

Aus dem Institut Anatomie II
der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf
Leiterin: Univ.-Prof. Dr. Charlotte Freifrau von Gall

Untersuchung anatomischer Variationen der Innervation der Maxilla

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnmedizin
der Medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

vorgelegt von
Martha Frederike Grittner

2026

Als Inauguraldissertation gedruckt mit Genehmigung der
Medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

gez.:

Dekan: Prof. Dr. med. Nikolaj Klöcker

Erstgutachterin: Univ.-Prof. Dr. phil. nat. Charlotte Freifrau von Gall

Zweitgutachter: Prof. Dr. rer. nat. Christoph V. Suschek

Für meine Familie

Auflistung der Publikationen

Vorstellung der Dissertation im Rahmen des Online-Symposiums der Medical Research School im Jahre 2020

Zusammenfassung

Die Innervation der oberen Schneide- und Eckzähne erfolgt durch den *Nervus alveolaris superior anterior*, einen Ast des *Nervus maxillaris*. In der Literatur und in Studien wird gezeigt, dass die Nerven intraossär über Kanäle in die Zielregion geführt werden. Der *N. infraorbitalis*, der vom *N. maxillaris* abzweigt, verläuft im *Canalis infraorbitalis* und der *N. alveolaris superior anterior* verläuft im *Canalis sinuosus*. Zahlreiche Studien zeigen anhand von Digitalen-Volumen-Topografie-Aufnahmen, dass es eine hohe Variabilität im Verlauf des *Canalis sinuosus* gibt. Zudem konnten akzessorische Kanäle nachgewiesen werden. Die Studien weisen auf die Wichtigkeit eines profunden anatomischen Wissens im Bereich der anterioren Maxillenwand hin, da die Kenntnis über eine hohe Variabilität iatrogene Schädigungen der Nerven und Arterien verhindern kann.

Ziel der vorliegenden Dissertation ist es, zu überprüfen, wie der *Nervus alveolaris superior anterior* verläuft, wenn dieser nicht im *Canalis sinuosus* verläuft. Die Hypothese beruht auf der Beobachtung, dass in manchen Fällen der *Canalis sinuosus* lediglich die *Vena* und *Arteria alveolaris superior anterior* in den anterioren Maxillabereich führt. Folglich muss der *Nervus alveolaris superior anterior* separat verlaufen.

Die Untersuchung basierte auf insgesamt n = 22 Maxillahälften von Körperspender*innen aus dem Anatomischen Institut I der Universität Düsseldorf. Von diesen 22 Präparaten wurden sechs ausgewählt, bei denen sich nach der Präparation ein separater Verlauf des *Nervus alveolaris superior anterior* zeigte. Drei der sechs Präparate wurden mit der Doktorandin Lena Niedballa gemeinsam erstellt, die sich in ihrer Dissertation anhand von 17 Präparaten mit der Variabilität des *Canalis sinuosus* und dessen akzessorischen Kanälen befasste. Zusätzlich wurden drei weitere Präparate weiterführend präpariert.

Durch Anonymisierung konnte kein Rückschluss auf das Geschlecht gezogen werden, welches dementsprechend kein ausschlaggebendes Kriterium für die vorliegende Dissertation war. Durch dorsale Fensterung des *Sinus maxillaris*, dessen gezielte Illuminierung und vollständige Entfernung der Kortikalis im Bereich der anterioren *Maxilla* und des Orbitabodens konnten die Gefäße und Nerven dargestellt werden.

Bei allen sechs Maxillapräparaten konnte der separate Verlauf des *Nervus alveolaris superior anterior* zum *Canalis sinuosus* genauer nachvollzogen werden. Der Nerv verläuft, nach Abzweigung vom *Nervus infraorbitalis*, anfänglich noch zusammen mit der Vene und der Arterie im *Canalis sinuosus*, um dann während des intraossären Verlaufs im Bereich unterhalb des *Foramen infraorbitale* leicht nach *kaudal* zu divergieren. Der *Canalis sinuosus* und die innerhalb verlaufenden Gefäße ziehen zunächst weiter nach *medial* zur Nase. Bei einem Nachweis der Variation des separat laufenden *Nervus alveolaris superior anterior* bei sechs von n=22 Präparaten liegt die prozentuale Verteilung bei 27,3%.

Die Erkenntnis, dass die Gefäße und Nerven der alveolären, oberen, vorderen Trias‘ im Bereich der anterioren *Maxilla* nicht zwangsläufig zusammen im *Canalis sinuosus* verlaufen müssen, ist für den zahnmedizinisch-chirurgischen Fachbereich relevant. Für die präoperative Diagnostik ist dieses Wissen entscheidend, damit der kleine Nervenast des *Nervus alveolaris superior anterior* neben dem *Canalis sinuosus* nicht übersehen wird und somit iatrogen verursachte Schädigungen und Fehldiagnosen verhindert werden können. Die Berücksichtigung dieser Tatsachen in die anatomische Lehre erscheint wichtig, um chirurgische und zahnmedizinische Eingriffe im anterioren Oberkieferbereich sicherer und präziser zu gestalten.

Summary

The innervation of the upper incisors and canines is provided by the anterior superior alveolar nerve (*Nervus alveolaris superior anterior*), a branch of the maxillary nerve. Literature and previous studies demonstrate that these nerves are guided intraosseously through canals toward their target region. The infraorbital nerve (*N. infraorbitalis*), that branches off from the maxillary nerve (*N. maxillaris*), travels within the infraorbital canal, whereas the anterior superior alveolar nerve courses through the *canalis sinuosus*. Numerous studies based on digital volume tomography (DVT) images show considerable variability in the course of the *canalis sinuosus*. Accessory canals have also been identified. These studies emphasize the importance of profound anatomical knowledge of the anterior maxillary wall, as understanding this variability can help prevent iatrogenic injuries to nerves and arteries.

The aim of the present dissertation is to examine the course of the anterior superior alveolar nerve when it does not run within the *canalis sinuosus*. The hypothesis is based on the observation that, in some cases, the *canalis sinuosus* conducts only the anterior superior alveolar artery and vein into the anterior maxillary region. Consequently, the anterior superior alveolar nerve must follow a separate path.

The investigation was based on a total of $n = 22$ maxillary halves from body donors at the Institute of Anatomy I, University of Düsseldorf. Of these 22 specimens, six were selected in which a separate course of the anterior superior alveolar nerve became apparent after dissection. Three of the six specimens were dissected together with the doctoral student Lena Niedballa who, in her dissertation, examined the variability of the *canalis sinuosus* and its accessory canals in 17 specimens. In addition, three further specimens were dissected in extended detail.

Due to anonymization, no information regarding sex could be obtained, and therefore this variable did not play a role in the present dissertation. Through dorsal fenestration of the maxillary sinus, targeted illumination, and complete removal of the cortical bone in the area of the anterior maxilla and the orbital floor, the vessels and nerves could be visualized.

In all six maxillary specimens, the separate course of the anterior superior alveolar nerve relative to the *canalis sinuosus* could be documented in detail. After branching from the infraorbital nerve, the nerve initially travels together with the vein and artery within the *canalis sinuosus*, before diverging slightly caudally during its intraosseous course beneath the infraorbital foramen. The *canalis sinuosus* and the vessels contained within it continue medially toward the nasal cavity. With this variation being identified in six out of 22 specimens, the corresponding prevalence amounts to 27.3%.

The finding that the vessels and nerves of the upper anterior alveolar triad do not necessarily travel together within the *canalis sinuosus* is of relevance for dental and surgical practice. This knowledge is essential for preoperative diagnostics to ensure that the small anterior superior alveolar branch is not overlooked when it runs separately from the *canalis sinuosus*, thereby preventing iatrogenic injuries and misdiagnoses. Incorporating these insights into anatomical teaching appears crucial for enhancing the safety and precision of surgical and dental procedures in the anterior maxillary region.

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
AC	akzessorischer Kanal
bzw.	beziehungsweise
CS	<i>Canalis sinuosus</i>
CBCT	Conebeam Computer Tomography
DVT	Digitale Volumentomographie
FDI	<i>Federation Dentaire Internationale</i>
ml	Milliliter
mm	Millimeter
N.	<i>Nervus</i>
n	Menge
NASA	<i>Nervus alveolaris superior anterior</i>
Nn.	<i>Nervi</i>
Nr.	Nummer
PNS	Peripheres Nervensystem
R.	<i>Ramus</i>
Rr.	<i>Rami</i>
s.	siehe
vgl.	vergleiche

ZNS	Zentrales Nervensystem
------------	------------------------

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
1.1	Der menschliche Schädel	1
1.1.1	Die <i>Maxilla</i>	3
1.1.2	Le Fort Frakturlinien	5
1.2	Das menschliche Gebiss	7
1.2.1	Der menschliche Zahn.....	8
1.2.2	Histologie des peripheren Nervs	9
1.2.3	Die nervöse Versorgung der Zähne und der <i>Canalis sinuosus</i>	9
1.3	Ziele der Arbeit.....	17
2	Material.....	18
2.1	Materialliste der makroskopischen Darstellung	18
2.2	Hilfsmittel zur Betrachtung	20
3	Methoden	21
3.1.1	Auswahl Körperspender*innen.....	21
3.1.2	Präparation für makroskopische Darstellung	23
3.1.3	Makroskopische Darstellung der Nerven und Gefäße	25
4	Ergebnisse.....	26
4.1	Präparat 1	28
4.2	Präparat 2.....	29
4.3	Präparat 3	30
4.4	Präparat 4.....	31
4.5	Präparat 5.....	32
4.6	Präparat 6.....	34
4.7	Zusammenfassung der makroskopischen Ergebnisse	36
5	Diskussion.....	37

5.1	Ausblick.....	39
5.2	Schlussfolgerung	41
6	Literatur- und Quellenverzeichnis	43
7	Anhang.....	46

1 Einleitung

Zum besseren Verständnis der wissenschaftlichen Grundlagen der vorliegenden Dissertation werden in den nachfolgenden Kapiteln eine Übersicht über die menschliche Anatomie des Schädels, des Gebisses und des Zahnes sowie ein kurzer Exkurs hin zu den Le Fort Frakturlinien und abschließend zu dem makroskopischen Verlauf eines Nervens gegeben.

1.1 Der menschliche Schädel

Der Schädel ist der knöcherne Bestandteil des Kopfes, der den *kranial* des Halses liegende Teil des Körpers darstellt (vgl. Lippert, 2011). Dieser beherbergt und schützt unter anderem das Gehirn und wichtige Sinnesorgane, wie das Sehorgan, das Hörorgan, das Gleichgewichtsorgan, das Riechorgan und den Geschmackssinn. Jener Teil des Schädels, der das Gehirn umhüllt wird als *Neurocranium* (Gehirnschädel) bezeichnet und beherbergt das Gehör- und Gleichgewichtsorgan, welches im Felsenbein des *Os temporale* sitzt (vgl. Samandari and Mai, 1995a).

Jener Schädelteil, der als Grundlage für das Gesicht dient, wird als *Viscerocranium* (Gesichtsschädel) bezeichnet (vgl. Waschke et al., 2019). Der Gesichtsschädel wird von *kranial* nach *kaudal* durch die Augenhöhlen, das Nasenskelett und das Kieferskelett gebildet, in denen die oben genannten Sinnesorgane Platz finden.

Der menschliche Schädel besteht demnach aus acht paarigen und sechs unpaarigen Einzelknochen, wobei die drei Gehörknöchelchen oft nicht explizit aufgelistet werden (vgl. Samandari and Mai, 1995a) (vgl. Lippert, 2011) (vgl. Waschke et al., 2019).

Zur visuellen Übersicht zeigt die Abb. 1 auf der folgenden Seite die menschlichen Schädelknochen in ventraler Ansicht.

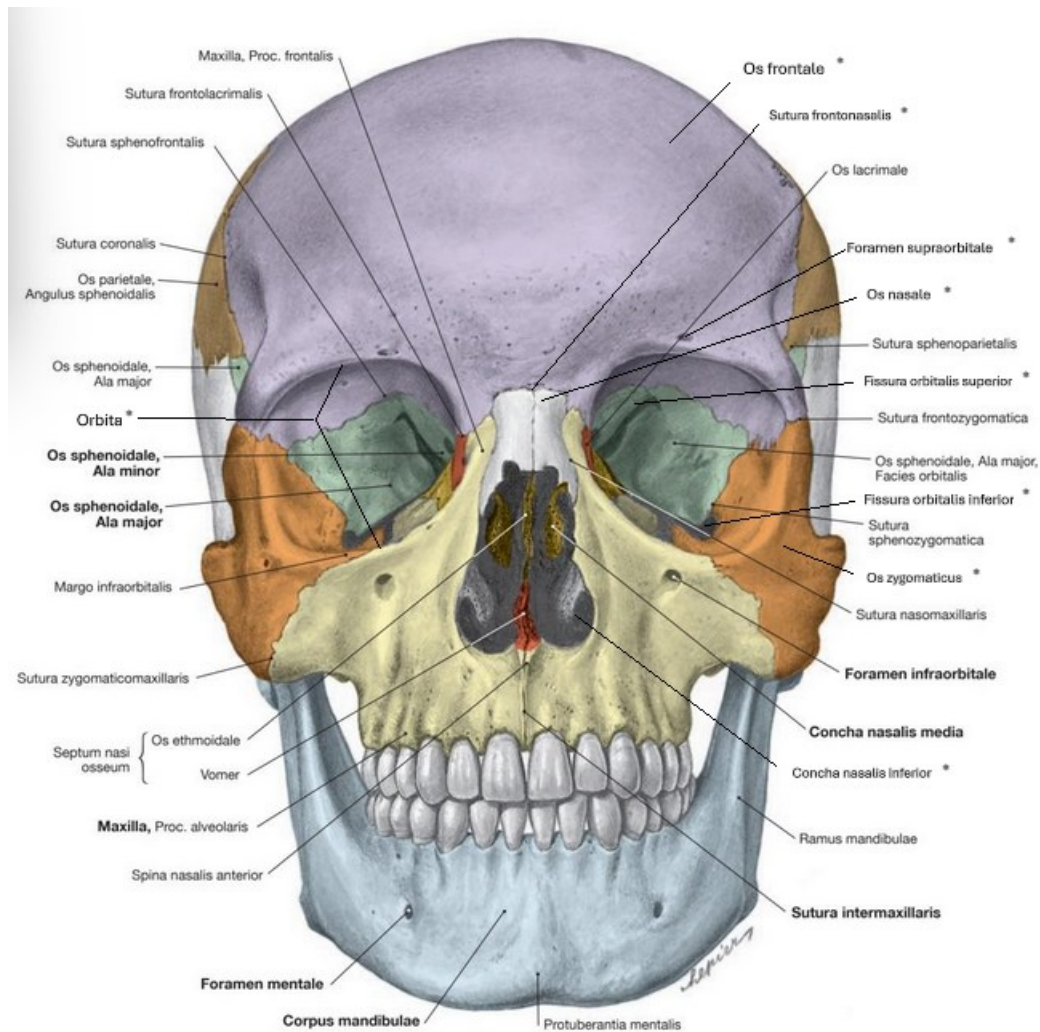


Abb. 1: Der menschliche Schädel (Frontansicht)

Schematische Übersicht der Schädelknochen des Menschen von *ventral* betrachtet (Waschke and Paulsen, 2022). Die Abbildung wurde um die mit * gekennzeichneten Begriffe aus Gründen der Vollständigkeit ergänzt.

Die Erlaubnis zur Veröffentlichung der Abbildung wurde eingeholt.

Die einzige Bewegung innerhalb des Schädels ist über die gelenkige Verbindung zwischen Unterkiefer und Schläfenbein (*Articulatio temporomandibularis*) möglich, ansonsten sind alle Schädelknochen fest über die sogenannten *Suturae*, harte Bindegewebeverbindungen, miteinander verbunden (vgl. Samandari and Mai, 1995a). Die *Suturae* zwischen den Knochen beim Fetus und auch beim Neugeborenen sind noch sehr breit und von weichem Bindegewebe ausgefüllt, sodass der Schädel als größter Teil – betrachtet man den Umfang – im Geburtskanal komprimiert werden kann. Später schließen sich die *Suturae* durch desmale Ossifikation (vgl. Waschke et al., 2019).

In dieser Dissertation liegt das Augenmerk auf der *Maxilla* und den in ihr liegenden Strukturen, welche in den nächsten Kapiteln detaillierter behandelt werden.

1.1.1 Die *Maxilla*

Um die Lage der *Maxilla* zu präzisieren, teilt man den Schädel in das Schädeldach (Kalotte) und in den Schädelboden (*Basis cranii*) ein. Letzterer wird unterteilt in die innere Schädelbasis (*Basis cranii interna*) und die äußere Schädelbasis (*Basis cranii externa*). Diese bezeichnet die Unterseite des Schädels ohne den Unterkiefer. Schaut man von unten auf den Schädel, liegt die *Maxilla* im vorderen Teil des Gesichtsschädels an der äußeren Schädelbasis und bildet das Dach der Mundhöhle (vgl. Samandari and Mai, 1995a).

Aufgrund der Tatsache, dass die *Maxilla* eine zentrale Position im *Viszerocranium* einnimmt, ist sie mit folgender Vielzahl an Schädelknochen verbunden: *Os frontale*, *Os nasale*, *Os zygomaticus*, *Os ethmoidale*, *Vomer*, *Os palatinus*, *Os lacrimale*, *Os sphenoidale* und *Concha nasalis inferior* (s. Abb. 1) (vgl. Paulsen et al., 2023).

Die *Maxilla* lässt sich in den *Corpus maxillae*, *Processus frontalis*, *Processus zygomaticus*, *Processus palatinus* und den *Processus alveolaris* einteilen. Der Alveolarfortsatz bildet die kaudale Grenze der *Maxilla* und verankert die Wurzeln der Oberkieferzähne in den *Alveoli dentalis* (Zahnfächer). Die vorgewölbten Reliefs der Zahnwurzeln werden als *Juga alveolaria* bezeichnet. Nach *distal* wird der Alveolarfortsatz durch das *Tuber maxillae* abgeschlossen. Die *Juga alveolaria* des Eckzahnes ist im Verhältnis zu den anderen Zähnen des Oberkiefers aufgrund der langen Wurzel ausgeprägter. Dadurch bildet sich *kranial* des Eckzahnes eine Grube, die *Fossa canina*, die durch den Infraorbitalrand nach *kranial*, die *Incisura nasalis* nach *medial* und den *Processus zygomaticus* nach *lateral* eingefasst wird. Unterhalb der Infraorbitalrandes liegt das *Foramen infraorbitale*, aus dem der *N. infraorbitalis* austritt. Bei

Betrachtung der *Maxilla* von *kaudal* zeigt sich der harte Gaumen, der durch den *Processus palatinus* der *Maxilla* und das *Os palatinum* gebildet wird. Dieser trennt *kaudal* den Mundraum von der Kieferhöhle. Deutlich erkennbar sind die *Suturae palatina mediana*, die die paarigen Maxillaknochen verbinden sowie die *Sutura palatina transversa*; die den Anschluss zum *Os palatinum* darstellt (s. Abb. 2). Im ventralen Anteil des harten Gaumens, direkt unterhalb der beiden ersten Schneidezähne, liegt die *Fossa incisivum* mit dem *Foramen incisivum*. Im dorsalen Teil des harten Gaumens, das vom *Os palatinum* gebildet wird, liegen die *Foramina palatina minora* und das *Foramen palatinum majus*. Diese *Foramina* sind paarig auf beiden Maxillahälften angelegt (s. Abb. 3). Alle *Foramina* dienen als Durchtrittsstellen für Blutgefäße und Nerven (vgl. Paulsen et al., 2023) (vgl. Samandari and Mai, 1995a).

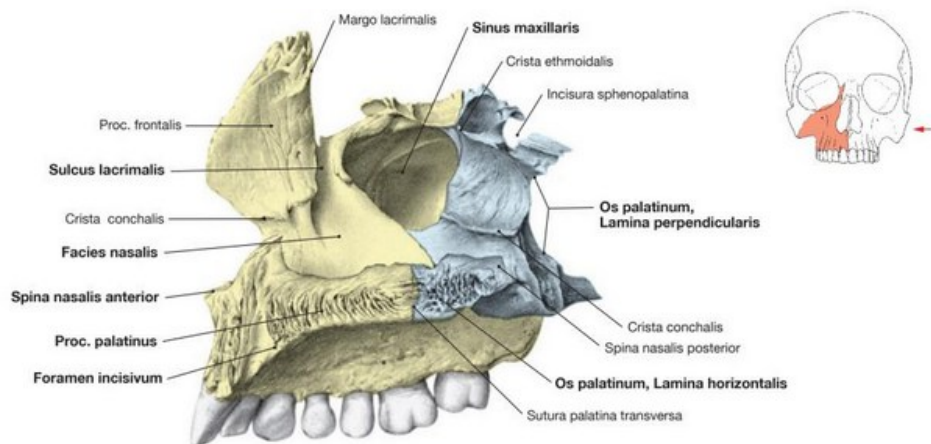


Abb. 2: Die menschliche Maxilla (Seitenansicht)

Übersicht über die rechte in der sagittalen Ebene getrennte Maxillahälfte von *ventral* betrachtet (Paulsen et al., 2023).

Die Erlaubnis zur Veröffentlichung der Abbildung wurde eingeholt.

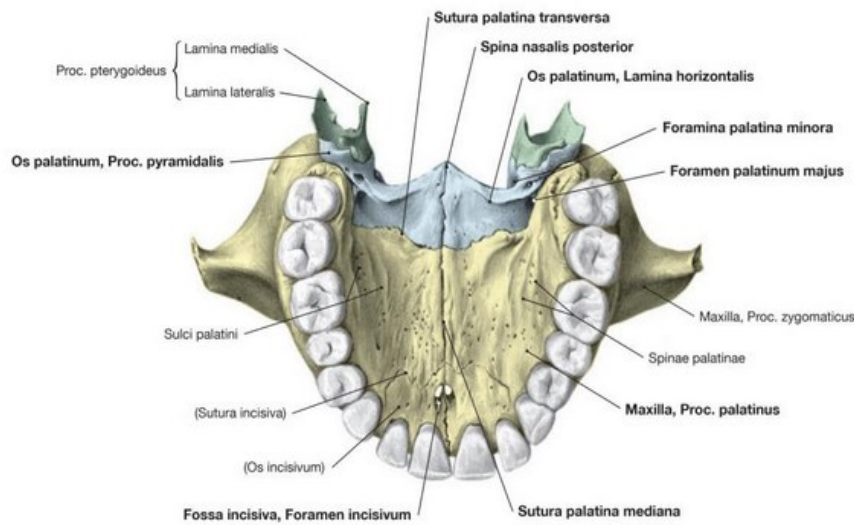


Abb. 3: Die menschliche Maxilla (Ansicht von unten)

Übersicht über die *Maxilla* im Bereich des *Palatum durum* von *kaudal* nach *kranial* betrachtet (Paulsen et al., 2023).

Die Erlaubnis zur Veröffentlichung der Abbildung wurde eingeholt.

1.1.2 Le Fort Frakturlinien

Die Präparation der *Maxillae* ist für die der Dissertation zugrunde liegende experimentelle Studie von großer Bedeutung, weswegen die drei folgenden wesentlichen Frakturlinien des Oberkiefers essenziell sind.

Grundsätzlich lassen sich Frakturen des Oberkiefers, bei denen die Zahnreihe vollständig erhalten bleibt, in drei typische Frakturverläufe einteilen. Diese wurden von René Le Fort beschrieben und tragen entsprechend seinen Namen in Kombination mit der römischen Nummerierung I-III (s. Abb. 4). Dieser Einteilung liegen Versuche an menschlichen Leichnamen zugrunde:

„Rene LeFort (1901) published his treatise on maxillary fractures in the Revue de Chirurgie“. [...] [H]e inflicted facial injuries on cadavers and demonstrated clear patterns of weakness in the maxilla resulting in repeatable lines of fracture.” (Dyer, 1999)

Die Abtrennung der *Maxilla* vom Mittelgesicht orientiert sich am Verlauf der Frakturlinien von Le Fort II und III. Der genaue Präparationsvorgang wird im Kapitel „Methoden“ (Kapitel 3.1.2) noch einmal detailliert beschrieben.

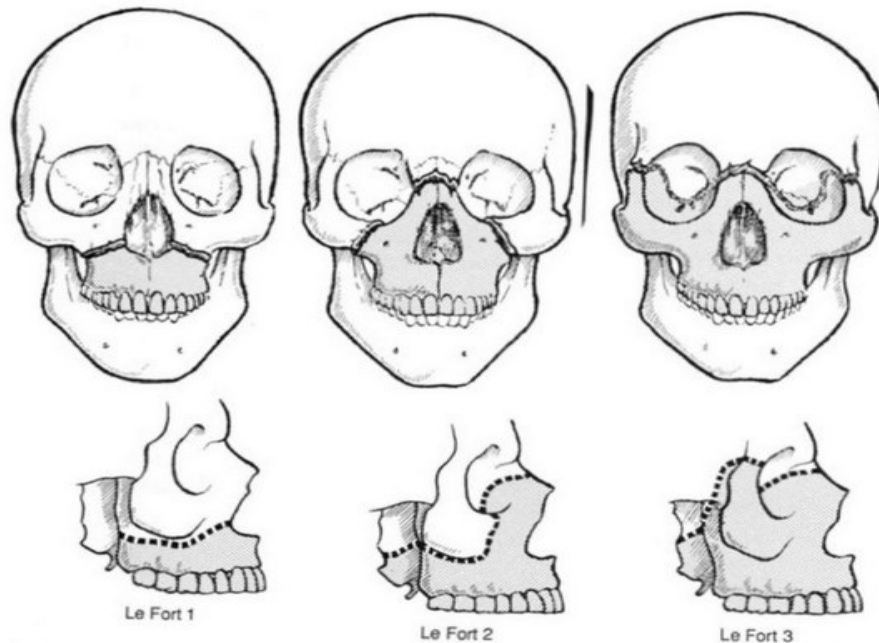


Abb. 4: Frakturlinien nach Le Fort

Schematische Darstellung der drei Le Fort Frakturlinien des Mittelgesichts nach Le Fort (Biemer et al., 2013).

Die Erlaubnis zur Veröffentlichung der Abbildung wurde eingeholt.

Bei der Le Fort I Fraktur wird der Oberkiefer oberhalb der Gaumenplatte horizontal vom oberen Anteil der *Maxilla* getrennt. Die Frakturlinie verläuft ausgehend von der *Apertura piriformis* über die faziale Wand des *Sinus maxillaris* bis zur *Crista zygomaticoalveolaris* und setzt sich bis zum hinteren Teil der Kieferhöhle fort. Dort trennt sie die kaudale Spitze des *Processus pterygoideus* ab, biegt nach *ventral* zur Nasenhöhle um und durchquert dabei die laterale Nasenwand in ihrem basalen Anteil, bis sie wieder ihren Ausgangspunkt an der *Apertura piriformis* erreicht. Zudem wird das *Vomer* durchtrennt (vgl. Schwenzer et al., 2002).

Die Le Fort II Fraktur beschreibt eine pyramidale Frakturform, bei der die gesamte *Maxilla* aus dem Mittelgesicht gesprengt wird. Hierbei wird die Nasenwurzel an der frontonasalen *Sutur* durchtrennt. Die Frakturlinie zieht weiter über das Tränenbein bis zum anteriomedialen

Anteil des Orbitabodens und zum mittleren Anteil des Infraorbitalrandes. Weiter verläuft sie über die faziale Kieferhöhlenwand zur *Crista zygomaticoalveolaris* und durchtrennt den Flügelfortsatz in mittlerer Höhe. Über die *Fossa pterygopalatina* sowie die *Fissura orbitalis inferior* erreicht die Frakturlinie erneut die Bruchlinie des Orbitabodens. Zudem bricht die knöcherne Nasescheidewand (vgl. Schwenzer et al., 2002).

Bei der hohen Le Fort III Fraktur wird das vollständige *Viscerocranium* vom *Neurocranium* abgesprengt. Der Frakturverlauf führt entlang der frontonasalen und frontomaxillaren *Sutur* über das Tränenbein bis hin zur medialen Orbitawand. Unter Aussparung des *Canalis opticus* zieht die Frakturlinie weiter zum hinteren Anteil der Orbitafissur, woraufhin sie sich aufteilt. Der eine Anteil der Fraktur zieht über die *Fossa pterygopalatina* zum basalen Anteil des *Processus pterygoideus* und durchtrennt ihn. Der andere Anteil verläuft vom vorderen Anteil der vorderen Orbitafissur entlang der *Sutura zygomaticosphenoidales* nach *kranial* und durchtrennt auf Höhe der *Sutura zygomaticofrontalis* den lateralen Anteil der Orbitawand. Zudem bricht der *Arcus zygomaticus* und das knöcherne Nasenseptum (vgl. Schwenzer et al., 2002).

1.2 Das menschliche Gebiss

Im folgenden Kapitel soll eine Übersicht über das menschliche Gebiss erfolgen.

„Zähne tauchen im Tierreich erstmalig mit den Wirbeltieren auf. Während Fische und Reptilien mehr oder weniger einheitliche Zahnformen aufweisen [...], ist das Gebiss des Menschen durch seine Abstammung von den Säugetieren charakterisiert. [...] Die Differenzierung der Zähne [...] hat der Mensch mit den Altweltaffen gemeinsam“ (Lehmann et al., 2009).

Das menschliche Gebiss bildet sich aus zwei Dentitionen, deren Wechsel im Kindes- bis Jugendalter stattfindet. Das Wachstum der Milchzähne beginnt ab dem fünften bis achten Lebensmonat und ist mit bis zu drei Jahren vollständig abgeschlossen. Zu diesem Zeitpunkt haben sich 20 Milchzähne gebildet, wobei ab dem vierten Lebensjahr die Resorption der vorderen Milchschnidezähne einsetzt. Hierfür werden die Wurzeln der ersten Dentition – der Milchzähne – durch die sich nachbildenden bleibenden Zähne – die zweite Dentition – resorbiert. Schrittweise brechen daraufhin die 32 bleibenden Zähne durch (vgl. Samandari and Mai, 1995a).

Da der Mensch als omnivorer Typ ein „Allesesser“ ist, haben sowohl die Milchzähne als auch

die bleibende Dentition die Aufgabe, Nahrung aufzunehmen und zu zerkleinern, bis sie in breiförmiger Konsistenz im Magen-Darm-Trakt verdaut kann. Die Schneidezähne und die *Dentes canini* dienen dabei vor allem dem Abtrennen der Nahrung. Anschließend wird diese durch die Zunge und die Wangenmuskulatur im Mundraum bewegt, sodass sie von den Molaren zermahlen beziehungsweise zerquetscht werden kann (vgl. Samandari and Mai, 1995a) (vgl. Lehmann et al., 2009).

Um die Kommunikation, die das menschliche Gebiss betrifft, praktikabel zu gestalten, wird das FDI (*Federation dentaire internationale*) Schema angewendet, was sich aus zwei Zahlen zusammensetzt, die in Kombination einen Zahn bezeichnen. Das Schema teilt das Gebiss in vier Quadranten auf, die sich jeweils im Oberkiefer und Unterkiefer in der Mitte zwischen den beiden ersten Schneidezähnen treffen. Die gedachte Linie zwischen diesen beiden Zähnen bezeichnet man als „Mittellinie“ (vgl. Kurian et al., 2018). Die Zähne des rechten Oberkiefers (aus der Perspektive des Patienten) werden mit einer „Eins“ betitelt, die Zähne des linken Oberkiefers mit „Zwei“, die des linken Unterkiefers mit „Drei“ und schließlich die des rechten Unterkiefers mit „Vier“. Die erste Zahl kennzeichnet somit die Zugehörigkeit zum jeweiligen Quadranten, wohingegen die zweite Zahl den bestimmten Zahn kennzeichnet. Die Zählung beginnt an der Mittellinie bei „Eins“ und setzt sich pro Zahn nach distal bis zum letzten Zahn durch (vgl. Silva et al., 2022) (Lippert, 2011) (vgl. Samandari and Mai, 1995a).

Als Beispiel bezeichnet die Angabe „Zahn 13“ den rechten oberen Eckzahn.

1.2.1 Der menschliche Zahn

Betrachtet man das menschliche Gebiss, ist vom Zahn zunächst nur die Zahnkrone ersichtlich; der Teil, der über das Zahnfleisch, die *Gingiva*, hinausragt. Die nicht sichtbaren Teile des Zahnes sind der Zahnhals und die Zahnwurzel. Mit der Zahnwurzel ist der Zahn im Knochenfach über das *Parodontium* verankert.

Die drei Hartsubstanzen des Zahnes sind Schmelz, Wurzelzement und Dentin. Während das Dentin sowohl in der Zahnkrone als auch im Bereich der Wurzel den inneren Teil des Zahnes bildet, findet sich der Zahnschmelz nur im Bereich der Zahnkrone und der Zement nur im Bereich der Zahnwurzel. Im Bereich des Zahnhalses treffen die beiden Schichten, die das Dentin überziehen, aufeinander. In diesem Abschnitt liegt die *Gingiva* am Zahn an. Meist am tiefsten Punkt der Zahnwurzel – dem *Apex* – treten Blut- und Lymphgefäße und Nerven über das *Foramen apicale* in den Zahn ein. Diese Strukturen sind eingebettet in Bindegewebe und

bilden die Zahnpulpa, die den Hohlraum innerhalb des Dentins ausfüllt. Dieser Hohlraum, das Pulpenkavum, wird im oberen, etwas voluminöseren Bereich als Kronenpulpa und im unteren Bereich, Richtung *Apex*, als Wurzelpulpa bezeichnet. Das Pulpenkavum kann diverse individuelle Variationen aufweisen, was den Durchtritt durch Wurzeldentin und -zement betrifft. So können beispielsweise Seitenkanälchen austreten oder der *Apex* der Wurzel nicht dem *Foramen apicale* entsprechen (vgl. Paulsen et al., 2023).

1.2.2 Histologie des peripheren Nervs

Das periphere Nervensystem (PNS) umfasst alle Nervenstrukturen, die nach ihrem Austritt aus Gehirn oder Rückenmark verlaufen. Dazu gehören markhaltige und marklose Nervenfasern, Ganglien und Rezeptoren. Markhaltige Fasern sind von Schwann-Zellen mit einer Myelinscheide umgeben, die eine schnelle, saltatorische Erregungsleitung ermöglicht. Fehlt diese Isolierung, spricht man von marklosen Nervenfasern, die nur im PNS vorkommen. Die Zellkerne peripherer Nerven liegen im Zentralnervensystem oder in Ganglien. Rezeptoren wandeln physikalische oder chemische Reize wie Berührung, Schmerz oder Temperatur in elektrische Signale um und leiten sie an das ZNS weiter (vgl. Samandari and Mai, 1995b) (vgl. Welsch, 2003).

Die Nervenfasern sind von drei Bindegewebsschichten umgeben:

- Das *Endoneurium* umhüllt einzelne Fasern und enthält Fibroblasten, Makrophagen, Mastzellen und Kapillaren.
- Das *Perineurium* fasst mehrere solcher Fasern zusammen und besteht aus einer inneren *Pars epithelialis* und einer äußeren *Pars fibrosa* aus straffem Bindegewebe.
- Das *Epineurium* bildet die äußerste Schicht mit Fettzellen, Gefäßen und elastischen Fasern.

Diese dreischichtige Hülle schützt den Nerv vor mechanischer Belastung (vgl. Welsch, 2003).

1.2.3 Die nervöse Versorgung der Zähne und der *Canalis sinuosus*

Abb. 5 zeigt den Verlauf der Nerven im menschlichen Ober- und Unterkiefer. Den Ursprung der nervösen Versorgung der Zähne sowie der Mund- und Rachenschleimhaut, bildet der fünfte Hirnnerv, der *N. trigeminus*. Seine somatoafferenten Fasern vermitteln mechanische,

thermische, Schmerzreize und propriorezeptive Reize. Am *Ganglion trigeminale* teilt sich der *N. trigeminus* in seine drei Hauptäste auf, den *N. ophthalmicus*, den *N. maxillaris* und den *N. mandibularis*.

Im Weiteren wird der Verlauf des *N. infraorbitalis* aus dem *N. maxillaris* näher beschrieben, der für die Innervation der Oberkieferzähne zuständig ist.

Der *N. maxillaris* tritt durch das *Foramen rotundum* aus der Schädelbasis in die *Fossa pterygopalatina*, die sich oberhalb der Kieferhöhle hinter dem Orbitaboden befindet. Hier tritt der *N. maxillaris* als *N. infraorbitalis* in den *Canalis infraorbitalis* ein und zieht entlang des Orbitabodens nach *ventral*, wo er am *Foramen infraorbitale* austritt. Noch während des Verlaufes durch den *Canalis infraorbitalis* zweigen die *Nn. alveolares superiores posteriores*, der *N. alveolaris superior medius* und der *N. alveolaris superior anterior* ab, die die Zähne der *Maxilla* innervieren.

Die *Nn. alveolares superiores posteriores* zweigen kurz hinter dem Nervenstamm des *N. maxillaris* ab, bevor dieser in den *Sulcus infraorbitalis* eintritt. Die posterioren Nervenäste verlaufen entweder vom *N. maxillaris* beginnend als zwei Nervenstränge oder haben einen gemeinsamen Ursprung und teilen sich kurz darauf in zwei Äste auf. Danach ziehen die beiden Äste hinter den letzten Molaren über das *Tuber maxillae* und geben Nervenäste an die Wangenschleimhaut und die Gingiva ab. Danach treten sie in den Alveolarknochen ein und verlaufen intraossär nach *medial*. Währenddessen zweigen feine Äste ab, die die Schleimhaut des *Sinus maxillaris* innervieren und schließlich münden die *Rr. dentales* in den *Foramina apicalia* der Molaren. Während des intraossären Verlaufs gehen die posterioren Nerven Verbindungen mit dem medialen Nerven ein und kommunizieren miteinander. Der *N. alveolares superiores medius* zweigt im hinteren Teil des *Canalis infraorbitalis* vom *N. infraorbitalis* ab und verläuft zunächst nach *kaudal* und dann nach *medial* entlang der seitlichen Kieferhöhlenwand, um dort mit feinen *Rr. dentales* in die *Foramina apicalia* der zwei Prämolaren einzutreten.

Zuletzt zweigt der *N. alveolaris superior anterior* im *Canalis infraorbitalis*, kurz vor Austritt des *N. infraorbitalis* durch das *Foramen infraorbitale*, ab. Dieser verläuft entlang der vorderen Kieferhöhlenwand und entsendet seine finalen *Rr. dentales* in die *Foramina apicalia* der vorderen Schneidezähne und des Eckzahnes. Zuvor entsendet er einen Nervenast in die Region des vorderen unteren Nasengangs. Aufgrund der Verzweigungen und Verbindungen der *Rami* untereinander, kurz bevor die Äste in die Zahnwurzeln eintreten, wird diese

Anastomose als *Plexus Dentalis* bezeichnet. Zusammengefasst werden die feinen Nervenäste, die die Zähne des Oberkiefers versorgen als *Rr. dentales superiores* bezeichnet und als *Rr. gingivales superiores* die Nervenendäste, die die *Gingiva* des Oberkiefers innervieren (vgl. Samandari and Mai, 1995a) (vgl. Gray and Lewis, 1918).

Durch den *Plexus Dentalis* stehen die Zähne der *Maxilla* untereinander in Kontakt, was bedeutet, dass bei zahnärztlichen oder chirurgischen Behandlungen im Bereich der *Maxilla* oft an zahlreichen Stellen Lokalanästhetikum injiziert werden muss, bis eine vollständige Taubheit erreicht wird. Wird jedoch ein Depot von Lokalanästhetikum im Bereich des harten Gaumens etwas oberhalb des *Plexus Dentalis* auf Höhe des zweiten Prämolaren gesetzt, kann dies durch den submukösen Raum in Richtung der Zahnwurzeln diffundieren. Somit ist der gesamte Bereich von den vorderen Schneidezähnen bis zu den Prämolaren anästhesiert. Der Unterschied zur herkömmlichen Anästhesiemethode im vestibulären Bereich ist, dass hierbei nicht die umgebenden Gewebe, wie zum Beispiel die Lippen oder die Nase, mitanästhesiert werden (vgl. von Lanz and Wachsmuth, 2003) (vgl. Velasco and Soto, 2012).

Der *N. alveolaris medius* hat eine hohe Variabilität und es kann vorkommen, dass dieser Nervenast vollständig fehlt. Durch die Anastomosen des *Plexus Dentalis* können den Bereich der Prämolaren allerdings die anterioren und posterioren Nervenäste versorgen (vgl. Horan, 2009).

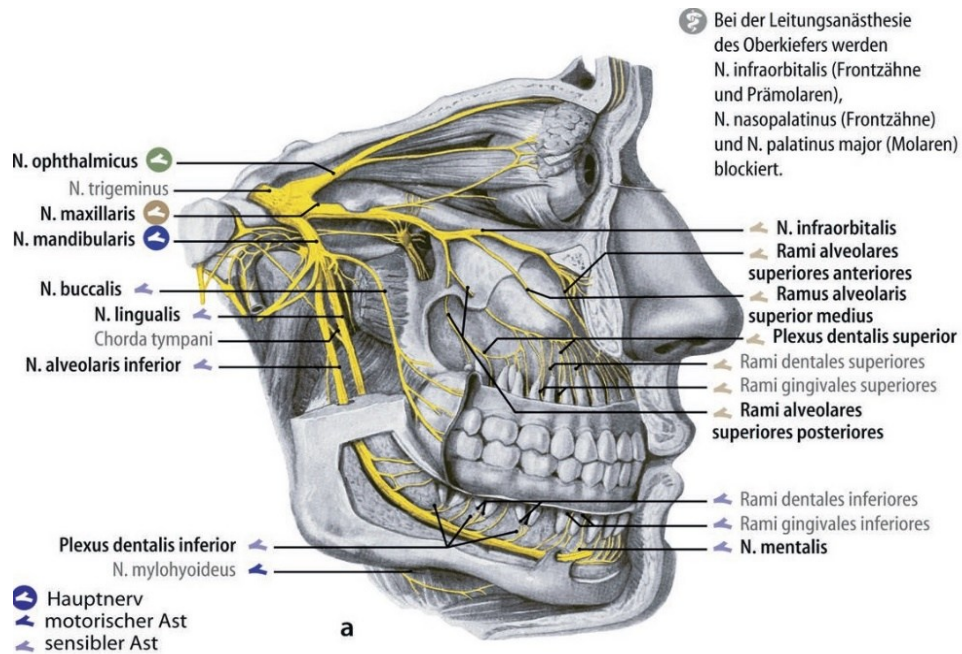


Abb. 5: Darstellung der Innervation der Zähne

Schematische Darstellung des *N. trigeminus* mit seinen drei Hauptästen *N. ophthalmicus*, *N. maxillaris* und *N. mandibularis* (Jackowski and Peters, 2017).

Die drei Äste des *N. infraorbitalis* werden hier als *Ramus* bzw. *Rami* bezeichnet.

Die Erlaubnis zur Veröffentlichung der Abbildung wurde eingeholt.

Der *N. alveolaris superior anterior* besitzt ein „knöchernes Korrelat“ (Zitat wurde aus dem Englischen übersetzt) (vgl. von Arx, 2015), den *Canalis sinuosus*. Dieser führt den *N. alveolaris superior anterior* zu den vorderen Inzisiven und Eckzähnen. Schon 1840 wurde er von Ellis in seinem Buch „*Demonstrations of Anatomy*“ erwähnt: „[T]he anterior dental nerve may be traced for some distance in its canal in the bone.“ (Ellis, 1840) Erst ein Jahrhundert später 1939 jedoch wurde der Kanal im „*Journal of Anatomy*“ von Wood-Jones ausführlicher beschrieben, schematisch dargestellt (s. Abb. 6) und erstmalig als „*Canalis sinuosus*“ (Wood-Jones, 1939) bezeichnet.

Der *Canalis sinuosus* zweigt noch im Orbitaboden vom *Canalis infraorbitalis* ab, bevor der Endast des *N. infraorbitalis* aus dem *Foramen infraorbitalis* austritt. Der *Canalis sinuosus* erreicht den Rand der *Orbita* seitlich vom *Foramen infraorbitalis* und zieht zunächst nach *kaudal* entlang der anterioren Maxillawand, um dann nach *mesial* zur *Spina nasalis anterior* zu ziehen. *Lateral* der *Spina* verläuft der Kanal wiederum nach *kaudal* und mündet im Bereich der Inzisiven und der Eckzähne im vorderen Gaumen (vgl. Wood-Jones, 1939) (vgl. Neves et al., 2012) (vgl. Baena-Caldas, 2015) (vgl. Aoki et al., 2020).

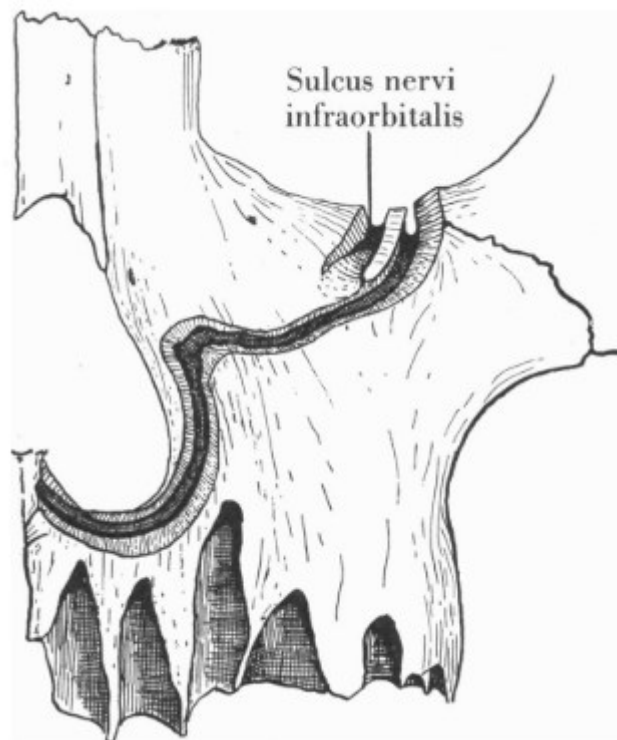


Abb. 6: Verlauf des Canalis sinuosus

Schematische Darstellung des *Canalis sinuosus*, dargestellt im *Journal of Anatomy* 1939 (S.587) im Kapitel „*The anterior superior alveolar nerve and vessels*“ (Wood-Jones, 1939).

genehmigungsfreie Abbildung (NIH)

Der *Canalis sinuosus* wird im anatomischen Lehrbuch *Gray's Anatomy* bereits 1918 als knöcherner Kanal (vgl. Gray and Lewis, 1918) beschrieben und in einer späteren Ausgabe von 2008 wird er namentlich erwähnt. Dieses Lehrbuch erkennt den *Canalis sinuosus* als feste anatomische Struktur an, die den anterioren Nerven und die Blutgefäße entlang der anterioren *Maxilla* in ihr Zielgebiet transportieren (vgl. Horan, 2009). Viele aktuelle Studien verfolgen das Ziel, das Bewusstsein dafür zu schärfen, dass der *Canalis*

sinuosus nicht als anatomische Variation, sondern als reguläre, konstante Struktur des menschlichen Schädels anzusehen ist.

So setzt dies eine der aktuellsten Studien zur Innervation der anterioren Maxillawand von Juli 2025 voraus (vgl. Velayutham et al., 2025). Andere Studien aus den vergangenen Jahren, wollen ebenfalls auf die Präsenz des *Canalis sinuosus* hinweisen und seine Bedeutung für chirurgische oder zahnärztliche Eingriffe herausstellen. In einer Studie von 2022 stellt Sferlazza heraus, dass die beschriebene Prävalenz des *Canalis sinuosus* 88% -100% beträgt. Ebenfalls werden akzessorische Kanäle beschrieben, die vom Hauptkanal abzweigen. Allerdings seien diese anatomischen Strukturen und ihre Variationen nur unzureichend beschrieben, obwohl eine genaue Kenntnis signifikant wichtig für beispielsweise Implantatplanungen oder chirurgische Eingriffe ist (vgl. Sferlazza et al., 2022). Ein Beispiel hierfür liefert die Fallbeschreibung von McCrea aus dem Jahre 2017, bei dem es nach einer Implantatinserktion zu neurovaskulären Schäden im Bereich der anterioren *Maxilla* kam. Diese iatrogene Schädigung hätte verhindert werden können, wenn im Vorfeld eine genauere Studie der DVT Aufnahmen im Hinblick auf den *Canalis sinuosus* und seine akzessorischen Kanäle erfolgt wäre (vgl. McCrea, 2017). Mit diesen abzweigenden akzessorischen Kanälen befasst sich Machado in einer Studie von 2016, für die 1000 DVT-Aufnahmen ausgewertet wurden. Sie zeigt, dass bei 51,7% der Fälle akzessorische Kanäle vorgefunden wurden, wobei diese unabhängig vom Alter, aber eher bei Männern als bei Frauen vorkommen. Die Endpunkte der Kanäle liegen häufig palatinal der vorderen Schneidezähne und Eckzähne. Auch Machado verweist hinsichtlich des häufigen Vorkommens der akzessorischen Kanäle auf die klinische Relevanz (vgl. Machado et al., 2016). Eine Studie von Aoki von 2019, die den Titel „*Canalis sinuosus: anatomical variation or structure*“ (Aoki et al., 2020) trägt, hat 200 DVT-Aufnahmen hinsichtlich des Vorhandenseins und Verlaufs des *Canalis sinuosus* ausgewertet. Zudem wurde das Auftreten unter Berücksichtigung von Geschlecht, Alter, Symmetrie der Verläufe sowie der jeweiligen Austrittsstellen der Nerven analysiert. In dieser Studie wird herausgestellt, dass diese Austrittsstellen mit einer abnehmenden Anzahl im Bereich der ersten Inzisiven (44,39%), der zweiten Inzisiven (21,95%) und der Eckzähne (14,15%) liegen (vgl. Aoki et al., 2020). Auch in ähnlich angesetzten, früheren Studien von de Oliveira-Santos, von Arx, Machado und Ghandourah, war diese Verteilung ähnlich (vgl. de Oliveira-Santos, 2012) (vgl. von Arx et al., 2013) (vgl. Machado et al., 2016) (vgl. Ghandourah et al., 2017). Somit lässt sich festhalten, dass die Austrittsstelle des *Canalis*

sinuosus eher im anterioren Bereich der Oberkiefer Frontzähne liegt und zu einem vergleichsweise geringen Anteil (14,15%) im Bereich des Eckzahnes liegt.

In einer systematischen Metaanalyse aus dem Jahr 2023, die die Ergebnisse von 17 Studien zusammenfasst, wird die Prävalenz des *Canalis sinuosus* mit 80% und die Prävalenz der akzessorischen Kanäle mit 54% angegeben (vgl. de Oliveira-Neto et al., 2023).

In einer vorangegangenen Dissertation, die im Bezug zu der vorliegenden Dissertation steht, konnte die Prävalenz des *Canalis sinuosus* und der akzessorischen Kanäle mit 82% nachgewiesen werden. Hierfür wurden 17 Maxillaepräparate präpariert und makroskopisch untersucht. Das ähnliche Ergebnis zeigt, dass neben DVT-Aufnahmen auch die makroskopische Untersuchung dazu geeignet ist, die intraossären Strukturen in der anterioren Maxillawand darzustellen (vgl. Niedballa, 2025).

Die posterioren und medialen Äste des *N. alveolaris superior* verlaufen im Falle der hinteren Äste zwischen der Mukosa des *Sinus maxillaris* und der Kortikalis (vgl. Horan, 2009) und im Falle des mittleren Astes ebenfalls innerhalb eines Kanals, der allerdings einen kleineren Durchmesser als der *Canalis sinuosus* aufweist (vgl. Kasahara et al., 2016).

Abb. 7 zeigt eine Digitale-Volumentomographie-Aufnahme einer rechten Maxillahälfte, die im Zuge der morphometrisch anatomischen Studie von Thomas von Arx und Scott Lozanoff 2015 angefertigt wurde. In der Studie wurde der Verlauf der *Nn. alveolares superiores anteriores* analysiert. Zu sehen ist der *Canalis sinuosus*, der intraossär vom *Foramen infraorbitale* abzweigt und unterhalb des Orbitalrandes nach *medial* zur Nase verläuft. Auf dem Weg zur Nase biegen außerdem im fast senkrechten Winkel zwei akzessorische Kanäle ab, die nach *kaudal* entlang der anterioren Maxillenwand verlaufen und in Richtung der Zähne ziehen (vgl. von Arx, 2015). Die Abbildung verdeutlicht, dass die akzessorischen Kanäle vor allem in der anterioren *Maxilla* verlaufen und bis in den Bereich der Frontzähne und Eckzähne reichen. Bei chirurgischen oder zahnärztlichen Eingriffen kann eine unzureichende Analyse der DVT-Aufnahmen hinsichtlich ossärer Kanäle, die Nerven und Gefäße enthalten, zu Verletzungen dieser Strukturen während Zahnextraktionen oder Implantatinserktionen führen. Daher kommen viele der genannten Studien zu dem Schluss, dass eine genaue Kenntnis des Verlaufs des *Canalis sinuosus* und seiner akzessorischen Kanäle unabdingbar ist, um sensorische oder hämorrhagische Komplikationen zu vermeiden.

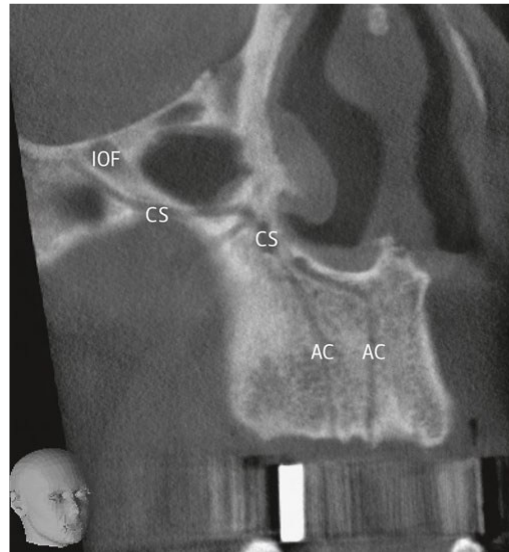


Abb. 7: DVT-Aufnahme der rechten Maxillahälfte

Verlauf des *Canalis sinuosus* (CS) und der akzessorischen Kanäle (AC) (von Arx, 2015)

Abb. 7 von von Arx, T., & Lozanoff ist lizenziert unter CC BY 4.0

1.3 Ziele der Arbeit

Die vorliegende Dissertation basiert aufgrund der im vorangegangenen Kapitel aufgeführten Überlegungen auf folgender Fragestellung:

Wie verläuft der *Nervus alveolaris superior anterior*, wenn er nicht im *Canalis sinuosus* verläuft?

Die in Kapitel 1.2.3 aufgeführten Studien über das hohe Vorkommen des *Canalis sinuosus* und die Variabilität der akzessorischen Kanäle, führt zu der Frage, ob im Bereich des *Canalis sinuosus* Variationen im Verlauf des vorderen oberen Alveolarnervens nachgewiesen werden können, wenn der Nerv nicht innerhalb des Kanals verläuft. Zur Beantwortung dieser Frage werden anatomische Präparate makroskopisch untersucht.

2 Material

In den Tabellen auf den folgenden Seiten sind sämtliche verwendete Materialien zur makroskopischen Darstellung aufgelistet.

2.1 Materialliste der makroskopischen Darstellung

Fixierung	
Isopropanol-Alkohol 99%, 95 - 97 Liter	Merck Millipore, Darmstadt
Glycerin 99,5%, 3 5 Liter	FABA, Velbert
Ethanol 70% (Aufbewahrung)	Merck Millipore, Darmstadt
Formalin 37%	Morphisto GmbH, Offenbach am Main
Natriumchlorid 0,9%	Ecoflac ® plus B. Braun Melsungen AG, Melsungen
Präparation	
HS-Nitril Handschuhe puderfrei weiß/blau	Henry Schein, Melville (NY)
Chirurgische Pinzette (2x)	ClinicCare, Bremen
Anatomische Pinzette (2x)	ClinicCare, Bremen
Einmalskalpelle	Aesculap AG, Tuttlingen (gehört zu B. Braun)
Mehrfachskalpellhalter, flach (2x)	ClinicCare, Bremen
Skalpellklingen, Nr. 11, 12, 21	MEIER Medizintechnik, Petershagen

Raspatorium, klein nach Busa	Carl Martin, Solingen
Raspatorium, gerade	Carl Martin, Solingen
Muskelmesser, groß + klein	Ehlert und Partner, Niederkassel-Rheidt
Mikroskopierschere	Ehlert und Partner, Niederkassel-Rheidt
Hautschere	Ehlert und Partner, Niederkassel-Rheidt
Präpariernadel, gerade	Ehlert und Partner, Niederkassel-Rheidt
Autopsiesäge HB-740-Akku-250	KUGEL Medical, Regensburg
Hammer, Edelstahl	MF Dental, Weierhammer
Lexer Flachmeißel, 30mm, Edelstahl	BF Medizintechnik, Emmingen
KaVo9 Handstück mit transportablem Motor, Fräsen und Fußanlasser	KaVo Dental, Biberach an der Riss
HS-Nitril Handschuhe puderfrei weiß/blau	Henry Schein, Melville (NY)
Ethanol 70%	Merck KGaA, Darmstadt
Darstellung	
Tatortwinkel (forensisches Winkeldreieck)	Sachverständigen Zubehör, Eschweiler
Leuchttisch LED	Light & Vision Europe, Malaga
Diagnostikleuchte	Ampri, Telgte

Spiegelreflexkamera Sony Alpha 7 III (ILCE-7M3)	Sony, Tokio
Sony – Objektiv (FE 24-105mm F4 G OSS)	Sony, Tokio

2.2 Hilfsmittel zur Betrachtung

Fotobearbeitungsprogramme	Adobe Photoshop, Darktable, Paint (s. u.)
---------------------------	---

3 Methoden

3.1.1 Auswahl Körperspender*innen

Als Grundlage der Studie dienten fixierte Körperspender*innen, die vom Institut für Anatomie I der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf zur Verfügung gestellt worden sind.

Das positive Votum der Ethikkommission der medizinischen Fakultät für die vorliegende Studie liegt vor (Aktenzeichen 2019-432).

Die Körperspender*innen erklären mit der Unterzeichnung einer sogenannten „Letztwillige[n] Verfügung“, dass ihr „Körper nach [dem] Ableben dem Institut für Anatomie I der Heinrich-Heine-Universität-Düsseldorf zu medizinischen Zwecken, insbesondere Forschung und Lehre (vor Allem Ärztliche Aus-, Fort- und Weiterbildung), zur Verfügung gestellt wird.“ (siehe Anlage „Letztwillige Verfügung“). Die Körperspender*innen werden zuvor durch nicht zurückverfolgbare Daten anonymisiert, sodass keine individuelle Zuordnung stattfinden kann.

Zur Fixierung wurden die Körperspender*innen mindestens drei Monate in 100 Liter Flüssigkeit gelagert. Diese setzte sich zusammen aus 95-97 Litern 99% Alkohol, 3-5 Liter 99,5% Glycerin und bei einem Tumorprozess zusätzlichen 300ml 37% Formaldehyd. Somit verteilte sich die Konzentrationen auf 95-97% Alkohol, 3-5% Glycerin und 0,29% Formaldehyd. Diese Fixierungslösung wurde bei den ersten vier Präparaten verwendet.

Die Präparate der letzten beiden Körperspender*innen wurden mit einer 2%igen Lösung fixiert, die sich aus 4% Formaldehyd und 0,2% Natriumchlorid zusammensetzte. Hierzu wurden 50 Liter Formaldehyd und 50 Liter Natriumchlorid verwendet.

Aufbewahrt wurden die Körperspender*innen anschließend in 70% Alkohol bei Raumtemperatur. Die Köpfe, die zur Untersuchung dienten, sind zuvor vom Torso abgesetzt worden.

Zunächst wurden die folgenden Kriterien zur Auswahl der Köpfe definiert:

- teilweise oder vollständige Bezahnung
- keine endodontische Versorgung
- keine Wurzelspitzenresektion

- keine Tumore im Bereich des Mittelgesichtes
- Vorhandensein des *Canalis sinuosus*
- separater Verlauf des *N. alveolaris superior anterior*

Nicht berücksichtigt wurden bei der Auswahl das jeweilige Geschlecht oder das Alter der Körperspender*innen.

Für die vorliegende Dissertation wurden Präparate ausgewählt, bei denen ein separater Verlauf des *N. alveolaris superior anterior* nachgewiesen werden konnten. Nicht berücksichtigt wurden Präparate, bei denen das Gefäßtrias innerhalb des *Canalis sinuosus* verlaufen ist. Diese werden ausführlich in der Dissertation von Lena Niedballa besprochen (vgl. Niedballa, 2025).

Die Auswahl ergab eine Summe von sechs Präparaten, die die oben genannten Kriterien erfüllten. Die Präparate 1 bis 3 wurden aus einer Anzahl von n=17 Präparaten ausgewählt, die zusammen mit der Doktorandin Lena Niedballa präpariert wurden. Bei diesen 17 Präparaten wurde das Vorkommen des *Canalis sinuosus* und seiner akzessorischen Kanäle im Hinblick auf inter- und intraindividuelle Unterschiede und den Zahnstatus untersucht (vgl. Niedballa, 2025).

Die Präparate 4 bis 6 wurden aus fünf weiteren Präparaten ausgewählt, die im Anatomischen Institut I vorhanden waren. Diese wurden ausgewählt, um den Befund der ersten drei Präparate weiter zu vertiefen und den Verlauf und Abgang des separat verlaufenden *Nervus alveolaris superior anterior* auch im Bereich des Orbitabodens nachzuvollziehen.

Zusammenfassend standen dementsprechend 22 Präparate zur Verfügung, die entsprechend der Methodik in Kapitel 3.1.2 präpariert wurden und von denen insgesamt sechs ausgewählt wurden. Bei diesen sechs Präparaten konnte ein separater Verlauf des *Nervus alveolaris superior anterior* festgestellt werden, welcher genauer untersucht wurde.

Zur Aufbewahrung und Konservierung wurden die Köpfe in dicht abschließbaren, rechteckigen Kunststoffbehältern gelagert und mit 70%iger Ethanollösung bedeckt. Dies sollte die Austrocknung verhindern. Zur besseren Handhabung wurden diese Behälter auf einem rollbaren Untergestell transportiert.

3.1.2 Präparation für makroskopische Darstellung

Das erste Ziel der Präparation war es, das Gewebe der Köpfe der Körperspender*innen möglichst schonend bis zur Kortikalis zu entfernen, damit der Bereich fazial des *Sinus maxillaris* gut zugänglich war. Diese Vorgehensweise und die dazu verwendeten Materialien werden im Folgenden ausführlich beschrieben.

Zunächst wurde ein Schnitt in der *Cutis* gesetzt, ausgehend von der *Auricula* der einen Seite, nach *kranial* gerichtet, entlang der Haargrenze bis zur *Auricula* der anderen Seite. *Kaudal* wurde ein Schnitt entlang des aufsteigenden Astes der *Mandibula* bis zum Lippenwinkel gesetzt. Ziel war es, alle Schichten gleichzeitig zu entfernen; *Cutis*, *Subcutis* mit Fettgewebe und die darunter liegende Muskulatur. Dies geschah von *lateral* nach *ventral*, indem die Schichten mit der Pinzette angehoben und vorsichtig mit einem Skalpell oder unter Zuhilfenahme des Raspatoriums vom Knochen getrennt wurden. Das Raspatorium kommt aus der zahnärztlichen Chirurgie und ist besonders gut dazu geeignet stumpf zu präparieren, da es ursprünglich dazu genutzt wird, das Periost – die Knochenhaut – von der Kortikalis zu lösen. Es ist nur einseitig scharf und löffelähnlich gebogen (vgl. Liehn and Schlautmann, 2014).

In einem nächsten Schritt wurde mit der Knochensäge die *Kalotte* mit einem sogenannten „Hutkrämpenschnitt“ entfernt. Beide Gehirnhälften wurden oberhalb der *Medulla oblongata* abgetrennt und entnommen. Zusätzlich wurden beide *Bulbi oculi* aus der *Orbita* herausgetrennt, indem zunächst das Raspatorium zwischen den weichen *Bulbus oculi* und die umgrenzende knöcherne *Orbita* eingeführt wurde und die beiden Strukturen vorsichtig voneinander gelöst wurden. Danach wurden die *Bulbi oculi* von den *dorsal* eintretenden Gefäßen und Nerven getrennt. Dieser Vorgang war notwendig, damit die Übersichtlichkeit über den Verlauf der infraorbital austretenden Gefäße und Nervenfasern gesichert war und in einem späteren Präparationsschritt das Mittelgesicht bzw. das *Viszerocranium* mit der *Maxilla* vom Rest des Schädels bzw. *Neurocraniums* getrennt werden konnte. Außerdem wurden die knorpeligen Anteile der Nase entfernt und Gewebereste, die sich bei vorheriger Präparation nicht gelöst hatten. Hierbei wurden die Gefäße, die aus dem *Foramen infraorbitale* austreten auf ungefähr fünf Millimeter gekürzt.

Zu diesem Zeitpunkt lag ein Präparat vor, bei dem adäquate Einsicht auf die Kortikalis des *Sinus maxillaris* und die ihn umgebenden Regionen gegeben war. Der Fokus der folgenden

Präparationsschritte lag nun auf der makroskopischen Darstellung der in der ventralen *Maxilla* verlaufenden Strukturen. Hierfür wurde zunächst der *Ramus zygomaticus* mit der Knochensäge getrennt und entsprechend der Frakturlinien nach Le Fort II/III an der Nasenwurzel vorgefräst. In einem letzten Schritt wurde das Mittelgesicht mithilfe des Knochenmeißels und -hammers herausgetrennt. In einem weiteren Schritt wurde die Kieferhöhle gefenstert. Dies konnte nun von *dorsal* vorgenommen werden, da durch das Herauslösen des Mittelgesichts eine gute Zugänglichkeit sichergestellt worden ist. Hierzu wurde das Handstück der Firma KaVo mit passenden Fräsen und transportablem Mikromotor verwendet. Ursprünglich findet das Handstück Anwendung in der Zahntechnik und dient dazu, zahntechnische Materialien, wie Gips, Kunststoff, Nichtedelmetalle, Edelmetalle, Keramik und viele weitere zu bearbeiten (vgl. Hohmann and Hielscher, 2019).

Mit der Fräse wurde von *dorsal* ein Loch in den Knochen gefräst, das groß genug war, um eine adäquate Darstellung der Leitungsbahnen im ventralen Bereich der Kieferhöhle auf dem Leuchttabelle zu gewährleisten.

Als letzter Präparationsschritt wurde der dünne Knochen am Orbitaboden entfernt, bis die infraorbitalen Gefäße und Nervenfasern zugänglich waren.

Bei allen Maxillapräparaten wurden in einem nächsten Schritt mit dem KaVo-Handstück vorsichtig die Kortikalis oberhalb der Inzisiven und der *Dens Canini* abgetragen, damit die zu durchleuchtende Schichtdicke des fazialen Kieferhöhlenknochens geringer wurde und bessere Ergebnisse in der Darstellung erreicht werden konnten.

Bei jenen Präparaten, welche in der 2%igen Formaldehyd- und Natriumlösung fixiert wurden, erfolgte keine dorsale Fensterung des *Sinus maxillaris*. Hier wurden der *Canalis infraorbitalis* und *sinuosus* vorsichtig freipräpariert, sodass der Gefäß- und Nervenverlauf ersichtlich wurde.

3.1.3 Makroskopische Darstellung der Nerven und Gefäße

Vor den makroskopischen Aufnahmen wurden zunächst alle *Maxillae* mit einem Tuch getrocknet, um Lichtreflektionen zu minimieren.

Die ersten vier *Maxillae* wurden zunächst mithilfe des Leuchtabletts illuminiert und fotografisch dokumentiert. Als Maßstab wurde ein forensisches Winkel-Lineal genutzt.

In einem zweiten Darstellungsdurchgang wurde eine medizinische Diagnostiklampe von *dorsal* in den eröffnete *Sinus maxillaris* eingeführt, was zu einer noch punktuelleren Darstellung der Gefäße und Nerven in der ventralen Maxillawand führte.

Die letzten beiden *Maxillae* wurden lediglich mithilfe der Deckenbeleuchtung fotografiert, da der Fokus bei diesen Präparaten auf der Freilegung der Leitungsbahnen lag und diese nicht noch durch dorsale Illuminierung ersichtlich gemacht werden mussten.

Für die Aufnahme wurde ein Stativ zur Sensorstabilisierung verwendet, damit möglichst vergleichbare Fotos entstanden. Die Aufnahmen erfolgten mit der Spiegelreflexkamera Sony Alpha 7 III (ILCE-7M3) und mit dem Objektiv FE 24-105mm F4 G OSS – ebenfalls von Sony. Für alle Bilder wurde konstant eine Langzeitbelichtung von 15 Sekunden gewählt und eine Blendenzahl von F13 eingestellt. Diese Einstellungen ermöglichten Bilder mit hoher Tiefenschärfe. Die Bilder wurden im RAW-Format abgespeichert und in einem späteren Arbeitsschritt mit folgenden Programmen bearbeitet und optimiert (Hintergrundretuschierung (schwarzer Hintergrund für besseren Kontrast), Schärfenoptimierung, Helligkeit, nachträgliche Beschriftungen und Markierungen):

- Adobe Photoshop (Version 26.4.1, Adobe Inc., www.adobe.com/products/photoshop.html)
- Darktable (Version 5.2.1, www.darktable.org)
- Paint (Microsoft Paint)

4 Ergebnisse

Das Ziel der vorliegenden Dissertation ist die Beantwortung der Frage, wie der *Nervus alveolaris superior anterior* verläuft, wenn er nicht im *Canalis sinuosus* verläuft.

Hierfür wurden zusammen mit der Doktorandin Lena Niedballa 17 Schädelpräparate bis auf die knöchernen Strukturen freigelegt und nach dem Kriterium untersucht, ob ein separater Verlauf des *Nervus alveolaris superior anterior* neben dem *Canalis sinuosus* nachweisbar war. Um dieses Kriterium zu untersuchen, wurde bei allen Präparaten der *Sinus maxillaris dorsal* eröffnet, um mithilfe des Leuchttablets und der Diagnostiklampe die *ventral* verlaufenden Gefäße und Nerven darzustellen (Kapitel 3.1.2 und 3.1.3 der Methoden). Es konnte bei drei der 17 Präparate ein separater Verlauf nachgewiesen werden.

Die fotografische Darstellung der Präparate und eine detaillierte Auswertung der Ergebnisse erfolgt in den folgen Kapiteln 4.1, 4.2 und 4.3.

Um die Fragestellung nach einem individuellen Abgang des *Nervus alveolaris superior anterior* noch präziser zu beantworten und diesen Abgang genauer zu lokalisieren, wurden zusätzlich zu den 17 Präparaten, aus fünf weiteren Präparaten drei ausgewählt, die ebenfalls einen separaten Verlauf aufwiesen. Ein Präparat wurde, wie in den oben erwähnten Kapiteln, präpariert (Entfernung der Weichgewebe bis zur Kortikalis) und durch dorsale Illuminierung analysiert. Bei den letzten beiden Präparaten wurden die intraossär verlaufenden Strukturen im Bereich der ventralen *Maxilla* und des Orbitabodens durch Entfernung der oberen Kortikalis freigelegt, sodass die ossäre Wandung des *Canalis sinuosus* und des *Canalis infraorbitalis* nach der Präparation fehlte.

Die fotografische Darstellung der Präparate und eine detaillierte Auswertung der Ergebnisse erfolgt in den folgen Kapiteln 4.4, 4.5 und 4.6.

Schließlich standen dieser Studie 22 Präparate zur Verfügung (17 und fünf), unter denen bei sechs Präparaten ein separater Verlauf des *Nervus alveolaris superior anterior* nachgewiesen werden konnte, was einem prozentualen Anteil von 27,3% entspricht.

Die folgende Tabelle dient als Legende für die in den Kapiteln 4.1 bis 4.6 verwendeten Markierungen der Abbildungen.

Tabelle 1: Aufschlüsselung über die verwendeten Markierungen für die Präparatabbildungen

#	<i>Foramen infraorbitale</i>
	Orbitarand
	zu vergrößernder Ausschnitt
++++++	Verlauf des <i>Canalis sinuosus</i> bzw. in ihm verlaufende Leitungsbahnen
	Verlauf des <i>Nervus alveolaris superior anterior</i>
	Verlauf des <i>Canalis infraorbitalis</i> bzw. in ihm verlaufende Leitungsbahnen
	akzessorischer Kanal bzw. in ihm verlaufende Leitungsbahnen

4.1 Präparat 1

Abb. 8 zeigt Präparat 1, den zweiten Quadranten der *Maxilla*, der durch ein Leuchttbrett von *dorsal* illuminiert wird. Dieses Präparat stammt aus der Auswahl der 17 Präparate. In Abb. 8 a) sind zur räumlichen Orientierung die Nase und das Zahnschema nach der *FDI* eingezeichnet, wobei die „0“ vor der Zahnangabe kennzeichnet, dass dieser Zahn nicht mehr *in situ* vorhanden ist.

Deutlich erkennbar ist in Abb. 8 a) eine Struktur, die unterhalb des *Foramen infraorbitale* (#) im S-förmigen Verlauf nach *kaudal* und schließlich *medial* zur Nase verläuft (innerhalb des schwarzen Rechteckes). Hierbei handelt es sich um den *Canalis sinuosus*. In Abb. 8 b) zeigt die Vergrößerung den separaten Verlauf der *N. alveolaris superior anterior* – hier durch gelbe Striche gekennzeichnet – und den Verlauf der sich im *Canalis sinuosus* befindenden *Vena* und *Arteria alveolaris superior anterior*. Schon *kaudal* vom *N. infraorbitalis* ist eine Separierung des Nervens vom *Canalis sinuosus* zu erkennen. In dieser Abbildung zeigt sich der Verlauf des *N. alveolaris superior anterior* von *ventral*.

Der Orbitalrand, in beiden Abbildungen durch ein blaues Dreieck gekennzeichnet, wurde im Bereich oberhalb des *Foramen infraorbitale* (#) entfernt, um eine bessere Sicht auf den *Canalis sinuosus* und den separat verlaufenden *Nervus alveolaris superior anterior* zu gewährleisten.

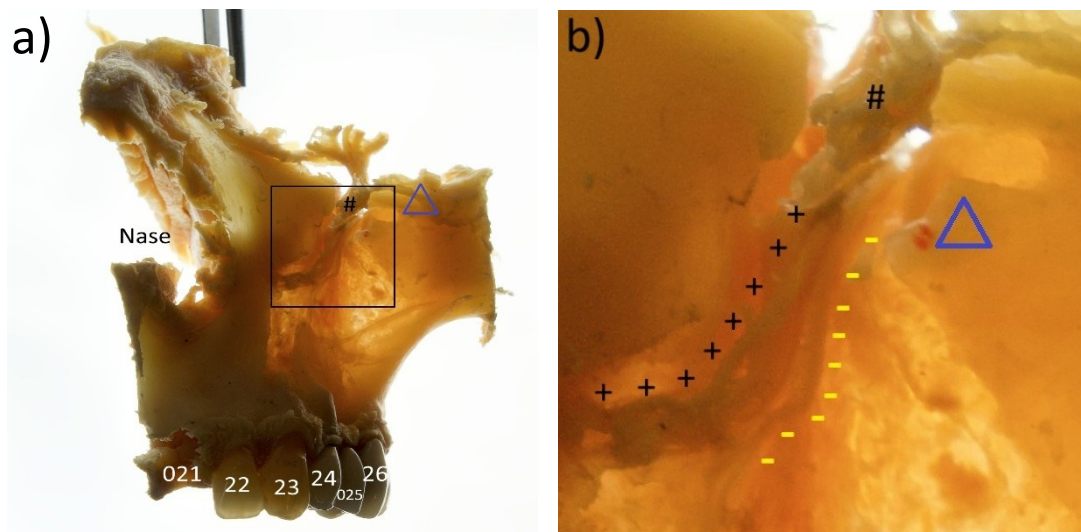


Abb. 8: Maxillapräparat 1 a) von dorsal durch ein Leuchttbrett illuminiert und mit Markierung des in b) vergrößerten Bereiches des *N. infraorbitalis* und *Canalis sinuosus*. Die gelben Striche markieren den *NASA* und der Verlauf des *Canalis sinuosus* wird durch „+“ gekennzeichnet. Aus Gründen der Übersicht liegen die kennzeichnenden Markierungen neben den jeweiligen Strukturen. Das *Foramen infraorbitale* wird durch „#“ und der durchtrennte Orbitalrand durch ein blaues Dreieck markiert.

4.2 Präparat 2

In Abb. 9 ist eine rechte *Maxilla* von Präparat 2 dargestellt. Diese wird mithilfe einer Diagnostiklampe durch die dorsale Fensterung des *Sinus maxillaris* beleuchtet. Auch dieses Präparat stammt aus der Auswahl der 17 Präparate. Zur besseren Orientierung ist in Abb. 9 a) der Apex des *Dens Caninus* (13) und die Nase eingezeichnet. Der hier durchgehende Orbitalrand ist mit einem blauen Dreieck gekennzeichnet.

Der *Canalis sinuosus* verläuft – in Abb. 9 a) als dunkle Struktur ersichtlich – parallel zum Orbitalrand unterhalb des *Foramen infraorbitalis* (#) nach *medial* zur Nase. Das schwarze Rechteck in Abb. 9 a) markiert im ersten Quadranten den Bereich, in dem ein Abgang des *N. alveolaris superior anterior* ersichtlich ist. Der vergrößerte Ausschnitt in Abb. 9 b) zeigt die im *Canalis sinuosus* verlaufende *Arteria* und *Vena alveolaris superior anterior* (+) als parallellaufende Strukturen und mit etwas Abstand darunter den Nerven (gelbe Striche).

In dieser Abbildung ist der Ursprung des *N. alveolaris superior anterior* nicht ersichtlich.

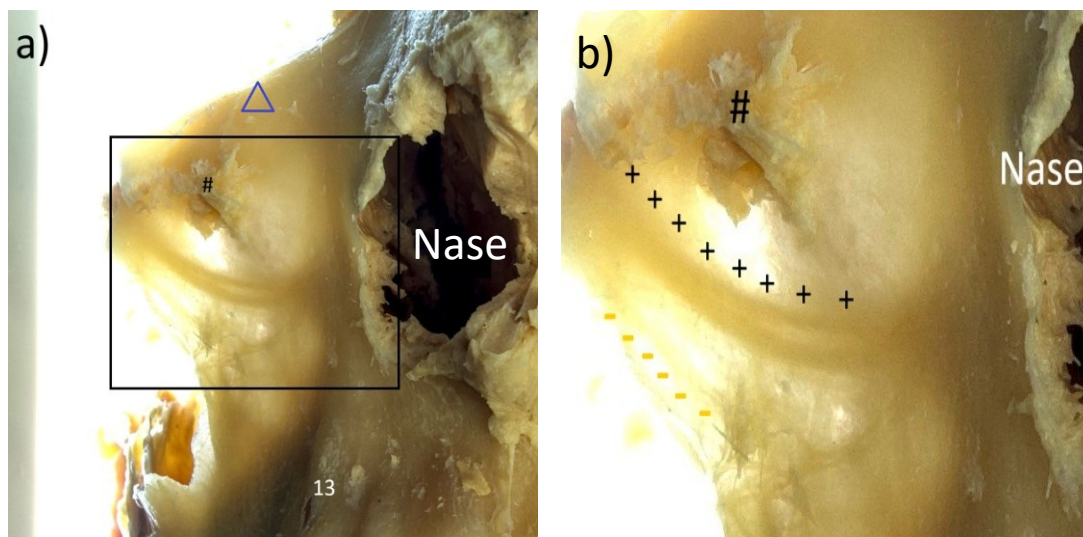


Abb. 9: Maxillapräparat 2, bei dem a) der Sinus von *dorsal* durch ein Leuchttablett illuminiert wird und b) der schwarz umrandete Bereich (a)) vergrößert dargestellt ist. Der Verlauf des *NASA* wird durch gelbe Striche markiert und der *Canalis sinuosus* wird durch „+“ gekennzeichnet. Aus Gründen der Übersicht liegen die kennzeichnenden Markierungen neben den jeweiligen Strukturen. Der Orbitalrand wird durch ein blaues Dreieck und das *Foramen infraorbitale* mit „#“ markiert.

4.3 Präparat 3

Abb. 10 zeigt mit Präparat 3 den ersten Quadranten der *Maxilla*. Der *Sinus maxillaris* wird durch dorsale Fensterung illuminiert. Dieses ist das letzte Präparat, welches aus den 17 Präparaten ausgewählt wurde. Zur räumlichen Orientierung ist in Abb. 10 a) die Nase gekennzeichnet und der Orbitarand mit einem blauen Dreieck markiert.

In Abb. 10 a) lässt sich der *Canalis sinuosus* als parallele Struktur zum Orbitaboden unterhalb des *Foramen infraorbitale* (#) erkennen, die Richtung *Os nasale* zieht. Vom *Canalis sinuosus* zweigt ein akzessorischer Kanal ab (schwarzer Kreis), der nach *kaudal* zieht. In der vergrößerten Abb. 10 b) kennzeichnen die gelben Striche den Verlauf des *N. alveolaris superior anterior*, der als feine Struktur parallel zum *Canalis sinuosus* verläuft, dessen Verlauf mit „+“ gekennzeichnet ist. Innerhalb des *Canalis sinuosus* verlaufen die *Vena* und *Arteria alveolaris superior anterior*.

Auch in dieser Abbildung ist der Ursprung des Nervens nicht ersichtlich.

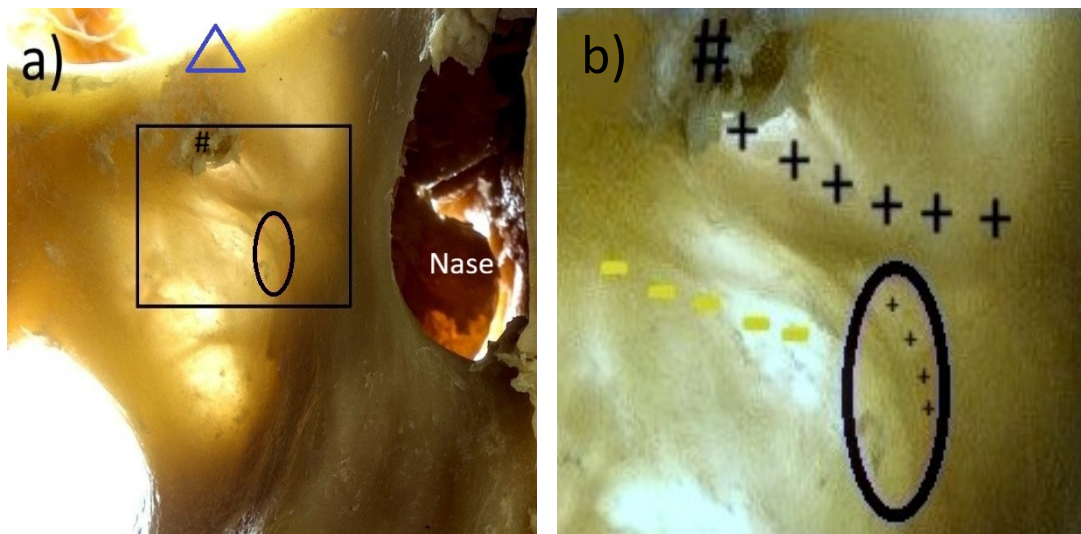


Abb. 10: Maxillapräparat 3, bei dem a) der *Sinus maxillaris* von *dorsal* mit Fokus auf den Bereich des *Canalis sinuosus* und einen akzessorischen Kanal (schwarzer Kreis) illuminiert wird und b) der Verlauf des *NASA* mit gelben Strichen gekennzeichnet ist. Der Verlauf des *Canalis sinuosus* und des akzessorischen Kanals wird durch „+“ gekennzeichnet. Aus Gründen der Übersicht liegen die kennzeichnenden Markierungen neben den jeweiligen Strukturen. Das *Foramen infraorbitale* wird durch „#“ und der Orbitarand mit einem blauen Dreieck gekennzeichnet.

4.4 Präparat 4

Abb. 11 zeigt das vierte Präparat – einen zweiten Quadranten – bei dem der *Sinus maxillaris* durch dorsale Fensterung mit einer Diagnostiklampe illuminiert wird. Dieses ist das erste der drei Präparate, welches von den fünf Präparaten des Instituts ausgewählt wurde.

In Abb. 11 a) erscheinen der *Nervus*, die *Arteria* und die *Vena infraorbitalis* im intraossär verlaufenden *Canalis infraorbitalis* als dunkle, breite Struktur im oberen Bildrand. Deren Verlauf wird durch „=“ gekennzeichnet. Diese ziehen zum *Foramen infraorbitale* (#) und treten dort aus (schwarzes Rechteck). In einem S-förmigen Verlauf zweigt der *Canalis sinuosus* mit der intrakanalikulär verlaufenden *Vena* und *Arteria alveolaris superior anterior* am oberen rechten Bildrand vom *N. infraorbitalis* ab und zieht in die anteriore Frontzahnregion (+). Die Abb. 11 b) zeigt die Vergrößerung dieses Bereiches. Von *proximal* kommend verläuft der *N. alveolaris superior anterior* im *Canalis sinuosus* und divergiert unterhalb des *Foramen infraorbitale* (#) leicht nach *kaudal*. In Abb. 11 b) wird dieser Verlauf durch die gelben Striche verdeutlicht.

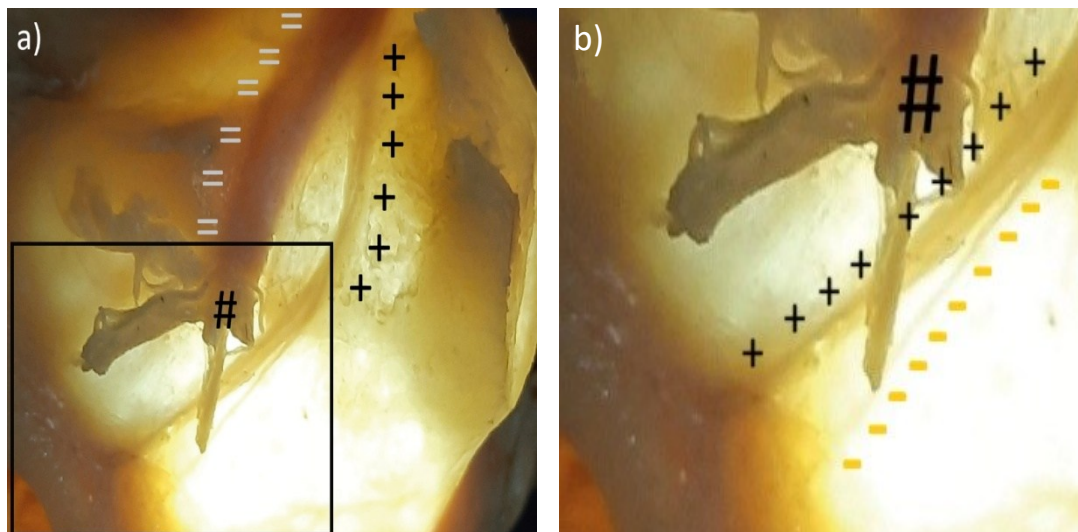


Abb. 11: Maxillapräparat 4 a) mit Illuminierung des *Sinus maxillaris* als Übersichtsaufnahme und Kennzeichnung des *Foramen infraorbitale* (#) und b) als Vergrößerung des in a) markierten Bereiches mit Kennzeichnung des Verlaufs des *NASA* mit gelben Strichen und des Verlaufs des *Canalis sinuosus* mit „+“. Der Verlauf der Trias aus *Nervus*, *Arteria* und *Vena infraorbitalis* im *Canalis infraorbitalis* ist mit „=“ markiert. Aus Gründen der Übersicht liegen die kennzeichnenden Markierungen neben den jeweiligen Strukturen.

4.5 Präparat 5

Präparat 5 in Abb. 12 zeigt den ersten Quadranten, bei dem die Gefäße und Nerven im Bereich des *Canalis infraorbitalis* und *sinuosus* nicht durch dorsale Illuminierung dargestellt werden, sondern durch Entfernung der kompletten Kortikalis gezeigt werden können. Das Präparat 5 ist das zweite der fünf Präparate aus dem Institut. Zur besseren Orientierung ist in Abb. 12 a) der *Dens Caninus* (13) gekennzeichnet und der präparatorisch durchtrennte Orbitarand mit einem blauen Dreieck markiert. Durch die Entfernung des Orbitarandes im Bereich des *Foramen infraorbitale* (#), können die Strukturen am Orbitaboden uneingeschränkt betrachtet werden. Abb. 12 b) zeigt diesen Bereich in der Vergrößerung.

Entlang des Orbitabodens tritt aus dem oberen Bildrand der *Nervus*, die *Vena* und die *Arteria infraorbitalis* ein, die in diesem Präparat aufgrund der präparatorischen Entfernung der knöchernen Strukturen nicht mehr im *Canalis infraorbitalis* verlaufen. Bevor diese aus dem *Foramen infraorbitale* (#) austreten, zweigt die Trias aus *Nervus*, *Vena* und *Arteria alveolaris superior anterior* ab, die *prae-präparatorisch* im *Canalis sinuosus* verliefen. Die *Vena* und die *Arteria alveolaris superior anterior* ziehen weiter nach *ventral* und verlaufen in die Frontzahnregion; deren Verlauf wird durch „+“ gekennzeichnet. Unterhalb des *Foramen infraorbitale* (#) werden diese zwei lumenführende Gefäße ersichtlich. Nach der Hälfte des in Abb. 12 b) dargestellten Verlaufes der alveolären, superioren, anterioren Trias (+), zweigt eine feine Struktur ab, divergiert nach *kaudal* und separiert sich somit von der *Vena* und *Arteria alveolaris superior anterior*. Ihr Verlauf ist mit gelben Strichen nachgezeichnet. Diese Struktur entspricht dem *N. alveolaris superior anterior*. Wie in Abb. 12 a) erkennbar, zieht auch der Nerv entlang der ventralen Maxillawand in den Bereich der oberen Frontzähne.

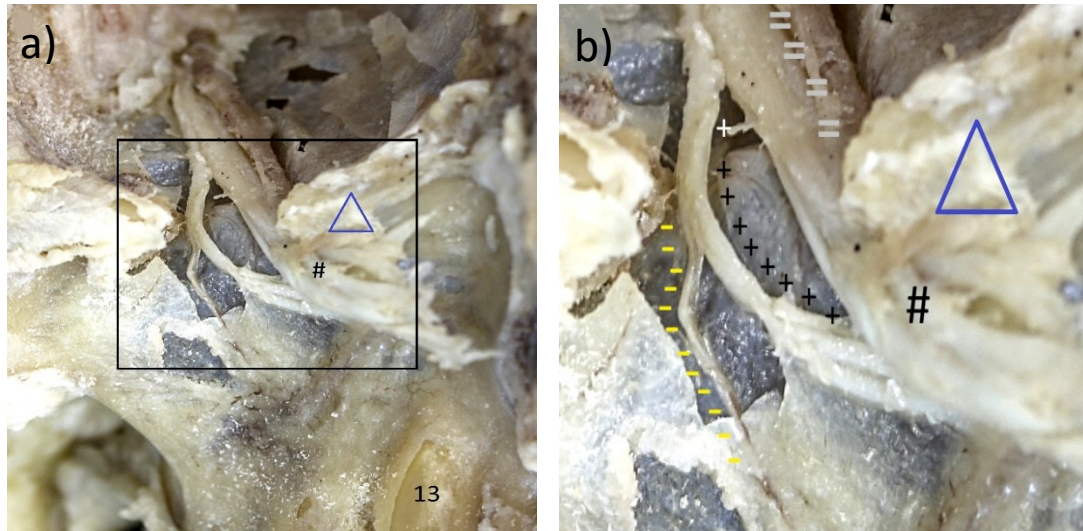


Abb. 12: Maxillapräparat 5 a) nach Entfernung der knöchernen Strukturen mit Deckenbeleuchtung und Markierung des in b) vergrößerten Bereichs der infraorbitalen Nervenabgänge. Die gelben Striche markieren den Verlauf des *NASA*, der Verlauf der *Vena* und *Arteria alveolaris superior anterior* ist mit „+“, und die Trias aus *Nervus*, *Vena* und *Arteria infraorbitalis* ist mit „=“ gekennzeichnet. Das blaue Dreieck markiert den durchtrennten Orbitaboden und das *Foramen infraorbitale* wird durch „#“ markiert.

4.6 Präparat 6

Abb. 13 zeigt die rechte *Maxilla* des sechsten Präparates, bei dem ebenfalls die Gefäße und Nerven im Bereich des *Canalis infraorbitalis* und *sinuosus* nicht durch dorsale Illuminierung dargestellt werden, sondern durch Entfernung der kompletten Kortikalis gezeigt werden können. Das Präparat 6 ist das dritte der fünf Präparate aus dem Institut. Zur besseren Orientierung ist in Abb. 13 a) der Orbitaboden mit einem blauen Dreieck und das *Foramen infraorbitale* mit „#“ markiert. Im rechten unteren Bildrand sind die Apices des *Dentis Canini* (13) und des ersten Prämolaren (14) gekennzeichnet.

Abb. 13 b) zeigt die relevanten Leitungsbahnen in der Vergrößerung. Die am Orbitaboden verlaufende Trias aus *Nervus*, *Vena* und *Arteria infraorbitalis* ist mit „=“ markiert. Der umschließende *Canalis infraorbitalis* fehlt, da dieser durch die Präparation entfernt wurde. Von dieser Trias zweigt *proximal* der *Nervus*, die *Vena* und die *Arteria alveolaris superior anterior* ab. Der umschließende *Canalis sinuosus* fehlt aufgrund der Präparation ebenso. Die Trias verläuft unterhalb des Orbitarandes (blaues Dreieck), auf dessen Höhe sich der *Nervus alveolaris superior anterior* abzweigt und nach *kaudal* divergiert. Sein Verlauf wird durch die gelben Striche gekennzeichnet. Unterhalb des *Foramen infraorbitale* (#) zeigen sich – wie in Abb. 12 b) – die verbliebenen Gefäße der Trias; die *Arteria* und *Vena alveolaris superior anterior*. Diese ziehen im weiteren Verlauf ohne den Nerven nach *medial* in den Bereich der Nase und geben akzessorische Gefäße (schwarzer Kreis) in die Region des Prämolaren ab. Der Verlauf der alveolären, superioren, anterioren Leitungsbahnen nach Entfernung des *Canalis sinuosus* und des akzessorischen Kanals wird durch „+“ markiert und entspricht weitgehend dem im DVT dargestellten *Canalis sinuosus* und den akzessorischen Kanälen (vgl. Abb. 7).

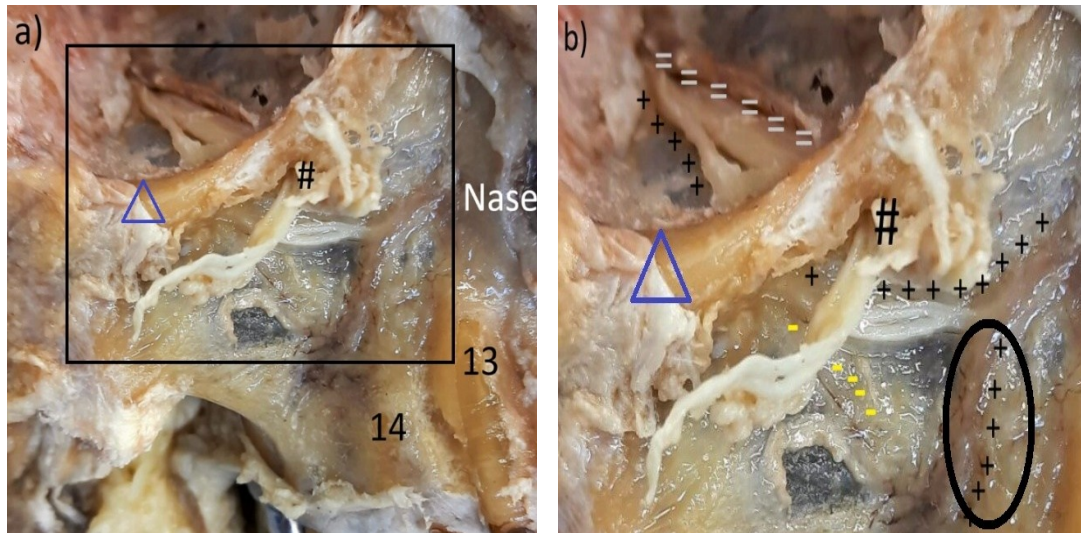


Abb. 13: Maxillapräparat 6 a) nach Entfernung der Kortikalis mit Deckenbeleuchtung in der Übersicht und Markierung des in b) vergrößerten Bereichs. Die Trias aus *Vena*, *Arteria* und *Nervus infraorbitalis* ist nach Entfernung des *Canalis infraorbitalis* mit „=“, die *Vena* und *Arteria alveolaris superior anterior* und ein akzessorischer Kanal sind nach Entfernung des *Canalis sinuosus* mit „+“ und der Verlauf des *NASA* ist mit gelben Strichen markiert. Aus Gründen der Übersicht befinden sich die markierenden Kennzeichnungen neben den jeweiligen Strukturen. Das *Foramen infraorbitale* ist mit „#“ gekennzeichnet und der Orbitarand mit einem blauen Dreieck.

4.7 Zusammenfassung der makroskopischen Ergebnisse

Bei den sechs ausgewählten Präparaten konnte gezeigt werden, dass der *Nervus alveolaris superior anterior* in der anterioren Maxillawand separat zum *Canalis sinuosus* verläuft. Der Verlauf stellt sich wie folgt dar: vom *Nervus infraorbitalis* zweigt der *N. alveolaris superior anterior* im *Canalis infraorbitalis* zusammen mit der *Vena* und *Arteria alveolaris superior anterior* ab und verläuft zunächst mit den beiden Gefäßen im *Canalis sinuosus*. Dies kann anhand der Präparate 4, 5 und 6 gezeigt werden. Hierbei kann der Ort der Abzweigung unterhalb des Orbitarandes lokalisiert werden. Während seines Verlaufes in den Bereich der vorderen Frontzähne, wird der Abstand zum *Canalis sinuosus* größer und er zieht auf Höhe des Prämolaren nach *kaudal*, während die anteriore Arterie und Vene noch weiter nach *medial* ziehen. Der ventrale Verlauf konnte bei allen sechs Präparaten gezeigt werden.

Somit konnte bei sechs von 22 zur Verfügung stehenden Präparaten ein separater Verlauf nachvollzogen werden, was einem prozentualen Anteil von 27,3% entspricht. Demzufolge konnte bei 16 der 22 Präparate kein separater Verlauf des Nervens nachgewiesen werden, was einem prozentualen Anteil von 72,7% entspricht (s. Abb. 14).

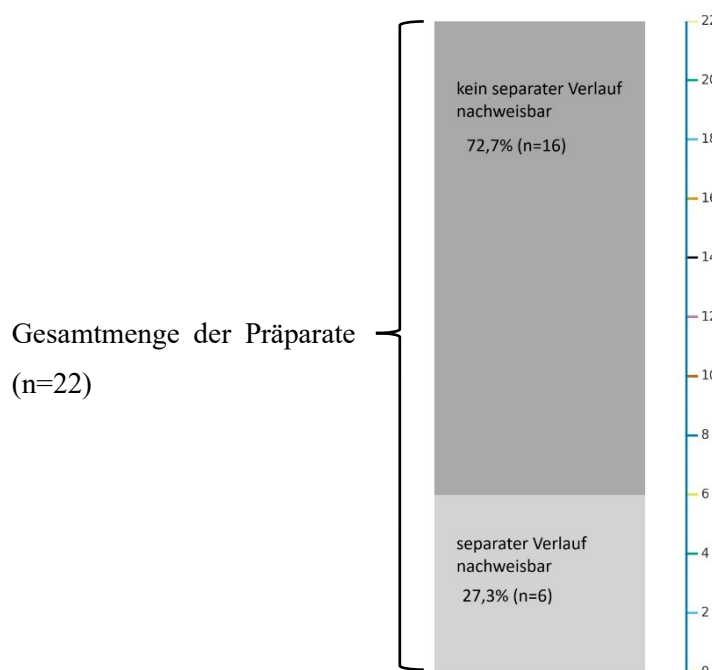


Abb. 14: Übersicht der Ergebnisse

Bei einer Gesamtmenge von n=22 ist bei 72,7% kein separater Verlauf des *NASA* nachweisbar, was einer Menge von n=16 entspricht, und bei 27,3% ist ein separater Verlauf des *NASA* nachweisbar, was einer Menge von n=6 entspricht

5 Diskussion

Die vorliegende Dissertation beruht auf der Fragestellung, wie der *Nervus alveolaris superior anterior* verläuft, wenn er nicht im *Canalis sinuosus* verläuft.

Um dies zu untersuchen, wurden sechs Präparate, die einen separaten Verlauf aufwiesen, aus einer Auswahl von 22 Präparaten ausgewählt. Die *Maxillae* aller Präparate wurde zuvor entlang der *Le Fort* Frakturlinien entnommen. Bei den Präparaten 1 bis 4 wurden die *Maxillae* bis auf die Kortikalis freipräpariert und von *dorsal* gefenstert, sodass die anteriore Maxillenwand mithilfe von dorsaler Illuminierung mittels Diagnostiklampe und Leuchttabelle gut dargestellt werden konnte. Bei den letzten zwei Präparaten 5 und 6 wurde zusätzlich noch die Kortikalis entfernt, sodass die Gefäße und Nerven im Bereich des *Canalis infraorbitalis* und *sinuosus* auch ohne dorsale Illuminierung dargestellt werden konnten.

Es konnte bei allen sechs Präparaten nachgewiesen werden, dass der *N. alveolaris superior anterior* im Bereich der anterioren Maxillenwand separiert vom *Canalis sinuosus* verläuft, was einem prozentualen Anteil von 27,3 % entspricht. Auf Höhe des *Canalis infraorbitalis* zieht er noch nach der Abzweigung vom *N. infraorbitalis* innerhalb des *Canalis sinuosus* mit der Vene und der Arterie mit, bevor er dann im Bereich des Orbitarandes nach *kaudal* abzweigt und den Abstand vergrößert. Bei der Lokalisierung und Identifizierung muss darauf geachtet werden, dass der *Nervus alveolaris superior anterior* nicht mit benachbarten Strukturen, wie zum Beispiel einem akzessorischen Kanal des *Canalis sinuosus* oder dem *Canalis sinuosus* selbst verwechselt wird. Gerade im Bereich des Orbitabodens liegen die Gefäße und Nerven in einer engen Lagebeziehung zueinander. Die Abb. 13 und Abb. 10 verdeutlichen, dass eine genaue Identifizierung bei manchen Präparaten schwierig ist.

Das frühzeitige Abzweigen des *Nervus alveolaris superior anterior* kann als anatomische Variation gesehen werden, wobei diskutiert werden muss, wie es zu einem separaten Verlauf kommen kann. Ein Grund hierfür könnte sein, dass die Ossifikation im Bereich des *Canalis infraorbitalis* während der 24. Schwangerschaftswoche variabel erfolgt ist und sich der *Canalis sinuosus* nicht vollständig geschlossen hat (vgl. Asaumi et al., 2010).

Zudem muss die klinische Relevanz für medizinische Eingriffe herausgestellt werden, da das frühzeitige Abzweigen des *Nervus alveolaris superior anterior* für diverse zahnmedizinische

und chirurgische Eingriffen sowohl diagnostische als auch therapeutische Komplikationen bedeuten kann.

Ein zahnmedizinischer Bericht von 2017 schildert den Fall einer Patientin, die nach einer Implantation in der Region des rechten seitlichen Frontzahnes eine sensorische Missempfindung beklagt. Nach dreidimensionalem bildgebendem Verfahren ist zu erkennen, dass das Implantat den bei diesem individuellen Fall im *Canalis sinuosus* verlaufenden *N. alveolaris superior anterior* touchiert und somit die sensorische Reizung hervorruft. (vgl. Arruda et al., 2017)

Dieser Fallbericht zeigt deutlich, dass bei der Setzung von Implantaten genaue anatomische Kenntnisse benötigt werden, um eine Parästhesie zu verhindern. Das Wissen, dass es neben dem intrakanalikulären Verlauf des *N. alveolaris superior anterior* noch eine Variation gibt, bei der der Nerv etwas unterhalb des *Canalis sinuosus* entlangzieht, kann zukünftig als Prävention vor Nervenverletzungen und daraus resultierenden postoperativen Missempfindungen oder Schmerzen dienen.

Zudem müsste überprüft werden, ob sich der individuelle Verlauf des Nerven bei dreidimensionaler präoperativer Diagnostik (DVT-Aufnahmen) zeigt, da die darzustellende Grenze bei einer Strahlendosis, die den Patienten nicht gefährdet, bei einem Durchmesser von ca. 0,5mm liegt und zumal die Darstellung mithilfe von DVT-Aufnahmen bei sehr kleinen Nervenästen, die keine knöcherne Begrenzung aufweisen, versagt (vgl. Suomalainen et al., 2009) (vgl. Landfald et al., 2025). Hier schließt sich die Fragestellung an, wie genau der *Nervus alveolaris superior anterior* verläuft, wenn er nicht mehr innerhalb des *Canalis sinuosus* mitzieht. Nervenäste mit einem sehr geringen Durchmesser, ein Merkmal, was auf den *Nervus alveolaris superior anterior* durchaus zutrifft, können entweder subperiostal oder in flachen Rinnen entlang des Knochens ziehen (vgl. Kasahara et al., 2016). Somit wird, wie oben erwähnt, die Darstellung mittels DVT-Aufnahme erschwert und die fehlende Diagnostik des Nervenverlaufes kann dazu führen, dass postoperative Parästhesien beispielsweise nach einer Implantatinserterion auftreten, obwohl die präoperative DVT-Diagnostik keine anatomische Struktur aufweisen konnte.

Dass die in der anterioren Maxillawand verlaufenden Strukturen, wie der *Canalis sinuosus* oder auch akzessorische Kanäle im Zuge der röntgenologischen Diagnostik Verunsicherungen hervorrufen können, zeigt ein weiterer Fallbericht von 2021, bei dem ein Patient zur Fokussanierung vor Aortenklappenersatz überwiesen wurde. Röntgenologisch

zeigte sich eine kreisrunde Transluzenz auf Höhe des mittleren Wurzeldrittels des rechten Frontzahnes und des linken seitlichen Frontzahnes. Nach radiologischer Diagnostik würde dieser Befund für eine interne Wurzelresorption sprechen; da der Patient allerdings klinisch keinerlei Beschwerden oder Symptome zeigte, wurde zur weiteren Diagnostik zusätzlich noch eine dreidimensionale Aufnahme angefertigt, die einen palatinal intraossär verlaufenden Knochenkanal zeigte (vgl. Bliggenstorfer, 2021). Ein Lösungsansatz, um eine Schädigung der Gefäße im *Canalis sinuosus* bei Implantation zu vermeiden, ist neben einer genauen Analyse präoperativ angefertigter dreidimensionaler Aufnahmen die Anwendung von minimalinvasiv arbeitenden Knochenspreizern, wie es im Fallbericht einer 55-jährigen Patientin beschrieben wird (vgl. Miyahira et al., 2025).

Die adäquate Kenntnis der Nervenverläufe kann auch für die Anästhesie im Bereich der vorderen Zähne eine große Rolle spielen. Hierzu gibt es eine Studie von 2025, in der mithilfe von DVT-Aufnahmen die akzessorischen Kanäle des *Canalis sinuosus* lokalisiert wurden. Bei den nachfolgenden zahnmedizinischen Eingriffen wurde direkt an dem Nervenkanal, der den entsprechenden Zahn versorgt, anästhesiert. Ein großer Vorteil dieser Vorgehensweise war, dass lediglich der zu behandelnde Zahn anästhesiert wurde und nicht das umgebende Gewebe, wie zum Beispiel die äußere Lippe. Dies empfanden die Patienten als sehr angenehm, da sie nach Behandlung im Hinblick auf Sprechen oder Nahrungsaufnahme nicht eingeschränkt waren. Zudem war die Anästhesie an sich sehr effektiv, was zu einem vollständigen Taubheitsgefühl während der Behandlung geführt hat (vgl. Kabak et al., 2025). Es müsste bei einem solchen Vorgehen kritisch hinterfragt werden, ob die erwähnten Vorteile eine Strahlenbelastung durch eine DVT-Aufnahme rechtfertigten und solch ein Behandlungsablauf im Praxisalltag realisierbar wäre.

5.1 Ausblick

Eine Fragestellung für folgende Studien wäre, ob bei einer breiter aufgestellten Studie mit Präparaten eine ähnliche prozentuale Verteilung von ca. 27% nachgewiesen werden kann. Zudem kann in Kombination dazu mithilfe von DVT-Aufnahmen überprüft werden, ob auch der röntgenologische Nachweis erfolgen kann, oder ob der Durchmesser des Nervens zu gering ist.

Bei Betrachtung des dritten und sechsten Präparates, bei denen ein akzessorischer Kanal nachgewiesen werden konnte, stellt sich die Frage, ob auch ein separat verlaufender *Nervus*

alveolaris superior anterior akzessorische Abgänge ausbilden kann. Bei den sechs vorliegenden Präparaten konnte ein solcher Nervenabgang nicht nachgewiesen werden, da dieser akzessorische Nerv einen noch geringeren Durchmesser als der eh schon sehr feine *Nervus alveolaris superior anterior* hätte und bei der Präparation übersehen worden wäre. Darüber hinaus könnte untersucht werden, ob intraindividuelle Variationen vorliegen und ob der *Nervus alveolaris superior anterior* möglicherweise bilateral vorzeitig abzweigt – ein Aspekt, der für nachfolgende Studien besonders relevant sein könnte, da das Ergebnis einer solchen Studie wiederum Auswirkungen auf die präoperative Planung hätte.

Die makroskopische Darstellung des *Nervus alveolaris superior anterior* ist aufgrund seines geringen Durchmessers und des intraossären Verlaufs besonders anspruchsvoll. In der vorliegenden Studie wurde der Nerv durch partielle Ausdünnung der Kortikalis, vollständige Entfernung der Kortikalis, Entfernung der Sinusmukosa und Beleuchtung der Maxillafragmente auf einem Leuchttablett sichtbar gemacht, um eine bestmögliche Hervorhebung zu erreichen. Eine Methode, die bisher eher bei Weichgewebe wie Haut, Muskeln und Organen angewendet wurde, ist die Sihler Färbemethode. Im Zuge einer Studie aus dem Jahr 2013 wurde diese Methode dazu verwendet, um die intraossären Gefäße im Unterkieferknochen darzustellen, indem das Knochengewebe transparent wurde. Als Vorteil dieser weiterentwickelten Methodik wird gesehen, dass das Nervengewebe *in situ* betrachtet werden kann, ohne dass es beschädigt worden ist und auch die äußere Form des Knochens erhalten bleibt (vgl. Shiozaki et al., 2013).

Die Fragestellung, ob die optimierte Sihlersche Färbetechnik auch für die *Maxilla* anzuwenden ist, um deren nervösen Gefäße darzustellen, kann als Ansatzpunkt für weitere Forschungsarbeiten in Betracht gezogen werden.

In einer Studie von 2024, die die Qualität der Nervengewebedarstellung von Lebensmittelfarbe, Methylenblau und Gewebemarker an Schweinekadavern vergleicht, ist herausgekommen, dass die Lebensmittelfarbe die qualitativ beste Färbemethodik ist, um Nervengewebe bis zu tieferen Schichten zu färben (vgl. Wong et al., 2024).

Was allerdings im Hinblick auf die vorliegende experimentelle Studie beachtet werden muss, ist die Tatsache, dass in der Studie von Wong ein separater Nervenplexus als Grundlage für die Färbemethoden gedient hat, der zuvor aus den Schweinekadavern entnommen wurde. Ob sich Lebensmittelfarbe auch dazu eignet, um Nerven bei Körperspendern anzufärben,

sollte demzufolge überprüft werden. Eine Einschränkung könnte sein, dass die Farbe nicht nur die freipräparierten Nerven, sondern auch das umgebende Knochengewebe färbt.

Für zukünftige Forschungen bietet sich die Weiterentwicklung methodischer Ansätze zur Präparation und Darstellung des separat verlaufenden *N. alveolaris superior anterior* an, damit neben den radiologischen Darstellungen auch die dreidimensionale Lagebeziehung des Kanals im Knochen besser nachvollzogen und mit den bildgebenden Befunden verglichen werden kann.

5.2 Schlussfolgerung

In der vorliegenden Untersuchung konnte gezeigt werden, dass der *N. alveolaris superior anterior* mit einer prozentualen Verteilung von 27,3% nicht im *Canalis sinuosus* laufen muss, sondern während des anfänglichen Verlaufes vom *Canalis sinuosus* abzweigen kann und dann parallel zum Kanal weiter *kaudal* verläuft.

Herausgestellt werden konnte, dass die Strukturen des *Sinus maxillaris* neben röntgenologischen DVT-Aufnahmen auch makroskopisch dargestellt werden können und, dass auch bei einer verhältnismäßig klein angelegten Studie (n=22) Variationen nachgewiesen werden können.

Bei der patientenindividuellen Planung eines zahnmedizinischen oder chirurgischen Eingriffes im Bereich der anterioren *Maxilla* ist jedoch die DVT-Aufnahme als bildgebende Diagnostik am geeignetsten, um präoperativ den *Canalis sinuosus* und mögliche akzessorische Kanäle zu detektieren (vgl. Samunahmetoglu and Kurt, 2023). Fallberichte von Patienten, die nach einer Implantatinserterion über Schmerzen oder Missempfindungen im Bereich der vorderen Zähne oder des Eckzahnes klagen, unterstreichen die Wichtigkeit einer genauen präoperativen Planung, bei der der Fokus auch auf Variationen und die Lage anatomischer Strukturen gerichtet werden muss (vgl. Shintaku et al., 2020). Neben dem *Canalis sinuosus* und seinen akzessorischen Kanälen, muss bei der präoperativen Diagnostik zusätzlich auch noch die Tatsache beachtet werden, dass der *Nervus alveolaris superior anterior* auch gesondert zur Arterie und Vene verlaufen kann und dieser nichts zwangsläufig mittels DVT-Aufnahme dargestellt werden kann, wie der benachbarte *Canalis sinuosus* und seine akzessorischen Kanäle.

Das anatomische Wissen und die Kenntnis über die Erscheinungsform können Fehldiagnosen beim zweidimensionalen Röntgenbild im Bereich der oberen Frontzähne verhindern. Proji-

ziert sich das Lumen des *Canalis sinuosus* oder seiner abgehenden Kanäle auf eine Wurzelspitze im Frontzahnbereich, kann dies als Knochenresorption oder apikale Entzündung fehl-diagnostiziert werden, was Behandlungen nach sich ziehen könnte, die nicht notwendig wären (vgl. Bliggenstorfer, 2021). Natürlich muss in einem solchen Fall auch die klinische Diagnostik mitberücksichtigt und dementsprechend kritisch abgewogen werden, ob eine DVT-Aufnahme als weiterführende bildgebende Diagnostik sinnvoll wäre.

Bei der Literaturrecherche zeigte sich, dass zahlreiche aktuelle Studien zwar den *Canalis sinuosus* und seine akzessorischen Kanäle, häufig auf Grundlage von DVT-Aufnahmen, beschreiben, jedoch fehlt eine weiterführende Studie zu interindividuellen Verläufen des *Nervus alveolaris superior anterior* bei gleichzeitigem Vorkommen des *Canalis sinuosus*. Auch in den klassischen anatomischen Lehrbüchern werden der Kanal kaum und die untersuchte Variation gar nicht erwähnt – „Gray’s Anatomy“ bildet hier im Hinblick auf den *Canalis sinuosus* eine der wenigen Ausnahmen (vgl. Horan, 2009). Eine Aktualisierung und bildliche Darstellung in modernen Lehrwerken erscheinen daher dringend notwendig.

6 Literatur- und Quellenverzeichnis

- AOKI, R., MASSUDA, M., ZENNI, L. T. V. & FERNANDES, K. S. 2020. Canalis sinuosus: anatomical variation or structure? *Surg Radiol Anat*, 42, 69-74.
- ARRUDA, J. A., SILVA, P., SILVA, L., ALVARES, P., SILVA, L., ZAVANELLI, R., RODRIGUES, C., GERBI, M., SOBRAL, A. P. & SILVEIRA, M. 2017. Dental Implant in the Canalis Sinuosus: A Case Report and Review of the Literature. *Case Rep Dent*, 2017, 4810123.
- ASAUMI, R., SATO, I., MIWA, Y., IMURA, K., SUNOHARA, M., KAWAI, T. & YOSUE, T. 2010. Understanding the formation of maxillary sinus in Japanese human foetuses using cone beam CT. *Surg Radiol Anat*, 32, 745-51.
- BAENA-CALDAS, G. P. 2015. Frequency of canalis sinuosus and its anatomic variations in cone beam computed tomography images.
- BIEMER, E., MCGREGOR, I. A., FAUST, P. & POLZER, S. 2013. *Plastische Chirurgie: Grundlagen und klinische Anwendungen*, Springer Berlin Heidelberg.
- BLIGGENSTORFER, S. 2021. Fehlinterpretation im Röntgenbild - der Canalis sinuosus als radiologisch-anatomische Vortäuschung einer Wurzelresorption. *SWISS DENTAL JOURNAL SSO*.
- DE OLIVEIRA-NETO, O. B., BARBOSA, F. T., DE LIMA, F. J. C. & DE SOUSA-RODRIGUES, C. F. 2023. Prevalence of canalis sinuosus and accessory canals of canalis sinuosus on cone beam computed tomography: a systematic review and meta-analysis. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 52, 118-131.
- DE OLIVEIRA-SANTOS, C. I. R. F. R.-B., SOLANGE A. C. MONTEIRO, JORGE E. LEÓN, REINHILDE JACOBS 2012. Neurovascular anatomical variations in the anterior palate observed on CBCT images.
- DYER, P. V. 1999. Experimental study of fractures of the upper jaw: a critique of the original papers published by Rene Le Fort.
- ELLIS, G. V. 1840. Demonstrations of anatomy - being a guide to the dissection of the human body.
- GHANDOURAH, A. O., RASHAD, A., HEILAND, M., HAMZI, B. M. & FRIEDRICH, R. E. 2017. Cone-beam tomographic analysis of canalis sinuosus accessory intraosseous canals in the maxilla. *Ger Med Sci*, 15, Doc20.
- GRAY, H. & LEWIS, W. H. 1918. *Anatomy of the Human Body*, Lea & Febiger.
- HOHMANN, A. & HIELSCHER, W. 2019. *Lehrbuch der Zahntechnik: Gesamtausgabe: Anatomie, Kieferorthopädie | Prothetik | Werkstofftechnik*, Quintessenz Verlag.
- HORAN, F. 2009. Gray's Anatomy: the anatomical basis of clinical practice: Edited by Susan Standring * Pp. 1551. Illinois: Churchill Livingstone Elsevier, 2008. ISBN: 978-0-443-06684-9. 99. *Journal of Bone and Joint Surgery-british Volume - J BONE JOINT SURG-BRIT VOL*, 91-B, 983-983.
- JACKOWSKI, J. & PETERS, H. 2017. Topographische Anatomie. In: JACKOWSKI, J., PETERS, H. & HÖLZLE, F. (eds.) *Zahnärztliche Chirurgie*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- KABAK, S., IWANAGA, J., MELNICHENKO, Y., MEKHTIEV, R. & SAVRASOVA, N. 2025. Anatomical Basis of the Palatal Injection Technique for Pulpal Anesthesia of Maxillary Teeth. *Clinical Anatomy*, n/a.
- KASAHARA, N., MORITA, W., TANAKA, R., HAYASHI, T., KENMOTSU, S. & OHSHIMA, H. 2016. The Relationships of the Maxillary Sinus With the Superior

- Alveolar Nerves and Vessels as Demonstrated by Cone-Beam CT Combined With μ -CT and Histological Analyses. *Anat Rec (Hoboken)*, 299, 669-78.
- KURIAN, N., GANDHI, N., DANIEL, A. Y., VARGHESE, V. S., DANIEL, S. & MEHDIRATTA, S. 2018. Digital Analysis of Facial Landmarks in Determining Facial Midline among Punjabi Population. *CHRISMED Journal of Health and Research*, 5, 99-104.
- LANDFALD, I. C., ŁAPOT, M. & OLEWNIK, Ł. 2025. Imaging-Based Clinical Management of Mandibular Canal Variants: PR–CBCT–Selective MRI. *Biomedicines* [Online], 13.
- LEHMANN, K. M., HELLWIG, E. & WENZ, H. J. 2009. *Zahnärztliche Propädeutik: Einführung in die Zahnheilkunde ; mit 34 Tabellen*, Dt. Zahnärzte-Verlag.
- LIEHN, M. & SCHLAUTMANN, H. 2014. *1x1 der chirurgischen Instrumente: Benennen, Erkennen, Instrumentieren*, Springer Berlin Heidelberg.
- LIPPERT, H. 2011. *Lehrbuch Anatomie*, Elsevier Health Sciences Germany.
- MACHADO, V. C., CHRCANOVIC, B. R., FELIPPE, M. B., MANHAES JUNIOR, L. R. & DE CARVALHO, P. S. 2016. Assessment of accessory canals of the canalis sinuosus: a study of 1000 cone beam computed tomography examinations. *Int J Oral Maxillofac Surg*, 45, 1586-1591.
- MCCREA, S. J. J. 2017. Aberrations Causing Neurovascular Damage in the Anterior Maxilla during Dental Implant Placement. *Case Rep Dent*, 2017, 5969643.
- MIYAHIRA, A., NAGAI, R., SENDYK, W. R., PALLOS, D. & KIM, Y. J. 2025. Management of the Canalis Sinuosus (CS) in Anterior Maxillary Implantology: A Minimally Invasive Case Report. *Journal of Advances in Medicine and Medical Research*, 37, 37–44.
- NEVES, F. S., CRUSOE-SOUZA, M., FRANCO, L. C., CARIA, P. H., BONFIM-ALMEIDA, P. & CRUSOE-REBELLO, I. 2012. Canalis sinuosus: a rare anatomical variation. *Surg Radiol Anat*, 34, 563-6.
- NIEDBALLA, L. 2025. *Makroskopische und histologische Untersuchung der arteriellen Versorgung der Maxilla beim Menschen*. Unpublished doctoral dissertation, Heinrich - Heine - Universität Düsseldorf.
- PAULSEN, F., PROFF, P. & WASCHKE, J. 2023. *Sobotta Atlas der Anatomie für Zahnmedizin*, Urban & Fischer.
- SAMANDARI, F. & MAI, J. K. 1995a. *Curriculum funktionelle Anatomie für Zahnmediziner: Allgemeine Anatomie, Skelettsystem, Kopf, Hals, Brust, Bauch, Becken, Aufbauprinzip der Extremitäten. Bd. 1*, Quintessenz.
- SAMANDARI, F. & MAI, J. K. 1995b. *Curriculum Funktionelle Anatomie für Zahnmediziner: Nervensystem, Sinnesorgane, Hirn- und Rückenmarkshäute, Gefäßversorgung*, Quintessenz.
- SAMUNAHMETOGLU, E. & KURT, M. H. 2023. Assessment of Canalis Sinuosus located in maxillary anterior region by using cone beam computed tomography: a retrospective study. *BMC Medical Imaging*, 23, 46.
- SCHWENZER, N., EHRENFELD, M. & AUSTERMANN, K. H. 2002. *Spezielle Chirurgie: 41 Tabellen*, Thieme.
- SFERLAZZA, L., ZACCHEO, F., CAMPOGRANDE, M., PETRONI, G. & CICCONE, A. 2022. Common Anatomical Variations of Neurovascular Canals and Foramina Relevant to Oral Surgeons: A Review. *Anatomia*, 1, 91-106.
- SHINTAKU, W. H., FERREIRA, C. F. & VENTURIN, J. S. 2020. Invasion of the canalis sinuosus by dental implants: A report of 3 cases. *Imaging Sci Dent*, 50, 353-357.

- SHIOZAKI, K., MIIDA, K., TANAKA, R. & SHIMODA, S. 2013. A method for the staining of intraosseous nerve fibers using Sihler's staining technique. *Biotechnic & Histochemistry*, 88, 290-294.
- SILVA, B., PINHEIRO, L., SOBRINHO, B., LIMA, F., SOBRINHO, B., LIMA, K., PITHON, M. & OLIVEIRA, L. 2022. *OdontoAI: A human-in-the-loop labeled data set and an online platform to boost research on dental panoramic radiographs*.
- SUOMALAINEN, A., KILJUNEN, T., KÄSER, Y., PELTOLA, J. & KORTESNIEMI, M. 2009. Dosimetry and image quality of four dental cone beam computed tomography scanners compared with multislice computed tomography scanners. *Dento maxillo facial radiology*, 38, 367-78.
- VELASCO, I. & SOTO, R. 2012. Anterior and middle superior alveolar nerve block for anesthesia of maxillary teeth using conventional syringe. *Dent Res J (Isfahan)*, 9, 535-40.
- VELAYUTHAM, J., GOVINDARAJU, R., NGEOW, W. C., GHAUTH, S. B. & SAMBERKAR, S. P. 2025. A Study of Anterior Superior Alveolar Nerve Variation in Asian and Caucasian Cadavers.
- VON ARX, T. 2015. Anterior superior alveolar nerve - A morphometric-anatomical analysis.
- VON ARX, T., LOZANOFF, S., SENDI, P. & BORNSTEIN, M. M. 2013. Assessment of bone channels other than the nasopalatine canal in the anterior maxilla using limited cone beam computed tomography. *Surg Radiol Anat*, 35, 783-90.
- VON LANZ, T. & WACHSMUTH, W. 2003. *Lanz / Wachsmuth Praktische Anatomie: Kopf: übergeordnete Systeme, Kopf - Gehirn- und Augenschädel, Hals, Arm, Bein und Statik, Bauch, Rücken*, Springer Berlin Heidelberg.
- WASCHKE, J., BÖCKERS, T. M. & PAULSEN, F. 2019. *Sobotta Lehrbuch Anatomie*, Urban & Fischer.
- WASCHKE, J. & PAULSEN, F. 2022. *Sobotta, Atlas der Anatomie des Menschen Band 3: Kopf, Hals und Neuroanatomie*, Elsevier Health Sciences.
- WELSCH, U. 2003. *Lehrbuch Histologie*.
- WONG, S., HON, S., PARRY, S., BOESCH, J. M., PEARSON, E. & DE MIGUEL GARCIA, C. 2024. Image analysis comparison of nerve staining with food dye, methylene blue or tissue marker. *Veterinary Anaesthesia and Analgesia*, 51, 35-43.
- WOOD-JONES, F. 1939. The anterior superior alveolar nerve an vessels.

7 Anhang

Letztwillige Verfügung für die Körperspende*innen

MEDIZINISCHE FAKULTÄT
HEINRICH-HEINE-UNIVERSITÄT DÜSSELDORF
INSTITUT FÜR ANATOMIE I
Postanschrift: Postfach 10 10 07, 40001 Düsseldorf
Besucheranschrift: Universitätsstr. 1, 40225 Düsseldorf
Tel.: 0211/81-12615
nach Dienstschluß: 0211/287763 oder 0211/9296366 (Bestattungsinstitut Dischleid)
(nur zuständig für die Tätigkeiten im Zusammenhang mit den Überführungen)

LETZTWILLIGE VERFÜGUNG

Hiermit bestimme ich letztwillig, daß mein Körper nach meinem Ableben dem Institut für Anatomie I der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf zu medizinischen Zwecken, insbesondere Forschung und Lehre (vor allem Ärztliche Aus-, Fort- und Weiterbildung), zur Verfügung gestellt wird.

Ich erkläre mich mit einer **Einäscherung und einer anschließenden Urnenbeisetzung** auf dem fakultäts-eigenen Grabfeld (**Feld 54**) auf dem Stoffeler Friedhof, Bittweg 60, Düsseldorf einverstanden, sofern der Körper nicht im Institut für Anatomie I verbleiben kann.

Überführungen aus dem Ausland können leider nicht durchgeführt werden. Ebenso muß das Anatomische Institut von seinen Verpflichtungen zurücktreten, wenn eine pathologisch-anatomische oder rechtsmedizinische Sektion des Leichnams notwendig ist.

Bitte gut lesbar in Blockschrift ausfüllen! (außer der Unterschrift)

Ort: den

Name geb. am:

Vorname geb. in:

Plz. mit Wohnort (.....)

Straße

Ansprechpartner im Falle des Todes (mit Anschrift und Telefonnummer)
.....
.....

Unterschrift

Danksagung

Zunächst möchte ich mich bei allen Menschen bedanken, die die Entscheidung gefasst haben, ihren Körper der Wissenschaft zu überlassen. Ohne sie wäre die anatomische Lehre und Forschung nicht dieselbe. Zudem bedanke ich mich bei den Mitarbeitern des Institutes für Anatomie I für die Bereitstellung der Körperspender*innen.

Mein Dank gilt meiner Doktormutter Frau Univ.-Prof. Dr. phil. nat. Charlotte von Gall für die Möglichkeit, im Institut für Anatomie II zu promovieren und für die Unterstützung zur Realisierbarkeit des Projektes.

Ebenfalls herzlich bedanken möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. rer. nat. Christoph V. Suschek, der freundlicherweise die Co-Betreuung meiner Dissertation übernommen hat.

Mein herzlichster Dank geht an Frau Dr. Beryl Schwarz-Herzke für die Betreuung und die Unterstützung bei der Umsetzung des Forschungsprojektes, ganz besonders in der finalen Phase der Arbeit.

Auch möchte ich mich bei Frau Lena Niedballa zum einen für Zusammenarbeit bedanken. Zum anderen, und das ist sehr viel wichtiger, möchte ich ihr für ihre langjährige, alles überstehende Freundschaft danken.

Schließlich danke ich meiner Familie und meinen Freunden, die mich auf diesem langen Weg von Anfang begleitet und an mich geglaubt haben. Ich bin meinem Ehemann und meinen Eltern für die Unterstützung, die Motivation und die Geduld unendlich dankbar.

Ohne Euch alle hätte ich diese Arbeit nicht geschafft.