrhini jeweils ein Netzdiagramm zur grafischen Darstellung erstellt (Abb.29-30).

Tab. 13: Mittelwerte der erhobenen Indizes für die vier verschiedenen Kanaltypen der adulten Strepsirrhini, sowie der juvenilen und adulten Haplorrhini

	ISOR		I _O		I _{SM}		I _{RLCSR}	
	n	\bar{x}	n	\bar{x}	n	\bar{x}	n	\bar{x}
Strepsirrhini								
Typ 1	3	29,24	3	21,38	3	5,33	3	11,47
Typ 3	6	9,59	5	44,81	5	4,38	5	6,22
Typ 4	8	12,59	7	19,42	7	2,43	8	12,61
Haplorrhini								
Typ 1	1	20,69	1	15,58	1	3,22	1	8,66
Typ 2	9	91,7	18	11,5	9	7,89	20	6,38
Haplorrhini (juvenil)								
Typ 1	8	35,31	8	12,15	8	4,1	8	9,11
Typ 2	12	35,76	14	12,29	12	3,91	14	8,25
Typ 3			4	16,49			4	4,05
Typ 4			1	18,87			1	4,81

n: Anzahl, \bar{x} : Mittelwert, ISOR: Index für das Verhältnis vom Volumen des rechten Sinus maxillaris zum Volumen der rechten Orbita, I_O: Index für das Verhältnis vom Volumen der rechten Orbita zum Gesichtsschädelvolumen, I_{SM}: Index für das Verhältnis vom Volumen des rechten Sinus maxillaris zum Gesichtsschädelvolumen, I_{RLCSR}: Index für die relative Länge des rechten Canalis infraorbitalis in der Sagittalebene, Typ 1: Verlaufsrichtung von kranio-lateral nach kaudomedial, Typ 2: Verlaufsrichtung von kranio-medial nach kaudolateral, Typ 3: Verlaufsrichtung von kaudomedial nach kranio-lateral, Typ 4: Verlaufsrichtung von kaudolateral nach kranio-medial

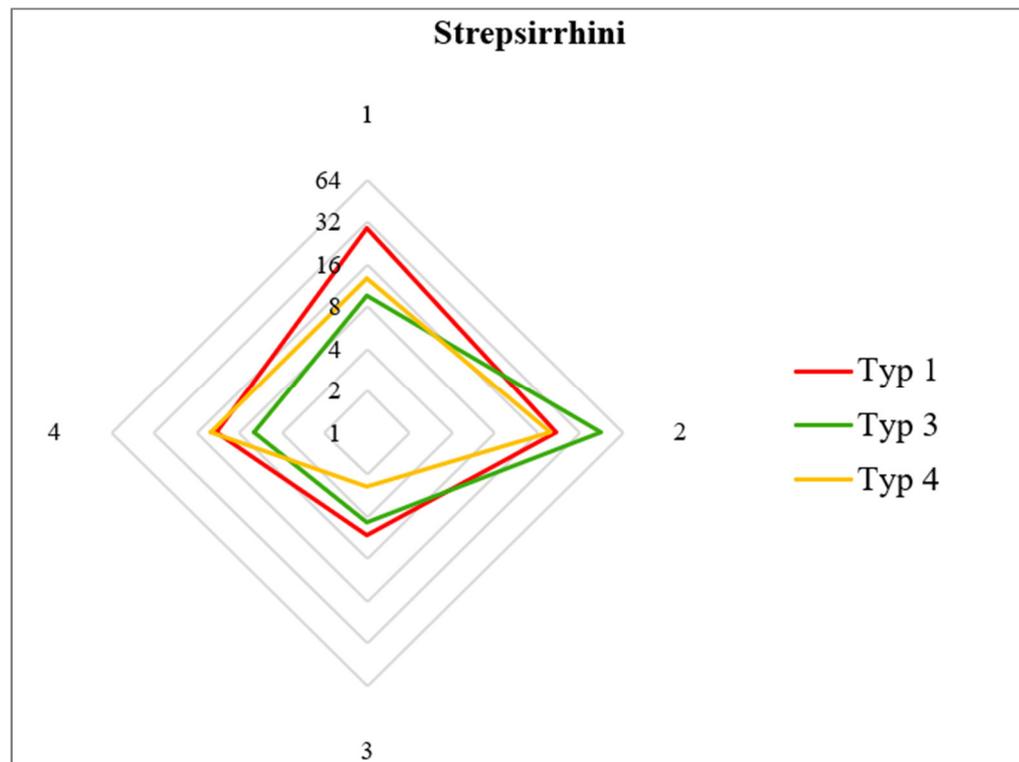


Abb. 29: Netzdiagramm zur Darstellung der logarithmierten Werte für die erhobenen Indizes der verschiedenen Kanaltypen des rechten Canalis infraorbitalis bei den adulten Strepsirrhini, 1: Index für das Verhältnis vom Volumen des rechten Sinus maxillaris zum Volumen der rechten Orbita (ISOR), 2: Index für das Verhältnis vom Volumen der rechten Orbita zum Gesichtsschädelvolumen (I_O), 3: Index für das Verhältnis vom Volumen des rechten Sinus maxillaris zum Gesichtsschädelvolumen (I_{SM}), 4: Index für die relative Länge des rechten Canalis infraorbitalis in der Sagittalebene (I_{RLCSR})

Bei den adulten Strepsirrhini ist der Verlaufstyp 1 (kranio-lateral nach kaudomedial) des Canalis infraorbitalis bei großen Werten der Indizes ISOR, I_{SM} und I_{RLCSR} , sowie bei mittleren Werten von I_O zu erwarten. Der Verlaufstyp 3 (kaudomedial nach kranio-lateral) des Canalis infraorbitalis kommt hingegen bei kleinen Werten von ISOR und I_{RLCSR} , sowie bei großen Werten von I_{SM} und mittleren Werten von I_O vor. Für den Verlaufstyp 4 (kaudolateral nach kranio-medial) sind die Werte von I_O sowie von I_{SM} klein und von I_{RLCSR} groß.

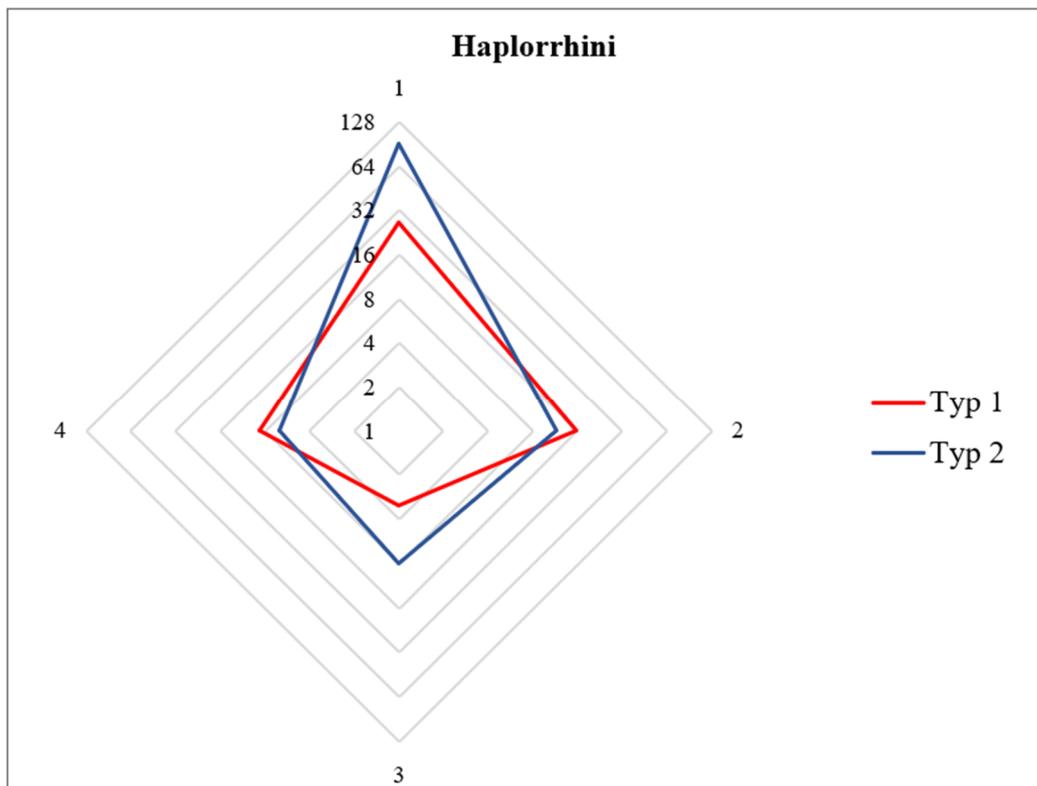


Abb. 30: Netzdiagramm zur Darstellung der logarithmierten Werte für die erhobenen Indizes der verschiedenen Kanaltypen des rechten Canalis infraorbitalis bei den adulten Haplorrhini, 1: Index für das Verhältnis vom Volumen des rechten Sinus maxillaris zum Volumen der rechten Orbita (ISOR), 2: Index für das Verhältnis vom Volumen der rechten Orbita zum Gesichtsschädelvolumen (I_O), 3: Index für das Verhältnis vom Volumen des rechten Sinus maxillaris zum Gesichtsschädelvolumen (I_{SM}), 4: Index für die relative Länge des rechten Canalis infraorbitalis in der Sagittalebene (I_{RLCSR})

Bei den adulten Haplorrhini kommt der Verlaufstyp 1 (kranio-lateral nach kaudomedial) des Canalis infraorbitalis an einem Präparat vor. An diesem sind im Vergleich zu dem Verlaufstyp 2 (kranio-medial nach kaudolateral) kleinere Werte für ISOR und I_{SM} zu beobachten. Die Werte von I_O und I_{RLCSR} sind hingegen bei Verlaufstyp 1 größer.

Unter Berücksichtigung der juvenilen Haplorrhini (s. Tab. 13) fällt auf, dass die Werte von ISOR, I_O und I_{SM} für den Verlaufstyp 1 und den Verlaufstyp 2 im Vergleich zu den adulten Haplorrhini kaum Unterschiede aufweisen. Die Verlaufstypen 3 und 4 haben bei den juvenilen Haplorrhini die größeren Werte von I_O und die kleineren Indizes der relativen Kanallängen (I_{RLCSR}), als die ersten beiden Verlaufstypen. Für die Verlaufstypen 3 und 4

konnten keine Werte von ISOR und I_{SM} bestimmt werden, da die beiden Verlaufstypen bei den juvenilen Haplorrhini ausschließlich bei den Schädeln der *Colobus* vorkamen.

Zusätzlich wurden die Werte für die Indizes einer Rangkorrelationsanalyse unterzogen (Tab.14). Dabei korrelieren die Werte von I_{RLCSR} und I_O signifikant für die adulten Strepsirrhini ($p=0,04$) und für die adulten Haplorrhini ($p=0,001$). Der Index, der das Volumen des Sinus maxillaris im Verhältnis zum Gesichtsschädelvolumen (I_{SM}) beschreibt, korrelierte nicht mit dem Index der relativen Kanallänge.

Tab. 14: Rangkorrelationsanalyse der erhobenen Schädelindizes für die adulten Strepsirrhini und adulten Haplorrhini

	I_{RLCSR}	ISOR	I_O	I_{SM}
I_{RLCSR}			12	
ISOR			2	
I_O	12	2		1
I_{SM}			1	

ISOR: Index für das Verhältnis vom Volumen des rechten Sinus maxillaris zum Volumen der rechten Orbita, I_O : Index für das Verhältnis vom Volumen der rechten Orbita zum Gesichtsschädelvolumen, I_{SM} : Index für das Verhältnis vom Volumen des rechten Sinus maxillaris zum Gesichtsschädelvolumen, I_{RLCSR} : Index für die relative Länge des rechten Canalis infraorbitalis in der Sagittalebene

- 1: Signifikante Korrelation des Variablenpaares innerhalb der adulten Strepsirrhini
- 2: Signifikante Korrelation des Variablenpaares innerhalb der adulten Haplorrhini

4.7 Ergebnisse der Rangkorrelationsanalyse

Um die Beziehungen des Canalis infraorbitalis zu den erhobenen Schädelmaßen und den Volumina von Orbita und Sinus maxillaris genauer zu analysieren, wurden zusätzlich zu den Untersuchungen aus Kapitel 4.6 weitere Korrelationsanalysen durchgeführt (Tab. 15-17). Im Anschluss wurde eine einfache lineare Regressionsanalyse durchgeführt. Die Berechnung der Regressionen erfolgte unter Verwendung des natürlichen Logarithmus. In Tabelle 18 sind die Regressionsgleichungen beschrieben und in den Abbildungen 31-34 dargestellt.

Bei den Strepsirrhini sind mit Ausnahme von CHR1 und CHL1 alle Abstände des Ein- und Ausganges des Canalis infraorbitalis zu definierten Messpunkten und projektivischen Längenmaße des Canalis infraorbitalis im Sagittalschnitt untereinander sowie mit den linearen Schädelmaßen und den Volumina von Orbita und Sinus maxillaris signifikant korreliert. Bei den Haplorrhini korreliert zusätzlich signifikant der Abstand zwischen dem fazialen Ausgang des Canalis infraorbitalis und der Margo inferior der Orbita (CHR1, CHL1) mit der projektivischen Kanallänge im Sagittalschnitt, den linearen Schädelmaßen und den Volumina von Orbita und Sinus maxillaris.

Tab. 15: Rangkorrelationsanalyse der Abstände des Ein- und Ausganges des Canalis infraorbitalis zu definierten Messpunkten, sowie der projektivischen Länge des Canalis infraorbitalis im Sagittalschnitt untereinander für die adulten Strepsirrhini und adulten Haplorrhini

	CBR1	CBR2	CHR1	CBL1	CBL2	CHL1	LCSR	LCSL
CBR1		12	2	12	12	2	12	12
CBR2	12		2	12	12	2	12	12
CHR1	2	2		2	2	12	2	2
CBL1	12	12	2		12	2	12	12
CBL2	12	12	2	12		2	12	12
CHL1	2	2	12	2	2		2	2
LCSR	12	12	2	12	12	2		12
LCSL	12	12	2	12	12	2	12	

n: Anzahl, CBR1: Horizontaler Abstand zwischen dem orbitalen Kanaleingang rechts und der Mediansagittalebene, CBR2: Horizontaler Abstand zwischen dem fazialen Kanalausgang rechts und der Mediansagittalebene, CBL1: Horizontaler Abstand zwischen dem orbitalen Kanaleingang links und der Mediansagittalebene, CBL2: Horizontaler Abstand zwischen dem fazialen Kanalausgang links und der Mediansagittalebene, CHR1: Vertikaler Abstand zwischen dem fazialen Kanalausgang rechts und der Margo orbitalis inferior, CHL1: Vertikaler Abstand zwischen dem fazialen Kanalausgang links und der Margo orbitalis inferior, LCSR: projektivischer Abstand zwischen dem orbitalen Kanaleingang und dem fazialen Kanalausgang des rechten Canalis infraorbitalis in der Sagittalebene, LCSL: projektivischer Abstand zwischen dem orbitalen Kanaleingang und dem fazialen Kanalausgang des linken Canalis infraorbitalis im Sagittalschnitt

1: Signifikante Korrelation des Variablenpaares innerhalb der adulten Strepsirrhini

2: Signifikante Korrelation des Variablenpaares innerhalb der adulten Haplorrhini

Tab. 16: Rangkorrelationsanalyse der Abstände des Ein- und Ausganges des Canalis infraorbitalis zu definierten Messpunkten, sowie der projektivischen Länge des Canalis infraorbitalis im Sagittalschnitt mit den externen Schädelmaßen für die adulten Strepsirrhini und adulten Haplorrhini

	CBR1	CBR2	CHR1	CBL1	CBL2	CHL1	LCSR	LCSL
SBL	12	12	2	12	12	2	12	12
GSL	12	12	2	12	12	2	12	12
OGH	12	12	2	12	12	2	12	12
MGB	12	12	2	12	12	2	12	12
MAB	12	12	2	12	12	2	12	12
JBB	12	12	2	12	12	2	12	12
IOB	12	12	2	12	12	2	12	12

n: Anzahl, CBR1: Horizontaler Abstand zwischen dem orbitalen Kanaleingang rechts und der Mediansagittalebene, CBR2: Horizontaler Abstand zwischen dem fazialen Kanalausgang rechts und der Mediansagittalebene, CBL1: Horizontaler Abstand zwischen dem orbitalen Kanaleingang links und der Mediansagittalebene, CBL2: Horizontaler Abstand zwischen dem fazialen Kanalausgang links und der Mediansagittalebene, CHR1: Vertikaler Abstand zwischen dem fazialen Kanalausgang rechts und der Margo orbitalis inferior, CHL1: Vertikaler Abstand zwischen dem fazialen Kanalausgang links und der Margo orbitalis inferior, LCSR: projektivischer Abstand zwischen dem orbitalen Kanaleingang und dem fazialen Kanalausgang des rechten Canalis infraorbitalis in der Sagittalebene, LCSL: projektivischer Abstand zwischen dem orbitalen Kanaleingang und dem fazialen Kanalausgang des linken Canalis infraorbitalis im Sagittalschnitt, SBL: Schädelbasislänge, GSL: Gesichtsschädellänge, OGH: Obergesichtshöhe, MGB: Mittelgesichtsbreite, MAB: Maxilloalveolarbreite, JBB: Jochbogenbreite, IOB: Interorbitalbreite

1: Signifikante Korrelation des Variablenpaares innerhalb der adulten Strepsirrhini

2: Signifikante Korrelation des Variablenpaares innerhalb der adulten Haplorrhini

Tab. 17: Rangkorrelationsanalyse der Abstände des Ein- und Ausganges des Canalis infraorbitalis zu definierten Messpunkten, sowie der projektivischen Länge des Canalis infraorbitalis im Sagittalschnitt mit den ermittelten Volumina von Orbita, Sinus maxillaris und dem Gesichtsschädel für die adulten Strepsirrhini und adulten Haplorrhini

	CBR1	CBR2	CHR1	CBL1	CBL2	CHL1	LCSR	LCSL
VSML	12	12	2	12	12	2	12	12
VSMR	12	12	2	12	12	2	12	12
VOL	12	12	2	12	12	2	12	12
VOR	12	12	2	12	12	2	12	12
GSV	12	12	2	12	12	2	12	12

n: Anzahl, CBR1: Horizontaler Abstand zwischen dem orbitalen Kanaleingang rechts und der Mediansagittalebene, CBR2: Horizontaler Abstand zwischen dem fazialen Kanalausgang rechts und der Mediansagittalebene, CBL1: Horizontaler Abstand zwischen dem orbitalen Kanaleingang links und der Mediansagittalebene, CBL2: Horizontaler Abstand zwischen dem fazialen Kanalausgang links und der Mediansagittalebene, CHR1: Vertikaler Abstand zwischen dem fazialen Kanalausgang rechts und der Margo orbitalis inferior, CHL1: Vertikaler Abstand zwischen dem fazialen Kanalausgang links und der Margo orbitalis inferior, LCSR: projektivischer Abstand zwischen dem orbitalen Kanaleingang und dem fazialen Kanalausgang des rechten Canalis infraorbitalis in der Sagittalebene, LCSL: projektivischer Abstand zwischen dem orbitalen Kanaleingang und dem fazialen Kanalausgang des linken Canalis infraorbitalis im Sagittalschnitt, VOR: Volumen der rechten Orbita, VOL: Volumen der linken Orbita, VSMR: Volumen des rechten Sinus maxillaris, VSML: Volumen des linken Sinus maxillaris, GSV: Gesichtsschädelvolumen

1: Signifikante Korrelation des Variablenpaares innerhalb der adulten Strepsirrhini

2: Signifikante Korrelation des Variablenpaares innerhalb der adulten Haplorrhini

4.8 Ergebnisse der Regressionsanalyse

Basierend auf den Ergebnissen der Rangkorrelationsanalyse wurde für signifikante Merkmalspaare eine Regressionsanalyse durchgeführt. Die Ergebnisse der Regressionsanalyse wurden in Tabelle 18 bestimmt und in den Abbildungen 31-34 als Streudiagramm dargestellt. Dabei wurde für die Strepsirrhini und Haplorrhini jeweils eine getrennte Regressionsgerade erstellt. Das Ergebnis des Geradenanstiegsvergleichs mittels univariater Varianzanalyse (ANOVA) ist ebenfalls in Tabelle 18 eingetragen. Zunächst wurde das Volumen der Orbita sowie des Sinus maxillaris in Abhängigkeit vom Gesichtsschädelvolumen untersucht. Für beide Merkmale ließ sich eine sehr enge Gruppierung um die Regressionsgerade feststellen. Die Regressionsanalyse zeigte, dass das Volumen der Orbita stärker vom Gesichtsschädelvolumen abhängt als das Volumen des Sinus maxillaris.

Anschließend wurde die projektivische Kanallänge des korrelierenden Merkmalspaaren untersucht. Es zeigte sich, dass der Abstand zwischen dem orbitalen Kanaleingang rechts und der Mediansagittalebene (CBR1) sowie der Abstand zwischen dem fazialen Kanalausgang rechts und der Mediansagittalebene (CBR2) die projektivische Kanallänge stark beeinflusst. Die projektivische Kanallänge zeigte eine besonders starke Abhängigkeit vom Gesichtsschädelvolumen (GSV), der Schädelbasislänge (SBL) und der Gesichtsschädellänge (GSL). Signifikante Unterschiede zwischen den Anstiegen der Regressionsgeraden bei Strepsirrhini und Haplorrhini konnte bei der projektivischen Kanallänge im Sagittalschnitt (LCSR) in Abhängigkeit von der Schädelbasislänge (SBL) festgestellt werden. Die univariate Varianzanalyse zeigte für die restlichen korrelierenden Merkmalspaaren der Regressionsanalyse keine signifikanten Unterschiede im Geradenanstiegsvergleich.

Tab. 18: Einfache lineare Regressionsanalyse für ausgewählte Merkmalspaare mit signifikanter Korrelation

Korrelierendes Merkmalspaar y-x	n	Spezies	R ²	Regressionsgleichung $\ln y = b \cdot \ln x + a$	Univariate Varianzanalyse
VOR - GSV	15	S	0,884	0,59x - 0,32	0,759 ^{ns}
	19	H	0,918	0,62x - 0,64	
VSMR - GSV	15	S	0,716	0,92x - 3,43	0,947 ^{ns}
	10	H	0,889	0,94x - 2,35	
LCSR – CBR1	17	S	0,612	1,34x - 0,51	0,995 ^{ns}
	21	H	0,469	1,32x - 1	
LCSR – CBR2	17	S	0,487	1,53x – 0,36	0,816 ^{ns}
	21	H	0,544	1,42x – 1,16	
LCSR – GSV	15	S	0,651	0,42x – 1,55	0,25 ^{ns}
	21	H	0,588	0,58x – 3,25	
LCSR – SBL	17	S	0,702	1,5x - 2,78	0,047*
	21	H	0,631	2,58x – 5,67	
LCSR - GSL	16	S	0,676	1,78x – 3,68	0,188 ^{ns}
	21	H	0,762	2,4x - 5,96	

n: Anzahl, R²: Regressionskoeffizient, S: Strepsirrhini, H: Haplorrhini, LCSR: projektivischer Abstand zwischen dem orbitalen Kanaleingang und dem fazialen Kanalausgang des rechten Canalis infraorbitalis in der Sagittalebene, CBR1: Horizontaler Abstand zwischen dem orbitalen Kanaleingang rechts und der Mediansagittalebene, CBR2: Horizontaler Abstand zwischen dem fazialen Kanalausgang rechts und der Mediansagittalebene, VOR: Volumen der rechten Orbita, VSMR: Volumen des rechten Sinus maxillaris, GSV: Gesichtsschädelvolumen, SBL: Schädelbasislänge, GSL: Gesichtsschädellänge, ns: nicht signifikant, * p<0,05

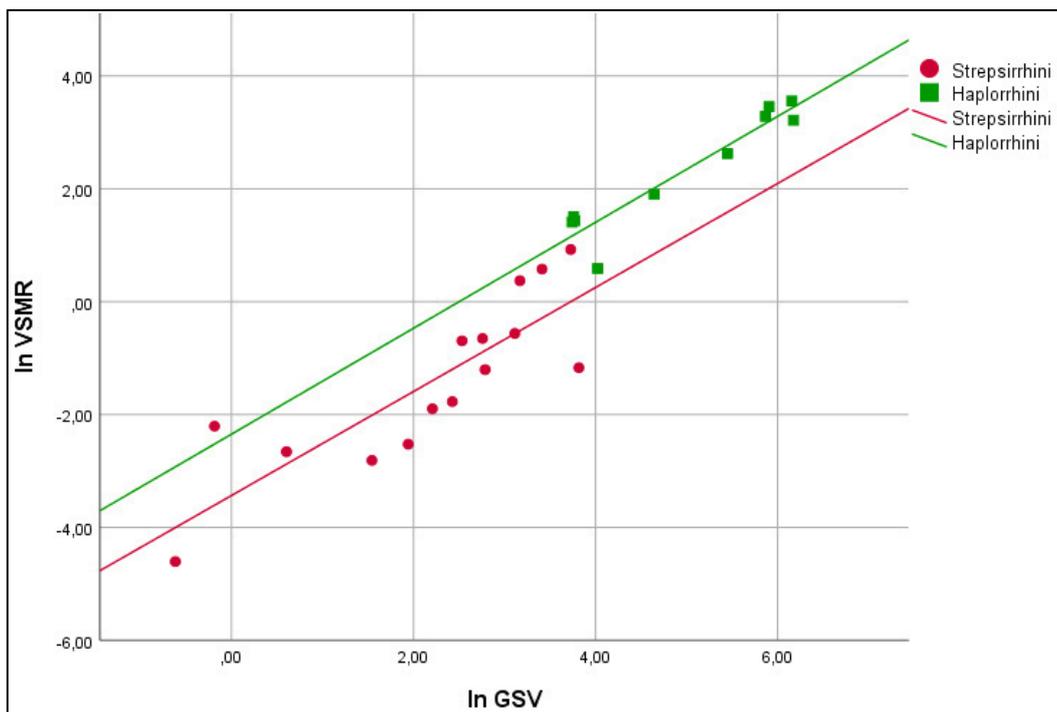
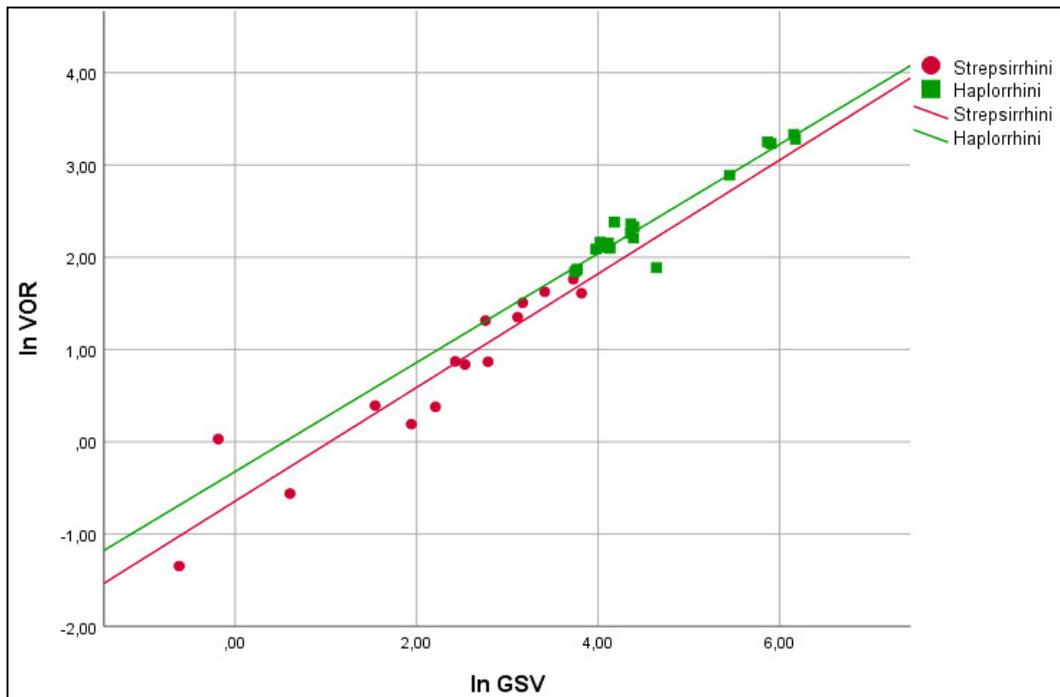


Abb. 31: Graphische Darstellung der Ergebnisse der linearen Regressionsanalysen mit entsprechenden Geraden zwischen den logarithmierten Werten von VOR und GSV (oben) und den logarithmierten Werten von VSMR und GSV (unten). GSV: Gesichtsschädelvolumen, VOR: Volumen der rechten Orbita, VSMR: Volumen des rechten Sinus maxillaris. Die Unterschiede im Anstieg der Regressionsgeraden sind nicht signifikant.

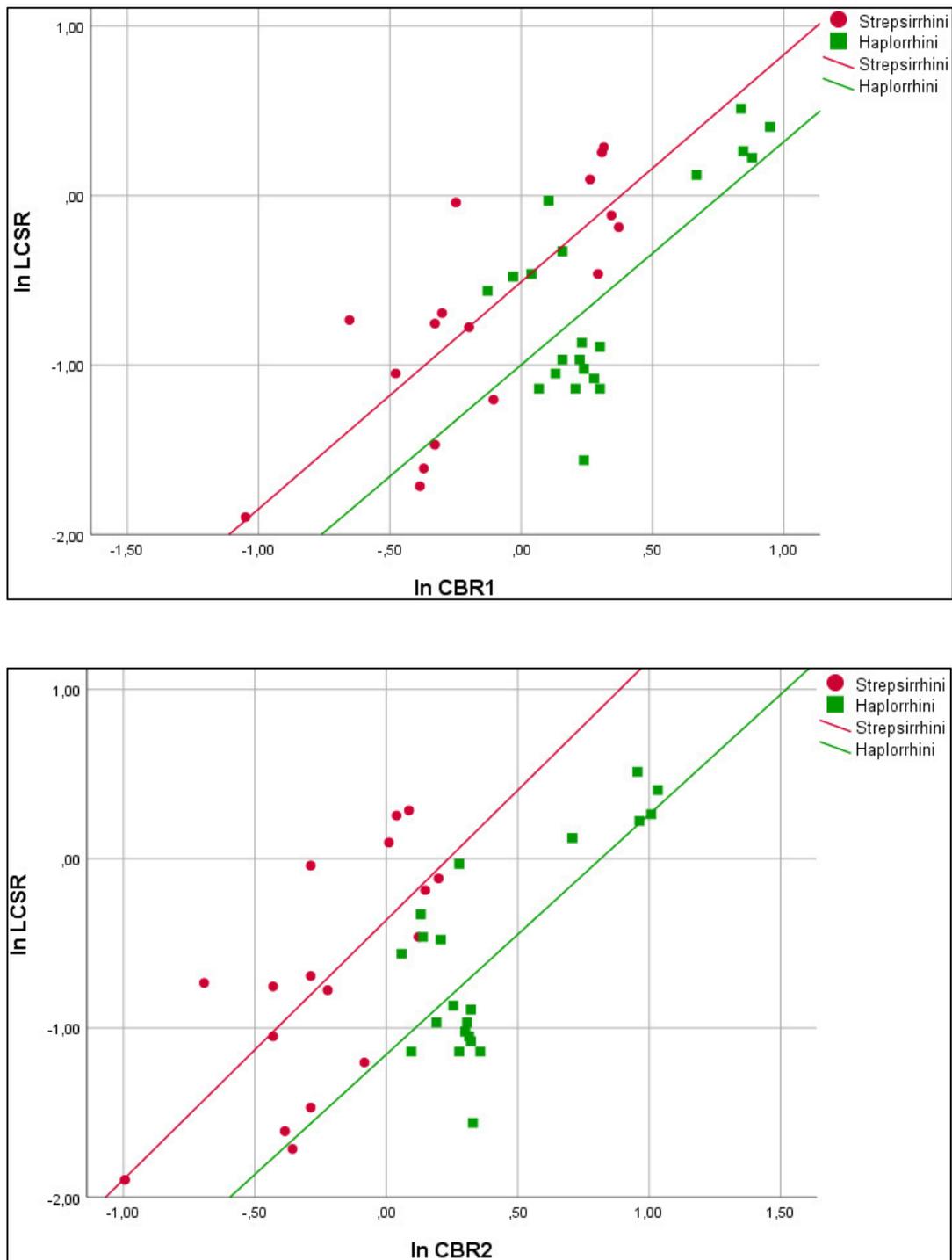


Abb. 32: Graphische Darstellung der Ergebnisse der linearen Regressionsanalysen mit entsprechenden Geraden zwischen den logarithmierten Werten von LCSR und CBR1 (oben) und den logarithmierten Werten von LCSR und CBR2 (unten). LCSR: : projektivischer Abstand zwischen dem orbitalen Kanaleingang und dem fazialen Kanalausgang des rechten Canalis infraorbitalis in der Sagittalebene, CBR1: Horizontaler Abstand zwischen dem orbitalen Kanaleingang rechts und der Mediansagittalebene, CBR2: Horizontaler Abstand zwischen dem fazialen Kanalausgang rechts und der Mediansagittalebene. Die Unterschiede im Anstieg der Regressionsgeraden sind nicht signifikant.

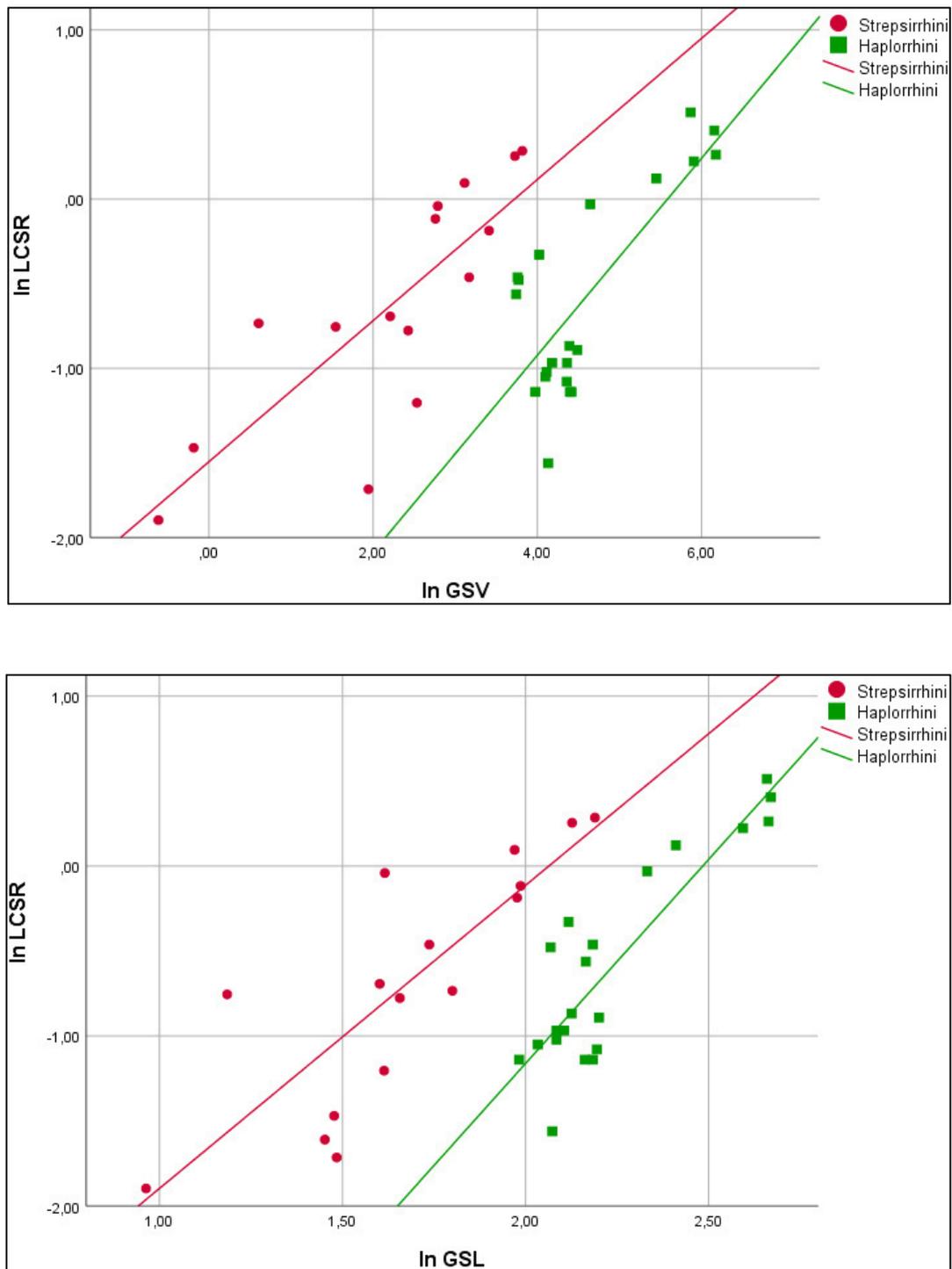


Abb. 33: Graphische Darstellung der Ergebnisse der linearen Regressionsanalysen mit entsprechenden Geraden zwischen den logarithmierten Werten von LCSR und GSV (oben) und den logarithmierten Werten von LCSR und GSL (unten) LCSR: : projektivischer Abstand zwischen dem orbitalen Kanaleingang und dem fazialen Kanalausgang des rechten Canalis infraorbitalis in der Sagittalebene, GSV: Gesichtsschädelvolumen, GSL: Gesichtsschädellänge. Die Unterschiede im Anstieg der Regressionsgeraden sind nicht signifikant.

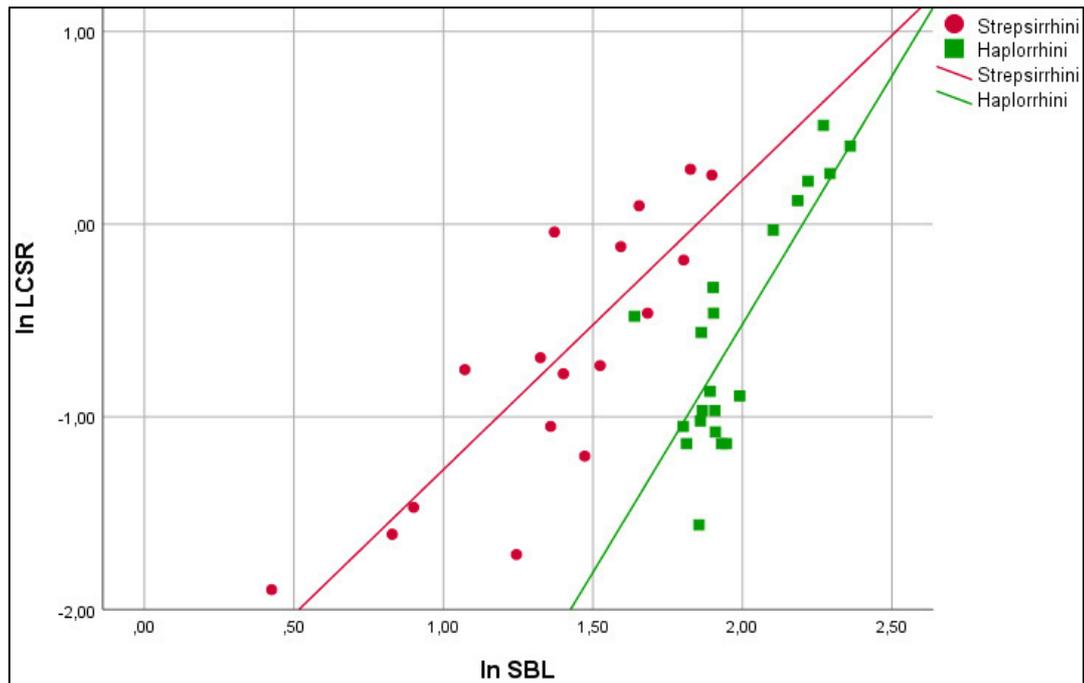


Abb. 34: Graphische Darstellung der Ergebnisse der linearen Regressionsanalysen mit entsprechenden Geraden zwischen den logarithmierten Werten von LCSR und SBL, LCSR: projektivischer Abstand zwischen dem orbitalen Kanaleingang und dem fazialen Kanalausgang des rechten Canalis infraorbitalis in der Sagittalebene, SBL: Schädelbasislänge. Die Unterschiede im Anstieg der Regressionsgeraden sind signifikant.

5. Diskussion

5.1 Ausrichtung des Canalis infraorbitalis

Um die Lage des Canalis infraorbitalis in den Gesichtsschädel einordnen zu können, haben wir sowohl den Abstand vom orbitalen Eingang des Canalis infraorbitalis zur Mediansagittalebene, als auch den Abstand seines fazialen Ausgangs zur Mediansagittalebene und zur Margo orbitalis inferior vermessen (Kap. 3.2.2.1). Die Entfernung des orbitalen Einganges des Canalis infraorbitalis, sowie seines fazialen Ausgangs von der Mediansagittalebene unterschieden sich zwischen Strepsirrhini und Haplorrhini erwartungsgemäß aufgrund ihrer unterschiedlichen Schädelmaße signifikant. Im Gegensatz dazu, ergaben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen Strepsirrhini und Haplorrhini bezüglich des Abstandes zwischen dem Orbitaunterrand und dem fazialen Ausgang des Canalis infraorbitalis.

Es existieren zwar zurzeit noch keine vergleichbaren Studien an nichtmenschlichen Primaten, jedoch wurden bereits ähnliche Abstandsmessungen zur Beurteilung der Lage des Canalis infraorbitalis am Menschen durchgeführt. So ermittelten Xu et al. (2012) und Hwang et al. (2013) anhand von CT-Aufnahmen am Menschen ähnliche Abstände zwischen dem fazialen Kanalausgang und der Mediansagittalebene, wie wir für die adulten Schimpansen. Der Abstand zwischen dem Kanalausgang und der Margo orbitalis inferior ist beim Menschen jedoch im Durchschnitt mehr als doppelt so groß, als bei den von uns vermessenen Strepsirrhini und Haplorrhini. Eine Sonderstellung nimmt innerhalb der Strepsirrhini die Spezies *Aye-Aye* ein, bei der wir einen Abstand zwischen Kanalausgang und Orbitaunterrand von 9,9 mm ermittelt haben (Abb. 18). Dieser verhältnismäßig hohe Messwert ist vergleichbar mit den von Hwang et al. (2013) ermittelten Abständen beim Menschen von 9,6 mm. Da der Canalis infraorbitalis bei *Aye-Aye* eher nach kaudal ausgerichtet ist und somit sehr steil verläuft, sind diese hohen Werte nachvollziehbar. So konnten wir im Sagittalschnitt einen projektivischen Winkel zwischen dem Kanalverlauf und der Frontalebene (s. Abb. 11) von 70° ermitteln, was einer $26,9^\circ$ steileren Kanalausrichtung nach kaudal ausgehend vom Mittelwert der Strepsirrhini entspricht.

Der Abstand zwischen dem fazialen Ausgang des Canalis infraorbitalis und der Mediansagittalebene vergrößerte sich innerhalb der untersuchten Haplorrhini mit zunehmendem Alter. In den Untersuchungen von Suresh et al. (2006) wurde anhand von 48 CT-Datensätzen an Kindern unterschiedlichen Alters der Abstand des Foramen infraorbitale

zur Gesichtsmittellinie vermessen. Mit steigendem Alter beobachteten Suresh et al. (2006) eine Abstandsvergrößerung zwischen Foramen infraorbitale und Medianebene. Der Abstand kann beim Menschen näherungsweise mit der Formel nach Suresh et al. (2006) wie folgt berechnet werden:

$$\text{Abstand [mm]} = 21,3 + 0,5 \cdot \text{Alter [Jahre]}$$

In der oben aufgeführten Form kann die Formel von Suresh et al. (2006) jedoch nicht auf nichtmenschliche Primaten angewandt werden, da die von uns ermittelten Abstandswerte für Haplorrhini und Strepsirrhini meist unterhalb von 21,3 mm liegen. Weiterführende Studien an nichtmenschlichen Primaten mit Berücksichtigung des exakten Alters können den Einfluss des Alters auf die Abstandswerte bestimmen und ebenfalls mathematisch beschreiben. Daraus kann eine präzisere Einschätzung der Lage des Canalis infraorbitalis an juvenilen Affenarten möglich werden.

Typisierung des Canalis infraorbitalis

Basierend auf den unterschiedlichen Verlaufsrichtungen des Canalis infraorbitalis, haben wir den Kanal in vier Typen eingeteilt (Abb. 14). Unsere Ergebnisse verdeutlichen, dass Kanaltypus 1 (kranio-lateral nach kaudomedial), Kanaltypus 2 (kranio-medial nach kaudolateral), Kanaltypus 3 (kaudomedial nach kranio-lateral) und Kanaltypus 4 (kaudolateral nach kranio-medial) bei den Haplorrhini und Strepsirrhini unterschiedlich häufig auftreten. Für den überwiegenden Anteil (93%) der adulten Haplorrhini konnten wir eine Verlaufsrichtung des Canalis infraorbitalis von kranio-medial nach kaudolateral (Typ 2) ermitteln. Bei den Strepsirrhini konnten wir Kanaltypus 1 (kranio-lateral nach kaudomedial) zu 18%, Kanaltypus 3 (kaudomedial nach kranio-lateral) zu 35% und Kanaltypus 4 (kaudolateral nach kranio-medial) zu 47% beobachten. Hassmann (1975) untersuchte ebenfalls die Verlaufsrichtung des Canalis infraorbitalis und beobachtete beim Menschen ausschließlich einen Verlauf von kranio-lateral nach kaudomedial. Dies entspricht nach unserer Einteilung Kanaltypus 1. Unsere Untersuchung deutet damit auf eine höhere Variabilität der Verlaufsrichtungen des Canalis infraorbitalis beim nichtmenschlichen Primaten als beim Menschen hin.

Diese Studie zeigte, dass sich die Verlaufsrichtung des Kanals zwischen den juvenilen und adulten Haplorrhini verändert. Bei den Schimpansen stieg mit zunehmendem Alter die Häufigkeit des Kanaltypus 2 (kranio-medial nach kaudolateral) von 45% auf 100%. Dafür sank die Häufigkeit des Kanaltypus 1 (kranio-lateral nach kaudomedial) von 55% auf 0%. Entgegen der Vermutung von Caspersen et al. (2009), dass am Menschen eine transversale Ausdehnung der Maxilla zu einer stärkeren Orientierung des Canalis infraorbitalis nach medial führt, deuten unsere Ergebnisse beim Schimpansen auf eine verstärkte Ausrichtung nach lateral hin. Bei der Spezies *Colobus guereza* konnte ebenfalls ein Häufigkeitsanstieg des Kanaltypus 2 (kranio-medial nach kaudolateral) von 21% auf 95% und ein Rückgang der Häufigkeit des Kanaltypus 3 (kaudomedial nach kranio-lateral) von 64% auf 5%, sowie des Kanaltypus 4 (kaudolateral nach kranio-medial) von 14% auf 0% festgestellt werden. Ausgehend vom orbitalen Eingang ändert sich demzufolge bei den *Colobus* mit steigendem Alter die Verlaufsrichtung des Canalis infraorbitalis von kranial nach kaudal. Diese Änderung der Verlaufsrichtung des Canalis infraorbitalis kann mit dem von Enlow and Hans (1996) beschriebenen anteroinferioren Wachstumsmuster der Maxilla erklärt werden. Demnach kann das Wachstum der Maxilla den fazialen Ausgang des Canalis infraorbitalis im Bezug zum orbitalen Eingang ebenso nach anteroinferior verlagern. Dies führt folglich zu einer Elongation und einer Änderung der Verlaufsrichtung des Canalis infraorbitalis nach kaudal. Um die Lageveränderung des Canalis infraorbitalis innerhalb des Wachstums genauer beurteilen zu können, sollten jedoch weitere Studien mit Berücksichtigung des exakten Alters durchgeführt werden.

5.2 Länge des Canalis infraorbitalis

Für die Längenbestimmung des Canalis infraorbitalis haben wir in der Sagittal-, Transversal- und Frontalebene den Abstand zwischen dem orbitalen Eingang OE und dem fazialen Ausgang FA des Kanals vermessen (Kap. 3.2.2.2). Dadurch erhielten wir für jede Ebene die projektivische Länge des Canalis infraorbitalis. Entgegen unseren Erwartungen, dass die Kanallänge maßgeblich durch die Schädelgröße bestimmt wird, konnten wir kaum signifikante Unterschiede zwischen den adulten Haplorrhini und Strepsirrhini in den projektivischen Kanallängen feststellen. Im Hinblick auf die Studie von Wysocki et al. (2004), in denen die Länge des Canalis nervi hypoglossi vor allem von der Schädelgröße beeinflusst wird, ist es bemerkenswert, dass dieser Zusammenhang offenbar nicht auf den Canalis infraorbitalis zutrifft. Ein möglicher Grund für unsere Beobachtung kann die Erhebung von projektivischen Maße für die Längenbestimmung des Canalis infrarorbitalis

sein. Nach Scheffler and Schüler (2013) beschreibt die projektivische Länge die Projektion einer Strecke auf eine definierte Ebene und unterscheidet sich von der absoluten Länge durch kleinere Messwerte, vorausgesetzt, dass die Messpunkte der Strecke nicht in der gleichen Ebene liegen. Da der orbitale Eingang und faziale Ausgang des Canalis infraorbitalis nicht in der gleichen Ebene liegen, sind die von uns erhobenen projektivischen Kanallängen folglich kleiner als die absolute Länge des Canalis infraorbitalis. Inwieweit sich die projektivische Länge genau von der absoluten Länge des Canalis infraorbitalis unterscheidet, kann nur in zukünftigen Vergleichsstudien bestimmt werden. Vermutlich entspricht die absolute Kanallänge jedoch aufgrund der hohen sagittalen Ausdehnung des Canalis infraorbitalis nahezu der ermittelten projektivischen Kanallänge aus dem Sagittalschnitt.

Zur Einordnung der Länge des Canalis infraorbitalis können hier ausschließlich Vergleiche zu Studien am Menschen herangezogen werden, da unseres Wissens nach für nichtmenschlichen Primaten lediglich Untersuchungen über die Foramina infraorbitalia existieren. So ermittelten Przygocka et al. (2013) an menschlichen Schädeln polnischer Individuen eine durchschnittliche Kanallänge von 14,23 mm. Huanmanop et al. (2007) stellten an menschlichen Schädeln thailändischer Herkunft hingegen eine Kanallänge von 12,3 mm fest. Diese Werte zeigen, dass ein Großteil der von uns untersuchten Primaten kleinere Kanallängen aufweisen als der Mensch. Da in den oben aufgeführten Studien jedoch die tatsächlichen Längen bestimmt wurden, sind diese nur bedingt mit den Werten unserer Untersuchung zu vergleichen.

Mit zunehmendem Alter von *Pan troglodytes* und *Colobus guereza* konnte erwartungsgemäß eine Längenzunahme des Canalis infraorbitalis beobachtet werden. Die Elongation des Canalis infraorbitalis ist voraussichtlich neben dem absoluten Schädelwachstum ebenso durch die von Verwoerd and Verwoerd-Verhoef (2010) beschriebene Veränderung des Verhältnis von Gehirnschädel zu Gesichtsschädel zugunsten des Gesichtsschädels während des Wachstums bedingt.

Um die Länge des Canalis infraorbitalis im Zusammenhang mit der Schädelmorphologie betrachten zu können, wurde die projektivische Länge des Kanals mit der Gesichtsschädellänge in Bezug gesetzt. Die daraus ermittelte relative Länge des Canalis infraorbitalis war bei den Strepsirrhini signifikant größer als bei den Haplorrhini. Dies beruht

auf den relativ großen projektivischen Kanallängen und den verhältnismäßig kleinen Gesichtsschädellängen der Strepsirrhini. Im Gegensatz zur projektivischen Länge, nahm die relative Länge des Canalis infraorbitalis bei *Pan troglodytes* mit zunehmendem Alter ab. Das spricht dafür, dass die Gesichtsschädellänge im Vergleich zur projektivischen Länge des Canalis infraorbitalis beim Schimpansen postnatal stärker wächst. Bei *Colobus guereza* nimmt dagegen die Gesichtsschädellänge postnatal im gleichen Maße zu wie die projektivische Kanallänge. Somit bleibt die relative Kanallänge nahezu konstant. Die projektivische Länge des Canalis infraorbitalis steht sowohl bei den Strepsirrhini, als auch bei den Haplorrhini neben der Gesichtsschädellänge ebenso mit den übrigen externen Schädelmaßen in enger Korrelation. Ähnliche Ergebnisse beobachtete Drygala (2018) in Untersuchungen an Makaken. Sie stellte ebenfalls signifikante Korrelationen zwischen den externen Schädelmaßen und der Morphologie des Canalis nasolacimalis fest.

Im nachfolgenden werden neben den externen Schädelmaßen weitere mögliche Einflussfaktoren auf den Canalis infraorbitalis untersucht. Diese möglichen Einflussfaktoren sind in Abbildung 35 grafisch veranschaulicht.

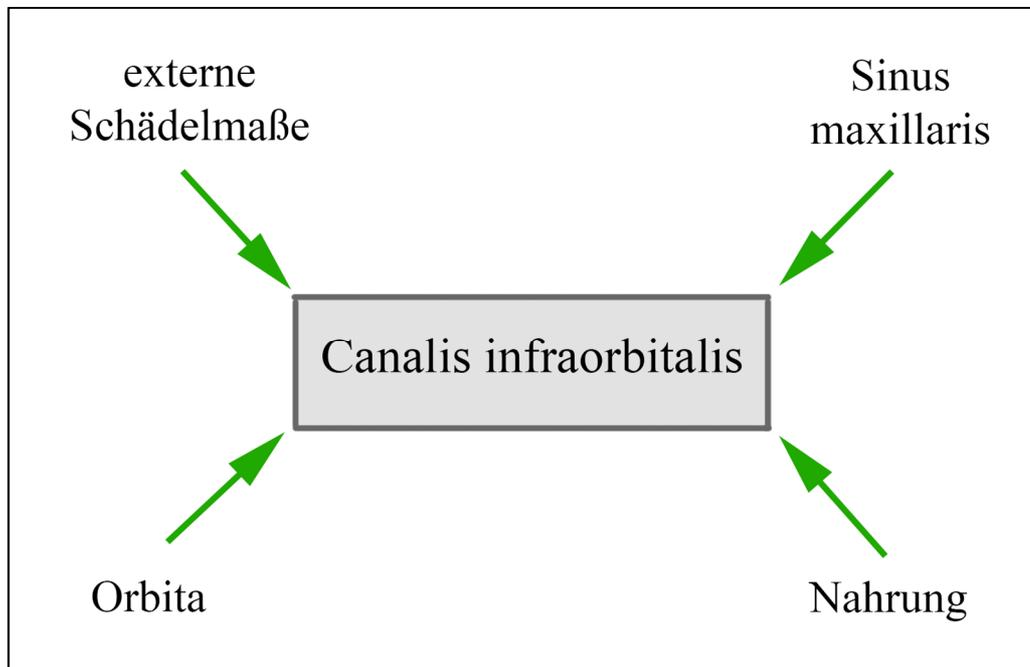


Abb. 35: Darstellung möglicher Einflussfaktoren auf die Morphologie des Canalis infraorbitalis

5.3 Zum Einfluss von Orbita und Sinus maxillaris auf die Morphologie des Canalis infraorbitalis

Aufgrund der Beschreibung von Lieberman (2011), dass der Schädel ein komplexes Gebilde ist, in dem die einzelnen Strukturen eng miteinander im Zusammenhang stehen, war eine Kernfrage dieser Arbeit, ob die Orbita und der Sinus maxillaris als Nachbarstrukturen des Canalis infraorbitalis zueinander Einfluss auf die Morphologie und Verlaufsform des Kanals haben.

In unserer Untersuchung konnten wir zunächst ein signifikant größeres Orbitavolumen in Relation zum Gesichtsschädel (I_0) bei den Strepsirrhini als bei den Haplorrhini feststellen. Diese Größenunterschiede können auf ein unterschiedliches Aktivitätsmuster von Haplorrhini und Strepsirrhini zurückzuführen sein. So haben nachtaktive Primaten größere Orbitae als tagaktive Primaten (Kay and Kirk 2000). Da der überwiegende Teil der Strepsirrhini nachtaktiv ist (Geissmann 2003), war das Ergebnis unserer Untersuchung zu erwarten. Zudem korrelierte das Volumen der Orbita sowohl bei den Haplorrhini, als auch bei den Strepsirrhini mit der Länge des Canalis infraorbitalis.

Die Auswirkung der Orbita auf die Morphologie des Canalis infraorbitalis wurde bislang nicht untersucht. Es existieren jedoch Studien, die den Einfluss der Orbita auf weitere Nachbarstrukturen näher untersuchen. So beobachteten Sinanoglu et al. (2016) am Menschen, dass Männer mit einem signifikant größerem Orbitavolumen als Frauen, ebenso signifikante Größenunterschiede des Foramen infra- und supraorbitale aufweisen.

Des Weiteren bestehen innerhalb der Primaten maßgebliche Unterschiede in der Lage und Orientierung der Orbita in den knöchernen Schädel. Ross (1995) untersuchte anhand verschiedener Primatenschädel die Position und Konvergenz der Orbitae am Gesichtsschädel. Mit Zunahme der Konvergenz verändert sich die Orientierung der Orbitae von lateral nach medial. Für die Haplorrhini beobachtet Ross (1995), dass die Orbitae im Bezug zum Gesichtsschädel weiter anterior positioniert sind und konvergenter zueinanderstehen als bei den Strepsirrhini. Aufgrund der topografischen Nähe von Orbita und Canalis infraorbitalis ist anzunehmen, dass die Unterschiede in der Lage und Orientierung der Orbita ebenso Auswirkungen auf die Morphologie und Verlaufsrichtung des Kanals haben. Insbesondere die posteriore Lage der Orbita in Bezug zum Gesichtsschädel bei den Strepsirrhini, führt vermutlich ebenfalls zu einem weiter posterior

gelegenen orbitalen Kanaleingang. Ein weiter posterior lokalisierter orbitaler Kanaleingang führt wiederum bei gleichbleibender Position des fazialen Kanalausgangs zu einer Elongation des Canalis infraorbitalis und kann eine mögliche Erklärung für die signifikant größeren relativen Kanallängen der Strepsirrhini sein. Zudem kann die Divergenz der Orbitae bei den Strepsirrhini, zu einem weiter lateral gelegenen orbitalen Eingang in Bezug zum fazialen Ausgang des Canalis infraorbitalis führen. Dies stellt eine mögliche Erklärung für das häufigere Auftreten von Verlaufstypus 1 (kranio-lateral nach kaudomedial) und 4 (kaudolateral nach kranio-medial) des Kanals bei den Strepsirrhini dar (Abb. 23).

In unserer Untersuchung ermittelten wir für die adulten Haplorrhini ein maßgeblich größeres relatives und absolutes Volumen des Sinus maxillaris als bei den Strepsirrhini. Zudem korrelierte das Volumen des Sinus maxillaris signifikant mit der Länge des Canalis infraorbitalis. Studien, die sich mit dem Einfluss des Sinus maxillaris auf die Morphologie des Canalis infraorbitalis am nichtmenschlichen Primaten beschäftigt haben existieren unseres Wissens nach nicht. Zahlreiche Autoren haben sich jedoch anhand menschlicher Probanden mit der Lagebeziehung von Sinus maxillaris und Canalis infraorbitalis zueinander beschäftigt (FERENCE et al. 2015; LANTOS et al. 2016; HAGHNEGHAHDAR et al. 2018; FONTOLLIET et al. 2019). So werden von Haghnegahdar et al. (2018) drei verschiedene Verläufe des Canalis infraorbitalis im Bezug zum Dach des Sinus maxillaris beschrieben. Bei 26,5% der Probanden verläuft der Canalis infraorbitalis innerhalb des Daches vom Sinus maxillaris; in 50,3% der Fälle konnte ein Kanalverlauf direkt unterhalb des Daches vom Sinus maxillaris beobachtet werden und bei 23,2% der Probanden konnte ein vollständig protrudierter Verlauf des Canalis infraorbitalis innerhalb des Sinus maxillaris festgestellt werden (Haghnegahdar et al. 2018). AÇAR et al. (2018) stellten fest, dass bei einem vollständig protrudierten Verlauf des Canalis infraorbitalis innerhalb des Sinus maxillaris der Kanal signifikant länger war, als bei den anderen Verlaufsformen. Zudem ist die Ausrichtung des Kanals ebenso abhängig von der Beziehung zum Sinus maxillaris. So beobachteten AÇAR et al. (2018) einen signifikant steileren Kanalverlauf in der Sagittalebene, wenn der Canalis infraorbitalis innerhalb des Daches des Sinus maxillaris verläuft. Inwieweit diese Ergebnisse auf nichtmenschliche Primaten zutreffen kann Gegenstand zukünftiger Untersuchungen sein.

Um die Beziehung von Sinus maxillaris und Orbita zueinander zu beschreiben und dabei die Auswirkungen auf die Morphologie des Canalis infraorbitalis zu untersuchen, haben wir

einen Index (ISOR) erstellt, der das Verhältnis vom Volumen des Sinus maxillaris zum Orbitavolumen angibt (Kap. 3.3). Wir konnten feststellen, dass der ermittelte Index in Zusammenhang mit den Verlaufstypen des Canalis infraorbitalis steht. Die Merkmalskombination aus einer großen Orbita und einen relativ kleinen Sinus maxillaris ergab einen niedrigen Index-Wert. Diese wurden ausschließlich bei den Strepsirrhini festgestellt. Kleine Index-Werte waren in unserer Untersuchung vermehrt mit einem anterior ansteigenden Kanalverlauf assoziiert und standen häufig in Zusammenhang mit dem Verlaufstypus 3 (kaudomedial nach kranio-lateral) und 4 (kaudolateral nach kranio-medial). Mittlere und große Index-Werte mit entsprechender Größenzunahme des Sinus maxillaris in Relation zum Orbitavolumen waren hingegen vermehrt mit einem nach anterior absteigenden Verlauf des Canalis infraorbitalis assoziiert. So stehen mittlere Index-Werte sowohl bei den Strepsirrhini, als auch bei den Haplorrhini mit einem vermehrten Auftreten von Verlaufstypus 1 (kranio-lateral nach kaudomedial) in Zusammenhang. Große Index-Werte konnten ausschließlich bei den Haplorrhini nachgewiesen werden und waren mit einem vermehrten Auftreten von Verlaufstypus 2 (kranio-medial nach kaudolateral) assoziiert. Folglich verläuft der Canalis infraorbitalis bei allen untersuchten Haplorrhini ausgehend vom orbitalen Eingang von kranial nach kaudal und neigt bei einem großen Volumen des Sinus maxillaris in Relation zur Orbita häufig zu einer kaudolateralen Verlaufsrichtung. Die Ergebnisse der Haplorrhini sind jedoch mit einer gewissen Zurückhaltung zu betrachten, da der Verlaufstyp 1 (kranio-lateral nach kaudomedial) in unserer Untersuchung nur einmal für die Spezies *Alouatta* ermittelt wurde.

Eine Sonderstellung innerhalb der Haplorrhini nimmt in unserer Untersuchung die Spezies *Colobus guereza* aufgrund des fehlenden Sinus maxillaris ein. Wie für den Großteil der untersuchten Schädel von Haplorrhini, haben wir für den Canalis infraorbitalis der Mantelaffenschädel ebenfalls hauptsächlich Verlaufstyp 2 (kranio-medial nach kaudolateral) beobachtet. Somit sprechen unsere Untersuchungen dafür, dass der Sinus maxillaris keinen besonderen Einfluss auf die Verlaufsrichtung des Canalis infraorbitalis hat. Diese Vermutung steht im Einklang mit der Auffassung von Moss and Greenberg (1967), dass sich die Untereinheiten der Maxilla unabhängig voneinander entwickeln.

5.4 Zum Einfluss der Nahrung auf die Morphologie des Canalis infraorbitalis

In der Literatur wurde bereits häufig der Zusammenhang zwischen der Größe des Foramen infraorbitale und der Nahrung als epigenetischer Faktor an Primaten beschrieben (Muchlinski 2008, 2010; Spriggs et al. 2016). Da die Größe des Foramen infraorbitale in den Untersuchungen von Kazkayasi et al. (2001) signifikant mit der Länge des Canalis infraorbitalis korrelierte, haben wir ebenso einen Zusammenhang zwischen der Ernährungsform und der Kanallänge vermutet. Um zu prüfen, inwieweit die Nahrung Einfluss auf die Länge und Verlaufsrichtung des Canalis infraorbitalis hat, haben wir die verschiedenen Spezies der adulten Strepsirrhini und Haplorrhini in die Gruppen Frugivore, Folivore sowie Insektivore eingeteilt (Tab. I im Anhang). Da die Ernährungsformen der Primaten häufig in Verbindung mit weiteren Merkmalen auftreten, haben wir diese Merkmalskombinationen in Abbildung 36 veranschaulicht.

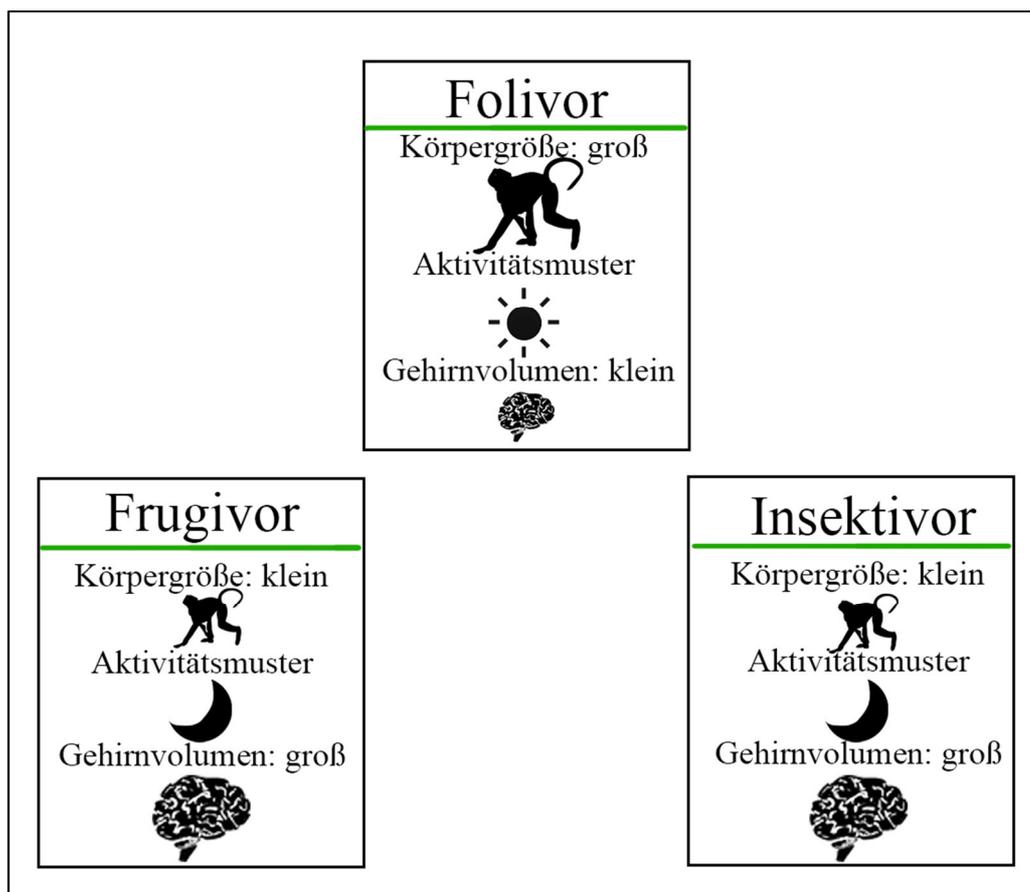


Abb. 36: Schematische Darstellung der Merkmalskombinationen von folivoren, frugivoren und insektivoren Primaten, verändert nach Clutton-Brock and Harvey (1980) und Geissmann (2003)

Die Körpergrößen der Primaten unterscheiden sich in Hinblick auf die Ernährungsform (Abb. 36). So sind folivore Primaten in der Regel größer als insektivore und frugivore, da die Deckung des Energiehaushaltes mit vielen energiearmen Blättern einen größeren Verdauungstrakt erfordert (Geissmann 2003). Aufgrund der unterschiedlichen Körpergrößen ist es nachvollziehbar, dass die projektivischen Kanallängen bei den folivoren Strepsirrhini im Vergleich zu den insektivoren Strepsirrhini größer sind. So hat *Indri indri* mit 1,29 cm die maximale Kanallänge unter den Folivoren und übersteigt damit die maximale Kanallänge der Insektivoren um das Zweifache. Die größte Kanallänge innerhalb der Strepsirrhini haben wir jedoch entgegen unserer Erwartungen beim frugivoren *Varecia varigata* mit 1,33 cm festgestellt. Obgleich diese Spezies den Frugivoren zuzuteilen ist, ernährt sich *Varecia varigata* ergänzend folivor und stellt unter den Lemuridae die größte Spezies dar (Geissmann 2003). Die frugivore-folivore Ernährungsform und die damit einhergehenden großen Körpermaße, stellen eine mögliche Erklärung für die hohen projektivischen Kanallängen bei *Varecia varigata* dar. Diese frugivore-folivore Ernährungsform tritt jedoch häufig innerhalb der Primaten auf (Burda et al. 2014). Somit ist anhand der Primateneinteilung in die Gruppen Folivor, Frugivor und Insektivor nicht immer ein Rückschluss auf die Körpergröße und den Canalis infraorbitalis möglich.

Bei den adulten Haplorrhini konnte die größte Kanallänge für die frugivoren Schimpansen festgestellt werden. Obwohl *Pan troglodytes* den Frugivoren zuzuteilen ist, stellt der Schimpanse eine vergleichsweise große Spezies dar, die den folivoren *Alouatta* und *Colobus guereza* in der Körpergröße überlegen ist (Geissmann 2003). Somit sind die größeren projektivischen Kanallängen beim Schimpansen nachvollziehbar. Im Gegensatz zur absoluten projektivischen Kanallänge, ist die relative Kanallänge bei den folivoren *Alouatta* doppelt so groß wie bei *Pan troglodytes* und *Colobus guereza*. Eine mögliche Erklärung stellen die harten Bestandteile der Nahrung von *Colobus guereza* und *Pan troglodytes* dar. So fressen Mantelaffen neben Blättern häufig harte Samen und Schimpansen ergänzen ihre frugivore Ernährung häufig mit Nüssen und Fleisch (Geissmann 2003). Die harten Nahrungsbestandteile können beim Primaten zu einer anteroposterioren Verkürzung des Gesichtsschädels führen (Liebermann 2004). Da der Canalis infraorbitalis vollständig in der Maxilla liegt, kann eine anteroposteriore Verkürzung des Gesichtsschädels ebenfalls zu einer Verkürzung des Canalis infraorbitalis führen und damit Grund für die kurzen relativen Kanallängen bei *Pan troglodytes* und *Colobus guereza* sein.

Das Aktivitätsmuster der Primaten steht häufig mit der Körpergröße und der Nahrungsform im Zusammenhang. So sind insektivore Primaten aufgrund ihrer Körpergröße tendenziell nachtaktiv, um nicht von tagaktiven Greifvögeln erfasst zu werden (Geissmann 2003). Die Nachtaktivität führt nach Kay and Kirk (2000) bei Primaten zu einer vergrößerten Orbita. Da die Größe der Orbita in unseren Untersuchungen signifikant mit der Länge des Canalis infraorbitalis korreliert, haben wir für die nachtaktiven Primaten einen vergleichsweise langen Kanalverlauf erwartet. So konnten wir innerhalb der Strepsirrhini die größte relative Länge des Canalis infraorbitalis beim nachtaktiven *Otolemur crassicaudatus* feststellen. Die nachtaktiven Spezies *Cheirogaleus major*, *Cheirogaleus medius* und *Phaner furcifer* haben jedoch entgegen unserer Erwartungen die kleinsten relativen Kanallängen. Zudem konnten keine maßgeblichen Häufigkeitsunterschiede für den Kanalverlauf bei nachtaktiven oder tagaktiven Primaten erkannt werden. Somit sind die Auswirkungen des Aktivitätsmuster sowohl auf die Länge, als auch auf die Verlaufsrichtung des Canalis infraorbitalis vermutlich als gering einzuschätzen.

Frugivore und insektivore Primaten weisen zudem ein größeres Gehirnvolumen als folivore Primaten auf (Clutton-Brock and Harvey 1980; Geissmann 2003). Geissmann (2003) hebt hervor, dass ein höheres Gehirnvolumen bei frugivoren Primaten notwendig ist, um den Standort und Fruchtzyklus der Futterbäume zu erschließen. Ein gesteigertes Gehirnvolumen kann wiederum zu einer anteroposterioren Verkürzung und transversalen Verbreiterung des Gesichtsschädels führen (Lieberman 2011). Da der Canalis infraorbitalis Teil des Gesichtsschädels ist, besteht ein möglicher Zusammenhang zwischen der Nahrung, dem Gehirnvolumen und der Kanallänge. So können die kleinen projektivischen Kanallängen des frugivoren *Cheirogaleus medius* (0,18 cm) und *Cheirogaleus major* (0,2 cm) sowie des insektivoren *Microcebus murinus* (0,15 cm) auf ein vergleichsweise hohes Gehirnvolumen zurückzuführen sein. Die von Lieberman (2011) beschriebene Verbreiterung des Gesichtsschädels bei steigendem Gehirnvolumen kann ebenso eine mögliche Erklärung dafür sein, dass der größte Abstand zwischen orbitalen Kanaleingang und Mediansagittalebene (CBR1) beim frugivoren *Eulemur mongoz* mit 1,45 cm ermittelt wurde.

6. Schlussfolgerungen

Unter Berücksichtigung der in der Einleitung definierten Zielstellungen dieser Arbeit, kommen wir zu folgenden Schlussfolgerungen:

1. Die Lage des Canalis infraorbitalis innerhalb der Maxilla kann durch definierte Abstandsmessungen vom orbitalen Eingang (OE) bzw. vom fazialen Ausgang (FA) dieses Knochenkanals in der Sagittal-, Frontal- und Transversalebene sowie zur Medianebene reproduzierbar beschrieben werden. Dabei lassen sich die horizontalen Abstände von OE bzw. FA des Canalis infraorbitalis zur Mediansagittalebene als Breitenabstände auffassen. Sie sind bei den adulten Haplorrhini erwartungsgemäß signifikant größer als bei den Strepsirrhini. Im Gegensatz dazu, konnten zwischen den beiden Infraordnungen keine signifikanten Unterschiede in Bezug auf die vertikalen Abstände (Höhenmaße) zwischen der Margo orbitalis inferior und FA des Canalis infraorbitalis ermittelt werden. Mit zunehmendem Alter nahmen innerhalb der Haplorrhini die Breiten- und Höhenabstände zum Canalis infraorbitalis zur Margo infraorbitalis bzw. zur Medianebene zu.

2. Entsprechend seines schrägen Verlaufs in der Maxilla, wurde die Länge des Canalis infraorbitalis als projektivisches Maß zwischen den Messpunkten OE und FA in der Sagittal-, Frontal- und Transversalebene ermittelt und nachfolgend als projektivische Länge der jeweiligen Ebene bezeichnet. Aufgrund der fest definierten Lage der beiden Messpunkte OE und FA, waren die Längenmessungen des Canalis infraorbitalis für alle Präparate reproduzierbar. Haplorrhini und Strepsirrhini weisen keine signifikanten Unterschiede in den projektivischen Längen des Canalis infraorbitalis in der Transversal- und Sagittalebene auf. In der Frontalebene stellten wir jedoch signifikant größere projektivische Längen des rechten Canalis infraorbitalis bei Haplorrhini fest. Unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Schädelgrößen von Haplorrhini und Strepsirrhini, wurde die projektivische Kanallänge im Sagittalschnitt mit der Gesichtsschädellänge in Bezug gesetzt. Die daraus ermittelte relative Kanallänge ist bei den Strepsirrhini signifikant größer als bei den Haplorrhini. Während mit zunehmendem Alter der Haplorrhini die projektivischen Kanallängen zunahm, verzeichneten wir eine Abnahme der relative Länge des Canalis infraorbitalis bei *Pan troglodytes* mit zunehmendem Alter. Das spricht dafür, dass die Gesichtsschädellänge im Vergleich zu den projektivischen Längen des Canalis infraorbitalis

beim Schimpansen postnatal stärker wächst. Bei *Colobus guereza* nimmt dagegen die Gesichtsschädellänge postnatal im gleichen Maße zu wie die projektivischen Kanallängen. Somit bleibt die relative Kanallänge beim Mantelaffen nahezu konstant.

3. In Hinblick auf die unterschiedlichen Verlaufsrichtungen des Canalis infraorbitalis, haben wir den Kanal in die folgenden vier Kanaltypen eingeteilt: Kanaltyp 1 (kranio-lateral nach kaudomedial), Kanaltyp 2 (kranio-medial nach kaudolateral), Kanaltyp 3 (kaudomedial nach kranio-lateral) und Kanaltyp 4 (kaudolateral nach kranio-medial). Die Ergebnisse verdeutlichen, dass die verschiedenen Kanaltypen bei den Haplorrhini und Strepsirrhini mit unterschiedlicher Häufigkeit auftraten. Bei den adulten Haplorrhini kam der Kanaltyp 2 (kranio-medial nach kaudolateral) mit 93% am häufigsten vor, gefolgt vom Kanaltyp 1 (kranio-lateral nach kaudomedial) mit 5% und Kanaltyp 3 (kaudomedial nach kranio-lateral) mit 2%. Im Gegensatz dazu, konnte bei Strepsirrhini zu 18% ein Verlauf von kranio-lateral nach kaudomedial (Kanaltyp 1), zu 35% von kaudomedial nach kranio-lateral (Kanaltyp 3) und zu 47% von kaudolateral nach kranio-medial (Kanaltyp 4) ermittelt werden. Mit steigendem Alter der Haplorrhini nahm die Häufigkeit von Kanaltyp 2 (kranio-medial nach kaudolateral) unter Abnahme der anderen Kanaltypen zu.

4. Für Haplorrhini und Strepsirrhini konnte ein statistischer Zusammenhang zwischen der projektivischen Länge des Canalis infraorbitalis in der Sagittalebene und den externen Schädelmaßen nachgewiesen werden. Die Werte für die projektivischen Kanallängen im Sagittalschnitt korrelierten am stärksten mit der Gesichtsschädellänge. Die Korrelationsanalyse zeigte ebenso einen signifikanten Zusammenhang zwischen der projektivischen Länge des Kanals in der Sagittalebene und den Volumina von Orbita und Sinus maxillaris. Um zu prüfen, inwieweit die Größenverhältnisse von Sinus maxillaris und Orbita den Kanalverlauf beeinflussen, wurde der Index ISOR erstellt. Der Index ISOR gibt das Verhältnis vom Volumen des Sinus maxillaris zum Orbitavolumen an. Lag im Vergleich zum Sinus maxillaris ein großes Orbitavolumen vor, ergaben sich für den Index ISOR kleinere Werte. Bei kleinen ISOR Werten beobachteten wir vermehrt einen nach anterior ansteigenden Kanalverlauf mit häufigem Auftreten von Kanaltyp 3 (kaudomedial nach kranio-lateral) und Kanaltyp 4 (kaudolateral nach kranio-medial). Mittlere und große Index-Werte mit entsprechender Größenzunahme des Sinus maxillaris in Relation zum

Orbitavolumen waren hingegen mit einem nach anterior absteigenden Verlauf des Canalis infraorbitalis assoziiert. So standen mittlere Index-Werte sowohl bei den Strepsirrhini, als auch bei den Haplorrhini mit einem vermehrten Auftreten von Kanaltyp 1 (kranio-lateral nach kaudomedial) im Zusammenhang. Vergleichsweise große Index-Werte konnten ausschließlich bei den Haplorrhini nachgewiesen werden und waren mit einem vermehrten Auftreten von Kanaltyp 2 (kranio-medial nach kaudolateral) assoziiert. Bemerkenswert ist die Beobachtung eines Kanaltyp 2 auch bei *Colobus guereza*, einem Vertreter der Colobinae. Letztere sind durch das reguläre Fehlen eines Sinus maxillaris gekennzeichnet.

5. Die vorliegende Studie liefert zum ersten Mal nicht nur qualitative, sondern auch metrische Daten über die Morphologie und die Verlaufsrichtung des Canalis infraorbitalis innerhalb der Strepsirrhini und Haplorrhini. Darüber hinaus beleuchtet sie den möglichen Einfluss benachbarter Strukturen und weiterer Faktoren auf die Morphologie des Canalis infraorbitalis. Somit können die Ergebnisse dieser Studie einen Beitrag zur weiteren Erforschung von Faktoren leisten, welche die Morphologie des Gesichtsschädels der Primaten beeinflussen.

7. Zusammenfassung

Die vorliegende Studie befasst sich mit der Morphologie des Canalis infraorbitalis von Strepsirrhini und Haplorrhini, basierend auf den Untersuchungen von 65 computertomografischen Datensätzen. Dabei handelt es sich vornehmlich um die Datensätze adulter Primaten. Für die Spezies *Pan troglodytes*, *Pongo pygmaeus* und *Colobus guereza* konnten auch einige juvenile Tiere einbezogen werden. Im ersten Teil der Arbeit wurden Unterschiede in der Kanalmorphologie zwischen Haplorrhini und Strepsirrhini herausgearbeitet. Der zweite Teil dieser Arbeit beleuchtete den Einfluss externer Schädelmaße sowie den Einfluss von Orbita und Sinus maxillaris auf die Morphologie des Canalis infraorbitalis. Da die Orbita und der Sinus maxillaris in direkter Nachbarschaft zum Canalis infraorbitalis stehen, war der Einfluss beider Strukturen auf die Kanalmorphologie und Verlaufsrichtung in der vorliegenden Untersuchung von besonderem Interesse.

Zur Beurteilung der Lage des Canalis infraorbitalis wurde der Abstand vom orbitalen Kanaleingang zur Mediansagittalebene und der Abstand vom fazialen Kanalausgang zur Mediansagittalebene und zur Margo orbitalis inferior mit Hilfe der Software RadiAnt® Dicom Viewer Vers. 4.6.9 (Medixant, 2011) vermessen. Darüber hinaus erfolgte mit dem RadiAnt® Dicom Viewer die Bestimmung der projektivischen Längen des Kanals sowohl im Sagittal-, Transversal- als auch im Frontalschnitt. Außerdem wurde die Ausrichtung des Canalis infraorbitalis durch Winkelmessungen zwischen den projektivischen Längen des Kanals und den verschiedenen Ebenen im Raum unter Verwendung der Software ImageJ Version 1.52e (Wayne Rasband, 2018) analysiert. Anhand der Ausrichtung des Canalis infraorbitalis in der Frontalebene erfolgte schließlich eine Typisierung dieses Kanals.

Ausgehend von einer deskriptiven Statistik unter Berücksichtigung der Spezies und des Alters, wurden die Unterschiede in Bezug auf den Canalis infraorbitalis zwischen Haplorrhini und Strepsirrhini mittels U-Test (Mann-Whitney-U-Test) untersucht. So konnten bei Haplorrhini signifikant größere Abstände sowohl vom orbitalen Kanaleingang als auch vom fazialen Kanalausgang des Canalis infraorbitalis zur Medianebene nachgewiesen werden. Obgleich sich Haplorrhini durch signifikant größere Schädel auszeichnen, konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Infraordnungen hinsichtlich der projektivischen Kanallängen im Sagittal- und Transversalschnitt

nachgewiesen werden. Im Gegensatz dazu ergab die projektivische Länge des rechten Canalis infraorbitalis im Frontalschnitt bei Haplorrhini im Vergleich zu den Strepsirrhini signifikant größere Werte. Um die Länge des Canalis infraorbitalis zwischen Haplorrhini und Strepsirrhini besser vergleichen zu können, wurde die projektivische Kanallänge im Sagittalschnitt mit der Gesichtsschädellänge in Bezug gesetzt und als Index ausgedrückt. Die daraus ermittelte relative Kanallänge ergab für Strepsirrhini statistisch signifikant größere Werte als für Haplorrhini.

Innerhalb der untersuchten Primaten konnten folgende vier verschiedene Kanaltypen beobachtet werden: Kanaltyp 1 (kranio-lateral nach kaudomedial), Kanaltyp 2 (kranio-medial nach kaudolateral), Kanaltyp 3 (kaudomedial nach kranio-lateral) und Kanaltyp 4 (kaudolateral nach kranio-medial). Diese Kanaltypen traten jedoch mit unterschiedlicher Häufigkeit auf. Während bei den adulten Haplorrhini der Kanaltyp 2 (kranio-medial nach kaudolateral) zu 93%, der Kanaltyp 1 (kranio-lateral nach kaudomedial) zu 5% und der Kanaltyp 3 (kaudomedial nach kranio-lateral) zu 2% vorkam, trat bei Strepsirrhini zu 18% ein Verlauf von kranio-lateral nach kaudomedial (Kanaltyp 1), zu 35% von kaudomedial nach kranio-lateral (Kanaltyp 3) und zu 47% von kaudolateral nach kranio-medial (Kanaltyp 4) auf. Mit steigendem Alter der Haplorrhini nahm die Häufigkeit von Kanaltyp 2 (kranio-medial nach kaudolateral) unter Abnahme der anderen Kanaltypen zu.

Um mögliche Einflussfaktoren auf die Morphologie und Verlaufsrichtung des Canalis infraorbitalis herauszuarbeiten, wurde eine Korrelations- und Regressionsanalyse durchgeführt. Die Kanallänge korrelierte sowohl mit den externen Schädelmaßen als auch mit dem Volumen von Orbita und Sinus maxillaris. Um zu prüfen, inwieweit die Größenverhältnisse von Sinus maxillaris und Orbita den Kanalverlauf beeinflussen, wurde ein Index erstellt. Dieser Index beschreibt das Verhältnis des Volumens vom Sinus maxillaris zum Orbitavolumen. Lag im Vergleich zum Sinus maxillaris ein großes Orbitavolumen vor, ergaben sich kleine Indexwerte. Bei kleinen Indexwerten wurde vermehrt ein nach anterior ansteigender Kanalverlauf mit häufigem Auftreten von Kanaltyp 3 (kaudomedial nach kranio-lateral) und Kanaltyp 4 (kaudolateral nach kranio-medial) beobachtet. Mittlere und große Index-Werte, die entsprechend mit einer Größenzunahme des Sinus maxillaris in Relation zum Orbitavolumen einhergehen, waren

hingegen mit einem nach anterior absteigenden Verlauf des Canalis infraorbitalis assoziiert. So standen mittlere Index-Werte sowohl bei den Strepsirrhini als auch bei den Haplorrhini mit einem vermehrten Auftreten von Kanaltyp 1 (kranio-lateral nach kaudomedial) im Zusammenhang. Vergleichsweise große Index-Werte konnten ausschließlich bei den Haplorrhini nachgewiesen werden und waren mit einem vermehrten Auftreten von Kanaltyp 2 (kranio-medial nach kaudolateral) assoziiert. Die Beobachtung dieses Kanaltyps 2, auch bei *Colobus guereza*, ist insofern bemerkenswert, da Mantelaffen wie alle Colobinae keinen Sinus maxillaris aufweisen.

Die vorliegende Studie liefert erstmalig detaillierte qualitative und quantitative Daten über die Morphologie und die Verlaufsrichtung des Canalis infraorbitalis ausgewählter Haplorrhini und Strepsirrhini. Darüber hinaus konnte herausgearbeitet werden, dass die Morphologie des Canalis infraorbitalis innerhalb der Primaten von verschiedenen Faktoren beeinflusst wird. Von besonderem Interesse für zukünftige Untersuchungen kann die Erkenntnis sein, dass der Einfluss benachbarter Makrostrukturen, wie von Orbita und Sinus maxillaris, auf den Canalis infraorbitalis nicht ausgeschlossen werden kann. Diese Erkenntnisse können damit für verschiedene klinische Fachgebiete wie der Radiologie, forensischen Medizin, Hals-Nasen-Ohrenheilkunde und MKG-Chirurgie, aber auch für die Anthropologie und Primatologie von unmittelbarem Interesse sein. Um diesen Einfluss besser verstehen zu können, sind jedoch weitere Untersuchungen notwendig. Für derartige Studien kann die vorliegende Arbeit als Grundlage dienen.

8. Literaturverzeichnis

Açar G, Özen KE, Güler İ, Büyükmumcu M (2018) Computed tomography evaluation of the morphometry and variations of the infraorbital canal relating to endoscopic surgery. *Brazilian Journal of Otorhinolaryngology* 84: 713–721.

Adams GL, Gansky SA, Miller AJ, Harrell WE, Hatcher DC (2004) Comparison between traditional 2-dimensional cephalometry and a 3-dimensional approach on human dry skulls. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 126: 397–409.

Allen JA (1877) The influence of physical conditions in the genesis of species. *Radical Review* 1: 108–140.

Andrews P (1992) Evolution and environment in the Hominoidea. *Nature* 360: 641–646.

Andrews P, Cronin JE (1982) The relationships of *Sivapithecus* and *Ramapithecus* and the evolution of the orang-utan. *Nature* 297: 541–546.

Ashton EH, Oxnard CE (1958) Some variations in the maxillary nerve of primates. *Proceedings of the Zoological Society of London* 131: 457–470.

Ashton EH, Zuckerman S (1958) The infraorbital foramen in the Hominoidea. *Proceedings of the Zoological Society of London* 131: 471–485.

Atchley WR, Hall BK (1991) A model for development and evolution of complex morphological structures. *Biological Reviews* 66: 101–157.

Bartsch H-J (1982) *Taschenbuch Mathematischer Formeln*. Verlag Harri Deutsch, Thun.

Benedikter BM (2005) Beiträge zur pränatalen Morphogenese des Foramen infraorbitale des Menschen: Computergestützte 3D-Rekonstruktionen und histologische Untersuchungen menschlicher Embryonen und Feten von 19 mm 250 mm Scheitel-Steiß-Länge. *Med Diss, Freie Universität Berlin*.

Bergmann C (1847) Ueber die Verhältnisse der Wärmeökonomie der Thiere zu ihrer Grösse. Göttinger Studien 3: 595–708.

Berlis A, Putz R, Schumacher M (1992) Direct and CT measurements of canals and foramina of the skull base. The British Journal of Radiology 65: 653–661.

Bollobas E (1984) Fissures, canals and syndesmoses in the fetal maxilla. Acta morphologica Hungarica 32: 231–243.

Bouvier M, Hylander WL (1981) Effect of bone strain on cortical bone structure in macaques (*Macaca mulatta*). Journal of Morphology 167: 1–12.

Burda H, Zrzavý J, Bayer P (2014) Humanbiologie. UTB GmbH, Stuttgart.

Cáceres N, Meloro C, Carotenuto F, Passaro F, Sponchiado J, Melo GL, Raia P (2014) Ecogeographical variation in skull shape of capuchin monkeys. Journal of Biogeography 41: 501–512.

Cardini A, Jansson AU, Elton S (2007) A geometric morphometric approach to the study of ecogeographical and clinal variation in vervet monkeys. Journal of Biogeography 34: 1663–1678.

Caspersen LM, Christensen IJB, Kjær I (2009) Inclination of the infraorbital canal studied on dry skulls expresses the maxillary growth pattern: a new contribution to the understanding of change in inclination of ectopic canines during puberty. Acta Odontologica Scandinavica 67: 341–345.

Churcher CS (1959) The specific status of the new world red fox. Journal of Mammalogy 40: 513–520.

Clarke MR, Jennifer AS (1999) Morphometric comparison of Chinese-origin and Indian-derived rhesus monkeys (*Macaca mulatta*). American Journal of Primatology 47: 335–346.

Clutton-Brock TH, Harvey PH (1980) Primates, brains and ecology. *Journal of Zoology* 190: 309–323.

Corruccini RS, Beecher RM (1982) Occlusal variation related to soft diet in a nonhuman primate. *Science* 218: 74–76.

Corruccini RS, Beecher RM (1984) Occlusofacial morphological integration lowered in baboons raised on soft diet. *Journal of Craniofacial Genetics and Developmental Biology* 4: 135–142.

Cowin SC (1986) Wolff's law of trabecular architecture at remodeling equilibrium. *Journal of Biomechanical Engineering* 108: 83–88.

Daegling DJ, Hylander WL (2000) Experimental observation, theoretical models, and biomechanical inference in the study of mandibular form. *American Journal of Physical Anthropology* 112: 541–551.

Davies GE, Oates JF (1994) *Colobine monkeys: their ecology, behaviour and evolution*. Cambridge University Press, Cambridge.

Diorio LP, Miller SA, Navia JM (1973) The separate effects of protein and calorie malnutrition on the development and growth of rat bones and teeth. *The Journal of Nutrition* 103: 856–865.

Dressino V, Pucciarelli HM (1997) Cranial growth in *Saimiri sciureus* (Cebidae) and its alteration by nutritional factors: A longitudinal study. *American Journal of Physical Anthropology* 102: 545–554.

Drygala OM (2018) *Quantitative Untersuchungen zum Wachstum des Canalis nasolacimalis von Japanischen Makaken (*Macaca fuscata*) unter Berücksichtigung klimatischer Faktoren*. Med Diss, Universität Greifswald.

Ebara S, Kumamoto K, Matsuura T, Mazurkiewicz JE, Rice FL (2002) Similarities and differences in the innervation of mystacial vibrissal follicle – sinus complexes in the rat and cat: a confocal microscopic study. *Journal of Comparative Neurology* 449: 103–119.

El-Anwar MW, Sweed AH (2018) Infraorbital foramen localization in orbitozygomatic fractures: a CT study with intraoperative finding. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology* 275: 809–813.

Enlow DH (1968) Wolff's law and the factor of architectonic circumstance. *American Journal of Orthodontics* 54: 803–822.

Enlow DM, Hans MG (1996) *Essentials of facial growth*. Saunders, Philadelphia.

Fabre AC, Perry JM, Hartstone-Rose A, Lowie A, Boens A, Dumont M (2018) Do muscles constrain skull shape evolution in Strepsirrhines? *The Anatomical Record* 301: 291–310.

Fanghänel J, Pera F, Anderhuber F, Nitsch R (2003) *Waldeyer Anatomie des Menschen*. 17. Aufl. De Gruyter, Berlin.

Ference EH, Smith SS, Conley D, Chandra RK (2015) Surgical anatomy and variations of the infraorbital nerve. *The Laryngoscope* 125: 1296–1300.

Ferraz-Pereira KN, Toscano AE, Manhaes-de-Castro R (2013) Effect of early undernutrition on masticatory morphophysiology: Review of the literature. *Archives of Oral Biology* 58: 1735– 1743.

Fleagle JG (2013) *Primate adaptation and evolution*. Third edition. Academic Press, San Diego.

Fontolliet M, Bornstein MM, von Arx T (2019) Characteristics and dimensions of the infraorbital canal: a radiographic analysis using cone beam computed tomography (CBCT). *Surgical and Radiologic Anatomy* 41: 169–179.

Ford SM (1986) 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, pp 73–135.

Frost HM (1994) Wolff's Law and bone's structural adaptations to mechanical usage: An overview for clinicians. *The Angle Orthodontist* 64: 175–188.

Geissmann T (2003) *Vergleichende Primatologie*. Springer-Verlag, Berlin.

Gingerich PD (1975) New North American Plesiadapidae (Mammalia, Primates) and a biostratigraphic zonation of the middle and upper Paleocene. *Contributions from Museum of Paleontology, The University of Michigan* 24: 135–148.

Gionhaku N, Lowe AA (1989) Relationship between jaw muscle volume and craniofacial form. *Journal of Dental Research* 68: 805–809.

Godfrey LR, Irwin MT (2007) The evolution of extinction risk: past and present anthropogenic impacts on the primate communities of Madagascar. *Folia Primatologica* 78: 405–419.

Goodman M, Porter CA, Czelusniak J, Page SL, Schneider H, Shoshani J, Gunnell G, Groves CP (1998) Toward a phylogenetic classification of primates based on DNA evidence complemented by fossil evidence. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 9: 585–598.

Gregory WK (1915) On the classification and phylogeny of the Lemuroidea. *Bulletin of the Geological Society of America* 26: 426–446.

Haghnegahdar A, Khojastepour L, Naderi A (2018) Evaluation of infraorbital canal in cone beam computed tomography of maxillary sinus. *Journal of Dentistry* 19: 41–47.

Hallgrímsson B, Lieberman DE, Liu W, Ford-Hutchinson AF, Jirik FR (2007) Epigenetic interactions and the structure of phenotypic variation in the cranium. *Evolution & Development* 9: 76–91.

Hartig G, Churakov G, Warren WC, Brosius J, Makałowski W, Schmitz J (2013) Retrophylogenomics place Tarsiers on the evolutionary branch of Anthropoids. *Scientific Reports* 3: 1–7.

Hassmann H (1975) Form, Maße und Verläufe der Schädelkanäle des Canalis infraorbitalis, Canalis incisivus, Canalis palatinus major, Foramen spinosum und Meatus acusticus internus. Med Diss, Universität Würzburg.

Hershkovitz P (1977) Living new world monkeys (Platyrrhini) Vol. 1. University of Chicago Press, Chicago.

Hesse R (1925) Die Bergmannsche Regel. *Naturwissenschaften* 13: 675–680.

Hohl TH (1983) Masticatory muscle transposition in primates: Effects on craniofacial growth. *Journal of Maxillofacial Surgery* 11: 149–156.

Huanmanop T, Agthong S, Chentanez V (2007) Surgical anatomy of fissures and foramina in the orbits of thai adults. *Journal of the Medical Association of Thailand* 90: 2383–2391.

Hwang SH, Kim SW, Park CS, Cho JH, Kang JM (2013) Morphometric analysis of the infraorbital groove, canal, and foramen on three-dimensional reconstruction of computed tomography scans. *Surgical and Radiologic Anatomy* 35: 565–571.

Hylander WL (1979) The functional significance of primate mandibular form. *Journal of Morphology* 160: 223–239.

Ingervall B, Helkimo EVA (1978) Masticatory muscle force and facial morphology in man. *Archives of Oral Biology* 23: 203–206.

Ito T, Nishimura T, Takai M (2014) Ecogeographical and phylogenetic effects on craniofacial variation in macaques. *American Journal of Physical Anthropology* 154: 27–41.

Jacquín MF, Hess A, Yang G, Adamo P, Math MF, Brown A, Rhoades RW (1984) Organization of the infraorbital nerve in rat: A quantitative electron microscopic study. *Brain Research* 290: 131–135.

Jameson NM, Hou Z-C, Sterner KN, Weckle A, Goodman M, Steiper ME, Wildman DE (2011) Genomic data reject the hypothesis of a prosimian primate clade. *Journal of Human Evolution* 61: 295–305.

Jungers W, Falsetti A, Wall C (1995) Shape, relative size and size – adjustment in morphometrics. *Yearbook of Physical Anthropology* 38: 137–161.

Kamburoğlu K, Kılıç C, Özen T, Yüksel SP (2009) Measurements of mandibular canal region obtained by cone-beam computed tomography: a cadaveric study. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology* 107: 34-42.

Kamburoğlu K, Kolsuz E, Kurt H, Kılıç C, Özen T, Paksoy CS (2011) Accuracy of CBCT measurements of a human skull. *Journal of Digital Imaging* 24: 787–793.

Kay RF (1990) The phyletic relationships of extant and fossil Pitheciinae (Platyrrhini, Anthroidea). In: Fleagle JG, Rosenberger AL (Eds.): *The Platyrrhine Fossil Record*. Academic Press, San Diego, pp 175–208.

Kay RF, Cartmill M (1977) Cranial morphology and adaptations of *Palaechthon nacimienti* and other Paromomyidae (Plesiadapoidea, Primates), with a description of a new genus and species. *Journal of Human Evolution* 6: 19–53.

Kay RF, Kirk EC (2000) Osteological evidence for the evolution of activity pattern and visual acuity in primates. *American Journal of Physical Anthropology* 113: 235–262.

Kazkayasi M, Ergin A, Ersoy M, Bengi O, Tekdemir I, Elhan A (2001) Certain anatomical relations and the precise morphometry of the infraorbital foramen–canal and groove: an anatomical and cephalometric study. *The Laryngoscope* 111: 609–614.

Kishino H, Hasegawa M (1989) Evaluation of the maximum likelihood estimate of the evolutionary tree topologies from DNA sequence data, and the branching order in Hominoidea. *Journal of Molecular Evolution* 29: 170–179.

Kjaer I (1990) Correlated appearance of ossification and nerve tissue in human fetal jaws. *Journal of Craniofacial Genetics and Developmental Biology* 10: 329–336.

Koyabu DB, Endo H (2009) Craniofacial variation and dietary adaptations of African colobines. *Journal of Human Evolution* 56: 525–536.

Kumar P, Godhi S, Lall AB, Ram CS (2012) Evaluation of neurosensory changes in the infraorbital nerve following zygomatic fractures. *Journal of Maxillofacial and Oral Surgery* 11: 394–399.

Lange S (1999) Beitrag zur pränatalen Morphogenese der Maxilla des Menschen – Computergestützte 3D-Rekonstruktion und morphometrische Untersuchungen anhand von Schnittserien menschlicher Embryonen und Feten von 12–76 mm. Med Diss, Freie Universität Berlin.

Lantos JE, Pearlman AN, Gupta A, Chazen JL, Zimmerman RD, Shatzkes DR, Phillips CD (2016) Protrusion of the infraorbital nerve into the maxillary sinus on CT: prevalence, proposed grading method, and suggested clinical implications. *American Journal of Neuroradiology* 37: 349–353.

Lee UY, Nam SH, Han SH, Choi KN, Kim TJ (2006) Morphological characteristics of the infraorbital foramen and infraorbital canal using three-dimensional models. *Surgical and Radiologic Anatomy* 28: 115–120.

Lieberman DE (1996) How and why humans grow thin skulls: Experimental evidence for systemic cortical robusticity. *American Journal of Physical Anthropology* 101: 217–236.

Lieberman DE (2011) *The Evolution of the Human Head*. Harvard University Press, Cambridge.

Lomolino MV, Sax DF, Riddle BR, Brown JH (2006) The island rule and a research agenda for studying ecogeographical patterns. *Journal of Biogeography* 33: 1503–1510.

MacKinnon KC (2006) Food choice by juvenile capuchin monkeys (*Cebus capucinus*) in a tropical dry forest. In: Estrada A, Garber PA, Pavelka MSM, Luecke L (Eds.): *New Perspectives in the Study of Mesoamerican Primates*. *Developments in Primatology: Progress and Prospects*. Springer, Boston, pp 349–365.

Mall FP (1906) On ossification centers in human embryos less than one hundred days old. *American Journal of Anatomy* 5: 433–458.

Meloro C, Cáceres N, Carotenuto F, Passaro F, Sponchiado J, Melo GL, Raia P (2014) Ecogeographical variation in skull morphometry of howler monkeys (Primates: Atelidae). *Zoologischer Anzeiger* 253: 345–359.

Millien V, Kathleen Lyons S, Olson L, Smith FA, Wilson AB, Yom-Tov Y (2006) Ecotypic variation in the context of global climate change: revisiting the rules. *Ecology Letters* 9: 853– 869.

Moore WJ, Lavelle CLB (1974) *Growth of the facial skeleton in the Hominoidea*. Academic Press, London.

Moss ML, Greenberg SN (1967) Functional cranial analysis of the human maxillary bone: I, basal bone. *The Angle Orthodontist* 37: 151–164.

Moss ML, Young RW (1960) A functional approach to craniology. *American Journal of Physical Anthropology* 18: 281–292.

Mouri T (1990) A comparison of eight macaque species according to four kinds of cranial nerve perforations. *Journal of the Anthropological Society of Nippon* 98: 411–423.

Muchlinski MN (2008) The relationship between the infraorbital foramen, infraorbital nerve and maxillary mechanoreception: implications for interpreting the paleoecology of fossil mammals based on infraorbital foramen size. *The Anatomical Record* 291: 1221–1226.

Muchlinski MN (2010) Ecological correlates of infraorbital foramen area in primates. *American Journal of Physical Anthropology* 141: 131–141.

Mullender MG, Huiskes R (1995) Proposal for the regulatory mechanism of Wolff's Law. *Journal of Orthopaedic Research* 13: 503–512.

Nam Y, Bahk S, Eo S (2017) Anatomical study of the infraorbital nerve and surrounding structures for the surgery of orbital floor fractures. *Journal of Craniofacial Surgery* 28: 1099–1104.

Nguyen DC, Farber SJ, Um GT, Skolnick GB, Woo AS, Patel P (2016) Anatomical study of the intraosseous pathway of the infraorbital nerve. *Journal of Craniofacial Surgery* 27: 1094–1097.

Opazo JC, Wildman DE, Prychitko T, Johnson RM, Goodman M (2006) Phylogenetic relationships and divergence times among new world monkeys (Platyrrhini, Primates). *Molecular Phylogenetics and Evolution* 40: 274–280.

Oppenheim S (1911) Zur Typologie des Primatencraniums. *Zeitschrift für Morphologie und Anthropologie* 14: 1–203.

O'Rahilly R, Gardner E (1972) The initial appearance of ossification in staged human embryos. *American Journal of Anatomy* 134: 291–307.

Paterson JD (1996) Coming to America: Acclimation in macaque body structures and Bergmann's rule. *International Journal of Primatology* 17: 585–611.

Pirie PL (1978) Allometric scaling in the postcanine dentition with reference to primate diets. *Primates* 19: 583–591.

Pocock RI (1918) On the external characters of the Lemurs and of *Tarsius*. *Proceedings of the Zoological Society of London* 88: 19–53.

Poux C, Douzery EJP (2004) Primate phylogeny, evolutionary rate variations, and divergence times: A contribution from the nuclear gene IRBP. *American Journal of Physical Anthropology* 124: 1–16.

Przygocka A, Szymański J, Jakubczyk E, Jędrzejewski K, Topol M, Polgaj M (2013) Variations in the topography of the infraorbital canal/groove complex: a proposal for classification and its potential usefulness in orbital floor surgery. *Folia Morphologica* 72: 311–317.

Raum RL (2015) Molecular evidence on primate origins and evolution. In: Henke W, Tattersall I (Eds.): *Handbook of Paleoanthropology*. Second edition. Springer, Berlin Heidelberg, pp 1083–1135.

Radlanski RJ, Heikinheimo K, Gruda A (2013) Cephalometric assessment of human fetal head specimens. *Journal of Orofacial Orthopedics* 74: 332–348.

Rosenberger AL (1984) Systematics: The higher taxa. In: Coimbra-Filho AF, Mittermeier RA (Eds.): *Ecology and Behavior of Neotropical Primates*, Vol. 1. Academia Brasileira de Ciências, Rio de Janeiro, pp 9–27.

Rosenberger AL, Setoguchi T, Shigehara N (1990) The fossil record of callitrichine primates. In: Fleagle JG, Rosenberger AL (Eds.): *The Platyrrhine Fossil Record*. Academic Press, San Diego, pp 209–236.

Rosenzweig ML (1968) The strategy of body size in mammalian carnivores. *American Midland Naturalist* 80: 299–315.

Ruff C, Holt B, Trinkaus E (2006) Who's afraid of the big bad Wolff?: "Wolff's law" and bone functional adaptation. *American Journal of Physical Anthropology* 129: 484–498.

Rylands AB, Mittermeier RA (2009) The diversity of the new world primates (Platyrrhini): an annotated taxonomy. In: Garber PA, Estrada A, Bicca-Marques JC, Heymann EK, Strier KB (Eds.): *South American Primates: Comparative Perspectives in the Study of Behavior, Ecology, and Conservation*. Springer, New York, pp 23–54.

Sakkas A, Wilde F, Heufelder M, Winter K, Schramm A (2017) Autogenous bone grafts in oral implantology – is it still a "gold standard"? A consecutive review of 279 patients with 456 clinical procedures. *International Journal of Implant Dentistry* 3:23

Schaefer U (1954) Die Anzahl der Foramina infraorbitalia bei Primaten, insbesondere bei Anthropoiden und Mensch. *Zeitschrift für Morphologie und Anthropologie* 46: 12–23.

Scheffler C, Schüler G (2013) Rohfassung eines Leitfadens für die richtige Auswahl und Anwendung anthropometrischer Daten. Kommission Arbeitsschutz und Normung. Verein zur Förderung der Arbeitssicherheit in Europa e.V. (Hrsg.) Sankt Augustin. www.kan.de

Schneider H (2000) The current status of the new world monkey phylogeny. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 72: 165–172.

Schneider H, Schneider MPC, Sampaio I, Harada ML, Stanhope M, Czelusniak J, Goodman M (1993) Molecular phylogeny of the new world monkeys (Platyrrhini, primates). *Molecular Phylogenetics and Evolution* 2: 225–242.

Schröpel M (2012) *Bildatlas der Primaten: Feuchtnasenprimaten*. Books on Demand, Norderstedt.

Schumacher G-H (1997) *Anatomie für Zahnmediziner: Lehrbuch und Atlas*, 3. Auflage. Hüthig, Heidelberg.

Schumacher G-H (1997) Principles of skeletal growth. In: Dixon AD, Hoyte DAN, Ronning O (Eds.): *Fundamentals of Craniofacial Growth*. CRC Press, Boca Raton, pp 1–21.

Scott JH (1957) Muscle growth and function in relation to skeletal morphology. *American Journal of Physical Anthropology* 15: 197–234.

Simpson (1945) The principles of classification and a classification of mammals. *Bulletin of the American Museum of Natural History* 85: 1–350.

Sinanoglu A, Orhan K, Kursun S, Inceoglu B, Oztas B (2016) Evaluation of optic canal and surrounding structures using cone beam computed tomography: considerations for maxillofacial surgery. *Journal of Craniofacial Surgery* 27: 1327–1330.

Singleton M (2012) Postnatal cranial development in papionin primates: an alternative model for hominin evolutionary development. *Evolutionary Biology* 39: 499–520.

Sinsel NK, Opdebeeck H, Guelinckx PJ (1998) The effect of unilateral partial facial paralysis and muscle ablation on craniofacial growth and development: an experimental study in the rabbit. *Plastic and Reconstructive Surgery* 102: 1894–1912.

Spriggs AN, Muchlinski MN, Gordon AD (2016) Does the primate pattern hold up? Testing the functional significance of infraorbital foramen size variation among marsupials. *American Journal of Physical Anthropology* 160: 30–40.

Starck D (1995) *Lehrbuch der speziellen Zoologie, Bd.2/5, Wirbeltiere, 2 Tl.-Bde.: Band II: Wirbeltiere. Teil 5: Säugetiere*. G Fischer, Stuttgart

Starck D, Kummer B (1962) Zur Ontogenese des Schimpansenschädels (mit Bemerkungen zur Fetalisationshypothese). *Anthropologischer Anzeiger* 25: 204–215.

Suresh S, Voronov P, Curran J (2006) Infraorbital nerve block in children: a computerized tomographic measurement of the location of the infraorbital foramen. *Regional Anesthesia and Pain Medicine* 31: 211–214.

Swindler DR (1998) Introduction to the Primates. University of Washington Press, Seattle.

Töpke M (2010) Quantitative Untersuchungen zum postnatalen Wachstum der Nasennebenhöhlen von *Pan troglodytes* unter Berücksichtigung des Geschlechtsdimorphismus. Med Diss, Universität Greifswald.

van Limborgh J (1983) Morphogenic control of craniofacial growth. In: McNamara JA, Ribbens KA, Howe RP (Eds.): Clinical Alteration of the Growing Face. Monograph No. 14, Craniofacial Growth Series. Center for Human Growth and Development, Ann Arbor, pp 1–15.

Verwoerd CDA, Verwoerd-Verhoef HL (2010) Rhinosurgery in children: developmental and surgical aspects of the growing nose. GMS Current Topics in Otorhinolaryngology - Head and Neck Surgery 9: 1–29.

Vinyard CJ, Hanna J (2005) Molar scaling in strepsirrhine primates. Journal of Human Evolution 49: 241–269.

von Arx T, Lozanoff S, Sendi P, Bornstein MM (2013) Assessment of bone channels other than the nasopalatine canal in the anterior maxilla using limited cone beam computed tomography. Surgical and Radiologic Anatomy 35: 783–790.

Watts ES (1975) Biology of the living primates. W.C. Brown Company, Dubuque.

Weinstein KJ (2011) Climatic and altitudinal influences on variation in *Macaca* limb morphology. Anatomy Research International 2011: 1–18.

Wood NK, Le Wragg, Stuteville OH, Oglesby RJ (1969) Osteogenesis of the human upper jaw: proof of the non-existence of a separate premaxillary centre. Archives of Oral Biology 14: 1331–1341.

Wysocki J, Kobryń H, Bubrowski M, Kwiatkowski J, Reymond J, Skarżyńska B (2004) The morphology of the hypoglossal canal and its size in relation to skull capacity in man and other mammal species. *Folia Morphologica* 63: 11–17.

Xu H, Guo Y, Lv D, Guo J, Liu W, Qi H, Qin J, Wang Z, Hou L, Zhang Y, Gao L, Li Y, Wang Y (2012) Morphological structure of the infraorbital canal using three-dimensional reconstruction. *Journal of Craniofacial Surgery* 23: 1166–1168.

Yesilova E, Bayrakdar IS (2018) The appearance of the infraorbital canal and infraorbital ethmoid (Haller's) cells on panoramic radiography of edentulous patients. *BioMed Research International* 2018: 1293124.

Yoder AD (2003) The phylogenetic position of genus *Tarsius*: Whose side are you on? In: Simons EL, Gursky S (Eds.): *Tarsiers: Past, Present, and Future*. Rutgers University Press, New Jersey, pp 161–175.

Yom-Tov Y, Geffen E (2006) Geographic variation in body size: the effects of ambient temperature and precipitation. *Oecologia* 148: 213–218.

Yom-Tov Y, Nix H (1986) Climatological correlates for body size of five species of Australian mammals. *Biological Journal of the Linnean Society* 29: 245–262.

Yonemitsu I, Muramoto T, Soma K (2007) The influence of masseter activity on rat mandibular growth. *Archives of Oral Biology* 52: 487–493.

Zaizen T, Sato I (2014) A morphological study of the multi infraorbital canals of the maxilla in the Japanese macaque by cone-beam computed tomography. *Anatomical Science International* 89: 171–182.

Ziętkiewicz E, Richer C, Labuda D (1999) Phylogenetic affinities of tarsier in the context of primate Alu repeats. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 11: 77–83.

9. Anhang

Tab. I: Einteilung der Strepsirrhini und Haplorrhini anhand der Ernährungsform und des Aktivitätsmusters

Spezies	Aktivität	Nahrung	Quelle
<i>Aye aye</i>	N	IN	Clutton-Brock and Harvey (1980)
<i>Cheirogaleus major</i>	N	FR	Clutton-Brock and Harvey (1980)
<i>Cheirogaleus medius</i>	N	FR	Clutton-Brock and Harvey (1980)
<i>Eulemur macaco</i>	T	FR	Clutton-Brock and Harvey (1980)
<i>Eulemur mongoz</i>	N	FR	Clutton-Brock and Harvey (1980)
<i>Hapalemur griseus olivaceus</i>	T	FO	Clutton-Brock and Harvey (1980)
<i>Indri indri</i>	T	FO	Clutton-Brock and Harvey (1980)
<i>Lemur catta</i>	T	FR	Clutton-Brock and Harvey (1980)
<i>Lepilemur microdon</i>	N	FO	Vinyard and Hanna (2005) Godfrey and Irwin (2007)
<i>Lepilemur mustelinus leucopus</i>	N	FO	Clutton-Brock and Harvey (1980)
<i>Microcebus murinus</i>	N	FO	Kay and Kirk (2000) Vinyard and Hanna (2005)
<i>Phaner furcifer</i>	N	FR	Clutton-Brock and Harvey (1980)
<i>Varecia varigata</i>	T	FR	Clutton-Brock and Harvey (1980)
<i>Loris tardigradus</i>	N	IN	Clutton-Brock and Harvey (1980)
<i>Nycticebus coucang</i>	N	IN	Clutton-Brock and Harvey (1980)
<i>Otolemur crassicaudatus</i>	N	FR	Clutton-Brock and Harvey (1980)
<i>Perodicticus potto</i>	N	FR	Clutton-Brock and Harvey (1980)
<i>Pan troglodytes</i>	T	FR	Clutton-Brock and Harvey (1980)
<i>Colobus guereza</i>	T	FO	Clutton-Brock and Harvey (1980)
<i>Alouatta</i>	T	FO	Clutton-Brock and Harvey (1980)

N: Nachtaktiv, T: Tagaktiv, IN: Insektivor, FR: Frugivor, FO: Folivor

Tab. II: Ermittelte Abstände des Ein- und Ausganges des Canalis infraorbitalis zu definierten Messpunkten sowie projektivische Längenmaße und relative Längen des Canalis infraorbitalis bei den Strepsirrhini. Angaben in cm

Spezies	Infraordnung	CBR1	CBR2	CHR1	CBL1	CBL2	CHL1	LCSR	LCFR	LCTR	LCSL	LCFL	LCTL	RLCSR
<i>Aye aye</i>	Lem	1,34	1,13	0,99	1,34	1,1	1,09	0,63	0,31	0,63	0,66	0,33	0,63	0,11
<i>Cheirogaleus major</i>	Lem	0,69	0,68	0,27	0,69	0,68	0,28	0,2	0,07	0,19	0,28	0,08	0,29	0,06
<i>Cheirogaleus medius</i>	Lem	0,68	0,7	0,22	0,65	0,69	0,18	0,18	0,02	0,18	0,22	0,13	0,19	0,04
<i>Eulemur macaco</i>	Lem	1,3	1,01	0,35	1,28	0,94	0,23	1,1	0,29	1,06	1,08	0,38	1,12	0,15
<i>Eulemur mongoz</i>	Lem	1,45	1,16	0,31	1,4	1,1	0,28	0,83	0,27	0,88	0,84	0,3	0,88	0,11
<i>Hapalemur griseus olivaceus</i>	Lem	0,9	0,92	0,36	0,91	0,93	0,39	0,3	0,04	0,31	0,28	0,04	0,28	0,06
<i>Indri indri</i>	Lem	1,36	1,04	0,1	1,4	1,1	0,12	1,29	0,32	1,32	1,2	0,3	1,25	0,15
<i>Lemur catta</i>	Lem	1,41	1,22	0,27	1,42	1,24	0,32	0,89	0,2	0,9	0,85	0,19	0,84	0,12
<i>Lepilemur microdon</i>	Lem	0,74	0,75	0,25	0,8	0,83	0,27	0,5	0,23	0,44	0,49	0,13	0,49	0,1
<i>Lepilemur mustelinus leucopus</i>	Lem	0,62	0,65	0,36	0,6	0,63	0,37	0,35	0,07	0,36	0,41	0,11	0,39	
<i>Microcebus murinus</i>	Lem	0,35	0,37	0,18	0,37	0,38	0,19	0,15	0,03	0,15	0,12	0,02	0,12	0,06
<i>Phaner furcifer</i>	Lem	0,72	0,75	0,29	0,66	0,67	0,34	0,23	0,05	0,22	0,22	0,04	0,22	0,05
<i>Varecia variegata</i>	Lem	1,37	1,09	0,25	1,5	1,11	0,24	1,33	0,32	1,32	1,5	0,44	1,52	0,15
<i>Loris tardigradus</i>	Lor	0,72	0,65	0,36	0,68	0,62	0,36	0,47	0,12	0,47	0,49	0,15	0,47	0,14
<i>Nycticebus coucang</i>	Lor	0,82	0,8	0,4	0,77	0,74	0,35	0,46	0,11	0,46	0,44	0,12	0,43	0,09
<i>Otolemur crassicaudatus</i>	Lor	0,78	0,75	0,46	0,83	0,78	0,45	0,96	0,2	0,94	1	0,19	0,99	0,19
<i>Perodicticus potto</i>	Lor	0,52	0,5	0,27	0,52	0,51	0,1	0,48	0,01	0,47	0,49	0,01	0,48	0,08

Lem: Lemuriformes, Lor: Loriiformes, CBR1: Horizontaler Abstand zwischen OE rechts und der Mediansagittalebene, CBR2: Horizontaler Abstand zwischen FA rechts und der Mediansagittalebene, CHR1: Vertikaler Abstand zwischen FA rechts und der Margo orbitalis inferior, CBL1: Horizontaler Abstand zwischen OE links und der Mediansagittalebene, CBL2: Horizontaler Abstand zwischen FA links und der Mediansagittalebene, CHL1: Vertikaler Abstand zwischen FA links und der Margo orbitalis inferior, LCSR: projektivische Länge des rechten Canalis infraorbitalis in der Sagittalebene, LCFL: projektivische Länge des rechten Canalis infraorbitalis in der Frontalebene, LCTR: projektivische Länge des rechten Canalis infraorbitalis in der Transversalebene, LCSL: projektivische Länge des linken Canalis infraorbitalis in der Sagittalebene, LCTL: projektivische Länge des linken Canalis infraorbitalis in der Transversalebene, LCFL: projektivische Länge des linken Canalis infraorbitalis in der Frontalebene, RLCSR: relative Länge des rechten Canalis infraorbitalis in der Sagittalebene

Tab. III: Ermittelte Abstände des Ein- und Ausganges des Canalis infraorbitalis zu definierten Messpunkten sowie projektivische Längenmaße und relative Längen des Canalis infraorbitalis bei der Spezies *Pan troglodytes*. Angaben in cm

Spezies	Katalog-Nr.	Alter	CBR1	CBR2	CHR1	CBL1	CBL2	CHL1	LCSR	LCFR	LCTR	LCSL	LCFL	LCTL	RLCSR
<i>Pan</i>	HGW 2 15.5.13	Ad	2,31	2,6	0,46	2,48	2,85	0,54	1,67	0,55	1,64	1,23	0,57	1,13	0,12
<i>Pan</i>	HGW 15.5.5	Ad	2,41	2,62	0,4	2,38	2,65	0,51	1,25	0,46	1,13	1,53	0,65	1,46	0,09
<i>Pan</i>	83645	Ad	2,58	2,81	0,46	2,18	2,45	0,55	1,5	0,47	1,46	1,38	0,6	1,41	0,1
<i>Pan</i>	HGW 3 15.5.14	Ad	2,33	2,74	0,39	2,32	2,72	0,49	1,3	0,59	1,27	1,26	0,53	1,23	0,09
<i>Pan</i>	HGW 15.5.8	Ad	1,95	2,03	0,43	2	2,1	0,44	1,13	0,44	1,05	1,13	0,47	1,04	0,1
<i>Pan</i>	HGW Exhibition	Juv	1,74	1,84	0,42	1,75	1,84	0,48	0,89	0,29	0,78	0,82	0,26	0,78	0,12
<i>Pan</i>	HGW 2 15.5.6	Juv	1,76	1,89	0,4	1,9	1,96	0,33	0,61	0,29	0,68	0,8	0,25	0,75	0,08
<i>Pan</i>	Rolle 21374	Juv	1,47	1,48	0,24	1,43	1,44	0,27	0,54	0,1	0,52	0,52	0,13	0,52	0,08
<i>Pan</i>	Akuafim 19070	Juv	1,71	1,68	0,52	1,65	1,58	0,19	0,67	0,29	0,6	0,71	0,24	0,62	0,08
<i>Pan</i>	1981-481	Juv	2,02	1,92	0,35	1,9	1,7	0,23	0,92	0,39	0,84	0,97	0,39	0,94	0,11
<i>Pan</i>	1957-85	Juv	1,66	1,76	0,15	1,72	1,74	0,19	0,7	0,3	0,65	0,76	0,27	0,7	0,09
<i>Pan</i>	1911-2406	Juv	1,82	1,8	0,17	1,8	1,77	0,16	0,73	0,18	0,69	0,77	0,21	0,74	0,09
<i>Pan</i>	1910-91	Juv	1,8	1,79	0,2	1,76	1,73	0,14	0,71	0,18	0,68	0,75	0,25	0,71	0,08
<i>Pan</i>	1964-121	Juv	1,33	1,28	0,1	1,35	1,32	0,1	0,53	0,63	0,52	0,57	0,04	0,57	0,08
<i>Pan</i>	31644	Juv	1,74	1,79	0,25	1,74	1,79	0,31	0,71	0,27	0,65	0,6	0,27	0,54	0,09
<i>Pan</i>	1981-482	Juv	1,75	1,71	0,19	1,79	1,75	0,17	0,99	0,33	0,94	1,01	0,37	0,92	0,12

Ad: Adult, Juv: Juvenil, CBR1: Horizontaler Abstand zwischen OE rechts und der Mediansagittalebene, CBR2: Horizontaler Abstand zwischen FA rechts und der Mediansagittalebene, CHR1: Vertikaler Abstand zwischen FA rechts und der Margo orbitalis inferior, CBL1: Horizontaler Abstand zwischen OE links und der Mediansagittalebene, CBL2: Horizontaler Abstand zwischen FA links und der Mediansagittalebene, CHL1: Vertikaler Abstand zwischen FA links und der Margo orbitalis inferior, LCSR: projektivische Länge des rechten Canalis infraorbitalis in der Sagittalebene, LCFR: projektivische Länge des rechten Canalis infraorbitalis in der Frontalebene, LCTR: projektivische Länge des rechten Canalis infraorbitalis in der Transversalebene, LCSL: projektivische Länge des linken Canalis infraorbitalis in der Sagittalebene LCTL: projektivische Länge des linken Canalis infraorbitalis in der Transversalebene, LCFL: projektivische Länge des linken Canalis infraorbitalis in der Frontalebene, RLCSR: relative Länge des rechten Canalis infraorbitalis in der Sagittalebene

Tab. IV: Ermittelte Abstände des Ein- und Ausganges des Canalis infraorbitalis zu definierten Messpunkten sowie projektivische Längenmaße und relative Längen des Canalis infraorbitalis bei der Spezies *Colobus guereza*. Angaben in cm

Spezies	Katalog-Nr.	Alter	CBR1	CBR2	CHR1	CBL1	CBL2	CHL1	LCSR	LCFR	LCTR	LCSL	LCFL	LCTL	RLCSR
<i>Colobus</i>	18/66	Ad	1,35	1,43	0,23	1,14	1,26	0,2	0,32	0,1	0,35	0,39	0,13	0,4	0,04
<i>Colobus</i>	100/67	Ad	1,14	1,37	0,18	1,08	1,13	0,19	0,35	0,3	0,39	0,3	0,05	0,31	0,05
<i>Colobus</i>	95/67	Ad	1,07	1,1	0,11	1,01	1,03	0,14	0,32	0,08	0,3	0,26	0,05	0,25	0,04
<i>Colobus</i>	19/66	Ad	1,17	1,21	0,17	1,13	1,14	0,16	0,38	0,1	0,36	0,4	0,07	0,38	0,05
<i>Colobus</i>	272/69	Ad	1,26	1,29	0,35	1,22	1,29	0,34	0,42	0,19	0,39	0,41	0,18	0,37	0,05
<i>Colobus</i>	22/66	Ad	1,23	1,32	0,29	1,19	1,29	0,46	0,32	0,11	0,36	0,24	0,8	0,29	0,37
<i>Colobus</i>	429/69	Ad	1,25	1,36	0,19	1,24	1,28	0,2	0,38	0,13	0,39	0,44	0,83	0,43	0,05
<i>Colobus</i>	17/66	Ad	1,32	1,38	0,38	1,41	1,42	0,29	0,34	0,06	0,33	0,27	0,05	0,28	0,04
<i>Colobus</i>	158/68	Ad	1,27	1,35	0,17	1,26	1,29	0,25	0,36	0,11	0,37	0,43	0,08	0,44	0,04
<i>Colobus</i>	27/66	Ad	1,27	1,39	0,46	1,19	1,24	0,23	0,21	0,13	0,27	0,21	0,1	0,23	0,03
<i>Colobus</i>	166/68	Ad	1,35	1,38	0,35	1,36	1,37	0,38	0,41	0,03	0,41	0,41	0,1	0,41	0,05
<i>Colobus</i>	161/68	Juv	0,92	0,9	0,13	0,91	0,87	0,12	0,28	0,07	0,27	0,29	0,1	0,27	0,05
<i>Colobus</i>	221/69	Juv	1,14	1,26	0,25	1,04	1,18	0,2	0,33	0,12	0,36	0,34	0,15	0,37	0,05
<i>Colobus</i>	271/69	Juv	1,39	1,41	0,26	1,37	1,39	0,36	0,42	0,09	0,41	0,3	0,12	0,29	0,06
<i>Colobus</i>	216/69	Juv	0,7	0,96	0,14	0,74	0,89	0,06	0,25	0,26	0,34	0,2	0,15	0,25	0,04
<i>Colobus</i>	40/66	Juv	1,09	1,12	0,2	1,04	1,11	0,25	0,12	0,05	0,12	0,18	0,19	0,18	0,02
<i>Colobus</i>	430/69	Juv	1,09	1,12	0,13	1,06	1,15	0,15	0,3	0,17	0,3	0,33	0,13	0,33	0,05
<i>Colobus</i>	266/69	Juv	0,97	1,1	0,13	0,94	0,95	0,11	0,17	0,04	0,17	0,18	0,04	0,18	0,03

Ad: Adult, Juv: Juvenil, CBR1: Horizontaler Abstand zwischen OE rechts und der Mediansagittalebene, CBR2: Horizontaler Abstand zwischen FA rechts und der Mediansagittalebene, CHR1: Vertikaler Abstand zwischen FA rechts und der Margo orbitalis inferior, CBL1: Horizontaler Abstand zwischen OE links und der Mediansagittalebene, CBL2: Horizontaler Abstand zwischen FA links und der Mediansagittalebene, CHL1: Vertikaler Abstand zwischen FA links und der Margo orbitalis inferior, LCSR: projektivische Länge des rechten Canalis infraorbitalis in der Sagittalebene, LCFR: projektivische Länge des rechten Canalis infraorbitalis in der Frontalebene, LCTR: projektivische Länge des rechten Canalis infraorbitalis in der Transversalebene, LCTL: projektivische Länge des linken Canalis infraorbitalis in der Sagittalebene, LCSL: projektivische Länge des linken Canalis infraorbitalis in der Frontalebene, LCFL: projektivische Länge des linken Canalis infraorbitalis in der Transversalebene, RLCSR: relative Länge des rechten Canalis infraorbitalis in der Sagittalebene

Tab. V: Ermittelte Abstände des Ein- und Ausganges des Canalis infraorbitalis zu definierten Messpunkten sowie projektivische Längenmaße und relative Längen des Canalis infraorbitalis bei der Spezies *Pongo pygmaeus* und *Alouatta caraya* sowie *Alouatta seniculus*

Spezies	Katalog-Nr.	Alter	CBR1	CBR2	CHR1	CBL1	CBL2	CHL1	LCSR	LCFR	LCTR	LCSL	LCFL	LCTL	RLCSR
<i>Pongo</i>	14.4.5	Juv	1,15	1,51	0,19	1,24	1,62	0,19	0,99	0,47	1,01	1,13	0,51	1,15	0,11
<i>Pongo</i>	14.5.11	Juv	1,13	1,22	0,3	1,02	1,16	0,1	0,47	0,21	0,45	0,61	0,2	0,61	0,06
<i>Pongo</i>	14.5.8	Juv	1,25	1,21	0,21	1,12	1,16	0,26	0,88	0,2	0,84	0,82	0,24	0,79	0,12
<i>Pongo</i>	14.5.9	Juv	1,35	1,25	0,37	1,35	1,25	0,23	0,4	0,16	0,38	0,35	0,15	0,35	0,05
<i>Pongo</i>	14.6.5	Juv	1,71	1,79	0,19	1,6	1,71	0,22	1,12	0,4	1,11	1,07	0,4	1,02	0,1
<i>Pongo</i>	14.6.9	Juv	1,45	1,58	0,17	1,25	1,49	0,29	0,71	0,23	0,65	0,64	0,32	0,63	0,07
<i>Pongo</i>	14.5.3	Juv	1,36	1,56	0,26	1,34	1,54	0,35	0,8	0,38	0,73	0,89	0,4	0,84	0,09
<i>Pongo</i>	14.5.5	Juv	1,43	1,64	0,23	1,59	1,68	0,22	0,98	0,41	0,98	1,07	0,4	1,03	0,11
<i>Pongo</i>	15.9.17	Juv	1,88	2,02	0,34	1,64	1,78	0,25	0,76	0,47	0,62	0,84	0,42	0,73	0,08
<i>A. caraya</i>	1	Ad	1,11	1,32	0,25	1,26	1,34	0,29	0,97	0,46	0,95	0,91	0,31	0,92	0,09
<i>A. caraya</i>	8	Ad	1,17	1,14	0,14	1,17	1,12	0,14	0,72	0,49	0,68	0,56	0,39	0,55	0,07
<i>A. seniculus</i>	2	Ad	1,04	1,15	0,17	1	1,14	0,17	0,63	0,29	0,62	0,55	0,26	0,54	0,07
<i>A. seniculus</i>	4	Ad	0,88	1,06	0,18	0,96	1,14	0,12	0,57	0,31	0,56	0,53	0,27	0,53	0,09
<i>A. seniculus</i>	Puerto Whatson	Ad	0,97	1,23	0,13	1,09	1,13	0,17	0,62	0,45	0,61	0,49	0,19	0,5	0,08

Ad: Adult, Juv: Juvenil, CBR1: Horizontaler Abstand zwischen OE rechts und der Mediansagittalebene, CBR2: Horizontaler Abstand zwischen FA rechts und der Mediansagittalebene, CHR1: Vertikaler Abstand zwischen FA rechts und der Margo orbitalis inferior, CBL1: Horizontaler Abstand zwischen OE links und der Mediansagittalebene, CBL2: Horizontaler Abstand zwischen FA links und der Mediansagittalebene, CHL1: Vertikaler Abstand zwischen FA links und der Margo orbitalis inferior, LCSR: projektivische Länge des rechten Canalis infraorbitalis in der Sagittalebene, LCFL: projektivische Länge des linken Canalis infraorbitalis in der Frontalebene, LCTR: projektivische Länge des rechten Canalis infraorbitalis in der Transversalebene, LCSL: projektivische Länge des linken Canalis infraorbitalis in der Sagittalebene LCTL: projektivische Länge des linken Canalis infraorbitalis in der Transversalebene, LCFL: projektivische Länge des linken Canalis infraorbitalis in der Frontalebene, RLCSR: relative Länge des rechten Canalis infraorbitalis in der Sagittalebene

Tab. VII: Ermittelte projektivische Winkelmaße und Verlaufstypen des Canalis infraorbitalis bei der Spezies *Pan troglodytes*

Spezies	Katalog-Nr.	Alter	WST _{re}	WSF _{re}	WFS _{re}	WFT _{re}	WTS _{re}	WST _{ii}	WSF _{ii}	WFS _{ii}	WFT _{ii}	WTF _{ii}	WTS _{ii}	VTR	VTL
<i>Pan</i>	HGW 2 15.5.13	Ad	12,2	77,8	17,8	72,2	82,5	14,7	75,3	14,6	75,4	77,6	12,4	2	2
<i>Pan</i>	HGW 15.5.5	Ad	16,5	73,5	34,8	55,2	78,1	18,9	71,1	16	74	84,7	5,3	2	2
<i>Pan</i>	83645	Ad	13,6	76,4	39,8	50,2	80,9	21,8	68,2	18,8	71,2	80,3	9,7	2	2
<i>Pan</i>	HGW 3 15.5.14	Ad	18,6	71,4	44,1	45,9	71,8	18,2	71,5	44,4	45,6	71,1	18,9	2	2
<i>Pan</i>	HGW 15.5.8	Ad	22,8	67,2	13,2	76,8	84,3	24,5	65,5	13,8	76,2	83,9	6,1	2	2
<i>Pan</i>	HGW Exhibition	Juv	22,2	67,8	10,4	79,6	87,6	13,8	76,2	14,7	75,3	75	15	2	2
<i>Pan</i>	HGW 2 15.5.6	Juv	18	72	24,8	65,2	81,2	19,5	70,5	16,4	73,6	84,5	5,5	2	2
<i>Pan</i>	Rolle 21374	Juv	15,2	74,8	4,1	85,9	89,6	13,7	76,3	13,3	76,7	87,4	2,6	2	2
<i>Pan</i>	Akuafim 19070	Juv	26,8	63,2	-8,9	98,9	94,1	21,1	68,9	-15,7	105,7	95,1	-5,1	1	1
<i>Pan</i>	1981-481	Juv	23,8	66,2	-14,5	104,5	96,9	18,4	71,6	-36,5	126,5	103,3	-13,3	1	1
<i>Pan</i>	1957-85	Juv	25,4	64,6	18,3	71,7	83,4	21,1	68,9	2	88	89,8	0,2	2	2
<i>Pan</i>	1911-2406	Juv	13,1	76,9	-3,3	93,3	90,8	17	73	-8,9	98,9	94	-4	1	1
<i>Pan</i>	1910-91	Juv	14,4	75,6	-6,9	96,9	92	19,1	70,9	-2,3	92,3	91,4	-1,4	1	1
<i>Pan</i>	1964-121	Juv	12,2	77,8	-24,3	114,3	96,4	5,5	84,5	-15,1	105,1	92,7	-2,7	1	1
<i>Pan</i>	31644	Juv	22,2	67,8	9,8	80,2	87,8	2,2	63,8	8,2	81,8	85,7	4,3	2	2
<i>Pan</i>	1981-482	Juv	20	70	-8,9	98,9	92,7	21,4	68,6	-4,5	94,5	92,1	-2,1	1	1

Ad: Adult, Juv: Juvenil, WST_{re}: projektivischer Winkel zwischen LCSR und der Transversalebene, WSF_{re}: projektivischer Winkel zwischen LCSR und der Frontalebene, WFS_{re}: projektivischer Winkel zwischen LCFR und der Sagittalebene, WFT_{re}: projektivischer Winkel zwischen LCFR und der Transversalebene, WTF_{re}: projektivischer Winkel zwischen LCTR und der Frontalebene WTS_{re}: projektivischer Winkel zwischen LCTR und der Sagittalebene, WST_{ii}: projektivischer Winkel zwischen LCSL und der Transversalebene, WSF_{ii}: projektivischer Winkel zwischen LCSL und der Frontalebene, WFS_{ii}: projektivischer Winkel zwischen LCFL und der Sagittalebene, WFT_{ii}: projektivischer Winkel zwischen LCFL und der Transversalebene, WTF_{ii}: projektivischer Winkel zwischen LCTL und der Frontalebene WTS_{ii}: projektivischer Winkel zwischen LCTL und der Sagittalebene, VTR: Verlaufstypus des rechten Canalis infraorbitalis, VTL Verlaufstypus des linken Canalis infraorbitalis

Tab. VIII: Ermittelte projektivische Winkelmaße und Verlaufstypen des Canalis infraorbitalis bei der Spezies *Colobus guereza*

Spezies	Katalog-Nr.	Alter	WST _{re}	WSF _{re}	WFS _{re}	WFT _{re}	WTS _{re}	WST _{ii}	WSF _{ii}	WFS _{ii}	WFT _{ii}	WTF _{ii}	WTS _{ii}	VTR	VTL
<i>Colobus</i>	A	Ad	13,1	76,9	62,3	27,7	77,9	16,8	73,2	67,4	22,6	73,5	16,5	2	2
<i>Colobus</i>	E	Ad	29,9	60,1	54,1	35,9	52,9	3,4	86,6	69,6	20,4	81,7	8,3	2	2
<i>Colobus</i>	H	Ad	11,6	78,4	50	40	73,6	9,8	80,2	33,4	56,6	83	7	2	2
<i>Colobus</i>	I	Ad	14,5	75,5	16,6	73,4	86	11,4	78,6	5,5	84,5	87,7	2,3	2	2
<i>Colobus</i>	J	Ad	26,4	63,6	16,7	73,3	82,4	7,6	64,9	22,5	67,5	78,2	11,8	2	2
<i>Colobus</i>	L	Ad	7,8	82,2	63,5	26,5	73,2	16,8	87,3	79,9	10,1	72,9	17,1	2	2
<i>Colobus</i>	M	Ad	12,6	77,4	52,8	37,2	77,5	12,5	99,1	157,6	-67,6	82,8	7,2	2	3
<i>Colobus</i>	N	Ad	3,5	86,5	78,7	11,3	81	9	81,9	45,8	44,2	82	8	2	2
<i>Colobus</i>	O	Ad	11	79	47,9	42,1	77,4	12,6	79,5	19,2	70,8	85,3	4,7	2	2
<i>Colobus</i>	B	Ad	12,5	77,5	67,8	22,2	60,2	29,8	68,2	28,5	61,5	79,4	10,6	2	2
<i>Colobus</i>	F	Ad	2,9	87,1	43,8	46,2	87,3	2,7	75,6	6,7	83,3	88,1	1,9	2	2
<i>Colobus</i>	C	Juv	-11,6	101,6	-151,5	-118,5	93,1	-3,1	107,3	-167,6	-102,4	99,3	-9,3	4	4
<i>Colobus</i>	D	Juv	2,4	87,6	85,6	4,4	71,3	18,7	81,1	73,3	16,7	66,8	23,2	2	2
<i>Colobus</i>	G fem	Juv	-11,4	101,4	170,6	-80,6	87,9	2,1	-23,4	123,4	168,2	-78,2	83	3	3
<i>Colobus</i>	G	Juv	29,1	60,9	63,7	26,3	41	49	-14,7	104,7	-23,4	52,5	37,5	2	3
<i>Colobus</i>	H	Juv	-21	111	144,2	-54,2	76,2	13,8	90,8	92,5	-2,5	69,7	20,3	3	3
<i>Colobus</i>	K	Juv	-19,8	109,8	167,6	-77,6	84,8	5,2	-21,3	111,3	169,2	-79,2	81,5	3	3
<i>Colobus</i>	O	Juv	-7,2	97,2	122,4	-32,4	74,6	15,4	-9,9	99,9	-64,3	85,1	4,9	3	3

Ad: Adult, Juv: Juvenil, WST_{re}: projektivischer Winkel zwischen LCSR und der Transversalebene, WSF_{re}: projektivischer Winkel zwischen LCSR und der Frontalebene, WFS_{re}: projektivischer Winkel zwischen LCFR und der Sagittalebene, WFT_{re}: projektivischer Winkel zwischen LCFR und der Frontalebene, WTS_{re}: projektivischer Winkel zwischen LCFR und der Transversalebene, WST_{ii}: projektivischer Winkel zwischen LCTL und der Frontalebene, WTS_{ii}: projektivischer Winkel zwischen LCTL und der Transversalebene, WFT_{ii}: projektivischer Winkel zwischen LCTL und der Frontalebene, WFS_{ii}: projektivischer Winkel zwischen LCTL und der Transversalebene, WFT_{ii}: projektivischer Winkel zwischen LCTL und der Frontalebene, WTS_{ii}: projektivischer Winkel zwischen LCTL und der Transversalebene, VTR: Verlaufstypus des rechten Canalis infraorbitalis, VTL Verlaufstypus des linken Canalis infraorbitalis

Tab. IX: Ermittelte projektivische Winkelmaße und Verlaufstypen des Canalis infraorbitalis bei der Spezies *Pongo pygmaeus* und *Alouatta caraya* sowie *Alouatta seniculus*

Spezies	Katalog-Nr.	Alter	WST _{re}	WSF _{re}	WFS _{re}	WFT _{re}	WTS _{re}	WST _{ii}	WSF _{ii}	WFS _{ii}	WFT _{ii}	WTS _{ii}	VTR	VTL
<i>Pongo</i>	14.4.5	Juv	16,1	73,9	53,4	36,6	21	17,8	72,2	47,4	42,6	19,1	2	2
<i>Pongo</i>	14.5.11	Juv	23	67	24,7	65,3	9	11,7	78,3	44,8	45,2	12,8	2	2
<i>Pongo</i>	14.5.8	Juv	11,6	78,4	-11,9	101,9	-2,4	16,2	73,8	10,5	79,5	84,1	1	2
<i>Pongo</i>	14.5.9	Juv	17,8	72,2	-29,5	119,5	-14,3	17	73	-47,3	137,3	108,1	1	1
<i>Pongo</i>	14.6.5	Juv	18,2	71,8	14,8	75,2	5,7	19,3	70,7	22,1	67,9	81,7	2	2
<i>Pongo</i>	14.6.9	Juv	16,5	73,5	32,6	57,4	9,9	21,5	68,5	44,2	45,8	68,7	2	2
<i>Pongo</i>	14.5.3	Juv	24,7	65,3	29,5	60,5	15,4	23,3	66,7	31,2	58,8	75,6	2	2
<i>Pongo</i>	14.5.5	Juv	20,2	69,8	32,8	57,2	12,5	20,9	69,1	29,6	60,4	78,5	2	2
<i>Pongo</i>	15.9.17	Juv	36,6	53,4	15,9	74,1	9,4	28,2	61,8	16,6	73,4	79,2	2	2
<i>A. caraya</i>	1	Ad	25	65	31,9	58,1	15,2	18,5	71,5	20,1	69,9	81,4	2	2
<i>A. caraya</i>	8	Ad	47,7	42,3	-4	94	-4,7	44,3	45,7	-5,9	95,9	96	1	1
<i>A. seniculus</i>	2	Ad	25,3	64,7	21,4	68,6	9,1	27,3	62,7	25,4	64,6	76,8	2	2
<i>A. seniculus</i>	4	Ad	25,8	64,2	37	53	22,6	22,9	67,1	45,8	44,2	66,8	2	2
<i>A. seniculus</i>	Puerto Whatson	Ad	38,7	51,3	36,6	53,4	32,9	22,1	67,9	28,7	61,3	76,8	2	2

Ad: Adult, Juv: Juvenil, WST_{re}: projektivischer Winkel zwischen LCSR und der Transversalebene, WSF_{re}: projektivischer Winkel zwischen LCSR und der Frontalebene, WFS_{re}: projektivischer Winkel zwischen LCFR und der Sagittalebene, WFT_{re}: projektivischer Winkel zwischen LCFR und der Frontalebene, WTS_{re}: projektivischer Winkel zwischen LCTR und der Transversalebene, WFT_{ii}: projektivischer Winkel zwischen LCTL und der Frontalebene, WTS_{ii}: projektivischer Winkel zwischen LCTL und der Transversalebene, WFT_{ii}: projektivischer Winkel zwischen LCFL und der Frontalebene, WTS_{ii}: projektivischer Winkel zwischen LCFL und der Frontalebene, WFS_{ii}: projektivischer Winkel zwischen LCFL und der Frontalebene, WFT_{ii}: projektivischer Winkel zwischen LCFL und der Transversalebene, WTS_{ii}: projektivischer Winkel zwischen LCTL und der Frontalebene, WTS_{ii}: projektivischer Winkel zwischen LCTL und der Sagittalebene, VTR: Verlaufstypus des rechten Canalis infraorbitalis, VTL Verlaufstypus des linken Canalis infraorbitalis

Tab. X: Ergebnisse für die externen Schädelmaße sowie für die Volumina von Orbita und Sinus maxillaris und den ermittelten Indizes bei den Strepsirrhini

Spezies	Infraordnung	SBL [cm]	GSL [cm]	OGH [cm]	MGB [cm]	MAB [cm]	JBB [cm]	IOB [cm]	GSV [cm ³]	VSMR [cm ³]	VSML [cm ³]	VOR [cm ³]	VOL [cm ³]	ISOR	I _o	I _{SM}	I _{RLCSR}
<i>Aye aye</i>	Lem	5,38	5,68	2,49	3,57	1,79	4,75	2,51	23,77	1,45	1,46	4,51	4,95	32,15	39,8	12,24	4,68
<i>Cheirogaleus major</i>	Lem	2,29	4,27	1,72	2,43	1,83	3,4	1,14		0,09	0,08	1,3	1,28	6,92			4,08
<i>Cheirogaleus medius</i>	Lem	3,47	4,41	1,84	2,34	1,94	3,33	1,12	6,97	0,08	0,07	1,21	1,25	6,61	37,28	2,44	15,34
<i>Eulemur macaco</i>	Lem	5,23	7,17	2,92	3,42	2,86	4,81	2,3	22,49	0,57	0,58	3,86	3,96	14,77	34,77	5,11	11,5
<i>Eulemur mongoz</i>	Lem	6,07	7,22	2,77	3,7	2,57	5,18	2,26	30,3	1,78	1,42	5,08	5,34	35,04	34,39	10,56	5,98
<i>Haplemur griseus olivaceus</i>	Lem	4,36	5,02	2,18	2,65	2,07	3,94	1,33	12,58	0,5	0,51	2,31	2,28	21,65	36,49	8,03	15,38
<i>Indri indri</i>	Lem	6,67	8,39	3,08	4,41	3,15	5,72	2,48	41,53	2,52	2,39	5,82	5,65	43,3	27,62	11,82	12,21
<i>Lemur catta</i>	Lem	4,92	7,29	2,76	3,75	2,78	5,03	2,47	15,77	0,52	0,5	3,72	3,73	13,98	47,24	6,47	10,08
<i>Lepilemur microdon</i>	Lem	3,76	4,96	1,97	2,74	1,91	3,77	1,31	9,09	0,15	0,17	1,46	1,53	10,27	32,89	3,52	
<i>Lepilemur mustelinus leucopus</i>	Lem	3,89			2,37	1,58	3,34	1,1		0,05	0,06	1,11	1	4,5			5,73
<i>Microcebus murinus</i>	Lem	1,53	2,62	1,18	1,21	0,84	1,99	0,61	0,54	0,01	0,01	0,26	0,29	3,85	101,85	3,7	5,25
<i>Phaner furcifer</i>	Lem	2,46	4,38	1,93	2,59	1,43	3,27	1,24	0,83	0,11	0,12	1,03	1,06	10,68	251,81	27,71	14,89
<i>Varecia variegata</i>	Lem	6,21	8,93	4,08	4,1	3,03	5,66	1,96	45,45	0,31	0,32	5	5,02	6,2	22,05	1,39	14,37
<i>Loris tardigradus</i>	Lor	2,92	3,27	1,54	2,08	1,62	3,37	0,66	4,68	0,06	0,06	1,48	1,51	4,05	63,89	2,56	8,78
<i>Nycticebus coucang</i>	Lor	4,06	5,24	1,94	3,23	1,92	4,27	1,04	11,31	0,17	0,2	2,39	2,26	7,11	41,11	3,27	19,09
<i>Otolemur crassicaudatus</i>	Lor	3,94	5,03	2,39	3,53	1,94	4,21	1,36	16,23	0,3	0,27	2,38	2,46	12,61	29,82	3,51	7,93
<i>Perodicticus potto</i>	Lor	4,59	6,05	1,52	1,64	1,27	2,43	0,62	1,83	0,07	0,08	0,57	0,61	12,28	64,48	8,2	4,68

Lem: Lemuriformes, Lor: Loriformes, SBL: Schädelbasislänge, GSL: Gesichtsbasislänge, OGH: Obergesichtshöhe, MGB: Mittelgesichtsweite, MAB: Maxilloalveolarbreite, JBB: Jochbogenbreite, IOB: Interorbitalbreite, GSV: Gesichtsschädelvolumen, VSMR: Volumen des rechten Sinus maxillaris, VSML: Volumen des linken Sinus maxillaris, VOR: Volumen der rechten Orbita, VOL: Volumen der linken Orbita, ISOR: Index für das Verhältnis vom Volumen des rechten Sinus maxillaris zum Volumen der rechten Orbita, I_o: Index für das Verhältnis vom Volumen der rechten Orbita zum Gesichtsschädelvolumen, I_{SM}: Index für das Verhältnis vom Volumen des rechten Sinus maxillaris zum Gesichtsschädelvolumen, I_{RLCSR}: Index für die relative Länge des rechten Canalis infraorbitalis in der Sagittalebene

Tab. XI: Ergebnisse für die externen Schädelmaße sowie für die Volumina von Orbita und Sinus maxillaris und den ermittelten Indizes bei der Spezies *Pan troglodytes*. Die kursiv dargestellten Werte sind aus Töpke (2010) entnommen

Spezies	Katalog-Nr.	Alter	SBL [cm]	GSL [cm]	OGH [cm]	MGB [cm]	MAB [cm]	JBB [cm]	IOB [cm]	GSV [cm ³]	VSMR [cm ³]	VSML [cm ³]	VOR [cm ³]	VOL [cm ³]	ISOR	Io	I _{SM}	I _{RLCSR}
<i>Pan</i>	HGW 2 15.5.13	Ad	9,69	14,29	8,7	8,56	6,34	11,61	2,08	353,13	26,67	26,77	25,78	26,56	103,45	14,82	15,13	11,69
<i>Pan</i>	HGW 15.5.5	Ad	9,2	13,38	8,51	9,47	6,41	12,37	1,74	367,05	31,68	34,63	25,34	24,56	125,02	13,59	18,07	9,34
<i>Pan</i>	83645	Ad	10,6	14,44	10,04	8,86	5,91	11,36	2,24	471,35	35	36,06	28	26,35	125	11,53	15,08	10,39
<i>Pan</i>	HGW 3 15.5.14	Ad	9,9	14,35	10,31	9,41	6,39	12,2	1,86	480,22	24,88	27,89	26,57	27,75	93,64	11,31	11	9,06
<i>Pan</i>	HGW 15.5.8	Ad	8,89	11,14	6,81	7,68	5,03	10,29	1,31	232,46	13,79	12,89	17,98	18,66	76,7	15,76	11,5	10,14
<i>Pan</i>	HGW Exhibition	Juv	6,56	7,71	5,46	5,7	4,48	7,22	1,08	100,28	4,51	4,61	11,49	11,63	39,25	23,06	9,09	11,54
<i>Pan</i>	HGW 2 15.5.6	Juv	7,11	7,95	5,21	5,94	4,77	8,07	1,13	107,89	3,99	3,71	15,32	14,47	26,04	27,61	7,14	7,67
<i>Pan</i>	Rolle 21374	Juv	6,13	6,8	3,58	4,96	3,89	6,32	0,91	54,18	2,07	2,03	10,37	9,23	19,96	36,18	7,57	7,94
<i>Pan</i>	Akuafim 19070	Juv	7,17	8,23	5,03	5,66	4,1	6,7	0,9	101,27	5,09	4,85	12,38	11,97	41,11	24,04	9,82	8,14
<i>Pan</i>	1981-481	Juv	7,6	8,41	5,95	6,22	4,71	7,64	1,04	136,24	7,91	7,81	15,35	15,19	51,53	22,42	11,54	10,94
<i>Pan</i>	1957-85	Juv	7,18	8,19	5,63	5,69	4,03	7,63	1,03	112,68	5,43	5,75	13,77	13,43	39,43	24,14	9,92	8,55
<i>Pan</i>	1911-2406	Juv	7,31	8,22	5,7	6,14	4,76	8,21	1,18	124,78	6,53	7,63	15,44	15,08	42,29	24,46	11,35	8,88
<i>Pan</i>	1910-91	Juv	7,47	9,26	5,52	6,87	4,95	8,88	1,05	141,64	5,13	4,67	16,24	16,18	31,59	22,89	6,92	7,67
<i>Pan</i>	1964-121	Juv	6,04	6,47	4,23	4,87	3,76	6,65	0,72	60,32	0,97	0,94	9,9	9,72	9,8	32,53	3,17	8,19
<i>Pan</i>	31644	Juv	6,76	7,82	4,97	6,2	4,26	7,88	0,95	103,16	5,08	5,21	13,68	13,68	37,13	26,52	9,97	9,08
<i>Pan</i>	1981-482	Juv	8,26	8,55	6,05	6,21	4,55	8,23	1,11	147,14	6,59	6,13	14,29	14,57	46,12	19,61	8,64	11,58

Ad: Adult, Juv: Juvenil, SBL: Schädelbasislänge, GSL: Gesichtsschädelhöhe, OGH: Obergesichtshöhe, MGB: Mittelgesichtsbreite, MAB: Maxilloalveolarbreite, JBB: Jochbogenbreite, IOB: Interorbitalbreite, GSV: Gesichtsschädelvolumen, VSMR: Volumen des rechten Sinus maxillaris, VSML: Volumen des linken Sinus maxillaris, VOR: Volumen der rechten Orbita, VOL: Volumen der linken Orbita, ISOR: Index für das Verhältnis vom Volumen des rechten Sinus maxillaris zum Volumen der rechten Orbita, Io: Index für das Verhältnis vom Gesichtsschädelvolumen, I_{SM}: Index für das Verhältnis vom Volumen des rechten Sinus maxillaris zum Gesichtsschädelvolumen, I_{RLCSR}: Index für die relative Länge des rechten Canalis infraorbitalis in der Sagittalebene

Tab. XII: Ergebnisse für die externen Schädelmaße sowie für die Volumina von Orbita und Sinus maxillaris und den ermittelten Indizes bei der Spezies *Colobus guereza*. Die kursiv dargestellten Werte wurden uns von Koppe (2019) zur Verfügung gestellt

Spezies	Katalog-Nr.	Alter	SBL [cm]	GSL [cm]	OGH [cm]	MGB [cm]	MAB [cm]	JBB [cm]	IOB [cm]	GSV [cm ³]	VSMR [cm ³]	VSML [cm ³]	VOR [cm ³]	VOL [cm ³]	ISOR	I _o	I _{SM}	I _{RLCSR}
<i>Colobus</i>	18/66	Ad	7	8,88	4,19	5,77	3,88	7,55	1,18	82,74				9,83				4,58
<i>Colobus</i>	100/67	Ad	6,06	7,64	3,84	5,23	3,65	7,21	1,07	60,18			8,23	8,25		27,38		4,41
<i>Colobus</i>	95/67	Ad	6,13	7,26	3,36	5,19	3,29	6,71	0,96	53,22			8,07	7,98		30,16		4,63
<i>Colobus</i>	19/66	Ad	6,74	8,21	4,28	5,47	3,59	7,22	1	78,35			10,61	10,4		26,82		5,01
<i>Colobus</i>	272/69	Ad	6,63	8,38	4,13	5,98	3,77	7,52	1,03	80,71			9,09	9,31		22,8		3,68
<i>Colobus</i>	22/66	Ad	6,89	8,69	4,27	5,59	3,68	7,31	1,34	81,08			10,27	10,23		25,28		4,73
<i>Colobus</i>	429/69	Ad	6,46	8,04	3,82	5,37	3,53	7,38	1,11	65,31			10,82	10,65		32,87		3,79
<i>Colobus</i>	17/66	Ad	6,75	8,98	4,26	5,69	3,55	7,25	1,12	78,12			9,58	9,69		24,68		4,48
<i>Colobus</i>	158/68	Ad	6,42	8,04	3,77	5,14	3,5	7,01	1,09	61,07			8,63	8,53		28,1		2,64
<i>Colobus</i>	27/66	Ad	6,39	7,95	3,83	5,15	3,57	7	0,96	62,23			8,14	8,36		26,51		4,54
<i>Colobus</i>	166/68	Ad	7,32	9,03	4,28	5,74	3,68	7,52	1,42	88,85								4,81
<i>Colobus</i>	161/68	Juv	5,1	5,82	2,7	4,15	2,87	5,71	0,68	28,57								5,12
<i>Colobus</i>	221/69	Juv	5,4	6,44	3,29	4,75	3,37	6,5	0,78	42,15			8,23	8,25		27,38		5,82
<i>Colobus</i>	271/69	Juv	6,08	7,22	3,49	5,07	3,34	6,65	0,91	53,66			8,07	7,98		30,16		4,25
<i>Colobus</i>	216/69	Juv	5,13	5,88	3,19	4,47	3,16	5,96	0,79	36,51			10,61	10,4		26,82		1,99
<i>Colobus</i>	40/66	Juv	5,49	6,04	3,01	4,38	3,08	6	0,72	36,07			9,09	9,31		22,8		5,37
<i>Colobus</i>	430/69	Juv	5,61	5,59	3,42	4,93	3,27	6,72	0,81	44,95			10,27	10,23		25,28		3,01
<i>Colobus</i>	266/69	Juv	5,34	5,64	2,86	4,22	2,94	5,51	0,93	31,81			10,82	10,65		32,87		4,58

Ad: Adult, Juv: Juvenil, SBL: Schädelbasislänge, GSL: Gesichtsschädelhöhe, OGH: Obergesichtshöhe, MGB: Mittelgesichtsbreite, MAB: Maxilloalveolarbreite, JBB: Jochbogenbreite, IOB: Interorbitalbreite, GSV: Gesichtsschädelvolumen, VSMR: Volumen des rechten Sinus maxillaris, VSML: Volumen des linken Sinus maxillaris, VOR: Volumen der rechten Orbita, VOL: Volumen der linken Orbita, ISOR: Index für das Verhältnis vom Volumen des rechten Sinus maxillaris zum Volumen der rechten Orbita, I_o: Index für das Verhältnis vom Volumen der rechten Gesichtsschädelvolumen, I_{SM}: Index für das Verhältnis vom Volumen des rechten Sinus maxillaris zum Gesichtsschädelvolumen, I_{RLCSR}: Index für die relative Länge des rechten Canalis infraorbitalis in der Sagittalebene

Tab. XIII: Ergebnisse für die externen Schädelmaße sowie für die Volumina von Orbita und Sinus maxillaris und den ermittelten Indizes bei der Spezies *Pongo pygmaeus* und *Alouatta caraya* sowie *Alouatta seniculus*

Spezies	Katalog-Nr.	Alter	SBL [cm]	GSL [cm]	OGH [cm]	MGB [cm]	MAB [cm]	JBB [cm]	IOB [cm]	GSV [cm ³]	VSMR [cm ³]	VSML [cm ³]	VOR [cm ³]	VOL [cm ³]	ISOR	I _o	I _{SM}	I _{RLCSR}
<i>Pongo</i>	14.4.5	Juv	6,61	9,07	5	6,88	4,14	9,06	0,61	111,27	2,33	2	10,73	10,88	21,71	19,42	3,89	10,92
<i>Pongo</i>	14.5.11	Juv	6,64	7,79	4,45	6,38	3,94	7,88	0,68	94,12	1,9	2,54	10,44	10,64	17,86	22,4	4,72	6,03
<i>Pongo</i>	14.5.8	Juv	5,94	7,21	4,38	6,22	4,03	7,5	0,56	80,82	3,44	3,25	9,19	9,31	37,43	22,89	8,28	12,21
<i>Pongo</i>	14.5.9	Juv	6,21	7,58	4,43	6,25	4,26	7,37	0,62	85,96	2,4	2,29	10,61	11,12	22,62	25,28	5,46	5,28
<i>Pongo</i>	14.6.5	Juv	8,34	11,21	5,98	8,31	5,26	10,56	1,04	202,87	8,26	7,82	14,99	15,61	55,1	15,08	7,93	10
<i>Pongo</i>	14.6.9	Juv	7	9,63	5,19	7,25	4,95	8,8	0,8	128,13	6,44	5,19	13,03	13,57	49,42	20,76	9,08	7,37
<i>Pongo</i>	14.5.3	Juv	6,67	9,22	5,37	7	4,71	9,41	0,71	123,68	3,77	3,78	12,97	12,98	29,1	20,98	6,1	8,68
<i>Pongo</i>	14.5.5	Juv	7,07	9,27	5,31	7,88	5,07	9,56	0,85	147,12	8,36	9,84	13,86	14,21	60,32	19,16	12,37	10,57
<i>Pongo</i>	15.9.17	Juv	7,95	9,75	5,83	6,57	4,47	8,58	1,1	152,21	4,85	4,5	14,35	14,28	33,8	18,81	6,14	7,79
<i>A. caraya</i>	1	Ad	8,19	10,3	4,13	6,5	4,64	8,13	1,46	103,98	6,7	6,9	6,6	6,8	101,51	195,21	13,08	9,42
<i>A. caraya</i>	8	Ad	6,7	8,31	3,7	4,61	3,1	6,97	1,29	55,85	1,8	1,9	8,7	8,9	20,69	75,27	6,62	8,66
<i>A. seniculus</i>	2	Ad	6,71	8,88	3,04	5,27	3,62	6,57	1,34	42,89	4,5	4,3	6,4	6,3	70,31	323,06	20,52	7,09
<i>A. seniculus</i>	4	Ad	6,44	8,71	3,05	5,58	3,73	6,63	1,31	42,17	4,1	4,1	6,3	6,1	65,08	313,71	19,45	6,54
<i>A. seniculus</i>	Puerto Whatson	Ad	5,15	7,91	3,61	5,95	4,09	6,74	1,2	43,44	4,2	4,4	6,5	6,2	64,62	312,13	19,8	7,84

Juv: Juvenil, Ad: Adult, SBL: Schädelbasislänge, GSL: Gesichtsschädelhöhe, OGH: Obergesichtshöhe, MGB: Mittelgesichtsbreite, MAB: Maxilloalveolarbreite, JBB: Jochbogenbreite, IOB: Interorbitalbreite, GSV: Gesichtsschädelvolumen, VSMR: Volumen des rechten Sinus maxillaris, VSML: Volumen des linken Sinus maxillaris, VOR: Volumen der rechten Orbita, VOL: Volumen der linken Orbita, ISOR: Index für das Verhältnis vom Volumen des rechten Sinus maxillaris zum Volumen der rechten Orbita, I_o: Index für das Verhältnis vom Volumen der rechten Orbita zum Gesichtsschädelvolumen, I_{SM}: Index für das Verhältnis vom Volumen des rechten Sinus maxillaris zum Gesichtsschädelvolumen, I_{RLCSR}: Index für die relative Länge des rechten Canalis infraorbitalis in der Sagittalebene

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre, die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt zu haben.

Die Dissertation wurde bisher keiner anderen Fakultät vorgelegt.

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

Datum

Unterschrift

Lebenslauf

Persönliche Angaben

Name	Andreas Pätzold
Geburtsdatum	02.06.1995
Geburtsort	41464 Neuss
Familienstand	ledig
Adresse	Andreas Pätzold Feuerbachstraße 38 14471 Potsdam

Werdegang

2000-2005	Grundschule Merbeck
2005-2006	Gemeinschaftsgrundschule am Nicolaitor in Höxter
2006-2014	König-Wilhelm-Gymnasium Höxter
2014	Allgemeine Hochschulreife am König-Wilhelm-Gymnasium Höxter
2015-2020	Studium der Zahnmedizin an der Universität Greifswald
2020	Staatsexamen der Zahnmedizin an der Universität Greifswald
06.11.2020	Approbation als Zahnarzt
seit 15.02 2021	Arbeit als Assistenz Zahnarzt in Brandenburg an der Havel

Danksagung

Mein ganz besonderer Dank gilt meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. med. Thomas Koppe, wissenschaftlicher Oberassistent am Institut für Anatomie und Zellbiologie der Universität Greifswald, für die Vergabe des Themas sowie für die hervorragende und geduldige Betreuung dieser Arbeit. Er stellte mir die verwendeten Röntgenaufnahmen sowie die Schädeldaten der Mantelaffen zur Verfügung und unterstützte mich mit vielen Ideen und konstruktiven Anregungen.

Ich bedanke mich bei Herrn Prof. Dr. med. Karlhans Endlich, Direktor des Instituts für Anatomie und Zellbiologie der Universität Greifswald für die Ermöglichung dieser Arbeit am Institut.

Mein weiterer Dank gilt Herrn Maximilian Strümpel für die gute Zusammenarbeit, den hilfreichen Anregungen und kritischen Diskussionen während dieser Arbeit.

Schließlich möchte ich mich bei meiner Familie sowie meinen Freunden für die tatkräftige Unterstützung während des gesamten Studiums bedanken, ohne die diese Arbeit nicht möglich gewesen wäre.