

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

**Makroskopische und histologische
Untersuchung der arteriellen Versorgung
der Maxilla beim Menschen**

Dissertation

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

vorgelegt von
Lena Theresa Niedballa
2025

Als Inauguraldissertation gedruckt mit der 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.

Danke für eure unendliche Unterstützung und Liebe.

Auflistung der Publikationen

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

Zusammenfassung

Die Grundlagen der arteriellen Versorgung der Oberkieferzähne werden seit 1918 gleichbleibend dargestellt, Variationen der Versorgung des Eckzahnes sind nicht beschrieben. Die Vaskularisation der Oberkieferzähne erfolgt bekanntermaßen über die Arteria alveolaris superior anterior (AASA), welche ebenfalls die großen und kleinen Schneidezähne versorgt und vom Canalis (C.) infraorbitalis über den C. sinuosus zu den entsprechenden Apices verläuft. Sie entstammt der Arteria (A.) infraorbitalis, welche wiederum aus der Pars pterygopalatina der A. maxillaris, einem Endast der A. carotis externa, hervorgeht. Neben dem C. sinuosus konnten bereits akzessorische Kanäle in der anterioren Maxilla nachgewiesen werden. Der Oberkieferzahn hat in der Zahnmedizin eine besondere Bedeutung, er ist mit durchschnittlich 28 mm der längste Zahn und führt im gesunden Gebiss bei Laterotrusionsbewegungen. In der heutigen Zeit gewinnt die genaue Kenntnis der Anatomie in der zahnmedizinischen Versorgung immer mehr an Bedeutung und bringt unter anderem Vorteile für den Zahnerhalt und den Erfolg operativer Eingriffe wie Wurzelspitzenresektionen oder Implantatinsertionen. Daher wurde in dieser Arbeit die arterielle Versorgung der Maxilla mit dem Ziel untersucht, Variationen in Bezug auf die Vaskularisation des Eckzahnes zu beschreiben. Die experimentelle Studie wurde an 17 Maxillae von Körperspendern*innen durchgeführt. Es wurden neun Sagittalschnitte und vier ungeteilte Präparate betrachtet, welche unterschiedliche Zahnstatus aufwiesen. Aufgrund der Anonymisierung der Präparate konnten keine Rückschlüsse auf das Geschlecht gemacht werden. Alle untersuchten Maxillae wurden präpariert und die Kieferhöhlen von dorsal gefenstert. Anschließend erfolgte eine makroskopische Betrachtung mittels Kieferhöhlenillumination sowie die Injektion einer Färbelösung in die A. infraorbitalis. Abschließend wurden die Präparate histologisch untersucht. In 14 von 17 Fällen konnten ein oder mehrere akzessorische C. sinuosus dargestellt werden. In sechs betrachteten Fällen waren intraossäre Anastomosen des C. sinuosus ersichtlich. Bei allen bilateral betrachteten Präparaten lag ein asymmetrischer Gefäßverlauf vor. In der Histologie konnte eine Arterie im C. sinuosus und in den akzessorischen Kanälen nachgewiesen werden. Die angewandte Methode der Kieferhöhlenillumination war eine geeignete Methode zur Darstellung eines intraossären Gefäßverlaufs, die Farbinjektion jedoch nicht. Der vollständige Gefäßverlauf kann mikroskopisch nur sicher dargestellt werden, indem ein Längsschnitt des Gefäßes vom C. sinuosus bis zum Eintritt in den Apex dentis angefertigt wird. Die arterielle Versorgung des Eckzahnes erfolgte in allen Fällen wie bereits beschrieben durch die AASA. Sie variierte jedoch - auch intraindividuell- sowohl im intraossären Gefäßverlauf als auch im Vorkommen und Verlauf des C. sinuosus sowie akzessorischer Kanäle. Es ist für operative Eingriffe entscheidend, diesen individuellen Gefäßverlauf zu kennen, um Blutungskomplikationen, aber auch Parästhesien und Anästhesien zu vermeiden. In weiterführenden Untersuchungen gilt zu überprüfen, ob die Variation eines akzessorischen C. sinuosus, welcher ausschließlich den Eckzahn versorgt, im klinischen Alltag Rückschlüsse zu einer schnelleren Ausheilung apikaler Entzündungen oder einer schnelleren Wundheilung in ebendiesem Operationsgebiet zulässt und ob der Zahnstatus Einfluss auf die Gefäßversorgung hat.

Summary

The basic principles of the arterial supply of the maxillary canines have been described consistently since 1918, variations in the supply of the canine are not described. The vascularization of the maxillary canines is known to take place via the superior anterior alveolar artery (AASA), which also supplies the large and small incisors and runs from the infraorbital canal via the Canalis (C.) sinuosus to the corresponding apices. It originates from the infraorbital artery, which in turn arises from the pterygopalatine part of the maxillary artery, a terminal branch of the external carotid artery. In addition to the C. sinuosus, accessory canals have already been identified in the anterior maxilla. The maxillary canine is of particular importance in dentistry, it is the longest tooth with an average length of 28 mm and guides laterotrusive movements in healthy dentition. Nowadays, precise knowledge of the anatomy is becoming increasingly important in dental care and provides advantages for tooth preservation and the success of surgical procedures such as root tip resections or implant insertions. Therefore, the arterial supply of the maxilla was investigated in this study with the aim of describing variations in the vascularization of the canine.

The experimental study was conducted on 17 maxillae from body donors. Nine sagittal sections and four undivided specimens with different tooth statuses were examined. Due to the anonymization of the specimens, no conclusions could be drawn about the sex. All examined maxillae were prepared and the maxillary sinuses were fenestrated from the dorsal side. This was followed by macroscopic examination using maxillary sinus illumination and injection of a staining solution into the infraorbital artery. Finally, the specimens were examined histologically. In 14 of 17 cases, one or more accessory C. sinuosus could be visualized. In six of the cases examined, intraosseous anastomoses of the C. sinuosus were visible. An asymmetrical vascular course was present in all bilaterally examined specimens. Histology revealed the presence of an artery in the C. sinuosus and in the accessory canals.

The maxillary sinus illumination method used was a suitable method for visualizing the course of an intraosseous vessel, but color injection was not. The complete course of the vessel can only be reliably visualized microscopically by making a longitudinal section of the vessel from the C. sinuosus to the entry into the apex dentis.

In all cases, the arterial supply to the canine was provided by the AASA as already described. However, it varied - also intraindividually - both in the intraosseous vascular course and in the occurrence and course of the C. sinuosus and accessory canals.

It is crucial for surgical procedures to know this individual vascular course in order to avoid bleeding complications as well as paresthesia and anesthesia. Further studies should investigate whether the variation of an accessory C. sinuosus, which exclusively supplies the canine tooth, allows conclusions to be drawn in everyday clinical practice about faster healing of apical inflammation or faster wound healing in the same surgical area and whether the tooth status has an influence on the vascular supply.

Abkürzungsverzeichnis

A.	Arteria
AASA	Arteria alveolaris superior anterior
AASP	Arteria alveolaris superior posterior
Abb.	Abbildung
akz.	akzessorisch
Art.Nr.	Artikel Nummer
Bzw.	beziehungsweise
C.	Canalis
Ca.	circa
DMFT-Index	Decayed-missing-filled-teeth-Index
Etc.	et cetera
FDI	Fédération Dentaire Internationale
Fig.	Figure
For.	Foramen
HE-Färbung	Hämatoxylin-Eosin-Färbung
JPEG	Joint Photographic Experts Group
LED	Light Emitting Diode (Licht emittierende Diode)
li	links
M.	Musculus
mm	Millimeter
n	Menge
N	Nummer
N.	Nervus
NEM	Nicht-Edelmetall
re	rechts
PDF	Portable Document Format
PZN	Pharmazentralnummer
V.	Vena
VMK	Verblend-Metall-Keramik
WSR	Wurzelspitzenresektion

Inhaltsverzeichnis

1. EINLEITUNG	1
1.1.ANATOMISCHE GRUNDLAGEN DES SCHÄDELS	1
1.1.1. Die Maxilla	3
1.1.2. Der Sinus maxillaris	4
1.1.3. Der Canalis sinuosus	5
1.1.4. Das internationale Zahnschema	6
1.1.5. Der Oberkiefereckzahn	8
1.2.ARTERIELLE VERSORGUNG DES KÖRPERS	11
1.2.1. Die Arteria carotis externa	12
1.2.2. Die Arteria maxillaris	13
1.2.3. Mikroskopischer Wandaufbau einer Arterie	15
1.3.ZAHNERHALTUNG	17
1.3.1. Konservierende Interventionen	17
1.3.2. Endodontologische Interventionen.....	17
1.3.3. Prothetische Interventionen	19
1.4.OPERATIONEN DER MAXILLA	21
1.4.1. Die LeFort Osteotomien.....	21
1.4.2. Implantationen	22
1.4.3. Wurzelspitzenresektionen.....	22
1.4.4. Freilegung verlagter Eckzähne	23
1.5.ZIELE DER ARBEIT	24
2. MATERIAL UND METHODEN.....	25
2.1.VERSUCHSGRUNDLAGEN	25
2.1.1. Ethikvotum	25
2.1.2. Körperspende	25
2.2.MATERIALIEN	27
2.3.METHODEN - MAKROSKOPISCHER VERSUCHSTEIL ..	31
2.3.1. Vorbereitende Präparation.....	31
2.3.2. Kieferhöhlenfensterung.....	33
2.3.3. Kieferhöhlenillumination.....	33
2.3.4. Anfärben der Arteria infraorbitalis durch Farbinjektion.....	33
2.3.5. Fotodokumentation	34

2.4.METHODEN - MIKROSKOPISCHER VERSUCHSTEIL....	35
2.4.1. Vorbereitende Präparation.....	35
2.4.2. Einbetten und Schneiden.....	35
2.4.3. Histologische Färbung	36
2.4.4. Histologische Betrachtung und Fotodokumentation	37
3. ERGEBNISSE	38
3.1.MAKROSKOPISCHER VERSUCHSTEIL	38
3.1.1. Präparat 1	39
3.1.2. Präparat 2	41
3.1.3. Präparat 3	43
3.1.4. Präparat 4	45
3.1.5. Präparat 5	47
3.1.6. Präparat 6	49
3.1.7. Präparat 7	51
3.1.8. Präparat 8	53
3.1.9. Präparat 9	55
3.1.10. Präparat 10	57
3.1.11. Präparat 11	60
3.1.12. Präparat 12	62
3.1.13. Präparat 13	64
3.1.14. Zusammenfassung der makroskopischen Ergebnisse	66
3.2.MIKROSKOPISCHER VERSUCHSTEIL	70
4. DISKUSSION	73
4.1.SCHLUSSFOLGERUNG.....	79
5. LITERATUR- UND QUELLENVERZEICHNIS	81
6. ANHANG	85
6.1.ABBILDUNGSVERZEICHNIS	85
6.2.TABELLENVERZEICHNIS	87
6.3.LETZTZWILLIGE VERFÜGUNG	88

1. Einleitung

In den letzten Jahren gewann die individuelle Medizin eine immer größere Bedeutung in unserer Gesellschaft. Durch modernere Darstellungstechniken der bildgebenden Verfahren für anatomische Strukturen konnten strukturschonendere und individualisierte Therapieansätze entwickelt werden. Operationstechniken wurden zunehmend verbessert und auch die verwendeten Materialien in der Zahnmedizin veränderten sich im Vergleich zu den letzten Jahrhunderten (Kern et al., 2022a).

Die Beschreibung der arteriellen Versorgung bis in die Oberkieferzähne reicht bis ins Jahr 1918 zurück und hat sich bis heute nicht verändert (Gray and Lewis, 1918, Samandari and Mai, 1995, Schünke et al., 2015). Für größere Gefäße, wie die direkten Abgänge der Arteria (A.) carotis externa, sind jedoch viele Variationen bereits beschrieben (Devadas et al., 2018, Lucev et al., 2000). Das Wissen um solche anatomischen Variationen kann intraoperative Komplikationen verhindern und zu besseren Operations- und Heilungsverläufen für Patienten führen (Bergman, 2011). Demnach sollte auch die Vaskularisation der Maxilla genauer betrachtet werden. Um etwaige Variationen zu untersuchen, müssen zunächst die anatomischen Grundlagen betrachtet werden.

1.1. Anatomische Grundlagen des Schädels

Um die Verläufe der Arterien zu verstehen, muss man zunächst die Schädelanatomie betrachten. Der Schädel lässt sich in zwei Hauptbereiche gliedern: den Gesichtsschädel, das Viscerocranium, und den Gehirnschädel, das Neurocranium. Das Viscerocranium bildet die knöcherne Struktur des Gesichts und enthält die Eintrittspforte des Verdauungstraktes. Das Neurocranium umschließt das Gehirn und verbindet den Schädel mit der Wirbelsäule. Der menschliche Schädel setzt sich aus acht paarigen und sechs unpaarigen Einzelknochen zusammen. In Abb. 1 sind diese Einzelknochen farbig voneinander abgegrenzt (Paulsen et al., 2022).

Zu den paarigen Knochen zählen das Os parietale, das Os temporale, die Concha nasalis inferior, das Os nasale, das Os lacrimale, das Os zygomaticum, die Maxilla und das Os palatinum. Die unpaarigen Knochen umfassen das Os

frontale, das Os sphenoidale, das Os occipitale, das Os ethmoidale, das Vomer und die Mandibula (Samandari and Mai, 1995).

Innerhalb einiger Schädelknochen befinden sich pneumatisierte Räume, die Nasennebenhöhlen, die den Schädel leichter machen und der Phonation dienen. Die für die Zahnmedizin wichtigste Nasennebenhöhle liegt in der Maxilla und wird als Sinus maxillaris bezeichnet.

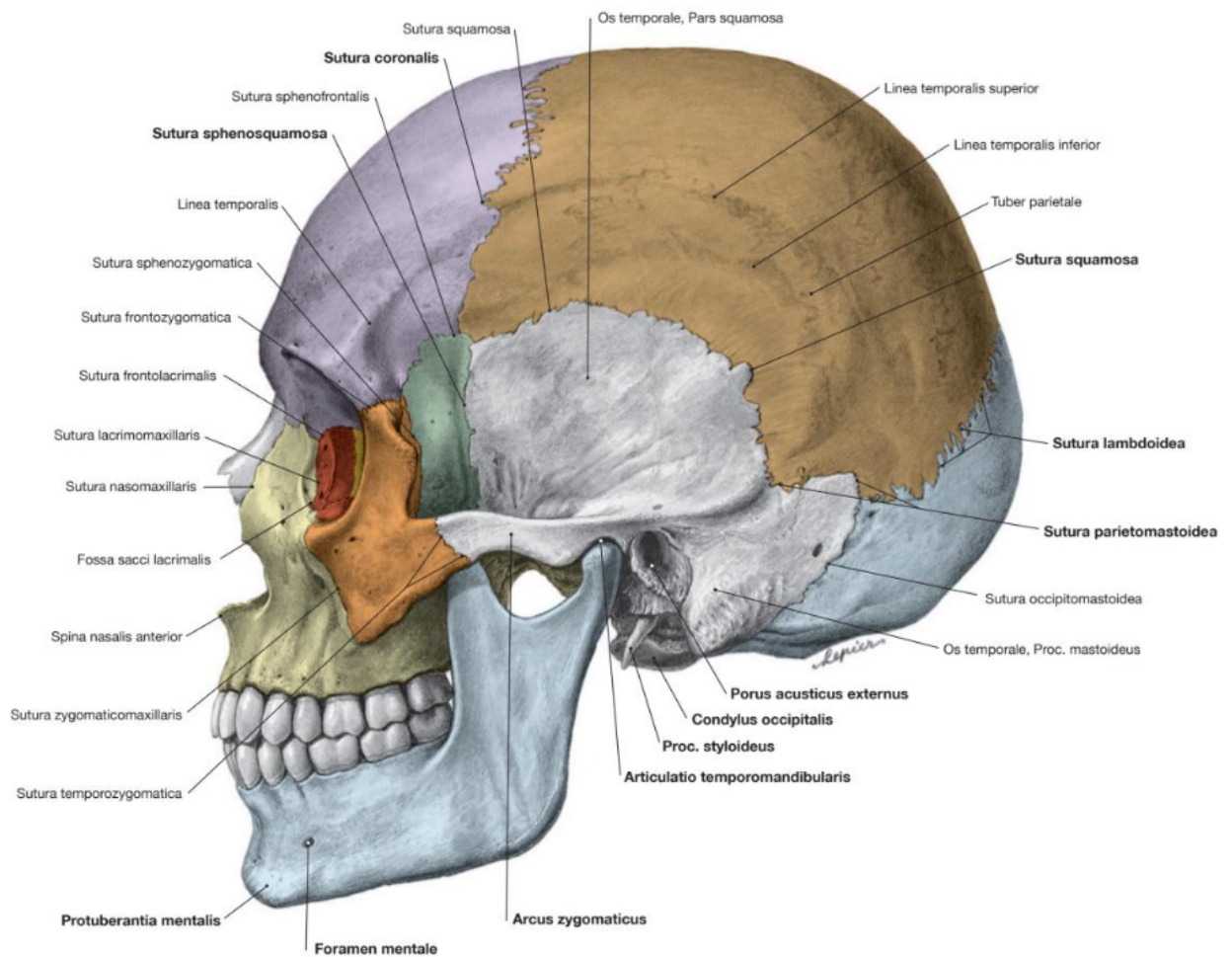


Abb. 1: **Schädel von lateral**

Einzelknochen farbig voneinander abgegrenzt, Maxillae gelb coloriert;

Sobotta-Archiv aus Paulsen, Waschke, Sobotta Atlas der Anatomie. 25. Auflage 2022, Elsevier GmbH, Urban & Fischer, München, Copyright-Genehmigung wurde erteilt

1.1.1. Die Maxilla

Die Maxilla ist ein paariger Knochen des Viscerocraniums. Sie grenzt an das Os zygomaticum, das Os nasale, das Os palatinum, das Os lacrimale, die Concha nasalis inferior, das Os ethmoidale sowie an das Os frontale. Wie die Mandibula beherbergt die Maxilla in der Regel pro Seite jeweils einen großen und kleinen Schneidezahn, die Dentes Incisivi, einen Eckzahn, den Dens caninus, zwei Prämolaren, die Dentes praemolares, und zwei bis drei Molaren, die Dentes molares. Die rechte und linke Maxilla sind über die Sutura palatina mediana verbunden, die anterior zwischen den beiden großen Schneidezähnen verläuft und über die Sutura intermaxillaris in der Spina nasalis anterior mündet, siehe Abb. 2 (Paulsen et al., 2022).

Die Maxilla ist an der Bildung der Mundhöhle sowie der Augen-, Nasen- und Kieferhöhle beteiligt.

Der Corpus maxillae lässt sich in vier Flächen unterteilen:

- Facies orbitalis: Diese Fläche ist zur Orbita gerichtet und bildet einen Teil des Bodens der Augenhöhle.
- Facies nasalis: Sie zeigt zur Nasenhöhle und eröffnet über den Hiatus maxillaris den Eingang in den Sinus maxillaris.
- Facies anterior: Die konkave Vorderseite der Maxilla.
- Facies infratemporalis: Sie mündet im Tuber maxillae, dem distalen Abschluss des Alveolarfortsatzes (Samandari and Mai, 1995, Schünke et al., 2015).

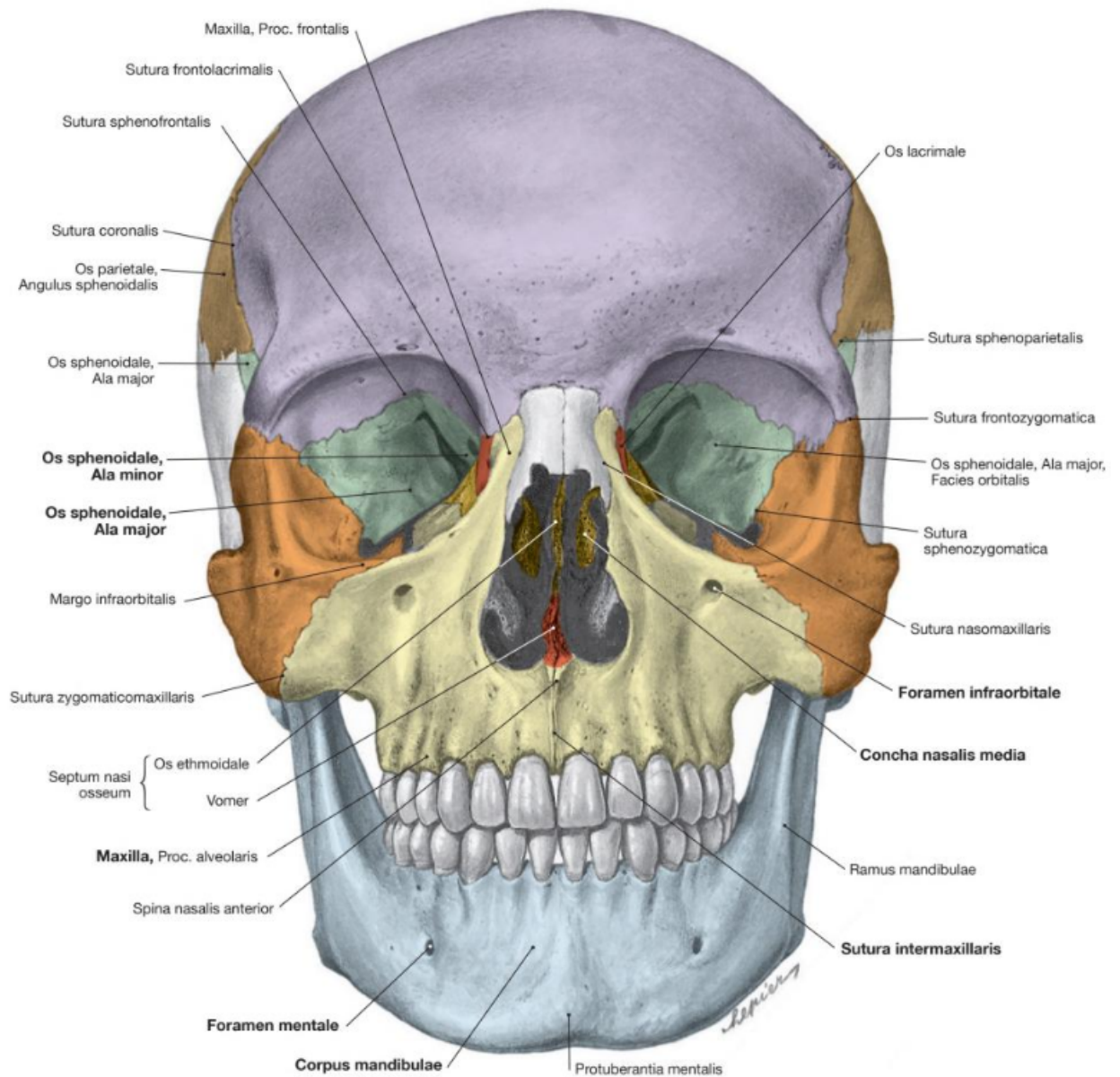


Abb. 2: **Schädel von anterior**

Einzelknochen farbig voneinander abgegrenzt, Maxillae gelb coloriert; Betrachtung der Facies anterior

Sobotta-Archiv aus Paulsen, Waschke, Sobotta Atlas der Anatomie. 25. Auflage 2022, Elsevier GmbH, Urban & Fischer, München, Copyright-Genehmigung wurde erteilt

1.1.2. Der Sinus maxillaris

Der Sinus maxillaris liegt als pneumatisierter, mit Schleimhaut ausgekleideter Hohlraum in der Maxilla und gehört zu den Nasennebenhöhlen, welche Erweiterungen der Nasenhaupthöhle sind. Die Nasennebenhöhlen werden dabei, in Abhängigkeit von ihrer Lokalisation, in verschiedene Gruppen eingeteilt,

wobei die Kieferhöhle gemeinsam mit der Stirnhöhle und den vorderen Siebbeinzellen zu der vorderen Gruppe gezählt wird. Der hinteren Gruppe gehören die hinteren Siebbeinzellen und die Keilbeinhöhle an (Gürkov, 2016).

Die Nasennebenhöhlen haben verschiedene Funktionen. Sie fungieren als Resonanzkörper, die luftgefüllten Räume dienen der Gewichtsreduktion des Schädels, sie sorgen für das Vorwärmen und Anfeuchten der Atemluft und helfen beim Ableiten des Kaudrucks.

Der Sinus maxillaris ist mit einem Volumen von ca. 15 cm³ die größte Nebenhöhle. Seine Wände sind mit respiratorischem Epithel, der Schneider'schen Membran, ausgekleidet. Der Sinus wird nach kranial durch den Orbitaboden und nach mesial durch die Nasenhaupthöhle begrenzt. Nach kaudal erfolgt die Begrenzung durch den Alveolarfortsatz. Oft gibt es eine enge Lagebeziehung zu den Wurzeln der Seitenzähne (Samandari and Mai, 1995). Vor allem bei langanhaltender Zahnlosigkeit expandiert die Kieferhöhle nach kaudal, sodass häufig nur eine wenige Millimeter dicke Knochenbegrenzung zur Mundhöhle verbleibt (Götz et al., 2015).

In der anterioren Wand des Sinus maxillaris verläuft ein Großteil der Arterien, Venen und Nerven, welche die Zähne versorgen, so auch die Arteria alveolaris superior anterior (AASA), welche in Rahmen dieser Dissertation genauer betrachtet wird.

1.1.3. Der Canalis sinuosus

Bereits 1840 berichtete George Viner Ellis in seinem Werk „Demonstrations of Anatomy“, dass der „vordere Zahnnerv“ teils in einem Knochenkanal verlaufe (Jones, 1939). Frederic Wood Jones griff diese Beobachtung gut 100 Jahre später auf und lieferte eine genaue Beschreibung eines gewundenen Knochenkanals in der anterioren Maxilla, der die AASA, die Vena (V.) alveolaris superior anterior und die Rami alveolares superiores anteriores beherbergt. Jones nannte diesen Kanal erstmals Canalis (C.) sinuosus. Der von ihm beschriebene Verlauf ist in Abb. 3 (Jones, 1939) dargestellt.

Die bereits 1939 von Jones angegebene Länge von 55 mm wird auch in der heutigen Literatur bestätigt (Standring and Gray, 2020).

Die Kanalöffnung befindet sich mittig des C. infraorbitalis. Der C. sinuosus beschreibt in seinem Verlauf in der anterioren Wand des Sinus maxillaris eine Kurve und verläuft kaudal des Foramen (For.) infraorbitale in Richtung Apertura piriformis. In einer erneuten Kurve verläuft er kaudal der unteren Nasenöffnung und versorgt von dort den Eckzahn und die Schneidezähne. Er gibt häufig akzessorische Kanäle ab (Machado et al., 2016). In einer systematischen Übersicht und Metaanalyse aus dem Jahr 2023 konnte die Prävalenz des C. sinuosus in 80% der untersuchten Fälle festgestellt werden, während die Prävalenz akzessorischer Kanäle bei 54% lag (de Oliveira-Neto et al., 2023). Weitere Studien geben das Vorkommen des C. sinuosus mit 52,1 - 88% sowie das Vorkommen akzessorischer Kanäle mit einer Häufigkeit von bis zu 80% an (Machado et al., 2016, Gurler et al., 2017, Orhan et al., 2018, Aoki et al., 2020, Anatoly et al., 2019).

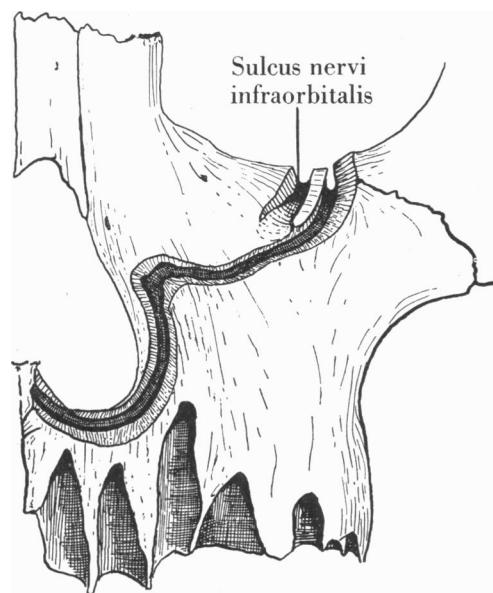


Abb. 3: **Verlauf des Canalis sinuosus**

JONES, F. W. The anterior superior alveolar nerve and vessels. 1939, J Anat. 73, Wiley-Blackwell, Hoboken, genehmigungsfreie Abbildung

1.1.4. Das internationale Zahnschema

Um Zähne im Gebiss eindeutig benennen zu können, gibt es verschiedene Zahnschemata. Bei dem heute in Deutschland gebräuchlichen Zahnschema handelt es sich um das internationale Zahnschema der Fédération Dentaire Internationale (FDI) aus dem Jahre 1970, welches auch als FDI-Zahnschema bekannt ist (Lehmann et al., 2012). Es unterteilt das menschliche Gebiss in vier

Quadranten, geteilt durch die Medianlinie sowie der Zugehörigkeit zum Ober- oder Unterkiefer. Die Beschreibung erfolgt aus Behandlerperspektive und dem Uhrzeigersinn folgend.

Die Orientierung erfolgt im Zahnbogen mit Bezug auf die Medianlinie, von welcher angenommen wird, dass sie zwischen den beiden großen Schneidezähnen verlaufe. Zeigt eine Struktur im Zahnbogen zur Medianline, wird von mesial gesprochen, die entgegengesetzte Ausrichtung lautet distal. Die Ausrichtung zum Mundvorhof, dem Vestibulum, wird als vestibulär bezeichnet. Die Gegenrichtung heißt im Oberkiefer palatinal, zum Gaumen - dem Palatum, gewandt und im Unterkiefer lingual, der Zunge - Lingua, zugewandt.

Der erste Quadrant entspricht dem rechten Oberkiefer des Patienten. Die Zahnbeschreibung erfolgt durch zwei Ziffern. Die erste Ziffer gibt den Quadranten an, die zweite Ziffer bestimmt den Zahn. Dabei erfolgt die Nummerierung von der Medianlinie nach außen, bzw. distal entlang des Zahnbogens (Kern et al., 2022a). Das Gebiss eines vollbezahnten Patienten weist 32 Zähne inklusive der Weisheitszähne auf. Daraus ergeben sich die Ziffern 1 - 8 je Quadrant, wie in Abb. 4 dargestellt wird. Fehlt der entsprechende Zahn, wird bei der Beschreibung der Region eine 0 den beiden Ziffern vorangestellt.

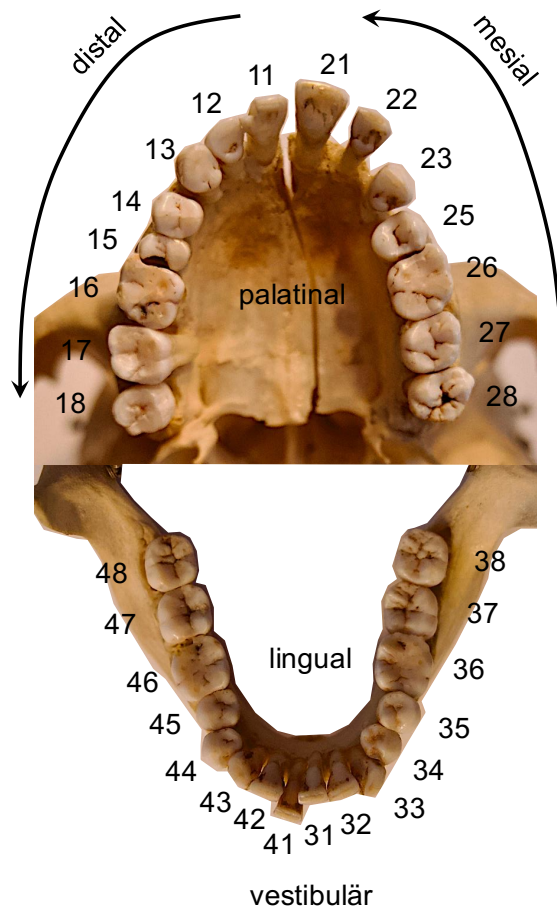


Abb. 4: Nomenklatur der Zähne am mazerierten Schädel

1.1.5. Der Oberkiefereckzahn

Die Maxilla beherbergt in der Regel acht Zähne, welche sich in Front- und Seitenzähne unterteilen lassen.

Der Oberkiefereckzahn wird zusammen mit den großen und kleinen Scheidezähnen zu den Frontzähnen gezählt. Bei Menschen entsprechen die Eckzähne den Fangzähnen anderer Säugetiere, obgleich sie bei Ersteren keine geschlechterspezifischen Unterschiede aufweisen, wie sie etwa bei manchen Primaten vorkommen können (Lehmann et al., 2012).

Eckzähne besitzen eine zweigeteilte Fazialfläche. Aus den beiden Facetten geht nach inzisal eine geteilte Schneidekante hervor, die in einer Kauspitze endet. Die mesiale Kaukante ist dabei kürzer als die distale. Palatinal münden die beiden kräftigen Randleisten sowie die Medianleiste zervikal in einem ausgeprägten Tuberculum.

In der Regel besitzen Eckzähne eine einzelne Wurzel mit rundem bis ovalem Wurzelquerschnitt und einem Wurzelkanal. Selten treten Eckzähne mit zwei Wurzeln auf (Pineda and Kuttler, 1972).

Die durchschnittliche Länge eines Eckzahns beträgt 28 mm von apikal nach inzisal und 10,9 mm von zervikal nach inzisal (Lehmann et al., 2012).

Obwohl sich die Zähne der Maxilla und Mandibula in Kronenform und in ihrer Funktion unterscheiden, ist ihr histologischer Aufbau gleich.

Die Zahnkrone besteht aus einer äußeren Schmelz- und einer inneren Dentinschicht, während die Zahnwurzel von Zement überzogen ist. Über das For. apicale sowie über Seiten- und akzessorische Kanäle ziehen Gefäße in das Zahninnere und verzweigen sich dort in der Zahnpulpa. Man unterscheidet zwischen Wurzel- und Kronenpulpa, wobei Letztere in verkleinerter Form der Zahnkontur entspricht (Beer and Baumann, 2008). Dieser Aufbau wird im Schnittbild in Abb. 5 ersichtlich (Lehmann et al., 2012).

Die Pulpa besteht aus gut vaskularisiertem Bindegewebe und bildet ein Endstromgebiet. Die gallertartige Stützmatrix für die Gefäße besteht aus Glykosaminoglykanen und Proteoglykanen. Zudem enthält sie Kollagenfasern und elastisches Material in den größeren Gefäßwänden.

Die Pulpa erfüllt vier Hauptfunktionen:

- Sensorische Funktion: Nervenfasern registrieren Flüssigkeitsbewegungen sowie thermische, mechanische und chemische Reize. Sie regulieren darüber hinaus den pulpalen Blutfluss.
- Formative Funktion: Innerpulpale Odontoblasten synthetisieren Dentin und im Laufe des Alterungsprozesses auch Sekundärdentin.
- Defensive Funktion: Bei unphysiologischen Reizen, etwa durch Substanzverlust bei Karies oder Traumata, bildet die Pulpa Tertiärdentin.
- Nutritive Funktion: Arteriolen und Venolen verlaufen zu einem dichten Kapillarplexus, der sich in der Wurzelpulpa stammartig, in der Peripherie und in der Kronenpulpa hingegen verästelnd präsentiert. Er versorgt die Zellen mit Sauerstoff und Nährstoffen. Zudem gleichen die vielzähligen arteriovenösen Anastomosen systemische Blutdruckschwankungen aus (E. Hellwig, 2013).

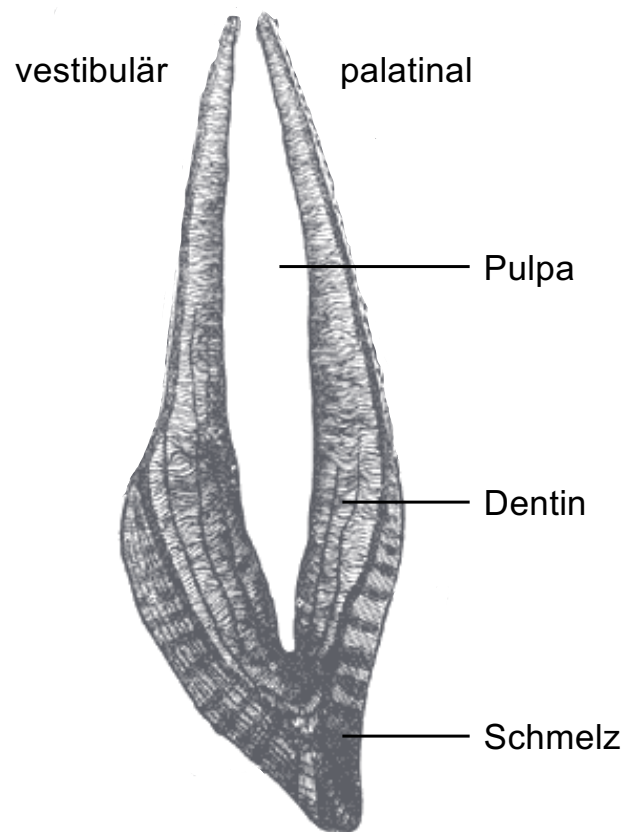


Abb. 5: **Eckzahn im Schnittbild**

GRAY, H. & LEWIS, W. H. Anatomy of the human body, 1918, Lea & Febiger, Philadelphia and New York, genehmigungsfreie Abbildung, Abbildung und Beschriftung modifiziert

1.2. Arterielle Versorgung des Körpers

Arterien sind Gefäße, die das oxygenierte Blut vom Herzen ausgehend weg zu den Zielstrukturen führen. Über Venen wird dann das desoxygenierte Blut zurück zum Herzen geführt, welches in die Lungen gepumpt werden kann, um dort erneut oxygeniert zu werden. Bereits im 16. Jahrhundert wurde in Europa das Grundprinzip des Blutkreislaufes, bei dem das Blut durch die Lunge geleitet wird, beschrieben (Aird, 2011). Von der Lunge gelangt es zurück in die linke Herzkammer und wird schließlich in die Aorta gepumpt. Über von der Aorta abgehende größere Arterien gelangt es in immer feiner werdende Gefäße und schließlich über die Kapillaren in die Zielstrukturen. Hier verlangsamt sich die Strömungsgeschwindigkeit, wodurch ein Stoffaustausch stattfinden kann. In den Kapillaren erfolgt unter anderem der Austausch von Blutgasen, Nährstoffen und Hormonen. Kapillaren bilden arteriovenöse Anastomosen, über die das Blut zunächst in das venöse Gefäßsystem gelangt und daraufhin zurück in den rechten Herzvorhof, bevor es über die rechte Herzkammer erneut in den Truncus pulmonalis und damit den Lungenkreislauf zum Gasaustausch geleitet wird (Samandari and Mai, 1995).

Vom Aortenbogen abgehend ziehen rechts und links eine Arterie als A. carotis communis durch die Halsregion in den Kopf. Auf der Höhe der Cervicalwirbel C3 und C4 beim Erwachsenen verzweigt sich die Hauptarterie und versorgt zum einen durch die A. carotis interna intrakraniell das Gehirn, zum anderen extrakraniell sämtliche Strukturen in Gesicht, Hals und in der Kopfschwarte durch die A. carotis externa (Schünke et al., 2015).

Die Abzweigungen der A. carotis externa, die im nächsten Kapitel genauer besprochen werden, gewährleisten auch die Versorgung der Zähne. Über eine Eintrittsöffnung an der Zahnwurzelspitze, dem Apex radialis dentis, gelangen je ein Nerv und eine Arterie in den Zahn hinein und eine Vene hinaus. Der Stoffaustausch findet in der Pulpa dentis statt, die sich im Zahninneren befindet und durch die Hartsubstanzschichten geschützt ist (E. Hellwig, 2013). Diese anatomischen Strukturen, die für die Zähne relevant sind, werden in den entsprechenden Kapiteln näher beschrieben.

1.2.1. Die Arteria carotis externa

Die A. carotis externa entspringt aus der A. carotis communis auf Höhe des Halswirbelkörpers 3 und 4. Die von der A. carotis externa abgehenden Gefäße werden nach ihrer Verlaufsrichtung in vier Gruppen unterteilt, wobei Variationen möglich sind (Devadas et al., 2018). Die Nomenklatur der Arterien richtet sich nach deren Versorgungsgebieten und werden hier von kaudal nach kranial aufgezählt:

Zur ventralen Gruppe gehören die A. thyroidea superior, welche hauptsächlich die Schilddrüse und den Kehlkopf versorgt. Die A. lingualis entspringt im Regelfall als nächster Abgang auf Höhe des Os hyoideum und zieht von dort zur Zunge. Sie versorgt Zunge und Mundboden, jedoch auch Teile der Gingiva und der Speicheldrüsen sowie Tonsillen. Die dritte Arterie der ventralen Gruppe ist die A. facialis. Sie versorgt ebenfalls Teile der Speicheldrüsen und Mandeln sowie die Mundbodenmuskulatur, Rachenareale und Weichgewebe des Gesichts, wie auch die Lippen, bevor sie im Augeninnenwinkel mit der A. ophthalmica anastomoisiert. Eine häufige Variation (20%) stellt der Truncus linguofacialis dar, wobei die A. lingualis von der A. facialis abgeht und nicht direkt von der A. carotis externa. Eine weitere Variation innerhalb der ventralen Gruppe ist der Abgang der A. thyroidea direkt aus der Bifurcatio carotidis (Poutoglidis et al., 2023).

Die mediale Gruppe umfasst die A. pharyngea ascendens, die in nur etwa 70% der Fälle als Regelfall direkt aus der A. carotis externa hervorgeht. Variationen ihres Abgangsortes ist eine Turuncus-Bildung mit der A. occipitalis sowie ein Entspringen aus der Bifurcatio carotidis und in Einzelfällen aus der A. carotis interna (Lippert et al., 2018). Sie versorgt Rachen und Paukenhöhle sowie Anteile der Dura mater. Zur dorsalen Gruppe zählen die A. occipitalis, welche den Musculus (M.) sternocleidomastoideus sowie Anteile des Ohrs, des Hinterhaupts und der Dura mater versorgt, und die A. auricularis posterior, welche ebenfalls Anteile des Ohrs wie Trommelfell und Paukenhöhle, aber auch angrenzende Muskulatur wie den M. occipitalis und den M. stapedius vascularisiert.

Schließlich bilden die Endäste A. temporalis superficialis und die A. maxillaris die vierte und letzte Gruppe. Ihr Verlauf ist in Abb. 6 schematisch dargestellt. Die A. temporalis superficialis versorgt als Schläfenarterie Anteile des Kiefergelenks und des Ohrs, wie auch die Glandula parotidea und Weichgewebe der Stirn- und

Schläfenregion. Der Verlauf und die Versorgungsgebiete der A. maxillaris werden im folgenden Kapitel näher betrachtet.

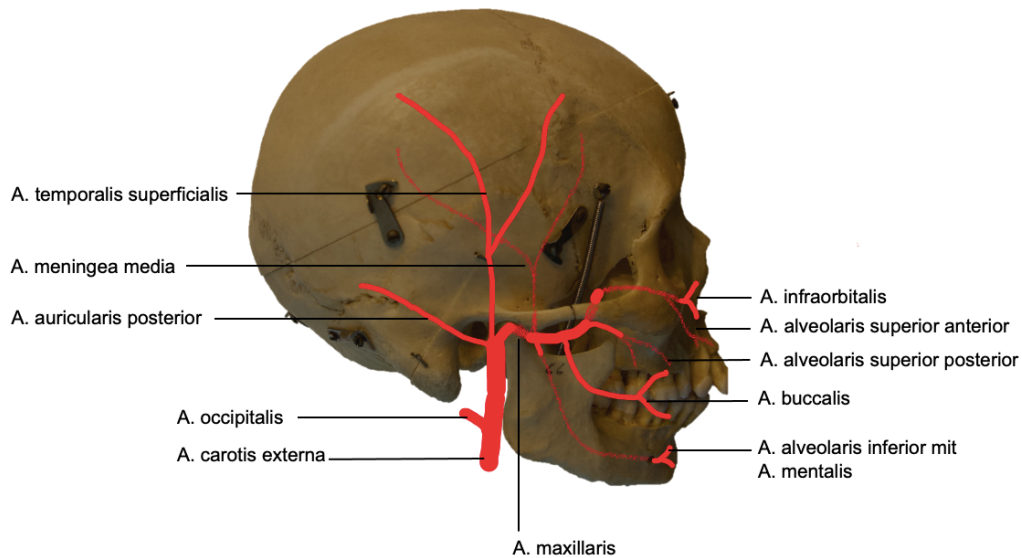


Abb. 6: **Schematische Darstellung der dorsalen Gruppe und der Endäste der A. carotis externa**

die unterbrochenen roten Linien stellen den intraossären Verlauf dar, eingezeichnet am mazerierten Schädel

1.2.2. Die Arteria maxillaris

Als eine der Endäste der A. carotis externa ist die A. maxillaris fast die wichtigste Arterie des Gesichts und die wichtigste Arterie in der Zahnmedizin. Sie hat die meisten Versorgungsgebiete, zu denen der Unterkiefer, der Oberkiefer, die Nase, die Dura mater, der Gehörgang und das Trommelfell und die Nasennebenhöhlen gehören. Sie geht Anastomosen unter anderem mit der A. facialis ein und versorgt so auch die Haut am Kinn und an der Wange. Sie zieht mehr oder weniger waagerecht durch die Fossa infratemporalis und geht häufig auf Höhe des Kiefergelenks von der A. carotis externa ab. Sie endet in der Fossa pterygopalatina, wo sie in den Oberkiefer hineinzieht. Durch ihre zahlreichen Versorgungsgebiete hat die A. maxillaris viele Abgänge, die in Gruppen in dieselben Versorgungsgebiete ziehen. Dadurch wird die A. maxillaris topografisch in drei Abschnitte unterteilt. Die Unterteilung, wie sie 1918 von Henry Gray und Warren Lewis beschrieben wurde, ist in Abb. 7 dargestellt (Gray and Lewis, 1918).

Von der Pars mandibularis geht zunächst die A. auricularis profunda ab und versorgt das Kiefergelenk sowie den äußeren Gehörgang und das Trommelfell. Danach entspringt die A. tympanica anterior, welche über die Fissura petrotympanica in die Paukenhöhle gelangt, und diese versorgt. Die A. alveolaris inferior zieht über das For. mandibulae zusammen mit dem gleichnamigen Nerv und der Vene in den Unterkiefer und verlässt ihn auf Höhe der Prämolaren über das For. mentale wieder. Aus dem Mandibulakanal entsendet die Arterie feine Rami dentales, welche über den Apex in die entsprechenden Zähne gelangen. Nach dem Austritt aus dem Foramen versorgt sie als A. mentalis Kinn und Unterlippe. Als letztes entspringt der Pars mandibularis die A. meningea media, welche über das For. spinosum in das Neurocranium hineinzieht und die Hirnhäute versorgt sowie feine Gefäße bis ins Felsenbein entsendet.

Der Pars pterygoidea entspringen zunächst die Äste der Aa. temporales profundae, welche direkt über der Kortikalis des Os temporale verlaufen und von innen in den M. temporalis, einen der Kaumuskeln, gelangen. Der nächste Ast, die A. masseterica versorgt als gleichnamigen Kaumuskel den M. masseter. Auch die Rr. pterygoidei ziehen zur Kaumuskulatur. Sie versorgen den M. pterygoideus medialis und -lateralis. Der letzte Abgang, die A. buccalis, hingegen versorgt den M. buccinator, welcher zur mimischen Muskulatur gezählt wird. Sie sorgt ebenfalls für die Durchblutung der Wangenhaut und von intraoral der Wangenschleimhaut.

Aus der Pars pterygopalatina entstammt zunächst die A. alveolaris superior posterior (AASP), die vom Tuber maxillaris zu den Prämolaren zieht und auch den Sinus maxillaris versorgt. Sie vaskularisiert die Molaren und Prämolaren, den zugehörigen Alveolarfortsatz, die Gingiva sowie die posterioren Anteile der Kieferhöhle.

Die A. infraorbitalis verläuft durch den C. infraorbitalis und gibt dort regelgerecht die AASA in einen eigenen Knochenkanal, den C. sinuosus, ab. Diese Arterie versorgt die vorderen Areale des Sinus maxillares, den Eckzahn, den großen und kleinen Schneidezahn, die dazugehörige Gingiva und den Kieferkamm. Danach tritt die A. infraorbitalis durch das For. infraorbitale aus dem Knochen ins Weichgewebe, wo sie Teile der mimischen Muskulatur und des Weichgewebes versorgt.

Der A. palatina descendens entstammen die A. palatina major und die A. palatina minor, die den harten und weichen Gaumen sowie Anteile der palatinalen Gingiva, die Tonsilla palatina und die Rachenbereiche versorgen.

Die A. canalis pterygoidei und die A. sphenopalatina sind die beiden letzten Äste, die der Pars pterygopalatina zuzuordnen sind. Erstere verläuft im C. pterygoideus zum Epipharynx und zur Tuba auditiva, letztere gelangt durch das For. sphenopalatinum in die hintere Nasenhöhle und versorgt dort große Anteile der Nasenhöhle und Schleimhaut sowie die Nasenscheidewand.

Beschriebene Verlaufsvariationen der A. maxillaris beziehen sich vor allem auf ihre Lage zum M. pterygoideus lateralis sowie zum Nervus mandibularis (Lippert et al., 2018).

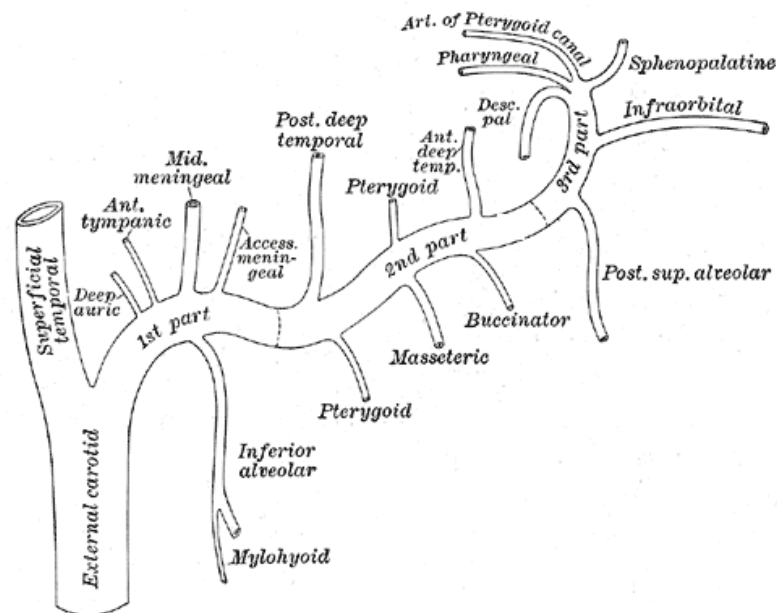


Abb. 7: **Abgänge der Arteria maxillaris**

GRAY, H. & LEWIS, W. H. Anatomy of the human body, 1918, Lea & Febiger, Philadelphia and New York, genehmigungsfreie Abbildung

1.2.3. Mikroskopischer Wandaufbau einer Arterie

Blutgefäße – mit Ausnahme von Kapillaren – zeichnen sich durch ein Lumen und einen dreischichtigen Wandbau aus. Venen sind im Vergleich zu Arterien häufig dünnwandiger und besitzen ein größeres Lumen, da im venösen System ein niedrigerer Druck herrscht. Die äußere Gefäßschicht, die Adventitia, ist bei

Arterien stärker ausgeprägt. Sie enthält neben kollagenfaserreichem Bindegewebe auch Muskelzellen.

Arterien lassen sich in zwei Haupttypen unterteilen: den elastischen und den muskulären Typ. Der wesentliche Unterschied zwischen diesen beiden Typen liegt in der Beschaffenheit der mittleren Gefäßwandschicht, der Tunica media.

Die Tunica intima, die dem Gefäßlumen am nächsten liegt, bildet die innere Schicht. Sie besteht aus Endothel, einer dünnen Schicht Epithelzellen, sowie einer weiteren dünnen Bindegewebsschicht. In Arterien liegt ein kontinuierliches Endothel vor. Die Begrenzung zur nächsten Schicht wird durch die *Elastica interna* gebildet.

Die Tunica media besteht bei Arterien des muskulären Typs weitgehend aus dicht gepackten glatten Muskelzellen. Arterien des muskulären Typs besitzen außerdem eine *Elastica externa*, welche die Grenze zur Adventitia bildet. Arterien vom elastischen Typ weisen in der Tunica media hingegen hauptsächlich elastische Fasern und Lamellen auf.

Die Adventitia besteht schließlich aus kollagenfaserreichem Bindegewebe (Welsch et al., 2014).

1.3. Zahnerhaltung

1.3.1. Konservierende Interventionen

Zahnhartsubstanz kann auf Grund von verschiedenen Ursachen beschädigt werden.

Die häufigste Erkrankung der Zahnhartsubstanz ist jedoch Karies. Dabei produzieren in einem komplexen Zusammenspiel kariogene Mikroorganismen aus Substraten, wie zum Beispiel niedermolekulare Kohlenhydrate, organische Säuren, welche dann zur Entmineralisierung der Zahnhartsubstanz und schließlich zur Kavitätenbildung führen.

Neben der Karies können auch Erosionen, Attritionen, Abrasionen, Resorptionsvorgänge, Traumata und Störungen in der Odontogenese zu Zahnhartsubstanzdefekten führen (E. Hellwig, 2013, Lehmann et al., 2012).

Ziele der konservierenden Zahnerhaltung sind es, entstandene Defekte zu verschließen, sowie deren erneutes Entstehen zu verhindern, die Pulpa gesund zu erhalten und eine ungestörte Kaufunktion zu gewährleisten bzw. wieder herzustellen.

Hierzu wird infizierte oder auf andere Weise beschädigte Zahnhartsubstanz entfernt und die entstandenen Defekte in der Regel mit lichthärtenden Kompositmaterialien aufgefüllt und nachbearbeitet. Unter Kompositen versteht man zahnfarbene, plastische Verbundwerkstoffe, welche je nach Anwendungsindikation verschiedene Zusammensetzungen aufweisen (Geis-Gerstorfer et al., 2012).

So wurden unter anderem bei den untersuchten Körperspender*innen im Rahmen zahnärztlicher Interventionen zu Lebzeiten keilförmige Defekte an den Zahnhälsen mit fließfähigen Kompositmaterialien verschlossen.

Die konservierende Vorbehandlung von Zähnen ist oftmals im Rahmen einer prothetischen Neuversorgung durchzuführen, wenn die zu überkronenden Zähne Hartsubstanzdefekte oder kariöse Läsionen aufweisen (Kern et al., 2022a).

1.3.2. Endodontologische Interventionen

Eine Indikation für eine Wurzelkanalbehandlung liegt vor, wenn die Zahnpulpa irreversibel geschädigt oder bereits nekrotisch ist (Kern et al., 2022a). Außerdem

kann prothetisch erforderliches Platzangebot ein Grund für eine gezielte Devitalisierung des Zahnes sein (E. Hellwig, 2013).

Röntgenologisch kann bereits eine Parodontitis apicalis ersichtlich sein, dies ist jedoch keine Voraussetzung für eine Behandlungsindikation. Dabei handelt es sich um eine Entzündung des apikalen Gewebes, welches über das For. apicale mit der Zahnpulpa verbunden ist. Über eine Infektion der Zahnpulpa gelangen Bakterien in den Bereich apikal des Zahnes und können dort zur reaktiven Bildung einer Zyste führen.

Eine chronische apikale Parodontitis liegt dann vor, wenn sich ein Gleichgewicht zwischen Infektion und Immunabwehr einstellt, sie verläuft über längere Zeiträume symptomlos (Regezi et al., 2017).

Hält dieser Zustand an, kann aus dem For. apicale Granulationsgewebe austreten und zu Knochenresorptionsprozessen führen. Aus diesem Gewebe wiederum kann zusammen mit Malassez-Epithelresten durch Zellproliferation eine apikale radikuläre Zyste entstehen. Sie ist mit einem Anteil von 60% die häufigste Zyste im Kieferbereich (Holtmann et al., 2020). Sie ist eine Raumforderung, bestehend aus einer Kapsel aus Granulationsgewebe, ausgekleidet mit mehrschichtigem Plattenepithel und unter anderem gefüllt mit nekrotischen Zellen und Cholesterinkristallen. Auch eine apikale radikuläre Zyste kann durch das Beseitigen der Infektion im Rahmen einer Wurzelkanalbehandlung ausheilen (E. Hellwig, 2013).

Dafür ist auch bei einer endodontologischen Behandlung der erste Schritt die Kariesentfernung, falls eine kariöse Läsion vorliegt. Anschließend wird über eine okklusale oder platinales bzw. linguale Zugangskavität das Pulpenkavum eröffnet. Danach werden die Wurzelkanäle bis zum For. apicale mit Feilensystemen und ständigem Spülen aufbereitet, um vitales wie auch nekrotisches Pulpengewebe vollständig zu entfernen, Mikroorganismen mechanisch von den Wurzelkanalwänden abzulösen, das Lumen der Kanäle zu vergrößern und so die Spülwirkung der verwendeten Flüssigkeiten zu verbessern und eine Formgebung des Kanals zur späteren suffizienten Abfüllung vorzunehmen. Oftmals erfolgen anschließend medikamentöse Einlagen zur Desinfektion des Kanalsystems.

Wenn der Zahn beschwerdefrei ist, erfolgt das Abfüllen der aufbereiteten Wurzelkanäle. Das Mittel der Wahl sind Guttaperchastifte. Diese bestehen aus dem eingedickten Milchsaft von Tropenbäumen sowie Zinkoxid wie auch

Metallsulfaten als Röntgenkontrastmittel. Die Wurzelfüllung sollte formkonguent zu dem aufbereiteten Kanal sein (E. Hellwig, 2013).

Anschließend kann der behandelte Zahn konservierend oder prothetisch weiterversorgt werden.

Trotz ausbleibendem endodontologischen Erfolgs kann ein Zahnerhalt mit Hilfe einer Wurzelspitzenresektion (WSR), wie in Kapitel 1.4.3 beschrieben, erzielt werden (DGMKG, 2020).

1.3.3. Prothetische Interventionen

Ziel prothetischer Interventionen ist es, den Patienten zu rehabilitieren. Die Wahl der prothetischen Versorgungsart richtet sich nach dem individuellen Patientenfall. Es wird zwischen feststitzendem Zahnersatz wie Kronen, Brücken oder auch Implantatkronen, kombiniert feststitzend-abnehmbarem Zahnersatz wie Teleskop- oder Geschiebearbeiten und abnehmbarem Zahnersatz wie Totalprothesen unterschieden.

Welche Art der Versorgung zu wählen ist, wird durch individuelle Faktoren wie den Restzahnbestand, die parodontalen Verhältnisse, die Patientencompliance, häufig jedoch auch durch wirtschaftliche Faktoren bestimmt (Kern et al., 2022a). Die im Rahmen dieser Dissertation untersuchten Körperspender*innen wurden mit verschiedenen Arten von prothetischem Zahnersatz versorgt. Diese sollen nun näher betrachtet werden. Alle prothetischen Arbeiten haben dabei gemeinsam, dass zuvor die Präparation des zu versorgenden Zahnes erfolgen muss. Dabei wird koronal genügend Zahnhartsubstanz wegpräpariert, um werkstoffkundliche, ästhetische und konstruktionsbedingte Kriterien zu erfüllen, jedoch so wenig wie möglich, um eine traumatische Verletzung der Zahnpulpa zu vermeiden (Kern et al., 2022b). Restdentinstärken von unter 1 mm, unzureichende Kühlung während der Präparation sowie Austrocknen der Zahnstümpfe durch intensives Trockenpusten oder Absaugen führen mit hoher Wahrscheinlichkeit zu irreversiblen Pulpaschäden (Kern et al., 2022b, Matthews et al., 1993).

Als feststitzende Versorgungsarten wurden Einzelzahnkronen, Brücken und auch implantatgetragene Einzelkronen eingesetzt. Bei den verwendeten Materialien handelt es sich um Verblend-Metall-Keramik (VMK) und Nicht-Edelmetall (NEM).

Für die VMK-Arbeiten wurden gusstechnisch hergestellte Metallgerüste mit geschichteter, gesinterter Keramikmasse verblendet. Das Metallgerüst muss dabei eine Mindeststärke von 0,3 mm aufweisen, um Verformungen beim Einsetzprozess entgegenzuwirken und die aufgebrannte Keramiksicht nicht zu sprengen (Geis-Gerstorfer et al., 2012). Liegt die verblendete Krone im Sichtbereich, wird aus ästhetischen Gründen eine aufgebrannte Keramikstufe empfohlen, dafür wird (Kern et al., 2022b) eine Stufenpräparation von 1,2 mm Breite vorausgesetzt.

Metallkronen wie auch die NEM-Krone können hingegen bereits ab einer Mindestpräparationstiefe von 0,6 mm angefertigt werden und sind diesbezüglich zahnhartsubstanzschonender (Kern et al., 2022b).

Als Beispiel für kombiniert festsitzend-abnehmbaren Zahnersatz wurden Körperspender*innen mit Teleskoparbeiten versorgt. Dabei werden die beschliffenen Pfeilerzähne mit Primärkronen versehen, welche fest zementiert werden. Der abnehmbare Teil der prothetischen Arbeit besteht aus einem Gerüst mit Sekundärkronen, welche passgenau über die Primärteile gestülpt werden können und über Friktion halten. Als Präparationsform wird eine zirkuläre Stufe oder Hohlkehle mit einer vestibulären Stärke von 1,2 mm empfohlen. Die Wandstärke der Primärteleskope muss mindestens 0,4 mm betragen. Die Sekundärteleskope benötigen bei einer okklusalen Verblendung eine Stärke von 1,5 mm (Kern et al., 2022c). In Summe muss also ein umfangreicher Zahnhartsubstanzabtrag von ca. 2 mm erfolgen.

1.4. Operationen der Maxilla

1.4.1. Die LeFort Osteotomien

Die Einteilung der LeFort-Osteotomien basiert auf den von Rene LeFort beschriebenen Klassifizierungen von Mittelgesichtsfrakturen.

Der menschliche Schädel weist entlang der mechanischen Belastung durch den Kaudruck Verdickungen auf. Gleichzeitig befinden sich im Schädel verschiedene Hohlräume wie etwa der Sinus maxillaris, die Cavitas nasi oder der Sinus sphenoidalis, die unter anderem der Gewichtsreduktion dienen. So ergibt sich eine Rahmenkonstruktion mit typischen Bruchlinien (Schünke et al., 2015).

Die LeFort-I-Fraktur beschreibt die basale Absprengung des zahntragenden Anteils der Maxilla von dem Viscerocranium. Demnach richtet sich die LeFort-I-Osteotomie nach diesem Frakturverlauf. Sie ist die mit Abstand am häufigsten durchgeführte Osteotomie nach LeFort. Dabei wird ausschließlich der zahntragende Anteil der Maxilla mobilisiert und mit Hilfe von Osteosyntheseplatten repositioniert. Dieses Vorgehen wird in der Regel zur chirurgischen Therapie von Dysgnathien im Rahmen einer Umstellungsosteotomie nach Wachstumsabschluss eingesetzt.

Die LeFort-II-Fraktur beschreibt eine pyramidale Absprengung der Maxilla vom Viscerocranium. Im Zuge dieser Osteotomie wird die gesamte Maxilla verlagert, wodurch auch das Nasenskelett und die Infraorbitalregion verändert werden. Dies führt zu einer deutlichen Änderung des Gesichtsprofils.

Diese ersten beiden LeFort-Frakturen gehören zu den zentralen Mittelgesichtsfrakturen, während die LeFort-III-Fraktur eine zentrolaterale Mittelgesichtsfraktur beschreibt.

Bei der LeFort-III-Fraktur erfolgt eine vollständige Absprengung des Viscerocraniums vom Neurocranium. Die Hauptbruchlinie verläuft durch die Orbitae und entlang der Ossa nasalia, häufig mit begleitenden Frakturen der Jochbögen. Die LeFort-III-Osteotomie ist die anspruchsvollste der drei Techniken, da hier ebenfalls eine vollständige Abtrennung des Viscerocraniums von Neurocranium, nach Vorbild der Frakturverläufe, erfolgt. Eine Verlagerung des mobilen Segments ist nur bis zu 12 mm möglich, da das umliegende Weichgewebe wie auch die versorgenden Gefäße, größere Strecken begrenzen (Holtmann et al., 2020).

1.4.2. Implantationen

Implantate stellen eine Möglichkeit dar, fehlende Zähne zu ersetzen und auf diese Weise einer Inaktivitätsatrophie des Kieferknochens vorzubeugen. Im Oberkiefer führt Zahnverlust und längere Zahnlosigkeit zu einer zentripetalen Atrophie (Atwood, 1973). Darüber hinaus expandiert der Boden des Sinus maxillaris nach kaudal (Götz et al., 2015).

Durch die Insertion von Titan- oder auch Keramikimplantaten soll ein Remodeling des Knochens erzielt werden, welches im weiteren Verlauf zu einem appositionellen Wachstum und einer Osseointegration führt. Der Erfolg einer Implantation hängt von zahlreichen Faktoren ab: von der präzisen anamnestischen Auswahl der Patienten über ein ausreichendes Knochenangebot bis hin zur sorgfältigen Implantatbettaufbereitung mit gut erzielter Primärstabilität.

Das Knochenangebot zu allen benachbarten Strukturen muss mindestens 1,5 mm betragen. Zwischen zwei Implantaten sollte ein Abstand von 3 mm eingehalten werden. Zusätzlich muss das Implantat palatinal und vestibulär ebenfalls von 1,5 mm Knochen bedeckt sein. Gängige Implantatdurchmesser liegen zwischen 3,3 und 6,5 mm, das heißt, dass die Kieferkambbreite mindestens 6,3 mm betragen muss (Holtmann et al., 2020).

1.4.3. Wurzelspitzenresektionen

Die WSR wird auch als apikale Osteotomie bezeichnet und ist ein chirurgischer Eingriff zur Erhaltung von Zähnen mit insuffizienter endodontischer Behandlung (DGMKG, 2020).

Bei diesem Verfahren wird in der Regel ein vestibulärer Zugang geschaffen, mit Ausnahme der Resektion der palatinalen Wurzel von Oberkiefermolaren. Die Gingiva wird mittels bevorzugter Schnitttechnik unter Bildung eines Mukoperiostlappens abgeklappt. Danach wird die den Apex bedenkende Kortikalis, falls noch vorhanden, entfernt, um den apikalen Bereich des infizierten Zahnes freizulegen. Anschließend wird der Zahn mit einer Lidemannfräse apikal um 3 - 4 mm gekürzt, entweder schräg oder gerade, und mit einer retrograden Wurzelfüllung versorgt. Abschließend wird Entzündungsgewebe aus dem

umliegenden Bereich entfernt, die Gingiva wieder repositioniert und vernäht. Zuvor kann der entstandene Defekt mit Knochenersatzmaterial aufgefüllt werden.

Das Verfahren eignet sich zur Behandlung von Zähnen mit persistierenden apikalen Parodontitiden, Wurzelfrakturen im apikalen Drittel oder bei orthograd unzugänglichen Wurzelkanälen (Holtmann et al., 2020).

1.4.4. Freilegung verlagelter Eckzähne

Nach den Weisheitszähnen sind die Oberkiefereckzähne die am häufigsten verlagerten Zähne (Holtmann et al., 2020). Die intraossäre Verlagerung kann zu Resorptionsvorgängen und entzündlichen Reaktionen führen. Darüber hinaus kann das Fehlen der Eckzähne bei Laterotrusions- und Protrusionsbewegungen zu Okklusionsstörungen führen.

Für die Wahl des chirurgischen Vorgehens ist die genaue Lagebestimmung des Zahnes unerlässlich. Laut Literaturangaben sind jedoch 50 - 90% der Zähne nach palatinal verlagert.

Der chirurgische Zugang zum verlagerten Zahn erfolgt durch eine marginale Schnittführung mit anschließender Mobilisierung eines Mucoperiostlappens. Anschließend wird die Kortikalis oberhalb des Zahnes entfernt, bis das suffiziente Anbringen eines Attachments mittels Säure-Ätz-Technik möglich ist. Zur Vermeidung späterer Knochendefizite darf dabei jedoch nicht über die Schmelz-Zement-Grenze hinaus gearbeitet werden. Nach Anbringen des Attachments wird dieses mit einem Titan- oder Goldkettchen versehen, das der späteren kieferorthopädischen Kraftübertragung dient. Gemäß aktuellem Wissensstand wird der Mucoperiostlappen anschließend repositioniert und mit Nähten fixiert, um Plaqueakkumulation zu reduzieren und chronische Infektionen zu verhindern. Bereits ein bis drei Tage nach dem Eingriff kann mit der kieferorthopädischen Einordnung des Zahns begonnen werden (Watted et al., 2019).

1.5. Ziele der Arbeit

Obwohl die Grundlagen der arteriellen Versorgung des Oberkiefers bereits seit Langem bekannt sind, wurden Variationen der Versorgung des Eckzahns und des gesamten Oberkiefers bislang nicht beschrieben. Die genaue Kenntnis der Anatomie gewinnt jedoch zunehmend an Bedeutung, insbesondere in der zahnmedizinischen Versorgung.

Dank moderner Techniken können Zähne immer länger erhalten und bei Bedarf im Rahmen operativer Eingriffe durch dentale Implantate ersetzt werden. Für solche Operationen sind der Verlauf der Arterien sowie ihre Versorgungsgebiete von entscheidender Bedeutung, da sie die Wahl der Schnittführung beeinflussen (Kleinheinz, 2014).

In gut vaskularisierten Gebieten erfolgt die Osseointegration von Implantaten schneller, ebenso wie die Heilung des Weichgewebes (Mavrogenis et al., 2009). Der Eckzahn selbst hat in der Zahnmedizin eine besondere Bedeutung. Mit einer durchschnittlichen Länge von 28 mm weist er die längste Zahnwurzel auf und übernimmt im gesunden Gebiss die Führung bei Laterotrusionsbewegungen. Aufgrund seiner langen Wurzel eignet er sich auch bei fortgeschrittenem horizontalen Knochenabbau oft noch als prothetischer Pfeilerzahn für Brücken- und Teleskoparbeiten (Kern et al., 2022b, Kern et al., 2022c).

Eine Wurzelspitzenresektion ist bei ausbleibendem endodontischen Behandlungserfolg am Eckzahn ebenfalls eine gut anzuwendende Technik zum Zahnerhalt (Mota de Almeida et al., 2023).

Durch genaue anatomische Kenntnisse können Operations- und Heilungsverlauf besser prognostiziert werden (Bergman, 2011).

In dieser Promotionsarbeit soll daher nachfolgende Hypothese untersucht werden:

Es gibt Variationen in der Versorgung des Eckzahnes.

Daraus ergeben sich folgende weiterführende Fragestellungen:

- Ist der Ursprung der arteriellen Versorgung des Eckzahnes immer von der AASA ausgehend?
- Gibt es eine eigenständige Arterie, die nur den Eckzahn versorgt?
- Hat der Zahnstatus Einfluss auf die Vaskularisation des Eckzahnes?

2. Material und Methoden

2.1. Versuchsgrundlagen

2.1.1. Ethikvotum

Da die Forschungsarbeit an menschlichem Gewebe stattfand, erfolgte vorab eine Begutachtung durch die Ethikkommission der Medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf.

Das positive Ethikvotum für diese Forschungsarbeit wurde am 13. August 2019 mit der Studiennummer 2019-606 erteilt.

2.1.2. Körperspende

Die Untersuchungen wurden an Maxillapräparaten mehrerer Körperspender*innen durchgeführt. Dabei handelte es sich um Gewebematerial von Körperspender*innen, welche sich dem Institut für Anatomie I zur Verfügung stellten.

Das Körperspendewesen ist an der Heinrich-Heine-Universität über die Sektion für klinische Anatomie geregelt. Zu Lebzeiten erklären sich die Teilnehmenden bereit, ihre sterblichen Überreste der Forschung und der Ausbildung von zukünftigen Mediziner*innen zur Verfügung zu stellen. Dies ist festgehalten in der „Letztwilligen Verfügung“ siehe Anhang 6.3.

Die Arbeit mit dem Spendermaterial erfolgte in allen Fällen pseudonymisiert ohne mögliche Alters- und Geschlechtszuordnung.

Die Präparation erfolgte an 13 Körperspender*innen. Davon waren neun im Sagittalschnitt geteilt und vier Körperspender*innen lagen als vollständiger Kopf vor. Alle Körperspender*innen waren oberhalb des Rumpfes abgesetzt. So ergab sich die Anzahl von 17 untersuchten Maxillae. Die praktischen Arbeiten im Präparationssaal erfolgten unter den Bedingungen der Corona-Pandemie.

Zwölf Maxillae wiesen einen Eckzahn auf, fünf Maxillae waren unbezahnt.

Die Fixation der Körperspender*innen erfolgte vorab durch die Präparator*innen. Vorbereitend wurden die abgesetzten Köpfe der Körperspender*innen in einer Lösung aus 100 Litern 99 % Ethanol sowie 5 Litern Glycerin fixiert. Die Körperspender*innen wurden zwischen den Präparationsschritten in

rechteckigen, fahrbaren und dicht zu verschließenden Kunststoffbehältern aufbewahrt. Die Lagerung erfolgte vollständig von 70 % Ethanol-Lösung bedeckt, welche alle zwei Wochen ausgetauscht wurde.

2.2. Materialien

In der Tabelle 1 sind die verwendeten Materialien aufgeführt. Zunächst erfolgte eine Unterteilung der Materialien auf Grund ihrer Verwendung während des makroskopischen oder mikroskopischen Versuchsteils der Forschungsarbeit. Anschließend wurden die Materialien nach ihrer Verwendung während der einzelnen Versuchsabschnitte unterteilt.

Makroskopischer Versuchsteil		
Abgesetzte Köpfe der Körperspender*innen, n= 17 Maxillae		
Versuchsabschnitt	Verwendetes Material	Hersteller
Präparation	Anatomische Pinzette x2	Fine Science Tools GmbH; Heidelberg
	Chirurgische Pinzette x2	Fine Science Tools GmbH; Heidelberg
	Hautschere	Fine Science Tools GmbH; Heidelberg
	Mikroskopierschere	Fine Science Tools GmbH; Heidelberg
	Muskelmesser groß	Fine Science Tools GmbH; Heidelberg
	Muskelmesser klein	Fine Science Tools GmbH; Heidelberg
	Skalpellhalter flach x2	Fine Science Tools GmbH; Heidelberg
	Skalpellklingen Nr. 11, 12, 21	Henry Schein Inc.; Melville
	Präpariernadel, gerade	Fine Science Tools GmbH; Heidelberg
	Flachmeißel 30mm, Edelstahl	Fine Science Tools GmbH; Heidelberg
	Hammer, Edelstahl	Fine Science Tools GmbH; Heidelberg
	Raspatorium gerade	Henry Schein Inc.; Melville

	Raspatorium klein nach Buser	Hu-Friedy Mfg.; Chicago
	Autopsiesäge HB-740	Kugel medical GmbH; Regensburg
	Edelstahl Messlehre	Fine Science Tools GmbH; Heidelberg
	Millimeterlineal	Fine Science Tools GmbH; Heidelberg
Kieferhöhlen- fensterung	Mikromotor	KaVo Dental GmbH; Biberach an der Riß
	Fußanlasser	KaVo Dental GmbH; Biberach an der Riß
	Technikerhandstück K9	KaVo Dental GmbH; Biberach an der Riß
	Fräßset	Hager & Meisinger GmbH; Neuss
Kieferhöhlen- illumination	Penlight LED Diagnostikleuchte	Kimetec GmbH; Ditzingen
Farbinjektion	Mira-2-Ton (PZN 07578966) mit den Inhaltsstoffen Aqua Sodium Benzoate, Potassium Sorbate, C.I. 45410 sowie C.I. 42090 im 60 ml Gebinde	Megadent Deflogrip Gerhard Reeg GmbH; Düsseldorf
	Injekt Luer Solo, Einmalspritzen 5ml, steril; PZN 02057903	B. Braun SE; Melsungen
	Sterican 27G, Einmalkanülen steril; PZN 18746711	B. Braun SE; Melsungen
	Edelstahl-Nierenschale	Aesculap Inc., Tuttlingen
	Baumwollfaden	Gütermann GmbH; Gutach-Breisgau
Fotodokumentation	Sony Alpha 7iii Body (Art.Nr. ILCE7M3GBDI.EU)	Sony; Tokio
	Objektiv SEL 24-105mm F4 G OSS	Sony; Tokio
	Rollei Stativ	Rollei; Hamburg

	Foto-Winkle-Lineal	Sachverständigen-Zubehör; Eschweiler
	Lichttisch	Commotion Ltd; Tonbridge
	Adobe Photoshop	Adobe Inc.; San José
Mikroskopischer Versuchsteil		
Abgesetzte Köpfe der Körperspender*innen, n= 17 Maxillae		
Versuchsabschnitt	Verwendetes Material	Hersteller
Vorbereitende Präparation	Autopsiesäge HB-740	Kugel medical GmbH; Regensburg
	Mikromotor	KaVo Dental GmbH; Biberach an der Riß
	Fußanlasser	KaVo Dental GmbH; Biberach an der Riß
	Technikerhandstück K9	KaVo Dental GmbH; Biberach an der Riß
	Fräßset	Hager & Meisinger GmbH; Neuss
	Anatomische Pinzette x2	Fine Science Tools GmbH; Heidelberg
	Spatel	Fine Science Tools GmbH; Heidelberg
Einbetten und Schneiden	Cryomold Einbettformen für O.C.T. Compound (Tissue Tek) 25x20x5 mm	Sakura GmbH; Böblingen
	Aceton	Höfer Chemie GmbH; Kleinblittersdorf
	Tissue Tek O.C.T. Compound	Sakura GmbH; Böblingen
	Tissue Tek Specimen Holder	Sakura GmbH; Böblingen
	Isopentan (-80°C)	AppliChem GmbH; Darmstadt
	Kryotom Leica CM1520	Leica Camera AG; Wetzlar

	Thermo Scientific SuperFrost Plus Adhäsionsobjektträger	Fisher Scientific CmbH; Schwerte
	Pinsel	neoLab Migge GmbH; Heidelberg
Histologische Färbung	Ethanol	Merck KGaA; Darmstadt
	Saures Hämatoxylin nach Ehrlich, 0,25%	Morphisto Laborchemikalien und Histologieservice; Frankfurt am Main
	Natriumhydrogencarbonat, 0,25%	Merck KGaA; Darmstadt
	Eosin	Merck KGaA; Darmstadt
	Destilliertes Wasser	Merck KGaA; Darmstadt
	Färbekit AZAN nach Geidies - Kernechtrot, 0,1% - Phosphorwolframsäure, 5% - Anilinblau - Orange-G	Morphisto Laborchemikalien und Histologieservice; Frankfurt am Main
Histologische Betrachtung und Fotodokumentation	Fluoreszenzmikroskop	Keyence Deutschland GmbH; Neu-Isenburg

Tabelle 1: **Materialliste**

2.3. Methoden - Makroskopischer Versuchsteil

2.3.1. Vorbereitende Präparation

Alle Arbeiten an den Körperspender*innen erfolgten im Präparationssaal der Anatomie.

Zunächst erfolgten bei allen Körperspender*innen die Hautschnitte. Anschließend wurde die Cutis abpräpariert und die darunterliegende mimische Muskulatur freigelegt. Die Kaumuskulatur wurde präpariert. Der M. temporalis wurde von der Mandibula gelöst. Danach wurde die Fossa infratemporalis dargestellt. Von der A. carotis externa abgehend wurde die A. maxillaris aufgesucht und die Pars pterygopalatina wurde dargestellt. Schichtweise erfolgte die Abtragung von Gewebe bis der knöcherne Schädel weitestgehend freigelegt war. Nun wurde die Kalotte mittels „Hutkrämpenschnitt“ kurz über der Glabella mit der elektrischen Knochensäge abgesetzt. Danach wurde das Gehirn bzw. die Gehirnhälften der sagittal geteilten Köpfe oberhalb der Medulla oblongata entfernt. Auch die Orbitae wurden unter Entfernung des Bulbus oculi freipräpariert und der Orbitaboden dargestellt. Das aus dem For. infraorbitale austretende Trias von A. infraorbitalis, V. infraorbitalis und N. infraorbitalis wurde gekürzt, um in späteren Versuchsschritten eine Farbinjektion durchführen zu können.

Für die genauere Betrachtung der arteriellen Versorgung erfolgte ein Heraustrennen der Maxillae aus dem Viscerocranium. Hierfür diente die LeFort-III-Frakturlinie als Vorbild für die Trennstellen. Das Herauslösen erfolgte entlang der Sutura nasofrontalis über die Seitenwand der Orbita bis zur Trennung des Arcus zygomaticus. Die Schnittverläufe sind in Abb. 8 auch unter Darstellung der LeFort-Frakturlinien abgebildet. Es wurde wieder mit der elektrischen Knochensäge sowie Flachmeißel und Hammer gearbeitet. So wurde eine vollständige Abtrennung von der Schädelbasis erzielt.

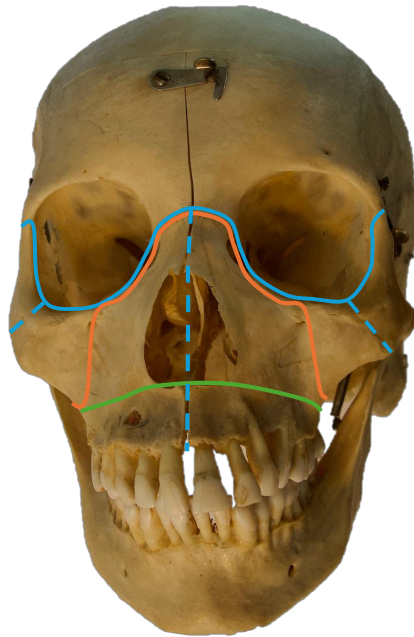


Abb. 8: **Schematische Darstellung der LeFort-Frakturverläufe mit Variation der Trennung des Arcus zygomaticus am mazerierten Schädel**

Die grüne Linie beschreibt die LeFort-I-Fraktur, die orange Linie beschreibt die LeFort-II-Fraktur, die blaue Linie beschreibt die LeFort-III-Fraktur, die blaue unterbrochene Linie stellt die in dieser Dissertation verwendeten Präparationslinien dar.

Anschließend wurde die anteriore Maxilla feinpräpariert. Bei bezahnten Körperspendern wurde mit Hilfe eines vestibulären Zahnfleischrandschnittes die Gingiva marginal mit einem Skalpell scharf durchtrennt. Bei Zahnlosigkeit erfolgte der Schnitt auf der Kieferkammmitte. Zunächst wurde ein Mukosalappen gebildet und vom Alveolarfortsatz entfernt. Als letzte Schicht wurde das Periost der anterioren Maxilla mit Hilfe der verschiedenen Raspatorien entfernt und so die Kortikalis freigelegt.

Die gesamte Präparation erfolgte mit Hilfe von vollständig sterilisierbarem Präparationsbesteck aus Edelstahl.

Nach abgeschlossener Präparation wurden die subkortikal ersichtlichen Gefäße der A. maxillaris in der anterioren Maxilla begutachtet und mit der Edelstahlschieblehre und einem Millimeter-Lineal vermessen. Ihr Verlauf wurde mit Augenmerk auf die Zielsetzung dieser Dissertation dokumentiert, um etwaige Variationen der arteriellen Versorgung des Eckzahnes darzustellen.

2.3.2. Kieferhöhlenfensterung

Um die arterielle Versorgung des Eckzahnes in der weiteren Arbeit besser darzustellen, wurde die faciale Kortikalis ausgedünnt. Dies erfolgte mittels einem KaVo K9 Technikhandstücks mit transportablem Mikromotor und Fußanlasser. Für das Handstück standen Fräsaufsätze in verschiedener Ausführung zur Verfügung.

Anschließend wurde mit Hilfe der Fräsaufsätze der Sinus maxillaris von dorsal eröffnet. Es wurde ein rundes Fenster mit ca. 1,5 bis 2 cm Durchmesser, abhängig von den anatomischen Gegebenheiten, angelegt. Im Folgenden wurde mit dem kleinen Raspatorium nach Buser und anatomischen wie auch chirurgischen Pinzetten die Schneider'sche Membran, also die Kieferhöhleninnenauskleidung, weitestgehend entfernt.

2.3.3. Kieferhöhlenillumination

Im nächsten Arbeitsschritt wurde eine Kieferhöhlenillumination durchgeführt, um die intraossär in der anterioren Kieferhöhlenwand verlaufenden Gefäße darzustellen. Der Sinus maxillaris befindet sich dorsal des Eckzahnes, die versorgenden Gefäße liegen in der Wand der anterioren Maxilla.

In das vorbereitete dorsale Fenster der Kieferhöhle wurde eine Stablampe (Diagnostikleuchte, LED) eingeführt. Über die Ausrichtung der Lampe wurde die apikale Region des Eckzahnes gezielt beleuchtet. Erkennbare Strukturen wurden mit dem Lichtkegel weiterverfolgt und so wurde nach und nach die gesamte anteriore Kieferhöhlenwand durchleuchtet.

2.3.4. Anfärben der Arteria infraorbitalis durch Farbinjektion

Durch die vorbereitende Präparation war die A. infraorbitalis bereits nach ihrem Austritt aus dem For. infraorbitale durchtrennt. In das eröffnete Lumen wurde mit Hilfe von sterilen Einmal-Kanülen und sterilen Einmal-Spritzen unverdünnte Färbelösung injiziert. Bei der Färbelösung handelte es sich um Mira-2-Ton (PZN 07578966). Die Färbelösung wurde in eine sterilisierbare Edelstahlschale gefüllt und dort mit der Einmalspritze aufgezogen. Anschließend wurde die Kanüle aufgesetzt und die Lösung in das Lumen der A. infraorbitalis injiziert. Um ein

Auslaufen direkt am Injektionsort zu vermeiden, wurde eine Ligatur mit einem Baumwollfaden um Arterie und inserierte Kanüle gelegt. Dieser Vorgang wurde wiederholt bis sich die Färbelösung innerhalb der Arterie nicht mehr weiter verteilte.

2.3.5. Fotodokumentation

Sämtliche Arbeitsschritte fanden unter Fotodokumentation mittels Alpha 7iii Body Kamera (Sony) statt.

Um eine bessere Sensorstabilisierung bei Langzeitbelichtung (15 Sekunden) zu erzielen, wurde ein Stativ genutzt.

Die Fotodokumentation fand unter verschiedenen Beleuchtungsbedingungen statt. So wurden die Bilder des Illuminationsprozesses unter Verdunkelung des Präparationssaales mit der Stablampe als alleinige Lichtquelle aufgenommen. Jedes Präparat wurde außerdem auf dem Lichttisch mit einem angelegten Foto-Winkel-Lineal fotografiert.

Die Bilder wurden im RAW-Format abgespeichert. Die Bildinformationsnachbereitung fand mittels der Software Adobe Photoshop statt. Dabei wurden die Präparate ausgeschnitten und hervorgehoben. Es wurde ein schwarzer Hintergrund zum besseren Kontrast eingefügt. Die Farb- und Lichtverhältnisse wurden anschließend optimiert. Das Endformat der Bilddateien ist Joint Photographic Experts Group (JPEG). Dieses wurde für die Druckversion dieser Dissertation in das Portable Document Format (PDF-Format) umgewandelt.

2.4. Methoden - Mikroskopischer Versuchsteil

2.4.1. Vorbereitende Präparation

Zunächst wurden die bereits makroskopisch untersuchten Maxillapräparate zur besseren Handhabung weiter zugeschnitten. Die histologische Betrachtung bezieht sich auf die Region apikal des Eckzahnes bis zum For. infraorbitale.

Dafür wurden die Präparate erneut mit der elektrischen Knochensäge bearbeitet. Es erfolgte ein Schnitt zwischen dem ersten und zweiten Schneidezahn sowie zwischen dem ersten und zweiten Prämolaren jeweils senkrecht bis zum unteren Orbitalrand. Dieses Präparationsfenster wurde in Abb. 9 anhand eines bezahnten und unbezahnten Präparats dargestellt. Die Kortikalis wurde mit dem Technikerhandstück sowie feinen Fräsaufsätzen wegpräpariert. Anschließend wurde die Spongiosa auf die gleiche Weise entfernt.

Das so freigelegte Weichgewebe wurde abschließend mit Hilfe von anatomischer Pinzette und Spatel angehoben und aus dem Knochenbett herausgelöst.

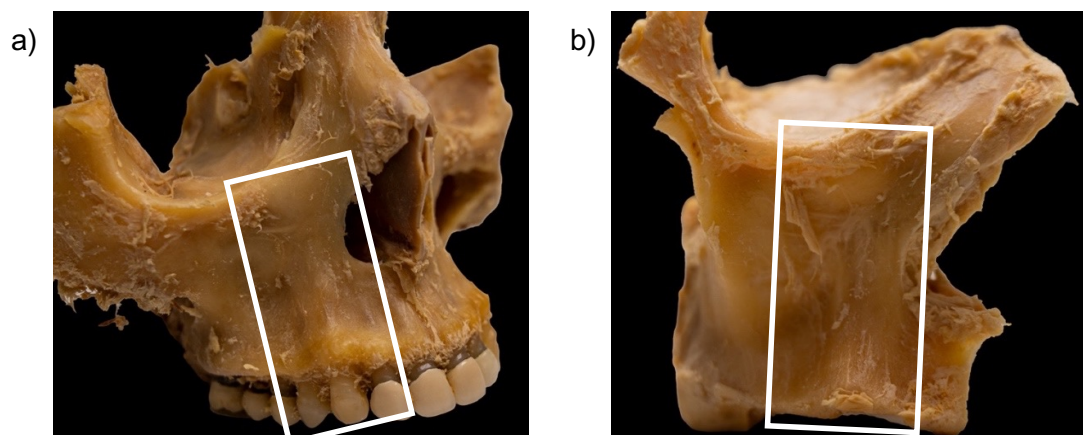


Abb. 9: **Präparationsfenster für die mikroskopische Analyse**

a) Ansicht der rechten bezahnten Maxilla (Präparat 11) mit Markierung des Präparationsfensters

b) Ansicht der rechten zahnlosen Maxilla (Präparat 9) mit Markierung des Präparationsfensters

2.4.2. Einbetten und Schneiden

Für das Einbetten wurden Crymold Einbettformen mit den Maßen 25x20x5 Millimetern verwendet. Diese wurden mit Tissue Tec O.C.T. Compound benetzt und das vorbereitete Hartgewebe wurde in der Form platziert. Anschließend wurde die Form vollständig mit Tissue Tec O.C.T. Compound aufgefüllt und der Gewebehalter aufgelegt.

Die bestückten Einbettformen wurden in auf -80°C temperiertes Isopentan getaucht. Danach wurden die eingefrorenen Präparate aus den Einbettformen entnommen werden.

Im nächsten Schritt wurden die vorbereiteten Proben am Kryotom geschnitten. Bei -20°C Objekttemperatur und -15°C Kammertemperatur wurde die Probe im Objektkopf platziert und mit dem Klemmhebel in Position gehalten. Es wurde eine Mikrotomklinge eingesetzt und eine Schichtdicke von 10 Mikrometern eingestellt. Die geschnittenen Präparate wurden mit einem gekühlten Pinsel entnommen. Sie wurden ebenfalls mit Hilfe eines vorgekühlten Pinsels auf die Superfrost Adhäsionsobjektträger aufgezogen und gegebenenfalls mit dem Pinsel vorsichtig weiter positioniert. Abschließend wurden die einzelnen Schnittpräparate auf den Objektträgern getrocknet und 10 Minuten mit Aceton fixiert.

2.4.3. Histologische Färbung

Die einzelnen Schnittpräparate wurden in zwei Gruppen unterteilt. Alle Präparate wurden vor dem Färben mit Ethanol vorbehandelt. Die Präparate, bei welchen die Darstellung der Arterie im Fokus stand, wurden mit Hämatoxylin-Eosin-Färbung (HE-Färbung) behandelt. Zunächst wurden die Schnitte mit saurem Hämatoxylin nach Ehrlich angefärbt und anschließend wurde 0,25%iges Natriumhydrogencarbonat hinzugegeben. Die Schnittpräparate wurden als nächstes mit destilliertem Wasser gespült.

Im letzten Färbeschritt wurde Eosin aufgebracht und anschließend erneut mit destilliertem Wasser gespült.

Die zweite Gruppe der Schnittpräparate, bei welchen im Rahmen einer weiteren Studie die Betrachtung der Innervation erfolgen sollte, wurde mit AZAN-Färbung behandelt. Es wurde das Färbekit „AZAN nach Geidies“ von Morphisto Laborchemikalien und Histologieservice verwendet. Im ersten Schritt wurden die Kerne mit Kernechtrot bei einer 30-minütigen Inkubation bei Raumtemperatur gefärbt und mit destilliertem Wasser gespült. Anschließend wurden die Präparate in 5%iger Phosphorwolframsäure für 10 Minuten entfärbt. Die Präparate wurden wieder mit destilliertem Wasser gespült. Danach erfolgte ein erneutes Einfärben mit Anilinblau und Orange-G für 5 Minuten und ein abschließendes Spülen mit destilliertem Wasser.

2.4.4. Histologische Betrachtung und Fotodokumentation

Die entstandenen Schnittpräparate wurden unter einem Fluoreszenzmikroskop (Keyence) im Durchlicht begutachtet. Zunächst wurden unter 20-facher Vergrößerung die Schnittpräparate identifiziert, die eine Blutgefäß-ähnliche Struktur enthielten. Diese wurden anschließend bei 400-facher Vergrößerung genauer untersucht und mit Hilfe der internen Fotographievorrichtung dokumentiert.

3. Ergebnisse

3.1. Makroskopischer Versuchsteil

Zur Analyse der arteriellen Versorgung des Oberkiefers und des Eckzahnes wurden 17 Maxillae untersucht. Einige davon wurden halbiert, andere im Gesamten untersucht (siehe 3.1.1 – 3.1.13). Die Oberkiefer stammten von Körperspender*innen des Instituts für Anatomie I, die für die anatomische Lehre für Studierende der Zahnmedizin vorbereitet wurden. In dem hohen Alter der Körperspender*innen war die Zahl der bezahnten Spender*innen leider sehr gering. Da es sich bei dem untersuchten Material nur um Oberkiefer handelte, werden hier nur die Quadranten eins und zwei angesprochen.

Sieben der neun unpaarigen Maxillae wiesen einen Eckzahn auf, wovon einer jedoch nur noch als Wurzelrest erhalten war. Zwei der neun Präparate waren unbezahnt. Vier der acht paarigen Maxillae besaßen noch beide Eckzähne. Ein/eine weitere Körperspender/in wies unilateral einen Eckzahn auf, der zweite Quadrant war zahnlos. Der/die letzte untersuchte Körperspender*in war unbezahnt.

Zur Analyse wurden die Oberkieferpräparate fotodokumentiert. Zur besseren Visualisierung wurden die Knochen von dorsal illuminiert. Die erste Fotodokumentation jedes Präparats erfolgte unter direkter Beleuchtung durch die Oberlichter des Präpariersaals und wird in den Abbildungen der Ergebnisse in der ersten Zeile gezeigt.

Die Abbildungen in der zweiten Zeile der einzelnen Präparate wurden auf einem Lichttisch und unter Anlegung eines Foto-Winkel-Lineals angefertigt.

Die Abbildungen der dritten Zeile eines jeden Präparats wurden während der Kieferhöhlenillumination angefertigt. Die Oberlichter des Präpariersaals waren ausgeschaltet und eine LED-Diagnostikleuchte beleuchtete von dorsal gezielt die apikale Regio des Zahnes 13 oder 23 bzw. bei Fehlen des Eckzahnes die entsprechende Regio 013 und 023.

3.1.1. Präparat 1

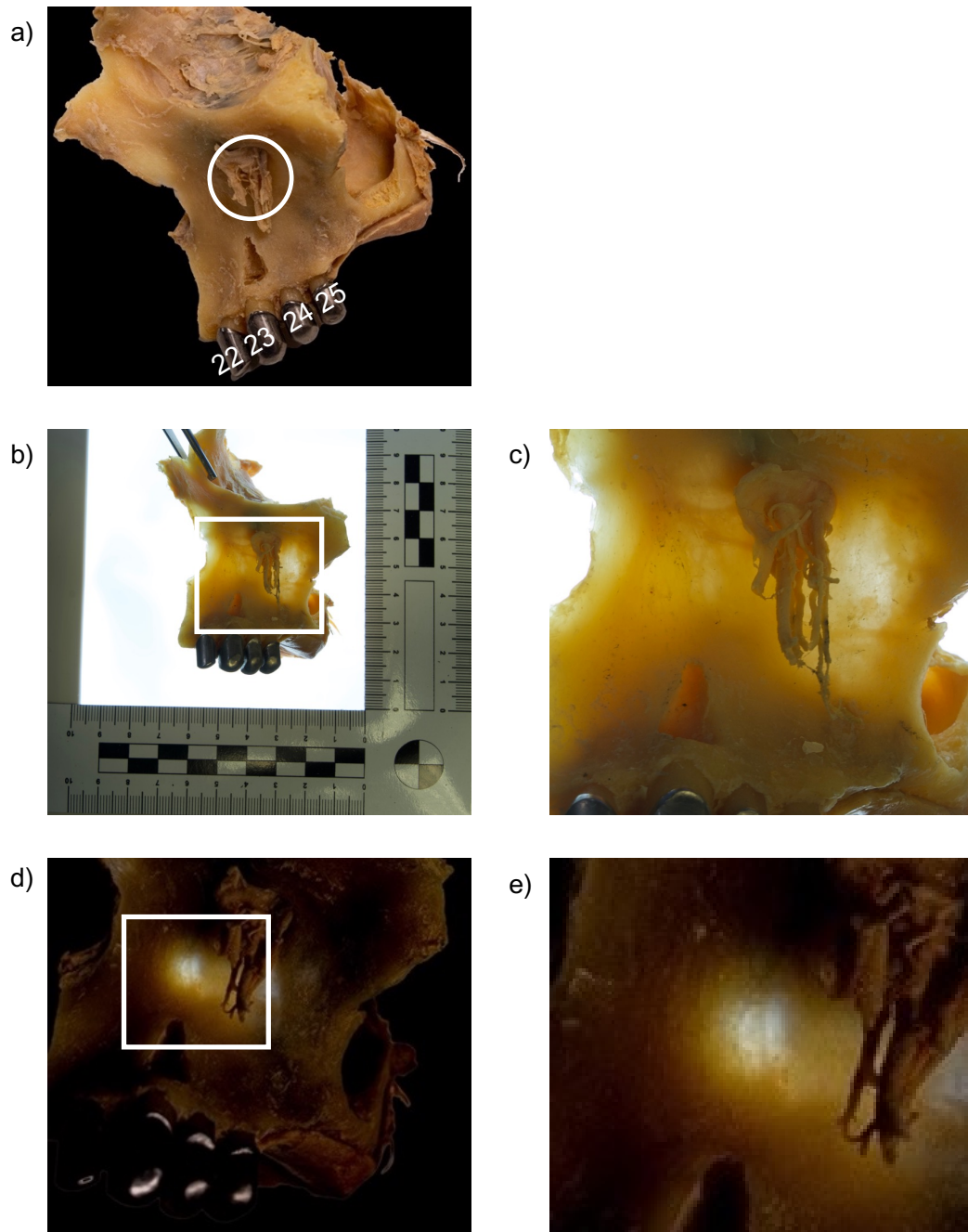


Abb. 10: **Darstellung von Präparat 1**

a) Präparat der linken Maxilla mit Teleskopkrone Regio 23, Zustand nach WSR post mortem. Teleskopkronen von Zahn 22-25, der weitere Alveolarfortsatz ist unbezahlt. Austritt von A., V. und N. infraorbitalis (eingekreist) b) Größendarstellung des Präparats auf dem Lichttisch mit Markierung des Detailausschnitts c) Detailausschnitt auf dem Lichttisch d) Beleuchtung der Wand des Sinus maxillaris zur Detektion intraossärer Strukturen innerhalb der anterioren Sinuswand mit Markierung des Detailausschnitts e) Detailausschnitt der Apexregion 23

Bei dem ersten untersuchten Präparat, welches in Abb. 10 gezeigt wird, handelte es sich eine linke Maxilla. Es waren die Zähne 22 - 25 vorhanden, der Rest des zweiten Quadranten war unbezahlt. Alle verbliebenen Zähne waren mit Teleskopkronen versorgt. An Zahn 23 wurde im Rahmen der Präparation eine WSR post mortem durchgeführt.

In der Abbildung der ersten Zeile war in dem spongiösen Alveolarknochen apikal des Zahnes makroskopisch kein Gefäß ersichtlich.

Erst durch die Darstellung auf dem Lichttisch war eine intraossäre Gefäßverzweigung mesial des For. infraorbitale zu erkennen. 1 cm mesial vom Foramen waren Strukturen zu erkennen, die nach distal und kaudal zogen und sich verzweigten. Durch die Vergrößerung war der bogenförmige Verlauf besser ersichtlich.

In der dritten Zeile wurde die linke Kieferhöhle des Präparats von dorsal der mit Hilfe einer Stablampe illuminiert. Im Lichtkegel war eine Struktur zu erkennen, welche ca. 5 mm mesial vom For. infraorbitale nahezu senkrecht nach kaudal zog. Der Detailausschnitt zeigte den senkrechten Verlauf 5 mm oberhalb des resezierten Apex wie auch einen feinen Abgang 7 mm oberhalb der Resektionsstelle nach mesial.

Das erste Präparat wies sowohl einen C. sinuosus als auch akzessorische Nebengefäße auf.

3.1.2. Präparat 2

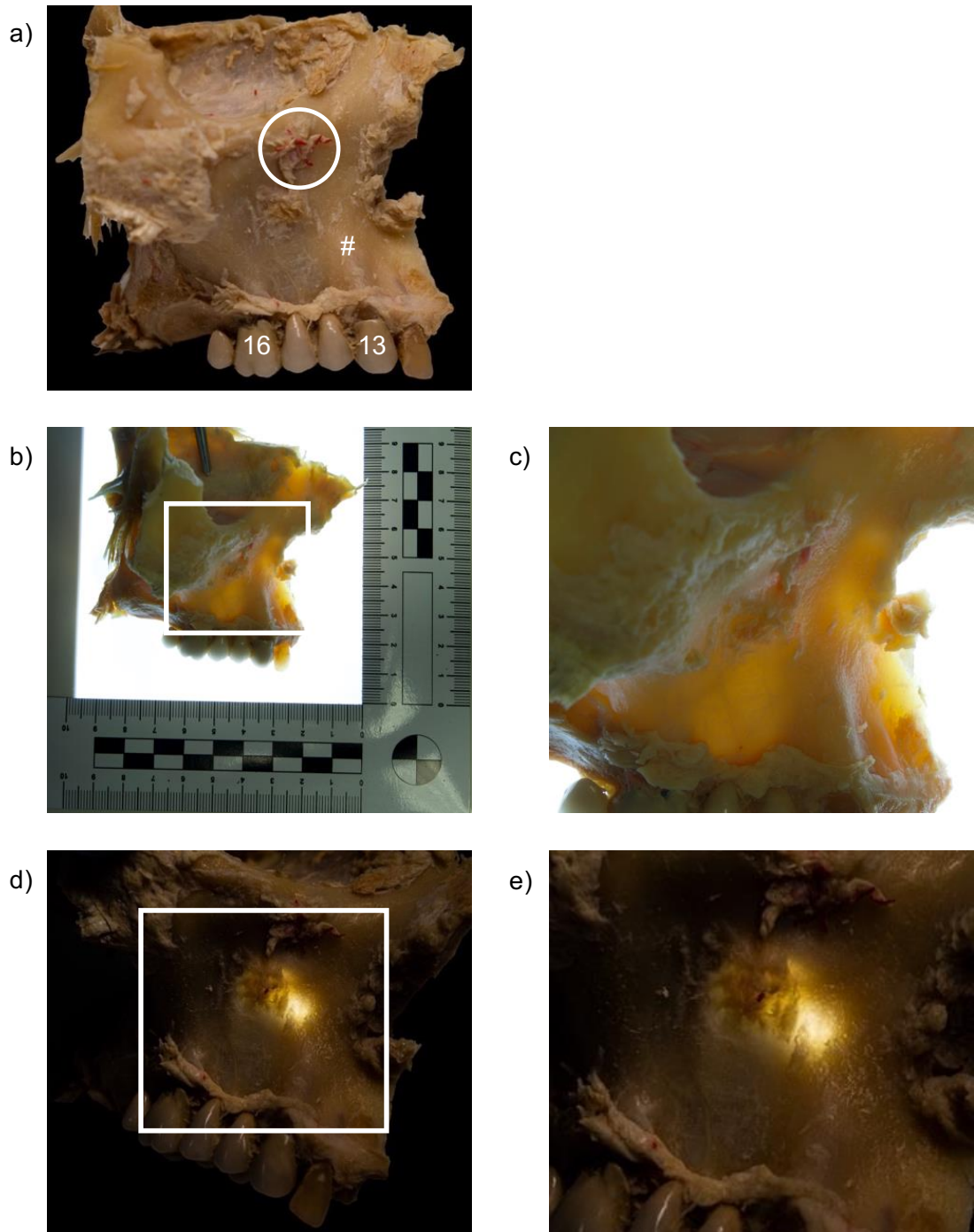


Abb. 11: **Darstellung von Präparat 2**

a) Präparat der rechten Maxilla mit VMK-Krone Regio 13 und 16 und einem unbeschleunigten Zahn 12, sowie Brückengliedern 014 - 015 und einem Anhänger 017. Der distale Alveolarfortsatz ist zahnlos und atrophiert. Austritt von A., V. und N. infraorbitalis (eingekreist), # markiert die Joga alveolaria b) Größendarstellung des Präparats auf dem Lichttisch mit Markierung des Detailausschnitts c) Detailausschnitt auf dem Lichttisch d) Beleuchtung der Wand des Sinus e) Detailausschnitt auf dem Lichttisch

maxillaris zur Detektion intraossärer Strukturen innerhalb der anterioren Sinuswand mit Markierung des Detailausschnitts e) Detailausschnitt der Apexregion 13

Das zweite Präparat, welches in Abb. 11 zu sehen ist, war ein rechter Oberkiefer. Er wies einen natürlichen Zahn 12 sowie eine VMK-Brücke auf den Zähnen 13 - 16 auf mit einem Anhänger an Position 017. In die Gefäße des Präparats wurde im Rahmen früherer Präparationen ein Kunststoff injiziert. Aus dem For. infraorbitale traten plastizierte Gefäße aus. An Regio 13 war eine sehr ausgeprägte Juga alveolaria (#) ersichtlich.

Auf dem Lichttisch war die Gefäßversorgung an 16 und 15 zu erkennen. In dem Detailausschnitt zog disto-apikal des Zahnes 13 eine Struktur Richtung Zahn 15 und bildete eine Anastomose mit einem von distal kommendem Gefäß. Es handelte sich um eine Anastomose der AASA und der AASP.

Durch die Illumination wurden keine intraossär plastizierten Gefäße ersichtlich. Im Lichtkegel war eine Struktur zu erkennen, welche 3 mm distal des Apex 13 parallel zur Radix nach kaudal zog.

Am zweiten Präparat ließen sich durch die gewählten Darstellungsmethoden die Anastomosen der AASA und AASP, jedoch kein C. sinuosus zeigen.

3.1.3. Präparat 3

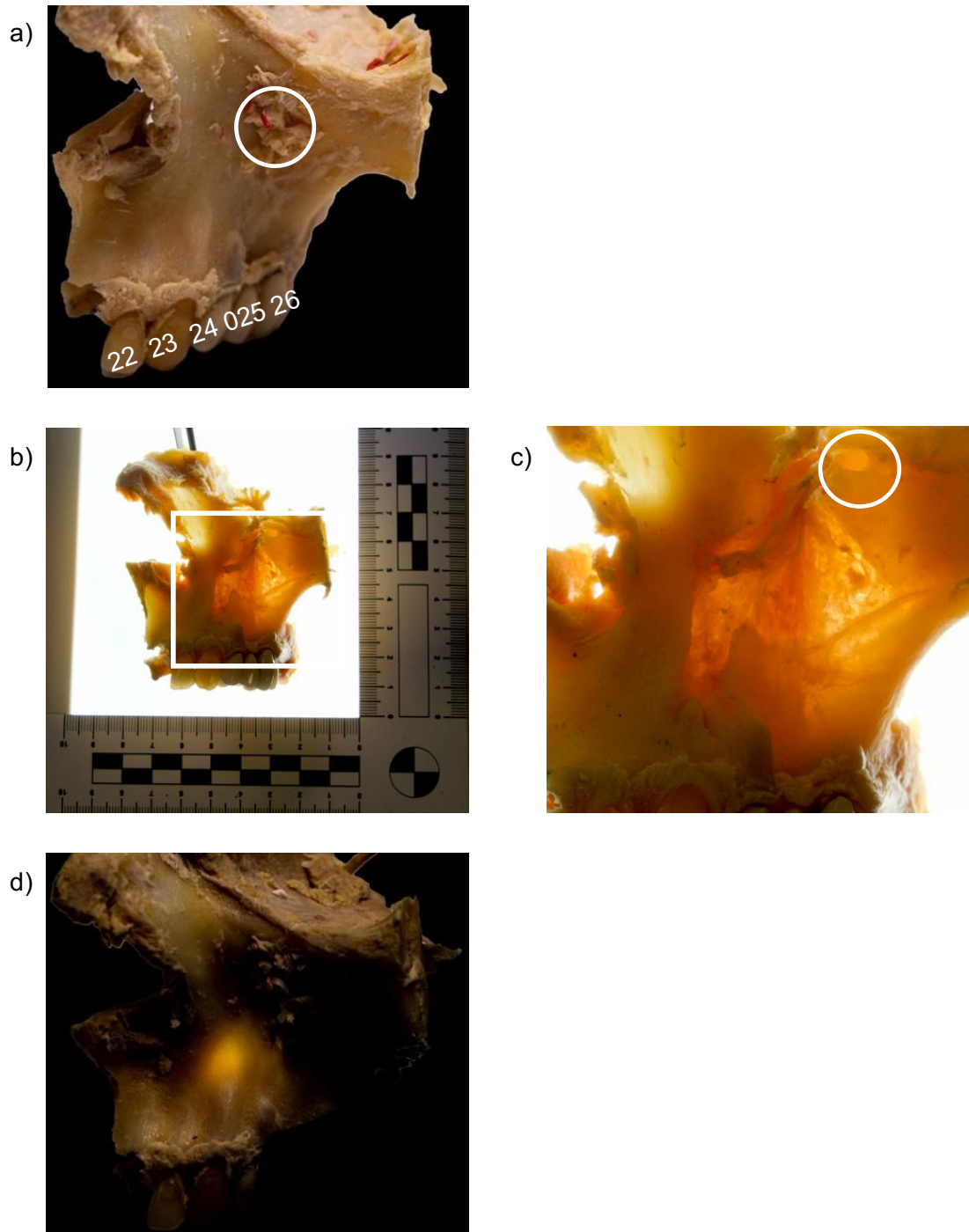


Abb. 12: **Darstellung von Präparat 3**

a) Präparat der linken Maxilla mit unbeschleunem Zahn Regio 23, und einer VMK-Brücke von 24-26, unbeschleunener Restzahnbestand von 22-23. Austritt von A., V. und N. infraorbitalis (eingekreist) b) Größendarstellung des Präparats auf dem Lichttisch mit Markierung des Detailausschnitts c) Detailausschnitt der Apexregion 23 auf dem Lichttisch mit For. infraorbitale (eingekreist)

d) Beleuchtung der Wand des Sinus maxillaris zur Detektion intraossärer Strukturen innerhalb der anterioren Sinuswand

Das dritte Präparat wird in Abb. 12 gezeigt und war von 22 bis 26 bezahnt. Die Zähne 22 und 23 waren natürliche Zähne, der Zahn 22 hatte lediglich eine kleine vestibuläre Füllung. Die Zähne 24 bis 26 waren überkront und mit einer VMK-Brücke versorgt, wobei 025 das Brückenglied war. Auch bei diesem Präparat wurden im Rahmen vorheriger Präparationen die Gefäße plastiziert. Aus dem For. infraorbitale traten mit rotem Kunststoff plastizierte Gefäße aus, im basalen Orbitaboden war ebenfalls ein plastiziertes Gefäß ersichtlich. 7 mm nach kaudal und mesial versetzt des For. infraorbitale trat ebenfalls ein plastiziertes Gefäß aus.

Für die Fotografie auf dem Lichttisch wurde an diesem Präparat die Kortikalis in der Regio 23 - 26 entfernt. In der Detailansicht war der Apex 23 ersichtlich und ca. 2 cm darüber der freipräparierte C. sinuosus, welcher vom For. infraorbitale (eingekreist) nach mesial verlief. Ein kleines Gefäß zweigte auf Höhe des Zahnes 23 ab und zog senkrecht nach kaudal zum Apex 23.

Durch die Kieferhöhlenillumination konnte bei Präparat drei keine intraossäre Gefäßversorgung dargestellt werden.

Das dritte Präparat wies einen gut darzustellenden C. sinuosus sowie einen akzessorischen Kanal, welcher den Zahn 23 versorgte, auf.

3.1.4. Präparat 4

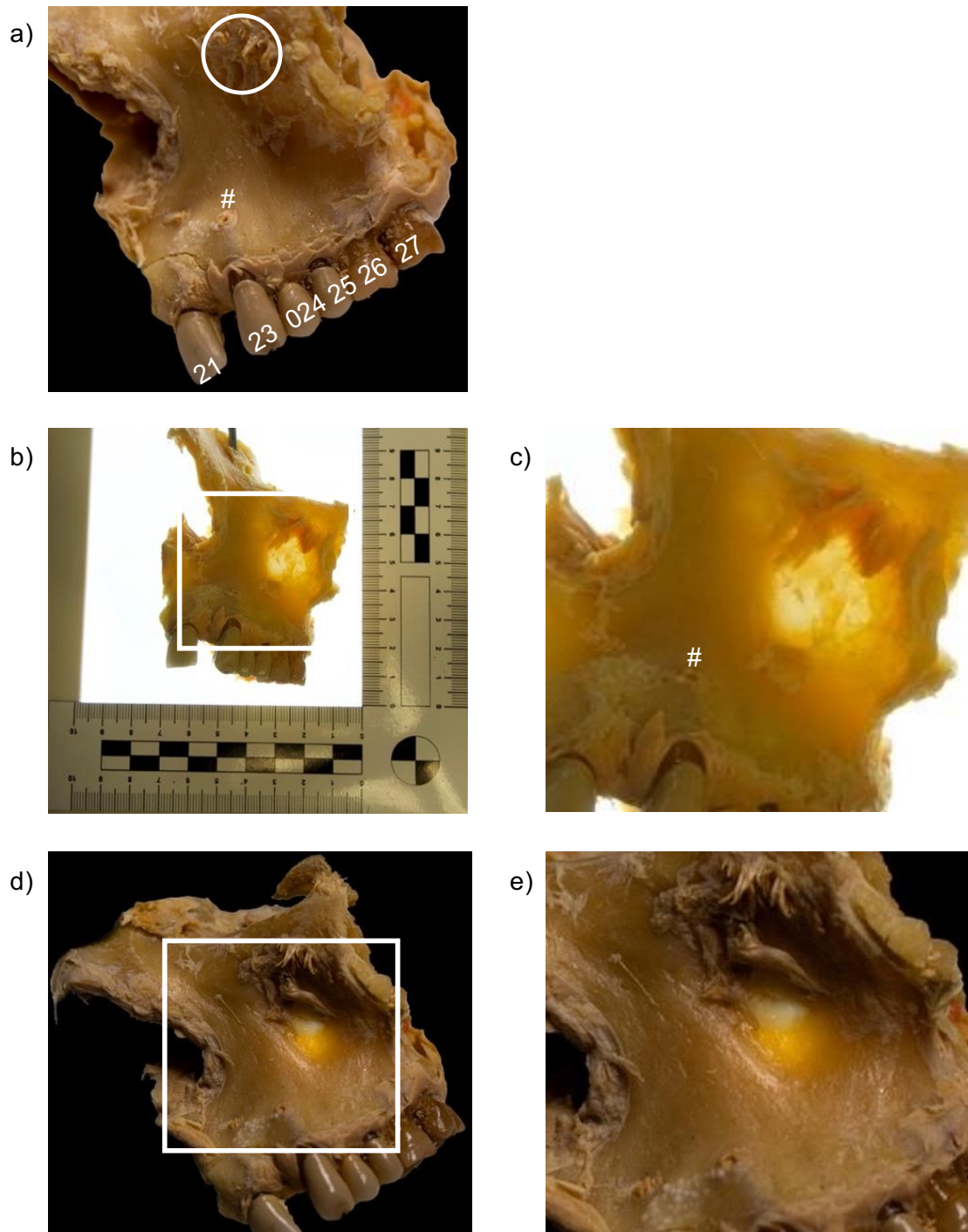


Abb. 13: **Darstellung von Präparat 4**

a) Präparat der linken Maxilla mit VMK-Krone Regio 23 mit radikulärer Zyste (#), weitere VMK-Kronen an Zahn 21 und 25, Austritt von A., V. und N. infraorbitalis (eingekreist) b) Größendarstellung des Präparats auf dem Lichttisch mit Markierung des Detailausschnitts c) Detailausschnitt der Apexregion 23 mit radikulärer Zyste (#) auf dem Lichttisch d) Beleuchtung

der Wand des Sinus maxillaris zur Detektion intraossärer Strukturen innerhalb der anterioren Sinuswand mit Markierung des Detailausschnitts e) Detailausschnitt der Apexregion 23

Bei dem vierten Präparat handelte es sich um eine linke Maxilla mit einem Restzahnbestand von 21, 23, 25, 26 und 27. Es ist in Abb. 13 dargestellt. Der Zahn 21 war mit einer Einzelkrone versorgt, die Zähne 23 - 25 wurden ebenfalls überkront und der fehlende Zahn 024 durch ein Brückenglied ersetzt.

Am Alveolarfortsatz in Regio 21 war eine Frakturlinie zu erkennen, das Fragment war um 0,5 mm disloziert, diese Fraktur erfolgte post mortem im Zuge des Sagittalschnitts des Körperspenders.

Am Apex des Zahnes 23 war eine kreisrunde, scharf begrenzte Öffnung in der Kortikalis ersichtlich. Diese war von Gewebe ausgekleidet. Es handelte sich hierbei um eine pathologische Veränderung im Sinne einer radikulären Zyste (#), welche sich intraossär ausgedehnt hatte und so die Kortikalis eröffnete.

Mesial der Zyste waren multiple, scharf begrenzte weißliche Erhebungen von ca. 1 mm Durchmesser zu erkennen. Hierbei handelte es sich vermutlich um pathologische Veränderungen des Knochens, welche im Zusammenhang mit der Behandlung des Zahnes 23 stehen.

Zahn 23 war über der Radix mit dünnerer Kortikalis bedeckt als die Zähne 21 und 25.

Auf dem Lichttisch wurden keine intraossär liegenden Gefäße sichtbar. Die Veränderung am Apex des Zahnes 23 ist in der Detailansicht markiert (#).

Durch die Kieferhöhlenillumination konnte kein zuführendes Gefäß dargestellt werden. Bei diesem Präparat war die Kortikalis wenig lichtdurchlässig und die Kieferhöhle reichte nicht weit genug nach kaudal.

In diesem Präparat wurden mit den gewählten Methoden keine hervorzuhebenden intraossären Gefäße dargestellt.

3.1.5. Präparat 5

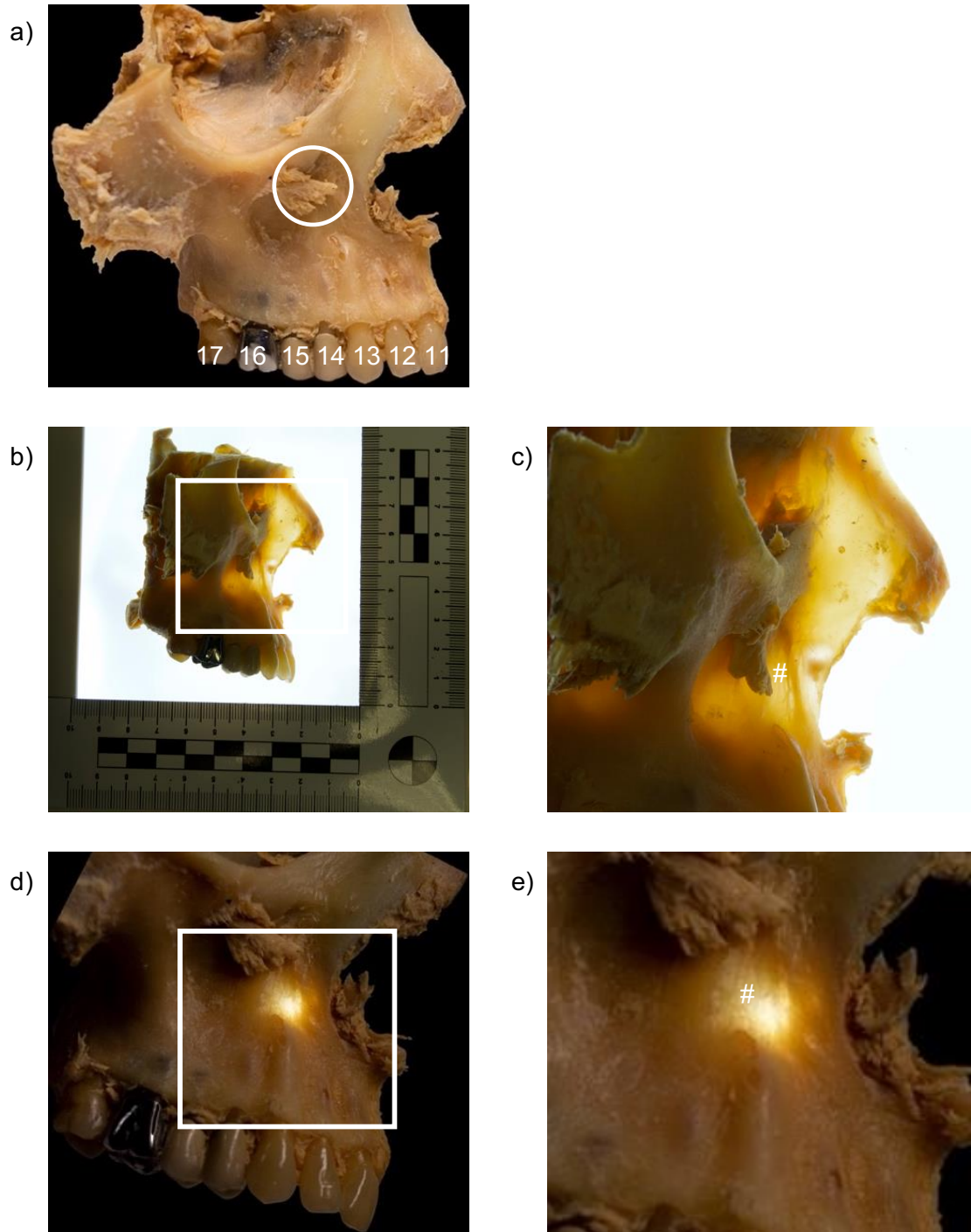


Abb. 14: **Darstellung von Präparat 5**

a) Präparat der rechten Maxilla mit unbeschleunem Zahn 13, Kronen von 14-16, Austritt von A., V. und N. infraorbitalis (eingekreist) b) Größendarstellung des Präparats auf dem Lichttisch mit Markierung des Detailausschnitts c) Detailausschnitt der Apexregion 13 auf dem Lichttisch mit markiertem Gefäßabgang (#) d) Beleuchtung der Wand des Sinus maxillaris zur Detektion

intraossärer Strukturen innerhalb der anterioren Sinuswand mit Markierung des Detailausschnitts
e) Detailausschnitt der Apexregion 13 mit markiertem Gefäßabgang (#)

Das fünfte Präparat in Abb. 14 war eine rechte Maxilla. Die Zähne 13 - 23 wiesen unbeschleunigten Zahnschmelz auf. Die Zähne 14 und 15 wurden mit VMK-Kronen versorgt und der Zahn 16 mit einer NEM-Krone. Zahn 17 war wieder ein unpräparierter Zahn. Die bedeckende Kortikalis war über den Alveolarfortsatz von 11 - 16 sehr dünn, die vestibulären Wurzeln waren teilweise ersichtlich. Der Apex von Zahn 13 wurde freipräpariert. Es lagen die am For. apikale in den Zahn eintretende Gefäße frei. Oberhalb des Apex und kaudal des For. infraorbitale waren miteinander verwachsene Gefäße ersichtlich, welche im C. sinuosus zum Apex 12 verliefen.

Auf dem Lichttisch war der intraossäre Verlauf des C. sinuosus neben der lateralen Nasenhöhlenwand sehr gut ersichtlich. In der Detailansicht zweigte 5 mm unterhalb des For. infraorbitale ein Gefäß ab (#) und verlief nahezu parallel zu den Gefäßen des C. sinuosus.

Durch die Kieferhöhlenillumination wurde eine Vielzahl an kleinsten Verästelungen ersichtlich. Die prominentere AASA verlief 5 mm apikal und 3 mm mesial des Apex 13 in Richtung der Schneidezähne. Zum Eckzahn und dem umliegenden Knochen selbst zweigte ein kleinerer Endast ab, welcher in der Detailansicht markiert wurde (#).

In diesem Präparat konnte der Verlauf des C. sinuosus dargestellt werden, wobei erneut zu sehen war, dass akzessorische Gefäße von dem Kanal abzweigten.

3.1.6. Präparat 6

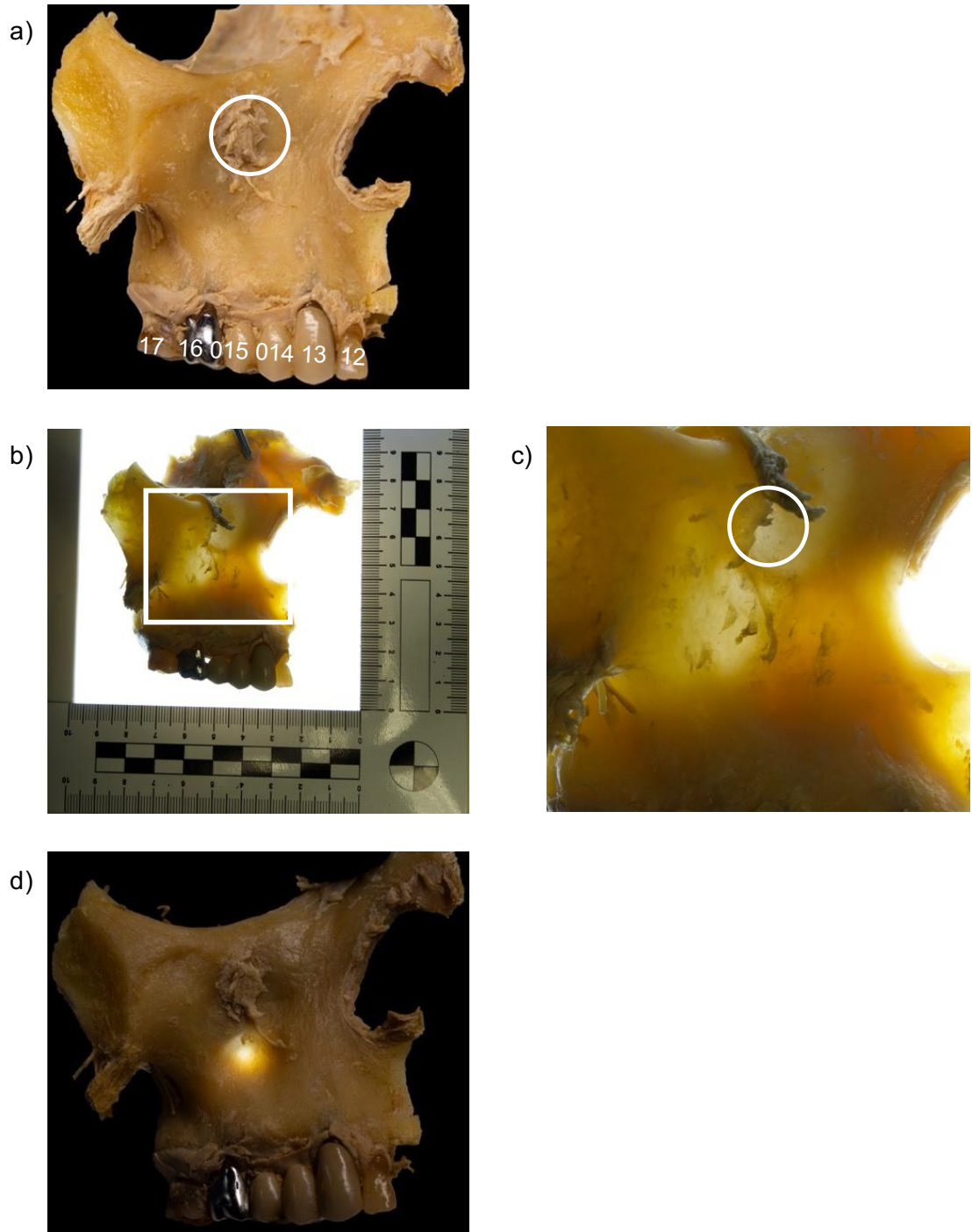


Abb. 15: **Darstellung von Präparat 6**

a) Präparat der rechten Maxilla mit VMK-Krone Regio 13, Restzahnbestand 12, 16 und 17, Austritt von A., V. und N. infraorbitalis (eingekreist) b) Größendarstellung des Präparats auf dem Lichttisch mit Markierung des Detailausschnitts c) Detailausschnitt der Apexregion 13 auf dem Lichttisch mit For. infraorbitale (eingekreist) d) Beleuchtung der Wand des Sinus maxillaris zur Detektion intraossärer Strukturen innerhalb der anterioren Sinuswand

Das sechste untersuchte Präparat in Abb. 15 war eine rechte teilbezahnte Maxilla. Der Zahn 11 war post mortem im Rahmen der sagittalen Spaltung des Körperspenders verloren gegangen. Die Zähne 13 und 16 waren Brückenpfeiler einer VMK- bzw. NEM-Brücke. Zahn 17 zeigte vestibulär eine Entmineralisation des Zahnschmelzes im Sinne einer beginnend kariösen Läsion. Zahn 12 wies einen vestibulären keilförmigen Defekt der Zahnhartsubstanz auf. Die bedeckende Kortikalis des Alveolarfortsatzes war über den Zahnwurzeln 12, 13 und 16 dicker als bei dem zuvor betrachteten Präparat.

Auf dem Lichttisch ließ sich der Verlauf des C. sinuosus erneut sehr gut darstellen. Neben dem For. infraorbitale zog er nach mesial und verlief 6 mm vor der lateralen Nasenwand in einem Bogen nach kaudal.

Bei dem sechsten Präparat konnte mittels Kieferhöhlenillumination kein intraossäres Gefäß dargestellt werden. Die dickere Kortikalis sowie die Kieferhöhlenanatomie ließen keine suffiziente Durchleuchtung des Präparates zu.

An Präparat sechs konnte der Verlauf des C. sinuosus, wie er bereits 1939 von Jones beschrieben wurde, dargestellt werden.

3.1.7. Präparat 7

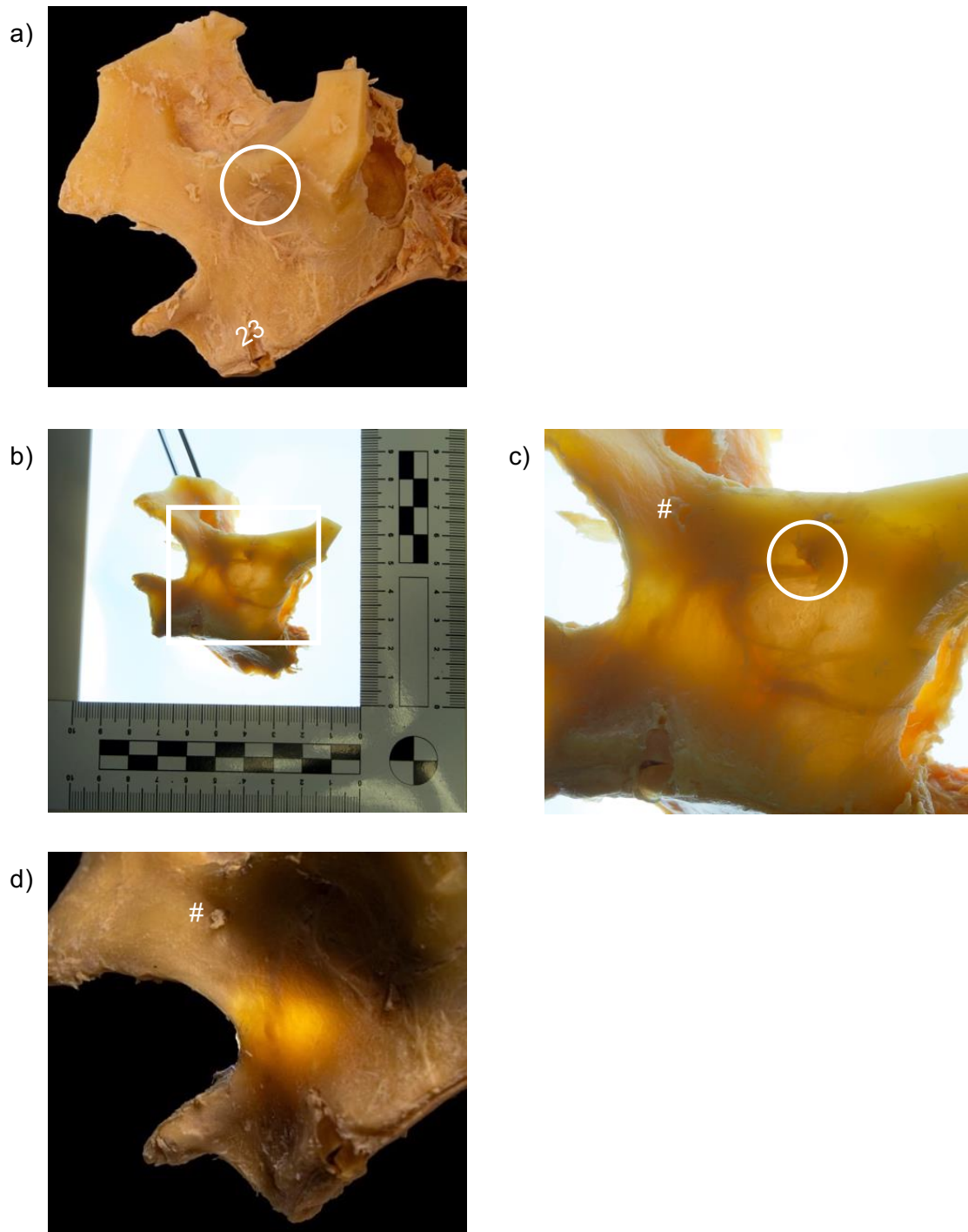


Abb. 16: **Darstellung von Präparat 7**

a) Präparat der linken Maxilla mit Wurzelrest Regio 23, der weitere Alveolarfortsatz ist unbezahnt. Austritt von A., V. und N. infraorbitalis (eingekreist) b) Größendarstellung des Präparats auf dem Lichttisch mit Markierung des Detailausschnitts c) Detailausschnitt der Apexregion 23 auf dem Lichttisch mit For. infraorbitale (eingekreist) d) Beleuchtung der Wand des Sinus maxillaris zur

Detektion intraossärer Strukturen innerhalb der anterioren Sinuswand mit Markierung des akzessorischen For. (#)

Das siebte Maxillapräparat in Abb. 16 war abgesehen von dem Wurzelrest 23 unbezahnt. Die vestibuläre die Wurzel bedeckende Kortikals wurde abgetragen, die Wurzel wurde ebenfalls vestibulär bis zum Wurzelkanal freipräpariert. Die Zahnpulpa war zu sehen sowie feinste Gefäße, welche am Apex in den Zahn hineinzogen.

Mesial des For. infraorbitale war intraossär zunächst für 15 mm waagrecht verlaufend und dann in einem Bogen Richtung Apex 23 ziehend, der C. sinuosus deutlich zu erkennen. Der Verlauf des Kanals unterscheidet sich deutlich zu den zuvor beschriebenen Verläufen. Kaudal des C. sinuosus verlief eine zweite intraossäre Struktur, welche in einem schmaleren Bogen nach posterior zog. Das For. infraorbitale selbst lag nach lateral verlagert, ein zweites, kleineres akzessorisches Foramen (#) befand sich 15 mm mesial und kranial des eigentlichen Foramens.

Auf dem Lichttisch konnte der außergewöhnliche Verlauf des C. sinuosus sehr gut nachvollzogen werden. Der zunächst waagerechte Verlauf und sanfte Bogen nach kaudal unterschied sich deutlich von dem bereits 1939 von Wood-Jones beschriebenen geschlängelten Verlauf des Kanals.

Das lateral in einem engeren Bogen verlaufende Gefäß war auf dem Lichttisch deutlich weiter nachzuverfolgen. Es handelte sich um eine intraossäre Anastomose zwischen der AASA und der AASP.

Durch die Illumination waren die Gefäße des C. sinuosus deutlich zu erkennen, die AASA ließ sich jedoch nicht bis zum Apex 23 weiterverfolgen.

In Präparat sieben konnten sowohl eine intraossäre Anastomose als auch eine Variation des beschriebenen Verlaufs des C. sinuosus dargestellt werden.

3.1.8. Präparat 8

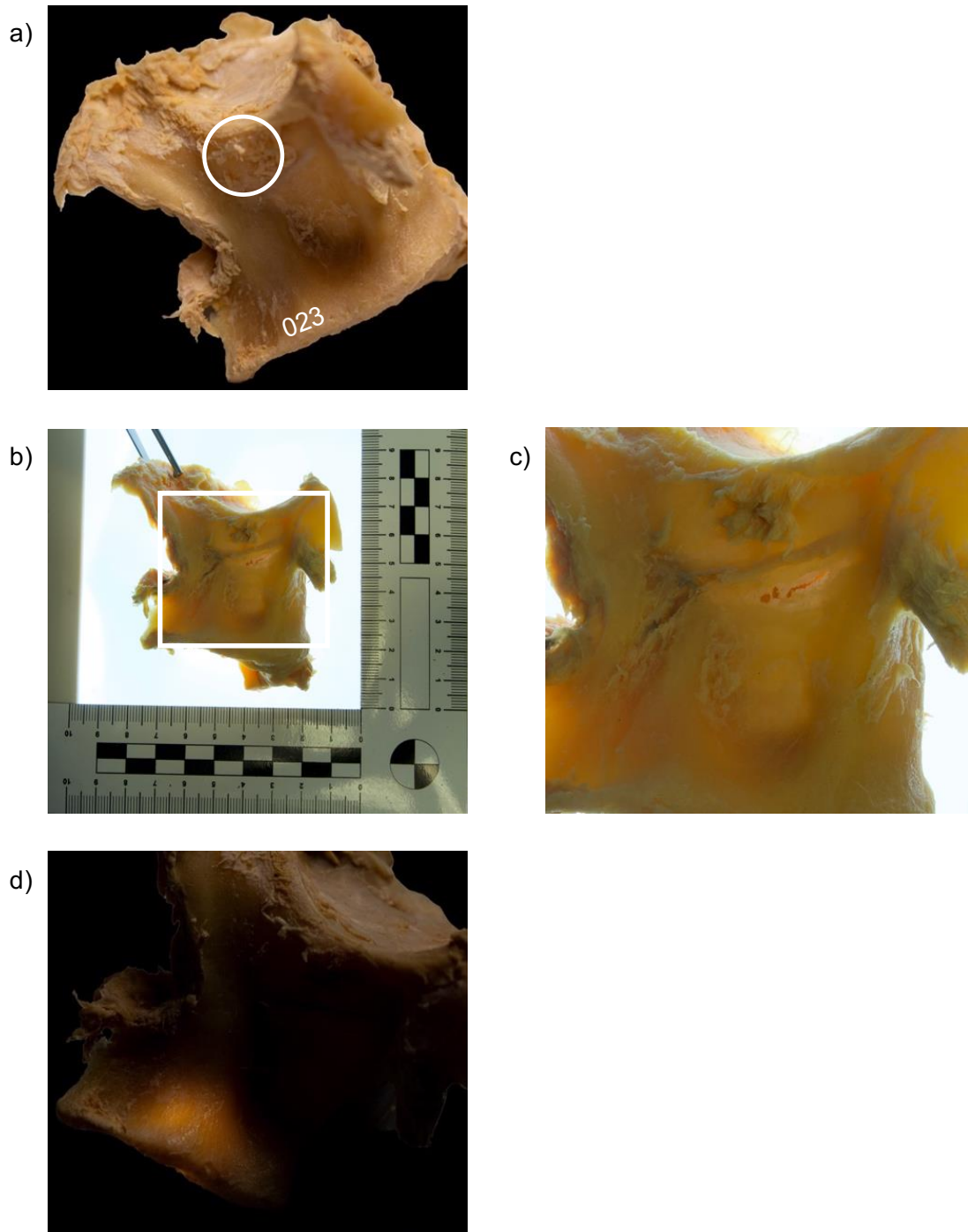


Abb. 17: **Darstellung von Präparat 8**

a) Präparat der zahnlosen linken Maxilla mit atrophiertem Alveolarfortsatz. Austritt von A., V. und N. infraorbitalis (eingekreist) b) Größendarstellung des Präparats auf dem Lichttisch mit Markierung des Detailausschnitts c) Detailausschnitt der Apexregion 023 auf dem Lichttisch d) Beleuchtung der Wand des Sinus maxillaris zur Detektion intraossärer Strukturen innerhalb der anterioren Sinuswand

Das achte Präparat war ein unbezahnter zweiter Quadrant. Der zahnlose Alveolarfortsatz in Abb. 17 war deutlich atrophiert. Die Facies anterior der Maxilla war zwischen der ehemaligen Juga alveolaria des Eckzahnes und dem Tuber maxillare stark konkav geformt. Parallel zur Orbita verlief über eine Länge von 25 mm intraossär ein Gefäß, welches eine Aufwölbung der Kortikalis hervorrief.

Vor der Betrachtung auf dem Lichttisch wurde die faziale Kortikalis abpräpariert, um den Verlauf des Gefäßes weiter nachvollziehen zu können. Kranial der Regio 023 war eine Gabelung des Gefäßes zu sehen. Ein Ast stieg weiter nach mesial auf, der zweite Ast zog im Bogen nach kaudal in Richtung der ehemaligen Apices des Eckzahnes und der Schneidezähne.

Durch die Illumination wurden im Alveolarfortsatz keine intraossären Gefäßverläufe in Präparat acht ersichtlich.

In Präparat acht konnte mit den angewandten Methoden das parallel zur Orbita verlaufende Gefäß dargestellt werden, jedoch keine weiteren Gefäßabgänge sowie intraossären Strukturen im atrophierten Alveolarfortsatz.

3.1.9. Präparat 9

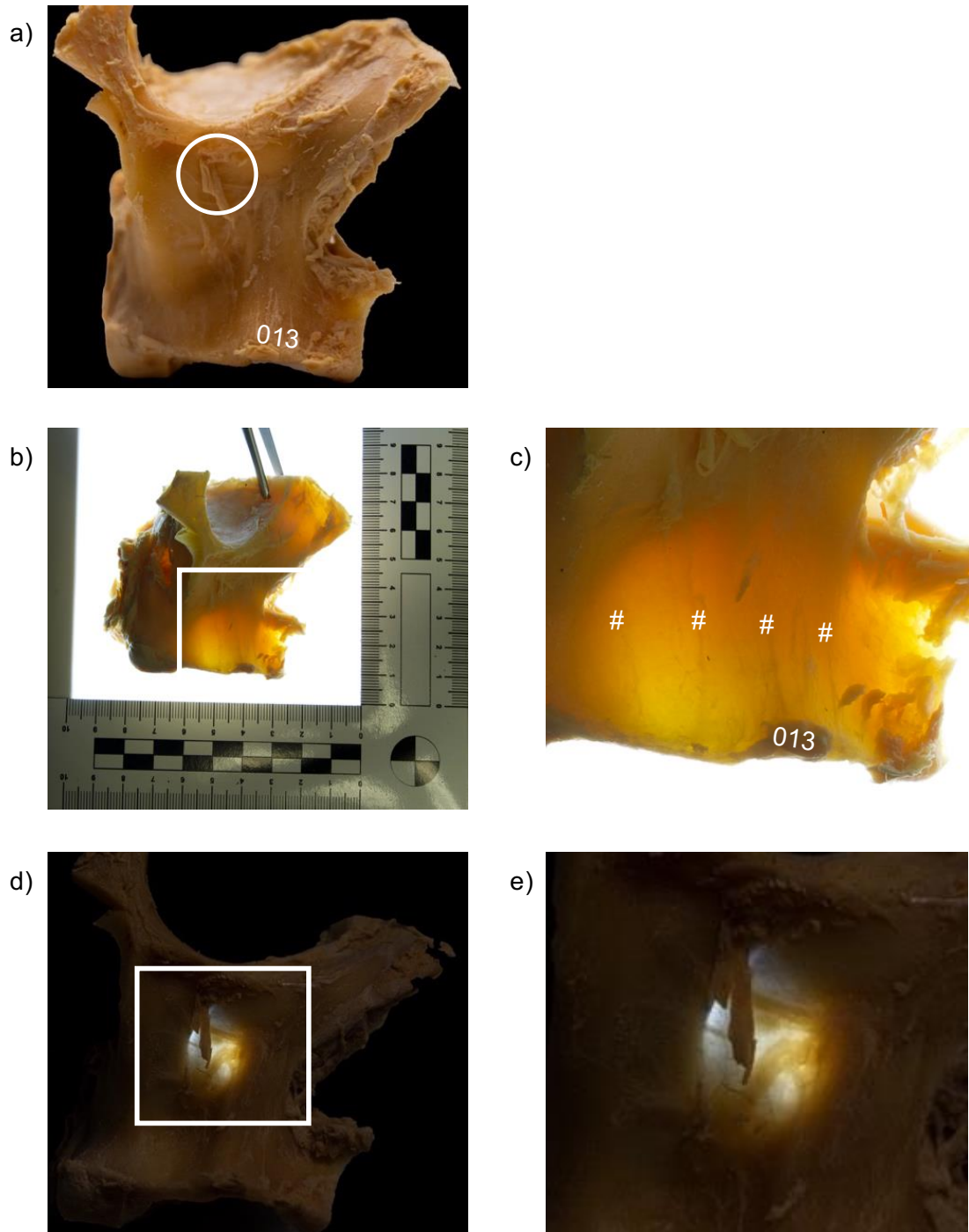


Abb. 18: **Darstellung von Präparat 9**

a) Präparat der zahnlosen rechten Maxilla mit atrophiertem Alveolarfortsatz. Austritt von A., V. und N. infraorbitalis (eingekreist) b) Größendarstellung des Präparats auf dem Lichttisch mit Markierung des Detailausschnitts c) Detailausschnitt der Apexregion 013 auf dem Lichttisch mit markierten Gefäßen (#) d) Beleuchtung der Wand des Sinus maxillaris zur Detektion intraossärer

Strukturen innerhalb der anterioren Sinuswand mit Markierung des Detailausschnitts e)
Detailausschnitt der Apexregion 013

Das neunte Präparat in Abb. 18 war eine rechte unbezahnte Maxilla. Der Alveolarfortsatz war stark atrophiert. Kaudal des For. infraorbitale lief unmittelbar subkortikal ein Gefäß, welches 7 mm vor der lateralen Nasenwand in einem scharfen Bogen nach kaudal zog.

Durch die Beleuchtung auf dem Lichttisch zeigten sich vier sehr kleine, senkrecht verlaufende Gefäße in Regio 015, 014, 013 und 012, welche im Detailausschnitt markiert wurden (#).

Durch die Illumination konnte der waagerechte Verlauf des Gefäßes kaudal des For. infraorbitale anschaulich gemacht werden, der weiter mesial befindliche Verlauf nach kaudal war jedoch nicht darzustellen. Weitere intraossäre Gefäße in der Facies anterior waren im Lichtkegel der Stablampe zu erkennen. Sie verliefen nach posterior und waren eine erneute intraossäre Anastomose der AASA und der AASP.

Im neunten untersuchten Präparat konnten sowohl akzessorische Kanäle als auch eine Anastomose zwischen der AASA und der AASP dargestellt werden.

3.1.10. Präparat 10

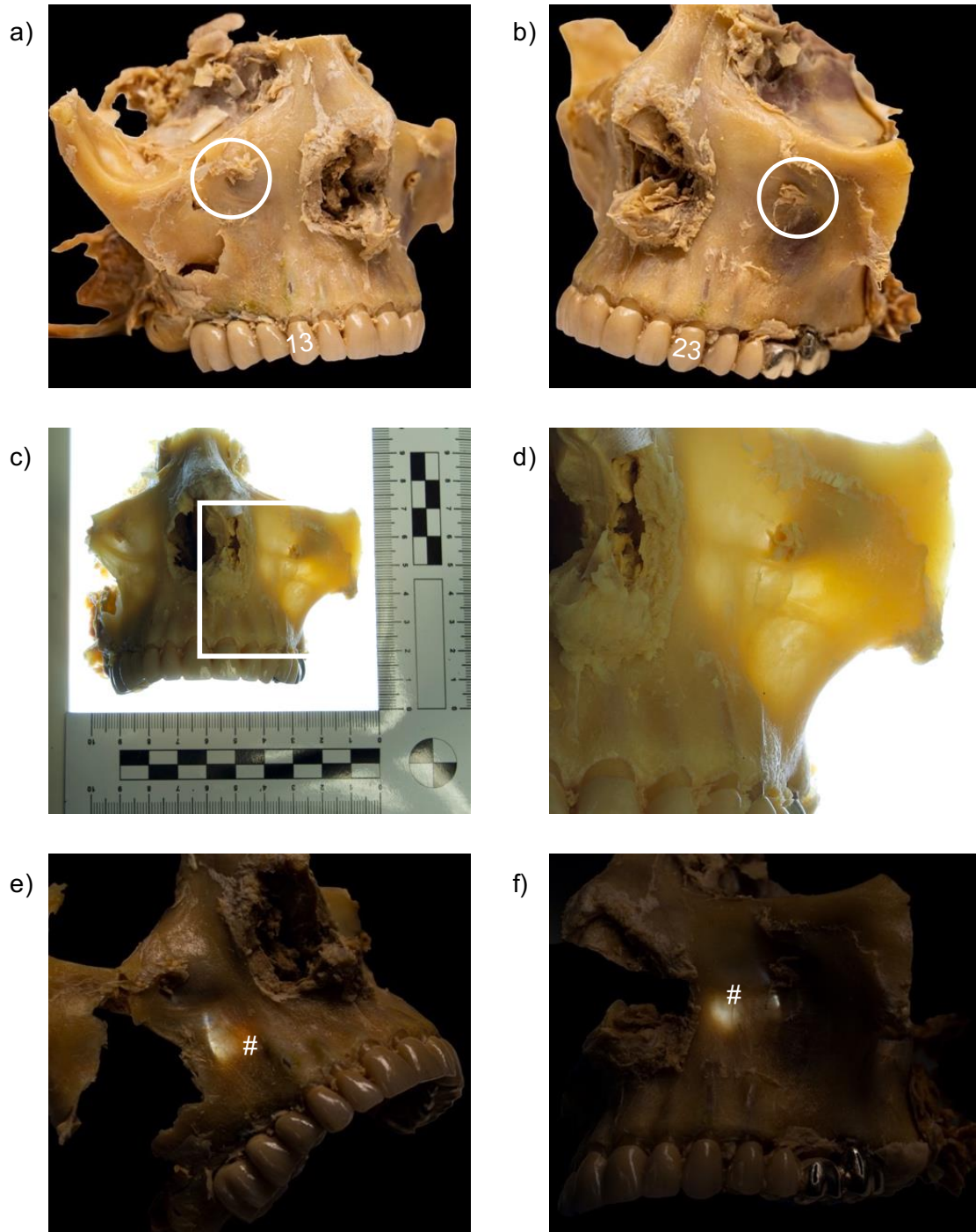


Abb. 19: **Darstellung von Präparat 10**

a) Ansicht der rechten Maxilla mit überkrontem Zahn 13, Kronen von 11-14, Implantate an 015 und 016, Austritt von A., V. und N. infraorbitalis (eingekreist) b) Ansicht der linken Maxilla mit überkrontem Zahn 23, Kronen von 21-24 und 27, Zwischenglieder 025-026, Austritt von A., V. und N. infraorbitalis (eingekreist) c) Größendarstellung des Präparats auf dem Lichttisch mit Markierung des Detailausschnitts d) Detailausschnitt der linken Maxilla mit Apexregion 23 auf

dem Lichttisch e) Beleuchtung der Wand des rechten Sinus maxillaris zur Detektion intraossärer Strukturen innerhalb der anterioren Sinuswand mit markiertem Gefäßabgang (#) f) Beleuchtung der Wand des linken Sinus maxillaris zur Detektion intraossärer Strukturen innerhalb der anterioren Sinuswand mit markiertem Gefäßabgang (#)

Bei dem zehnten untersuchten Präparat in Abb. 19 erfolgte vorbereitend kein Sagittalschnitt. Es konnten sowohl der erste wie auch zweite Quadrant des Oberkiefers betrachtet werden.

Im ersten Quadranten waren die Zähne 11 - 14 mit Kronen versorgt. 015 und 016 wurden durch Implantate ersetzt und ebenfalls mit Kronen versorgt. Vor allem die Radix 13 war nur von sehr dünner Kortikalis überdeckt, die Wurzel lag über einen Bereich von 2 mm bereits frei. Die Facies anterior der Maxilla war sehr dünn, bereits ohne Illumination war die Ausdehnung des Sinus maxillaris erkennbar. Kranial der Regio 015 - 016 war ein Frakturspalt vorhanden. Die Fraktur entstand post mortem im Zuge der Präparation. 4 mm kaudal des For. infraorbitale war ein intraossäres Gefäßbündel zu sehen, welches zunächst leicht mesio-kaudal Richtung lateraler Nasenwand verlief und dann in einem scharfen Knick nach kaudal abzweigte.

Der abgebildete zweite Quadrant des Präparats war von Zahn 21 - 23 mit Einzelkronen versorgt. Zahn 24 und 27 waren die Pfeiler einer teilverblendeten Brücke. Auch bei der linken Maxilla lag eine sehr dünne Facies anterior sowie eine sehr dünne Kortikalis über den Wurzeln der Zähne 23 und 24 vor.

Auf dem Lichttisch wurde der unterschiedliche Gefäßverlauf der rechten und linken Seite gut ersichtlich. In der Detailansicht der linken Seite war ein von distal nach mesio-kaudal verlaufendes Gefäß ersichtlich, welches als AASP mit der AASA anastomoisierte.

Vor der Illumination wurde das dislozierte Fragment der anterioren Kieferhöhlenbegrenzung der rechten Maxilla entfernt. Durch die Illumination ließ sich eine Abzweigung nach lateral erkennen, die Hauptanteile des Gefäßstranges verliefen jedoch senkrecht nach kaudal und wurden in der Abbildung markiert (#).

Illuminiert war bei der linken Maxilla ein direkt kaudal des For. infraorbitale waagrecht zur lateralen Nasenwand laufendes Gefäßbündel zu erkennen. 9 mm vor der Apertura piriformis ging ein sehr kleines Gefäß (#) direkt nach kaudal zwischen die Apices von 23 und 24 ab.

Durch den Vergleich der rechten und linken Maxilla wurde vor allem der unterschiedliche Gefäßverlauf ersichtlich. Akzessorische Kanäle des C. sinuosus waren sowohl rechts als auch links zu finden. Die Anastomose der AASA mit der AASP war durch die rechts dislozierte anteriore Sinuswand nur auf der linken Seite darzustellen.

3.1.11. Präparat 11

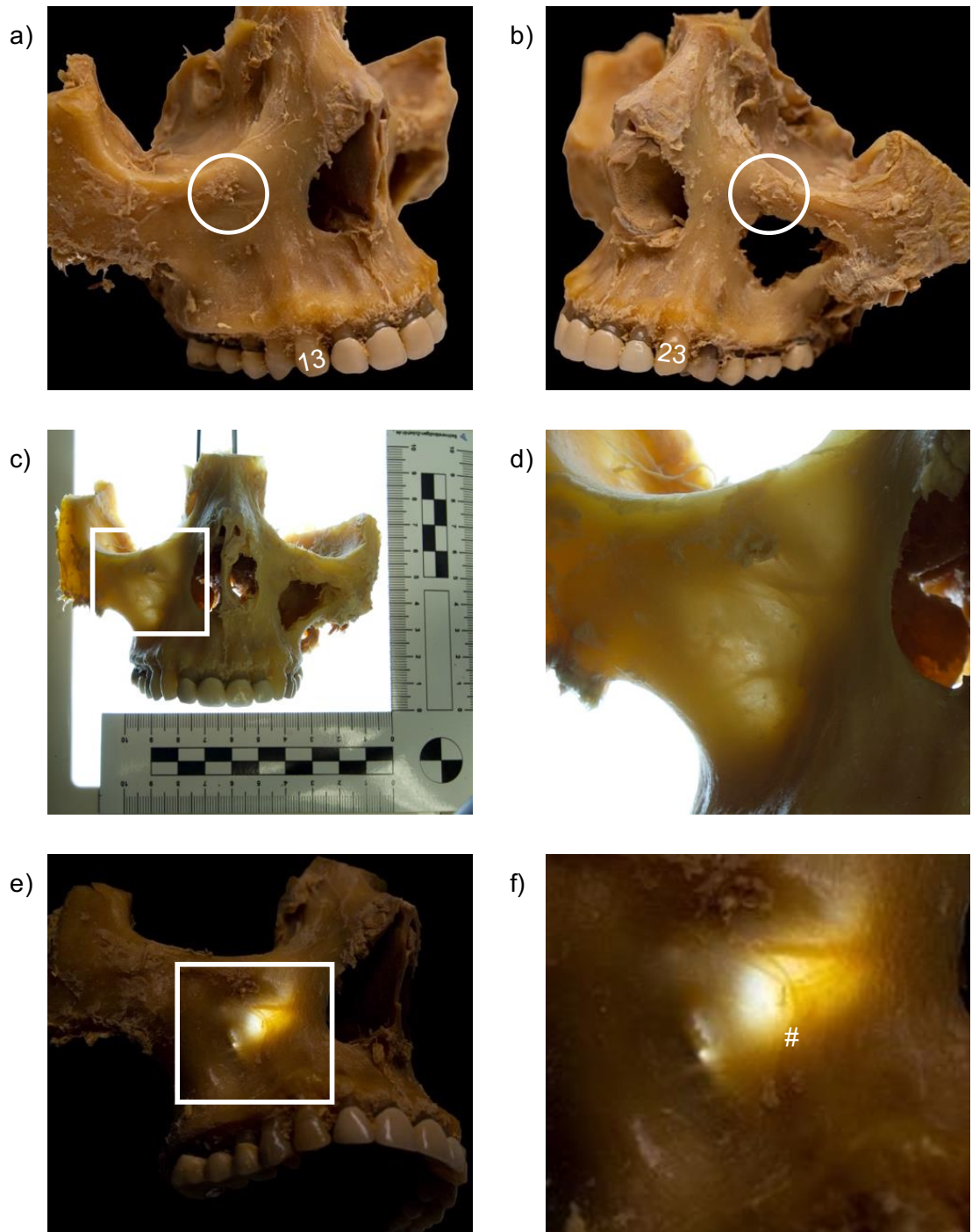


Abb. 20: **Darstellung von Präparat 11**

a) Ansicht der rechten Maxilla mit unbeschleunem Zahn 13, Kronen von 11-12 und Brücke von 15-17, Austritt von A., V. und N. infraorbitalis (eingekreist) b) Ansicht der linken Maxilla mit unbeschleunem Zahn 23, Kronen von 21-22 und Brücke 25-27, Austritt von A., V. und N. infraorbitalis (eingekreist) c) Größendarstellung des Präparats auf dem Lichttisch mit Markierung des Detailausschnitts d) Detailausschnitt der rechten Maxilla mit Apexregion 13 auf dem

Lichttisch e) Beleuchtung der Wand des rechten Sinus maxillaris zur Detektion intraossärer Strukturen innerhalb der anterioren Sinuswand f) Detailausschnitt der Apexregion 13 mit markiertem Gefäßabgang (#)

Bei dem elften untersuchten Präparat in Abb. 20 wurde ebenfalls keine sagittale Spaltung durchgeführt.

Auf der rechten Präparatsseite waren die Zähne 11 und 12 mit VMK-Kronen versorgt. Zahn 15 und 17 waren Pfeiler einer VMK-Brücke. Zahn 13 und 14 waren nicht überkront. Kaudal des For. infraorbitale fand sich der zunächst waagerechte Verlauf des C. sinuosus. Auf Höhe des Zahnes 14 war ein Gefäßabgang nach kaudal zu sehen.

Im zweiten Quadranten waren die Zähne 21 und 22 mit Kronen versorgt, die Zähne 25 und 27 waren die Brückenpfeiler des ersetzten Zahnes 026. Zahn 24 wies die charakteristische Graufärbung eines endodontisch behandelten, devitalen Zahnes auf. Die anteriore Kieferhöhle war apikal der Zähne 25 - 27 gefenstert. Direkt mesial der Fensterung zweigte ein kleines Gefäß nach kaudal in die Richtung des Apex 24 ab. Das Hauptgefäß verlief weiter mesial.

Auch die frontale Ansicht auf dem Lichttisch zeigte ebendiesen Verlauf des Gefäßes auf der rechten Seite deutlich.

Durch die Illumination der Kieferhöhle konnte in der Detailansicht der posteriore Abgang (#) aus dem Gefäßstrang nach kaudal mit seinem bogenförmigen Verlauf Richtung Apex 14 gezeigt werden.

Auch im untersuchten Präparat elf konnte ein akzessorischer Angang des C. sinuosus dargestellt werden.

3.1.12. Präparat 12

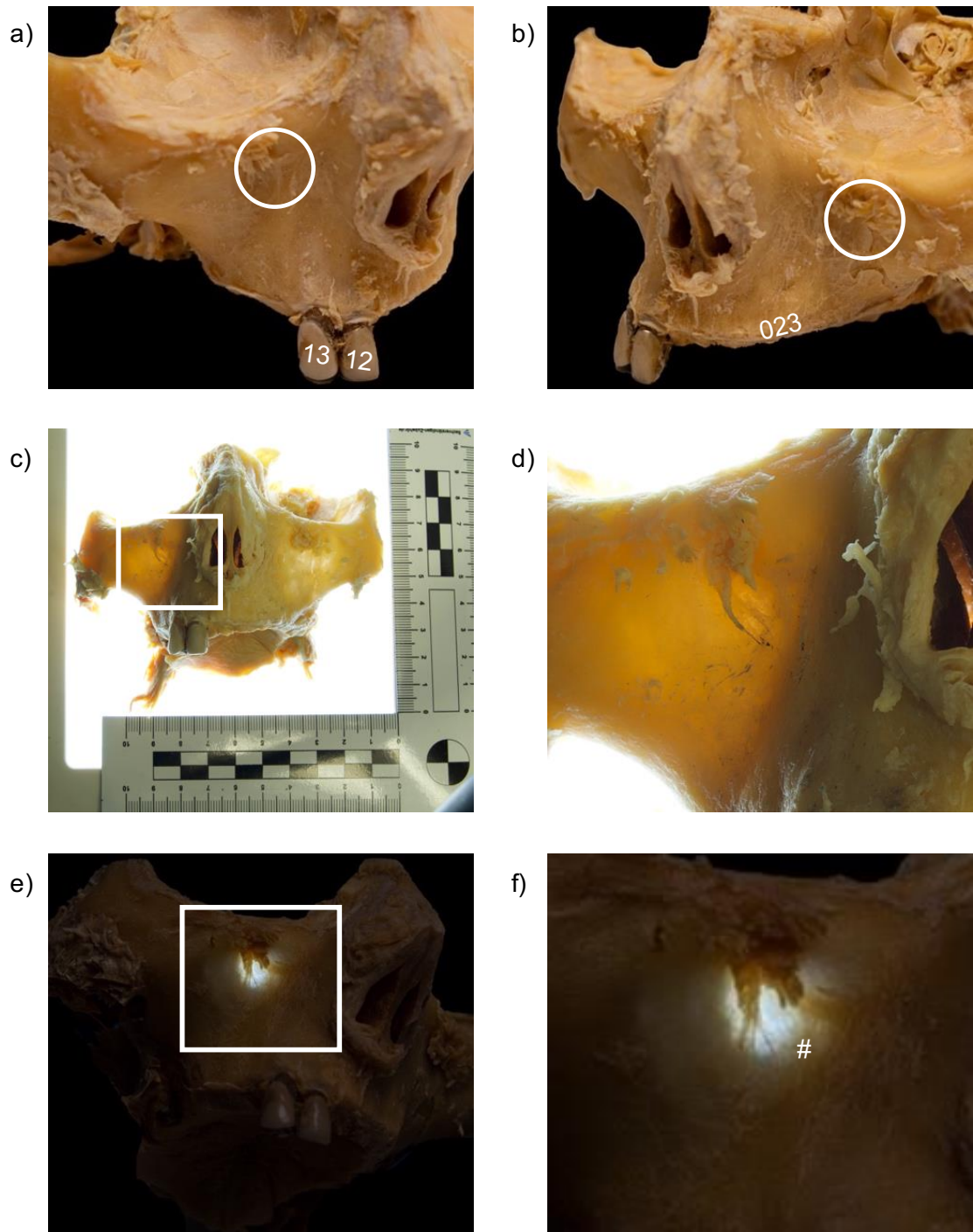


Abb. 21: **Darstellung von Präparat 12**

a) Ansicht der rechten Maxilla mit überkrotem Zahn 13, Krone 12, der distale Alveolarfortsatz ist zahnlos und atrophiert, Austritt von A., V. und N. infraorbitalis (eingekreist) b) Ansicht der linken zahnlosen Maxilla mit atrophiertem Alveolarfortsatz, Austritt von A., V. und N. infraorbitalis (eingekreist) c) Größendarstellung des Präparats auf dem Lichttisch mit Markierung des Detailausschnitts d) Detailausschnitt der rechten Maxilla mit Apexregion 13 auf dem Lichttisch e) f) Detailausschnitt der rechten Maxilla mit Apexregion 13 auf dem Lichttisch

Beleuchtung der Wand des rechten Sinus maxillaris zur Detektion intraossärer Strukturen innerhalb der anterioren Sinuswand f) Detailausschnitt der Apexregion 13 mit markiertem Gefäßabgang (#)

Das zwölfte Präparat in Abb. 21 wurde nicht im Sagittalschnitt geteilt.

Die rechte Seite wies einen Restzahnbestand von den beiden überkronten Zähnen 12 und 13 auf. Der distale Alveolarkamm war deutlich atrophiert. 9 mm neben dem For. infraorbitale, apikal des Zahnes 13 waren viele kleinste Gefäße zu sehen, welche in der Kortikalis nach kaudal verzweigten.

Die linke Maxilla dieses Präparats war unbezahnt. Mesial des For. infraorbitale waren zehn kleine, direkt in der Kortikalis gelegene, nach kaudal verlaufende und immer wieder Anastomosen bildende Gefäße ersichtlich.

Durch die frontale Ansicht auf dem Lichttisch war das nur unilateral auf der rechten Seite ersichtliche lateral den C. sinuosus verlassende Gefäß gut darstellbar. Der intraossäre Gefäßverlauf in der rechten und linken Maxilla war nicht identisch.

Durch die Illumination wurde in der Detailansicht in der rechten anterioren Kieferhöhlenwand der, vom For. infraorbitale Richtung lateraler Nasenwand laufende C. sinuosus (#) sichtbar wie auch ein direkt 5 mm unter dem Foramen nach kaudal Richtung Regio 014 abzweigender Ast.

In Präparat zwölf konnten sowohl der C. sinuosus als auch akzessorische Kanäle dargestellt werden.

3.1.13. Präparat 13

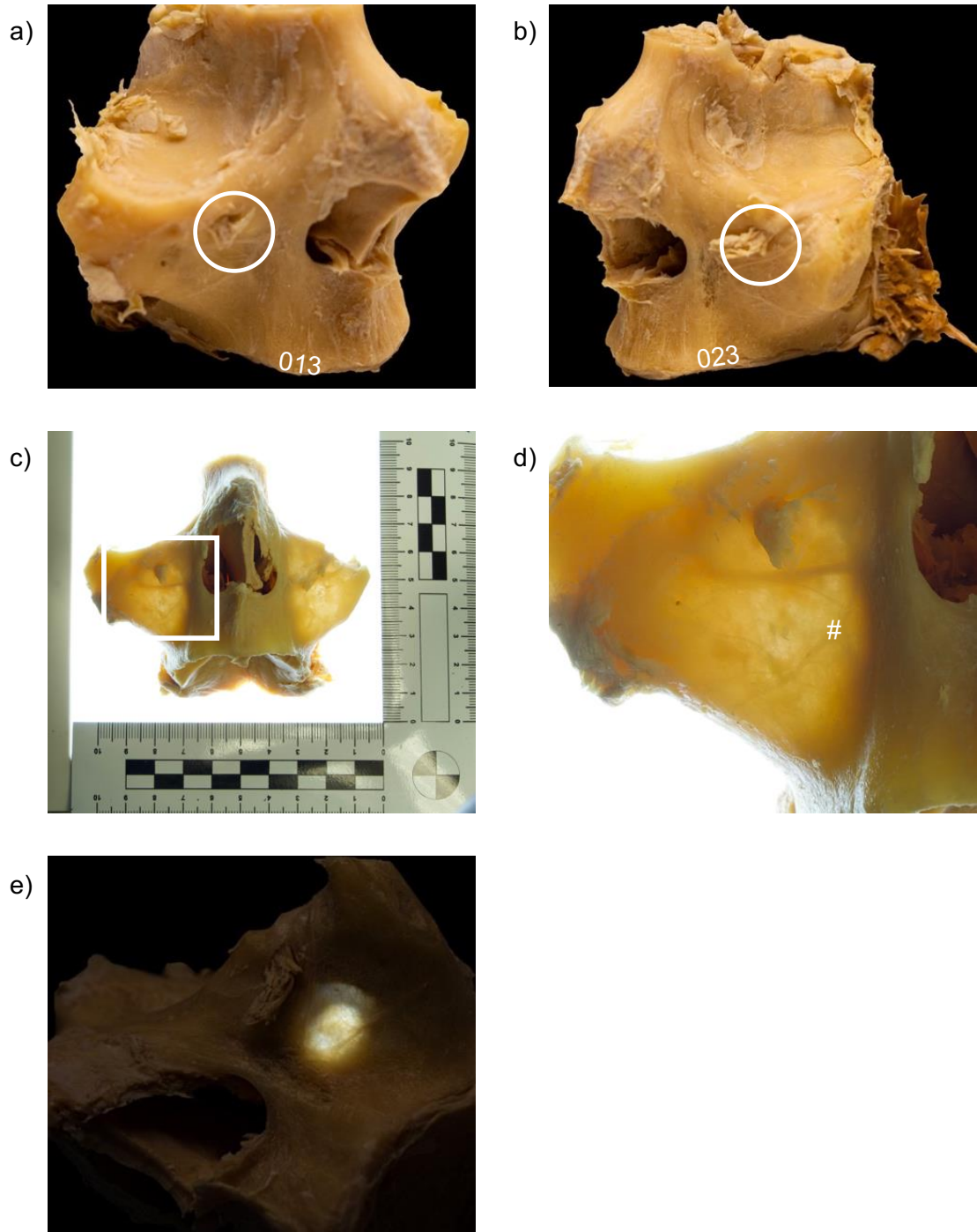


Abb. 22: **Darstellung von Präparat 13**

a) Ansicht der rechten zahnlosen Maxilla mit atrophiertem Alveolarfortsatz, Austritt von A., V. und N. infraorbitalis (eingekreist) b) Ansicht der linken zahnlosen Maxilla mit atrophiertem Alveolarfortsatz, Austritt von A., V. und N. infraorbitalis (eingekreist) c) Größendarstellung des Präparats auf dem Lichttisch mit Markierung des Detailausschnitts d) Detailausschnitt der rechten Maxilla mit Apexregion 013 auf dem Lichttisch mit markiertem Gefäßabgang (#) e) Beleuchtung

der Wand des linken Sinus maxillaris zur Detektion intraossärer Strukturen innerhalb der anterioren Sinuswand

Bei dem letzten ungeteilten untersuchten Präparat in Abb. 22 waren die rechte wie auch die linke Maxilla unbezahnt. Der gesamte Alveolarfortsatz war atrophisch.

Auf der rechten Seite verlief ein von lateral 4 mm kaudal unter dem For. infraorbitale zur Apertura piriformis ziehendes Gefäß, welches apikal der Regio 013 eine Anastomose mit einem von weiter kaudal kommendem Gefäß bildete. 10 mm unterhalb des Foramens befand sich ein weiterer Ast, welcher von der Anastomose abzweigte. Auf dem gesamten vestibulären Alveolarfortsatz rechts, wie auch links, befanden sich oberflächlich in der Kortikalis feinste senkrecht verlaufende Gefäße.

Auf der linken Seite des Präparats ließ sich der Verlauf der A. infraorbitalis im C. infraorbitalis im Orbitaboden erkennen. Der Abgang der AASA aus dem C. infraorbitalis erfolgte 10 mm vor Austritt aus dem Foramen. Die AASA selbst verlief gerade statt bogenförmig auf die laterale Nasenwand zu. Auch sie anastomosierte mit einem von latero-kaudal nach mesial ziehendem Gefäß apikal der Regio 025.

Auf dem Lichttisch war auch bei diesem untersuchten Präparat ein ungleicher Verlauf der Gefäße der rechten und linken Seite festzustellen.

Durch die Illumination war die Anastomose der AASA mit dem kaudaleren Gefäß der AASP ersichtlich. Der Abgang nach kaudal Richtung Alveolarfortsatz erfolgte aus beiden Gefäßen.

In Präparat dreizehn konnten sowohl die Anastomosen der AASA mit der AASP als auch akzessorische Kanäle des C. sinuosus dargestellt werden.

3.1.14. Zusammenfassung der makroskopischen Ergebnisse

Präparat		Canalis sinuosus	Akzessorischer Kanal	Anastomose der AASA und AASP	Zahnstatus Regio 13/23
1		+	+	-	Teleskopkrone
2		-	-	+	VMK-Krone
3		+	+	-	Natürlicher Zahn
4		-	-	-	VMK-Krone
5		+	+	-	Natürlicher Zahn
6		+	-	-	VMK-Krone
7		+	-	+	Natürlicher Zahn*
8		-	-	-	Unbezahnt
9		+	+	+	Unbezahnt
10	re	+	+	/	VMK-Krone
	li	+	+	+	VMK-Krone
11	re	+	+	-	Natürlicher Zahn
	li	+	+	/	Natürlicher Zahn
12	re	+	+	-	VMK-Krone
	li	+	+	-	Unbezahnt
13	re	+	+	+	Unbezahnt
	li	+	+	+	Unbezahnt

Tabelle 2: **Ergebnisse des makroskopischen Versuchsteils**

(+=anatomische Struktur war darstellbar, -= anatomische Struktur war nicht darstellbar,

/= Beurteilung konnte nicht erfolgen, *= Wurzelrest)

Die Ergebnisse des makroskopischen Versuchsteils wurden in

Tabelle 2 dargestellt. Die Detailbeschreibungen der untersuchten Präparate von 3.1.1 – 3.1.13 ergaben in 14 von 17 Fällen das Vorhandensein eines C. sinuosus. In sechs der 17 untersuchten Fälle konnten prominente Anastomosen der AASA und der AASP nachgewiesen werden.

Bei allen vier bilateral betrachteten Präparaten lag ein rechts und links asymmetrischer Gefäßverlauf vor, wobei sich bei den in Abschnitt 3.1.10 und 3.1.11 betrachteten Präparaten auf Grund einer Fraktur sowie der anterioren Kieferhöhlenfensterung nicht der gesamte Gefäßverlauf in beiden Kieferhälften nachvollziehen ließ.

In Abb. 23/ Abb. 24 wurde der Nachweis eines Kanals auf die untersuchte Gesamtmenge n=17 der Maxillapräparate dargestellt. In 14 von 17 Präparaten konnte ein Kanal ersichtlich gemacht werden. Zwölf der 14 Präparate wiesen neben dem C. sinuosus einen oder mehrere kleinere akzessorische Kanäle auf. In drei Präparaten konnte kein Nachweis erfolgen.

Nachweis des C. sinuosus und akzessorischer Kanäle

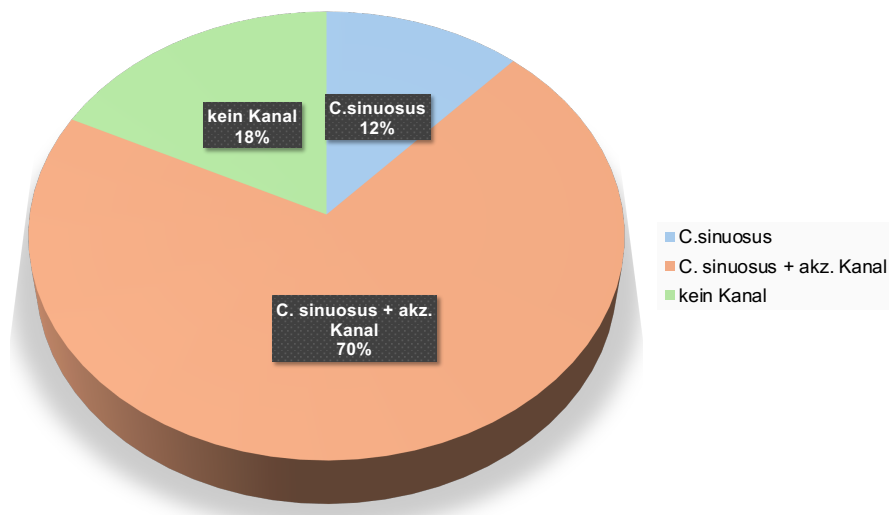


Abb. 23: Nachweis des C. sinuosus und akzessorischer Kanäle

Nachweis des C. sinuosus und akzessorischer Kanäle

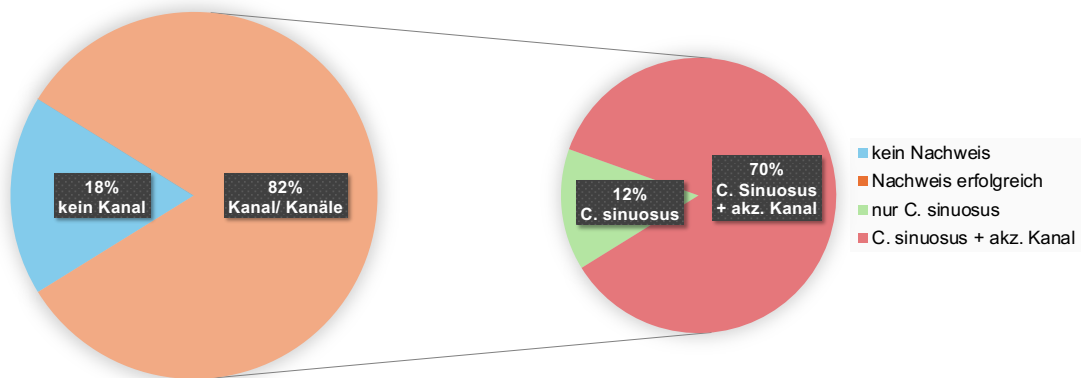


Abb. 24: Nachweis des C. sinuosus und akzessorischer Kanäle

Die linke Grafik zeigt den Anteil an erfolgreichen (orange) und nicht-erfolgreichen (blau) Nachweisen des C. sinuosus, die rechte Grafik zeigt die weitere Unterteilung des orangenen Teilbereichs

Die Ergebnisse wurden anschließend mit Bezug auf den Zahnstatus betrachtet. Insgesamt waren fünf Präparate unbezahlt in der Regio 013/ 023, zwölf wiesen einen Eckzahn auf. Von den zwölf bezahlten Präparaten waren fünf natürliche, unbeschiffene Zähne, von denen wiederum einer als Wurzelrest vorlag. Sieben Eckzähne waren überkront.

In Abb. 25 wurde der Zahnstatus der untersuchten Präparate mit ausschließlich nachgewiesenem *C. sinuosus* dargestellt. Vier Präparate waren unbezahlt, zehn Präparate wiesen einen Eckzahn auf. Davon waren fünf unbeschiffene Zähne und ebenfalls fünf waren überkront.

Nachweis des *C. sinuosus* mit Bezug zum Zahnstatus

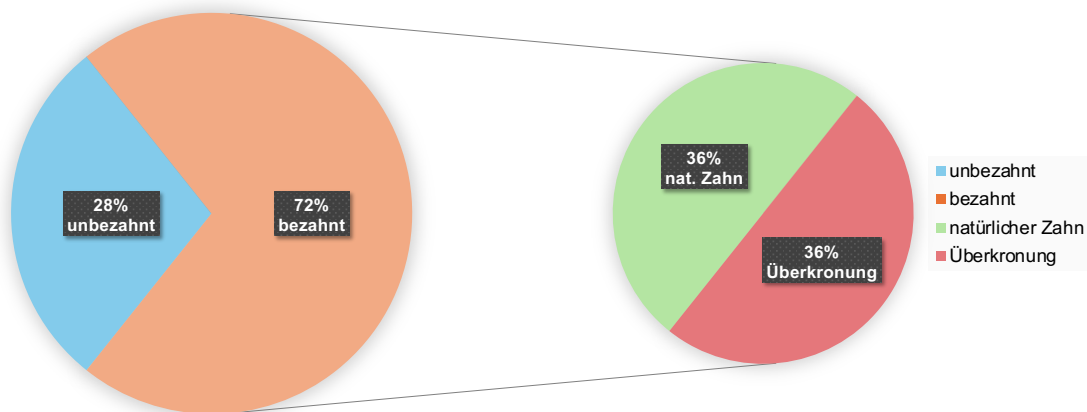


Abb. 25: **Nachweis des *C. sinuosus* mit Bezug zum Zahnstatus**

Die linke Grafik zeigt den Anteil an bezahlten (orange) und unbezahlten (blau) Körperspender*innen mit Nachweis des *C. sinuosus*, die rechte Grafik zeigt die weitere Unterteilung des orangenen Teilbereichs

In Abb. 26 wurde der Zahnstatus der untersuchten Präparate mit sowohl nachgewiesenem *C. sinuosus* als auch nachgewiesenen akzessorischen Kanälen dargestellt. Vier Präparate waren unbezahlt, acht Präparate wiesen einen Eckzahn auf. Davon waren vier Zähne unbeschliffen und vier waren überkront. Nur bei Körperspender*innen mit nachgewiesenem *C. sinuosus* konnten auch akzessorische Kanäle dargestellt werden.

Nachweis des *C. sinuosus* und akzessorischer Kanäle mit Bezug zum Zahnstatus

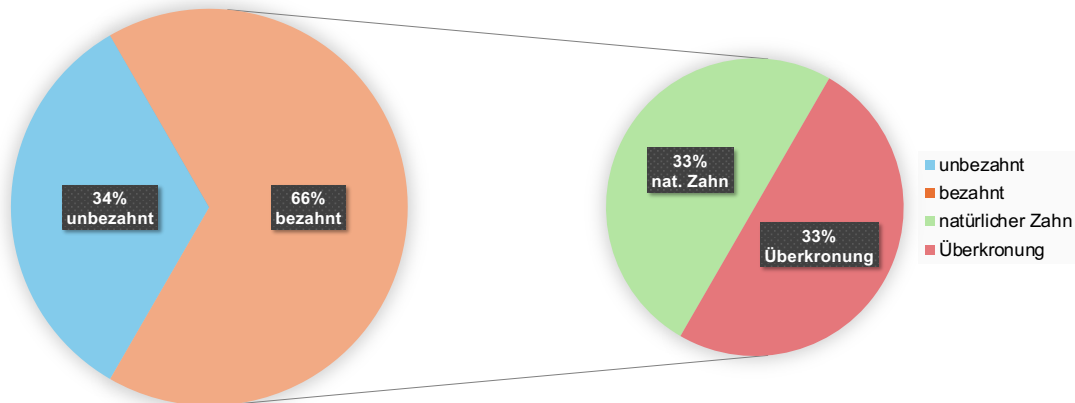


Abb. 26: **Nachweis des *C. sinuosus* und akzessorischer Kanäle mit Bezug zum Zahnstatus**

Die linke Grafik zeigt den Anteil an bezahlten (orange) und unbezahlten (blau) Körperspender*innen mit Nachweis des *C. sinuosus* und akzessorischer Kanäle, die rechte Grafik zeigt die weitere Unterteilung des orangenen Teilbereichs

3.2. Mikroskopischer Versuchsteil

Durch die Histologie konnte gezeigt werden, dass in den präparierten Knochenfragmenten Arterien verlaufen. Die Präparate stammten aus der in Abb. 9 dargestellten Region der Maxillae und enthielten den C. sinuosus sowie, wenn vorhanden, akzessorische Kanäle.

Zwei Präparate, in welchen die Arterie im C. sinuosus nachgewiesen werden konnte, wurden in Abb. 27 in Bild a) und c) betrachtet. Je eine rechteckige Markierung zeigt die Position der in Bild b) und d) dargestellten Detailansicht der Präparate.

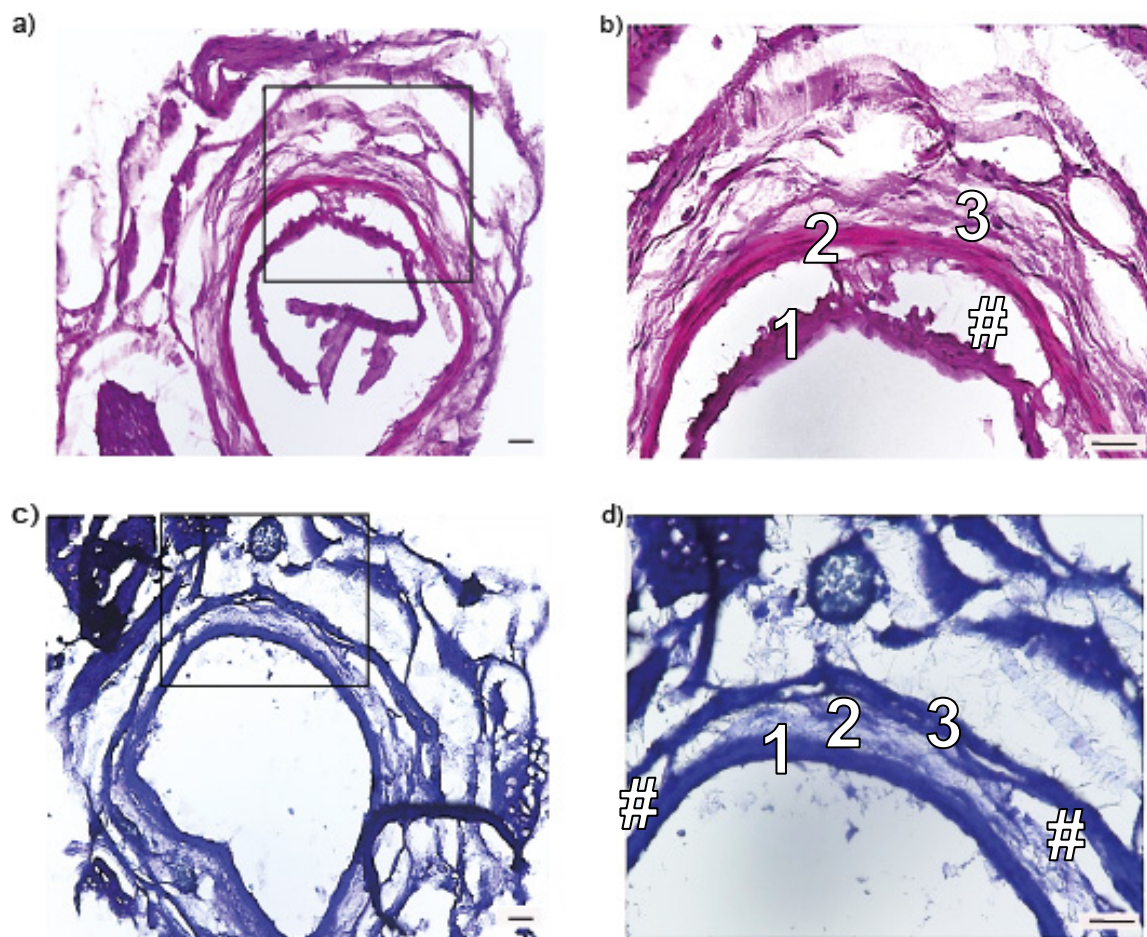


Abb. 27: **Mikroskopische Betrachtung der Arterie im C. sinuosus**

a) Präparat 6 mit Markierung des Detailausschnitts; b) Präparat 6 im Detailausschnitt mit Erläuterungen: Tunica intima (1), Tunica media (2) Tunica externa (3); c) Präparat 11 mit Markierung des Detailausschnitts; d) Präparat 11 im Detailausschnitt mit Erläuterungen: Tunica intima (1), Tunica media (2) Tunica externa (3). # = Artefakt; HE-Färbung; Maßstabsbalken = 100 μm

Der dreischichtige Wandbau aus Tunica intima, Tunica media und Tunica externa bzw. Adventitia war in den Präparaten gut ersichtlich.

Durch den Einbett-, Schneid- und histologischen Färbeprozess war in Präparat 6, welches in Bild a) und als Detailaufnahme in Bild b) der Abb. 27 gezeigt ist, ein nahezu zirkulärer artefaktischer Spalt (#) zwischen den Schichten entstanden, zusätzlich war die Tunica intima eingerissen.

In Präparat 11, ersichtlich in Bild c) und Detailaufnahme d) der Abb. 27, war ebenfalls ein solcher Spalt (#) zwischen Tunica intima (1) und Tunica media (2) sowie auch zwischen Tunica media (2) und Tunica externa (3) entstanden.

Die in mehreren dichten Schichten angeordneten glatten Muskelzellen der Tunica media ließen sich in Präparat 11 gut erkennen. In der Adventitia waren Kollagenfasern zu erkennen. In Abb. 27 d) desselben Präparats Nummer 11 ist der mehrschichtige Wandaufbau mit Ziffern gekennzeichnet.

Ein Präparat, in welchem die Arterie im akzessorischen Kanal nachgewiesen werden konnte, wurde in Abb. 28 in Bild a) betrachtet. Eine rechteckige Markierung zeigt die Position der in Bild b) dargestellten Detailansicht des Präparats.

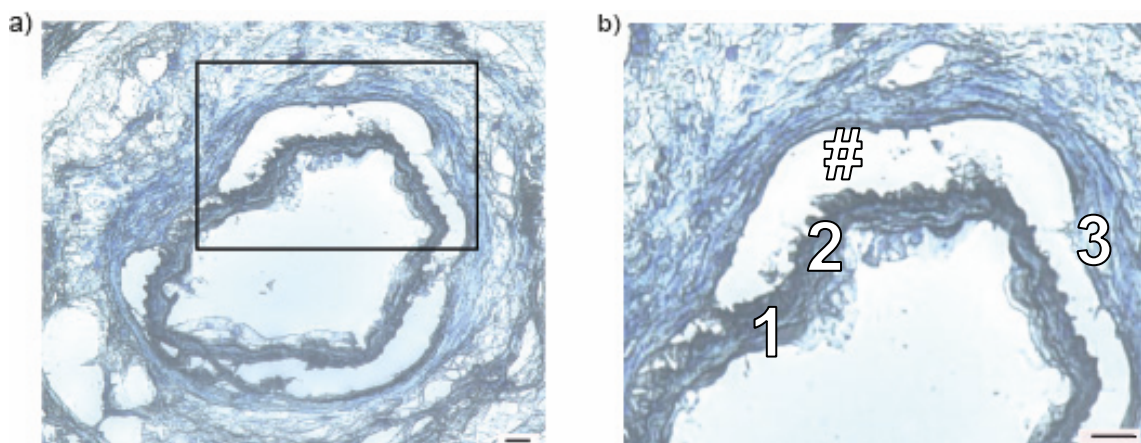


Abb. 28: **Mikroskopische Betrachtung der Arterie im akzessorischen Kanal**

a) Präparat 9 mit Markierung des Detailausschnitts; b) Präparat 9 im Detailausschnitt mit Erläuterungen: Tunica intima (1), Tunica media (2) Tunica externa (3). # = Artefakt; AZAN-Färbung; Maßstabsbalken = 30 µm

Auch in Präparat 9 war der dreischichtige Wandbau aus Tunica intima, Tunica media und Tunica externa gut ersichtlich. Dieses Präparat wies ebenfalls einen nahezu zirkulären artefaktischen Spalt (#) zwischen Tunica intima und Tunica media auf.

4. Diskussion

In dieser Arbeit wurde die Vaskularisation der anterioren Maxilla makroskopisch und mikroskopisch bei Körperspender*innen mit besonderer Betrachtung der Gefäßversorgung des Eckzahnes untersucht.

Die erhaltenen Ergebnisse sollten besonders unter folgenden Fragestellungen betrachtet werden:

- Ist der Ursprung der arteriellen Versorgung des Eckzahnes immer von der AASA ausgehend?
- Gibt es eine eigenständige Arterie, die nur den Eckzahn versorgt?
- Hat der Zahnstatus Einfluss auf die Vaskularisation des Eckzahnes?

Die Ergebnisse der makroskopischen Betrachtung der Maxillae in Kapitel 3.1.1 bis 3.1.13 zeigten vor allem eine hohe Variabilität der arteriellen Versorgung sowohl im Gefäßverlauf der anterioren Maxilla als auch in der direkten Versorgung des Eckzahnes. Besonders auffallend war, dass selbst innerhalb eines Individuums der Gefäßverlauf der rechten und linken Maxilla nicht identisch war.

Die Vaskularisation erfolgte dabei jedoch in allen Fällen, wie bereits 1918 beschrieben und noch als gültig erachtet, durch die AASA, welche der A. infraorbitalis aus der Pars pterygopalatina der A. maxillaris entspringt (Gray and Lewis, 1918, Paulsen and Waschke, 2011, Samandari and Mai, 1995).

Der Fragestellung nach einem einheitlichen Ursprung der arteriellen Versorgung des Eckzahnes konnte in dieser Studie also insoweit zugestimmt werden, dass es sich mit der AASA um die gleichen zuführenden Gefäße handelte. Ihr Verlauf war jedoch weitaus variabler als bisher beschrieben.

Zusätzlich ließ sich in 14 Fällen der bereits 1939 beschriebene C. sinuosus darstellen. Jones beschrieb den Knochenkanal mit seinem zweifach bogenförmigen Verlauf. Der erste Bogen verläuft Richtung Apertura piriformis, der Zweite kaudal der Nasenöffnung in Richtung der Zahnapizes (Jones, 1939). In zwölf Fällen entsprach der Verlauf jedoch nicht genau den von Jones beschriebenen Bögen in der anterioren Maxilla. Oftmals verlief der C. sinuosus zunächst waagrecht, um später in schärferen Bögen nach kaudal zu ziehen

oder größere akzessorische Kanäle abzugeben. Auch konnten bei den Präparatbetrachtungen 3.1.7, 3.1.9 und 3.1.10 Anastomosen der AASA und AASP nachgewiesen werden, welche in den C. sinuosus führten.

Von 14 Maxillapräparaten mit C. sinuosus wiesen zwölf einen oder mehrere akzessorische Kanäle auf. Diese Zahlen liegen etwas über den Ergebnissen anderer Arbeiten, welche das Vorkommen akzessorischer Kanäle mit einer Häufigkeit von bis zu 80% beschreiben (de Oliveira-Neto et al., 2023, Machado et al., 2016). Diese Diskrepanz kann sowohl mit der zugrundeliegenden Fallzahl als auch mit dem unterschiedlichen Studiendesign erklärt werden. Bisherige Arbeiten basieren auf dreidimensionalen Röntgenuntersuchungen lebender Proband*innen. Die Darstellungsmöglichkeit kleinster akzessorischer Kanäle ist dabei durch die gewählte Schichtdicke der Aufnahmen limitiert.

Variationen in der Verlaufsform des Kanals wurden erstmals auch von Devathambi beschrieben (Devathambi and Aswath, 2024). Andere Publikationen übernahmen den 1939 von Jones dargelegten Verlauf (Bliggenstorfer et al., 2021, Jones, 1939).

Die arterielle Versorgung des Eckzahnes unterschied sich in dieser Studie sowohl in der Verlaufsform des C. sinuosus als auch in Verlaufsform und Anzahl akzessorischer Kanäle. Es konnten Knochenkanäle dargestellt werden, welche direkt kaudal des For. infraorbitale abzweigen und direkt zum Eckzahn verliefen. Jedoch handelte es sich bei den dargestellten Gefäßen um akzessorische Kanäle des C. sinuosus und nicht um eine eigenständige Arterie, welche ausschließlich den Eckzahn versorgte.

Während Untersuchungen von 2012 den C. sinuosus und akzessorische Kanäle noch als seltene anatomische Variation beschrieben (Neves et al., 2012), geht man heute von einer regelrechten anatomischen Struktur aus (Aoki et al., 2020, Devathambi and Aswath, 2024). Je nach Studie wird das Vorkommen des C. sinuosus mit 52,1 - 88% angegeben. Alle Untersuchungen betrachteten jedoch Kegelstrahl-Computertomographie-Datensätze (Machado et al., 2016, Gurler et al., 2017, Orhan et al., 2018, Aoki et al., 2020, Anatoly et al., 2019).

In dieser Arbeit wurde der C. sinuosus in 82% der Fälle durch makroskopische Untersuchungen nachgewiesen. Diese Prozentzahl stimmt somit mit dem Stand der Literatur überein.

Bisherige Untersuchungen zum C. sinuosus betrachteten nicht die Dentition der untersuchten Proband*innen.

Die Betrachtung der Ergebnisse dieser Arbeit mit Blick auf den Zahnstatus der Körperspender*innen ergab sowohl für den Nachweis des C. sinuosus als auch für den Nachweis akzessorischer Kanäle die gleiche Auftretenswahrscheinlichkeit bei überkronten wie auch bei unbeschleunigten Zähnen (siehe Abb. 25 und Abb. 26).

Es ließ sich durch diese Studie kein Zusammenhang zwischen der Ausprägung der Gefäßversorgung der Eckzähne und ihrer Vitalität herstellen.

Die überkronten Zähne der Körperspender*innen können nicht generell mit devitalen Zähnen gleichgesetzt werden. Das Beschleifen der Zähne wird in Zusammenhang mit Überkronungen als Hauptrisikofaktor für Pulpaschädigung angesehen (Gente, 2007). In Abhängigkeit zu der gewählten prothetischen Versorgung musste bei den Körperspender*innen im Rahmen der zahnärztlichen Zahnpräparation ausreichend Zahnhartsubstanz abgetragen werden, um die werkstoffkundlichen und konstruktionsbedingten Kriterien zu erfüllen (Kern et al., 2022b, Geis-Gerstorfer et al., 2012). Dies sind jedoch nur Hinweise auf eine Devitalität und diese lässt sich post-mortem nicht mehr eindeutig feststellen.

Eine weiterführende Untersuchung an lebenden Proband*innen sollte die Ausprägung der Gefäßversorgung in Hinblick auf die Vitalität der Zähne betrachten. Auch der Einfluss zahnmedizinischer Interventionen, wie zum Beispiel endodontische Behandlungen oder Operationen, auf die Angiogenese der anterioren Maxilla sollte weiter untersucht werden.

Die Ergebnisse dieser Arbeit müssen kritisch im Hinblick auf die gewählte Methodik betrachtet werden.

Dem Beginn der praktischen Arbeit mit den Körperspender*innen ging eine sorgfältige Selektion voraus. Für die Untersuchungen sollten hauptsächlich Körperspender*innen in Betracht gezogen werden, welche noch einen Eckzahn besaßen. In dieser Arbeit wurde jedoch mit Körperspender*innen gehobenen Alters (älter als 65 Jahre) gearbeitet. So wies der Großteil der Spender*innen bereits ein stark reduziertes Restgebiss auf. Zahnlosigkeit ist heute im Alter ist zwar rückläufig, der Gruppe der über 65-jährigen fehlen in vergleichenden Studien jedoch die meisten Zähne (Kocher et al., 2021). Mit dem Alter korreliert

ein erhöhter DMFT-Index (Decayed-missing-filled-teeth-Index) (Jordan et al., 2014). Es wurden zwölf Maxillae mit Eckzahn in die Untersuchung miteinbezogen. Weitere fünf Maxillae wurden nach sorgfältiger Selektion auch ohne Eckzahn mit in die Studie aufgenommen, um die untersuchte Population zu erhöhen. Die Ergebnisse müssen trotzdem kritisch in Hinblick auf die Anzahl der untersuchten Körperspender*innen betrachtet werden.

Weiterführende Untersuchungen sollten zu einem späteren Zeitpunkt in größer angelegten Studien mit höheren Fallzahlen erfolgen. Momentan bleibt der limitierende Faktor bei Untersuchungen an Körperspender*innen ein stark reduziertes Restgebiss. Als Ausblick für zukünftige Studien an Körperspender*innen lässt sich jedoch eine immer weiter rückläufige Zahnlosigkeit im Alter in Deutschland verzeichnen (Samietz et al., 2025).

Die Kieferhöhlenillumination kann eine geeignete Methode zur Darstellung des intraossären Gefäßverlaufs sein. Wie in dieser Arbeit ersichtlich wurde, unterliegt ihre Aussagekraft jedoch sehr stark den individuellen anatomischen Gegebenheiten. Vor allem die Ausdehnung des Sinus maxillaris bestimmt die Anwendbarkeit der Methode. Je weiter der Sinus maxillaris nach kaudal sowie nach medial ausgedehnt war, desto besser ließ er sich in denen für diese Arbeit relevanten Arealen illuminieren. Die hohe anatomische Variabilität des Sinus maxillaris ist in einigen Untersuchungen belegt worden (Whyte and Boeddinghaus, 2019, Sánchez-Pérez et al., 2016).

Auch die Alveolarfortsatzbeschaffenheit hat Einfluss auf die Darstellungsmöglichkeit, sowohl bei der Illumination der Kieferhöhle als auch bei der Betrachtung auf dem Lichttisch. Durch die zentripetale Atrophie des Alveolarfortsatzes verlagert sich dieser von vestibulär nach palatinal (Atwood, 1971). Mit der voranschreitenden Atrophie verschiebt sich das Verhältnis der Kortikalis zur Spongiosa zu einem höheren Kortikalisanteil. Die Illumination des kompakteren Knochens ist nur noch sehr eingeschränkt möglich.

Das in drei Fällen makroskopisch kein C. sinuosus darzustellen war, kann durch ungünstige Kieferhöhlenausdehnung, starke Atrophie des Alveolarfortsatzes und einen hohen Kortikalisanteil begründet sein.

Das Anfärben der A. infraorbitalis durch Farbinjektion stellte in dieser Arbeit keine geeignete Methode zur Darstellung des intraossären Gefäßverlaufs dar. Das Gefäß ließ sich bei allen verwendeten Maxillapräparaten nur über wenige Millimeter anfärben. Die Farblösung drang nicht bis in die intraossären Gefäße der anterioren Maxilla vor. Dies konnte eine Folge des Fixierungsprozesses und etwaiger kleinster Gefäßverschlüsse sein, jedoch auch an zu geringem erzielten Injektionsdruck gelegen haben. Um suffizientere Farbinjektionen zu erzielen, könnte zunächst der Fixierungsprozess der Körperspender angepasst werden (Hayashi et al., 2016). Anschließend könnte eine Injektion der Farblösung mit erhöhtem Injektionsdruck in die A. maxillaris erfolgen. Jedoch ist auch so das Anfärben intraossärer Strukturen mit Lumen weit unter 1 mm Durchmesser und bis in die Endstromgebiete sehr unwahrscheinlich. So ist die Farbinjektion im Hinblick auf den aufzubringenden Aufwand nicht als geeignete Darstellungsmethode anzusehen. Eine Alternative können Untersuchungen mittels dreidimensionaler Röntgendiagnostik darstellen.

Der mikroskopische Versuchsteil der Arbeit konnte das Vorhandensein einer Arterie im C. sinuosus und in den akzessorischen Kanälen belegen. Der gesamte Verlauf der AASA bzw. des C. sinuosus und der akzessorischen Kanäle kann mikroskopisch nur sicher dargestellt werden, indem ein Längsschnitt der Gefäße vom For. infraorbitale bis zum Eintritt in den Apex dentis angefertigt würde. Dieser zusammenhängende Längsschnitt ist auf Grund der sehr hohen anatomischen Variabilität kaum zu erzielen. Auf Grund der erforderlichen geringen Schichtdicke von zehn Mikrometern ist keine ausreichende dreidimensionale Betrachtung des Präparats möglich (Suvana et al., 2013). Auch hier könnte dreidimensionales Röntgen eine Alternative für die Darstellung des gesamten Gefäßverlaufs bieten. Der Beleg, dass es sich um eine Arterie handelt, sollte jedoch durch die histologische Betrachtung erfolgen.

Die in dieser Arbeit nachgewiesene starke, auch intraindividuelle Variabilität des Gefäßverlaufs in der anterioren Maxilla sollte bei der Planung operativer Eingriffe stets bedacht werden. Der intraossäre Gefäßverlauf der AASA und AASP war bei keinem der bilateral betrachteten Präparate im Seitenvergleich identisch.

Ebenso unterschieden sich sowohl der Verlauf des C. sinuosus rechts und links als auch der Verlauf und die Anzahl der akzessorischen Kanäle.

Untersuchungen konnten bereits zeigen, dass es patientenindividuell in der Mundschleimhaut Areale gibt, welche stärker von dominanteren Arterien versorgt werden, wodurch sich günstigere und ungünstigere Schnittführungsmuster ergeben (Piehslinger et al., 1991, Whetzel and Saunders, 1997).

Die in dieser Arbeit beschriebenen Anastomosen der AASA und der AASP lassen auf eine sehr gute Vaskularisation der versorgten Gebiete und eine begünstigte Wundheilung rückschließen. Jedoch kann fehlende Kenntnis des Gefäßverlaufes intraoperativ zu Blutungskomplikationen führen.

Bei Implantatinserterion in den C. sinuosus, aber auch bei Osteotomien oder Freilegungen verlagelter Eckzähne können neben Blutungen aus Arterie und Vene auch Parästhesien und Anästhesien auftreten, wenn neben der AASA auch der N. alveolaris superior anterior verletzt wird. Arruda et. al und Shelley et. al. beschreiben in Fallbeispielen anhaltende Beschwerden nach Implantationen in der anterioren Maxilla (Arruda et al., 2017, Shelley et al., 2019).

Weitere Untersuchungen beschäftigen sich mit der präoperativen Diagnostik zur Vermeidung solcher Komplikationen (Shelley et al., 2019, Sun et al., 2024, Manhaes Junior et al., 2016).

Die vielen Variationen der Gefäße müssen also für die klinische Arbeit bekannt sein.

Weiterführende Untersuchungen mit höheren Fallzahlen zu den Variationen der arteriellen Versorgung der Maxilla sollten am lebenden Patienten erfolgen. Zur Detektion des C. sinuosus und akzessorischer Kanäle ist die dreidimensionale Röntgendiagnostik ein gut geeignetes Verfahren (Devathambi and Aswath, 2024). Bei weiterführenden Untersuchungen am lebenden Patienten sollte jedoch die Strahlenbelastung so gering wie möglich gehalten und ihr diagnostischer Nutzen abgewogen werden (DGZMK, 2022).

4.1. Schlussfolgerung

Die genaue Kenntnis über die individuelle anatomische Beschaffenheit des Operationsgebietes ist eine wichtige Voraussetzung für einen komplikationsarmen Eingriff. Es ist entscheidend, sich auch mit dem Vorhandensein anatomischer Variationen auseinanderzusetzen (Bergman, 2011). Vor geplanten Eingriffen sollten stets die individuelle Vaskularisation und Innervation des zu operierenden Gebietes bekannt sein, um Wundheilungsstörungen sowie Parästhesien zu vermeiden.

Im Bereich der anterioren Maxilla sind Implantatinsertionen, apikale Osteotomien sowie operative Freilegungen verlagerter Eckzähne in der Zahnmedizin häufig angewandte operative Eingriffe (Holtmann et al., 2020). Um diese Eingriffe sicher durchzuführen, ist eine genaue Kenntnis der arteriellen Versorgung unverzichtbar. Verletzungen des C. sinuosus können zu intraoperativen Blutungskomplikationen, jedoch auch zu temporären oder dauerhaften Anästhesien und Parästhesien führen (Shintaku et al., 2020, Shelley et al., 2019). Eine präoperative dreidimensionale Röntgendiagnostik und dadurch genaue Kenntnis der Verlaufsform des Knochenkanals kann Komplikationen vermeiden (Sun et al., 2024).

In dieser Arbeit konnte gezeigt werden, dass die arterielle Versorgung des Eckzahnes vor allem in der Verlaufsform der Gefäße sehr viele Variationen aufweist. Außerdem konnten neben dem C. sinuosus auch in Verlauf, Größe und Anzahl unterschiedliche akzessorische Kanäle dargestellt werden. Diese Unterschiede konnten zwischen den verschiedenen Präparaten, jedoch auch bei allen bilateral betrachteten Präparaten im Seitenvergleich beobachtet werden. Jedes betrachtete Präparat wies einen individuellen Gefäßverlauf auf. Auch gab es intraindividuelle Unterschiede im Gefäßverlauf zwischen der rechten und linken Seite.

Auf Grund der durch diese Arbeit gewonnenen Befunde ist eine präoperative Abklärung des individuellen und ipsilateralen Gefäßverlaufs vor chirurgischen Eingriffen anzuraten.

Weiterführend sollte ein möglicher Zusammenhang zwischen der Vitalität von Eckzähnen und dem Vorkommen einer eigenständigen arteriellen Versorgung untersucht werden. Hierzu sind Untersuchungen mit lebenden Patient*innen notwendig. Es können dreidimensionale Aufnahmen, welche zu Operationsplanungszwecken oder zur Abklärung von pathologischen Befunden angefertigt wurden, auf das Vorhandensein anatomischer Variationen der Eckzahnversorgung geprüft werden. Bei der Anfertigung von neuen dreidimensionalen Röntgenaufnahmen ist kritisch zu prüfen, ob die Strahlenbelastung gerechtfertigt ist. Die Strahlendosis sollte stets so gering wie möglich gehalten werden (DGZMK, 2022). Die Darstellung kleinster Gefäße sollte nur erfolgen, wenn sie therapeutische Konsequenzen hat.

Der C. sinuosus wurde in der Literatur in 52,1 - 88% der untersuchten Fälle nachgewiesen (Machado et al., 2016, Gurler et al., 2017, Orhan et al., 2018, Aoki et al., 2020, Anatoly et al., 2019).

Trotzdem ist er eine häufig klinisch unbekannte oder fehlinterpretierte Struktur. So können der C. sinuosus und seine akzessorischen Kanäle als scharf begrenzte Transluzenzen in bildgebenden Verfahren erscheinen und als apikale Transluzenz oder externe Zahnresorption missinterpretiert werden (Bliggenstorfer et al., 2021, Shelley et al., 1999).

Radiologische Fehldiagnosen können durch Kenntnis anatomischer Variationen verhindert werden.

Im Rahmen der Lehre sollte also deutlich gemacht werden, dass die Anatomie, wie sie in Lehrbüchern dargestellt wird, nicht bei jedem/jeder Patienten/in anwendbar sein kann und man als Behandler stets mit Variationen abseits der Regelversorgung rechnen muss. Eine Therapieentscheidung sollte immer patientenindividuell getroffen werden.

5. Literatur- und Quellenverzeichnis

- AIRD, W. C. 2011. Discovery of the cardiovascular system: from Galen to William Harvey. *J Thromb Haemost*, 9 Suppl 1, 118-29.
- ANATOLY, A., SEDOV, Y., GVOZDIKOVA, E., MORDANOV, O., KRUCHININA, L., AVANESOV, K., VINOGRADOVA, A., GOLUB, S., KHAYDAR, D., HOANG, N. G. & DARAWSHEH, H. M. 2019. Radiological and Morphometric Features of Canalis Sinuosus in Russian Population: Cone-Beam Computed Tomography Study. *Int J Dent*, 2019, 2453469.
- 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.
- ATWOOD, D. A. 1971. Reduction of residual ridges: a major oral disease entity. *J Prosthet Dent*, 26, 266-79.
- ATWOOD, D. A. 1973. Reduction of residual ridges in the partially edentulous patient. *Dent Clin North Am*, 17, 747-54.
- BEER, R. & BAUMANN, M. A. 2008. *Endodontologie*, Thieme.
- BERGMAN, R. A. 2011. Thoughts on human variations. *Clin Anat*, 24, 938-40.
- BLIGGENSTORFER, S., CHAPPUIS, V. & VON ARX, T. 2021. [Misinterpretation of a periapical radiograph: the canalis sinuosus mimicking a root resorption]. *Swiss Dent J*, 131, 999-1005.
- 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.
- DEVADAS, D., PILLAY, M. & SUKUMARAN, T. T. 2018. A cadaveric study on variations in branching pattern of external carotid artery. *Anat Cell Biol*, 51, 225-231.
- DEVATHAMBI, T. J. R. & ASWATH, N. 2024. Assessment of canalis sinuosus, rare anatomical structure using cone-beam computed tomography: A prospective study. *J Clin Imaging Sci*, 14, 8.
- DGMKG 2020. S2k- Leitlinie Wurzelspitzenresektion. AWMF.
- DGZMK 2022. S2k-Leitlinie Dentale digitale Volumentomographie. AWMF-Registernummer: 083-005.
- E. HELLWIG, J. K., T. ATTIN 2013. *Einführung in die Zahnerhaltung: Prüfungswissen Kariologie, Endodontologie und Parodontologie*, Deutscher Zahnärzterverlag.
- GEIS-GERSTORFER, J. R., MARXKORS, R. & MEINERS, H. 2012. *Taschenbuch der zahnärztlichen Werkstoffkunde vom Defekt zur Restauration*.
- GENTE, M. 2007. Empfehlungen zur Verringerung des Risikos des Vitalitätsverlustes bei Überkronung. *DZZ* 62, (S. 532/533).
- GÖTZ, W., HOFFMANN, J. & STOYA, G. 2015. Der Sinus maxillaris in der oralen Implantologie: Anatomie und Konsequenzen für die Implantatchirurgie. *ZWR - Das Deutsche Zahnärzteblatt*, 124, 222-230.
- GRAY, H. & LEWIS, W. H. 1918. *Anatomy of the human body*, Philadelphia and New York., Lea & Febiger.
- GÜRKOV, R. 2016. *Basics Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde*.

- GURLER, G., DELILBASI, C., OGUT, E. E., AYDIN, K. & SAKUL, U. 2017. Evaluation of the morphology of the canalis sinuosus using cone-beam computed tomography in patients with maxillary impacted canines. *Imaging Sci Dent*, 47, 69-74.
- HAYASHI, S., NAITO, M., KAWATA, S., QU, N., HATAYAMA, N., HIRAI, S. & ITOH, M. 2016. History and future of human cadaver preservation for surgical training: from formalin to saturated salt solution method. *Anat Sci Int*, 91, 1-7.
- HOLTMANN, H., HACKENBERG, B., WILHELM, S. B. & HANDSCHEL, J. R. 2020. *BASICS Mund-, Kiefer- und Plastische Gesichtschirurgie*, Elsevier.
- JONES, F. W. 1939. The anterior superior alveolar nerve and vessels. *J Anat*, 73, 583-91.
- JORDAN, R. A., BODECHTEL, C., HERTRAMPF, K., HOFFMANN, T., KOCHER, T., NITSCHKE, I., SCHIFFNER, U., STARK, H., ZIMMER, S., MICHEELIS, W. & GROUP, D. V. S. I. 2014. The Fifth German Oral Health Study (Funfte Deutsche Mundgesundheitsstudie, DMS V) - rationale, design, and methods. *BMC Oral Health*, 14, 161.
- KERN, M., WOLFART, S., HEYDECKE, G., WITKOWSKI, S., TÜRPF, J. C. & STRUB, J. R. R. 2022a. *Curriculum Prothetik Band 1 Geschichte, Grundlagen, Behandlungskonzept, Vorbehandlung / M. Kern, S. Wolfart, G. Heydecke, S. Witkowski, J. C. Türpf, J. R. Strub*.
- KERN, M., WOLFART, S., HEYDECKE, G., WITKOWSKI, S., TÜRPF, J. C. & STRUB, J. R. R. 2022b. *Curriculum Prothetik Band 2 Artikulatoren, Ästhetik, Werkstoffkunde, festsitzende Prothetik*.
- KERN, M., WOLFART, S., HEYDECKE, G., WITKOWSKI, S., TÜRPF, J. C. & STRUB, J. R. R. 2022c. *Curriculum Prothetik Band 3 Kombinierte und abnehmbare Prothetik, Implantologie, Nachsorge, Lebensqualität*.
- KLEINHEINZ, J. 2014. Schnittführung in der Implantologie. *wissen kompakt*, 8, 3-11.
- KOCHER, T., HOLTFRETER, B., PITCHIKA, V., KUHR, K. & JORDAN, R. A. 2021. [Trends in dental and oral health status in Germany between 1997 and 2014]. *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz*, 64, 782-792.
- LEHMANN, K. M., HELLWIG, E. & WENZ, H.-J. R. 2012. *Zahnärztliche Propädeutik Einführung in die Zahnheilkunde*, Deutscher Zahnärzte Verlag.
- LIPPERT, H., PABST, R., WACKER, F. & GIESEMANN, A. 2018. *Atlas der arteriellen Variationen Klassifikation und Häufigkeit*, Thieme.
- LUCEV, N., BOBINAC, D., MARIC, I. & DRESCIK, I. 2000. Variations of the great arteries in the carotid triangle. *Otolaryngol Head Neck Surg*, 122, 590-1.
- 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.
- MANHAES JUNIOR, L. R., VILLACA-CARVALHO, M. F., MORAES, M. E., LOPES, S. L., SILVA, M. B. & JUNQUEIRA, J. L. 2016. Location and classification of Canalis sinuosus for cone beam computed tomography: avoiding misdiagnosis. *Braz Oral Res*, 30, e49.
- MATTHEWS, W. G., SHOWMAN, C. D. & PASHLEY, D. H. 1993. Air blast-induced evaporative water loss from human dentine, in vitro. *Arch Oral Biol*, 38, 517-23.
- MAVROGENIS, A. F., DIMITRIOU, R., PARVIZI, J. & BABIS, G. C. 2009. Biology of implant osseointegration. *J Musculoskelet Neuronal Interact*, 9, 61-71.
- MOTA DE ALMEIDA, F. J., DAWSON, V. S., KVIST, T., FRISK, F., BJØRNDAL, L., ISBERG, P. E. & FRANSSON, H. 2023. Periradicular surgery: a longitudinal

- registry study of ten-year outcomes and factors predictive of post-surgical extraction. *Int Endod J*.
- 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.
- ORHAN, K., GORURGOZ, C., AKYOL, M., OZARSLANTURK, S. & AVSEVER, H. 2018. An anatomical variant: evaluation of accessory canals of the canalis sinuosus using cone beam computed tomography. *Folia Morphol (Warsz)*, 77, 551-557.
- PAULSEN, F. & WASCHKE, J. 2011. *Sobotta, Atlas der Anatomie des Menschen Band 3: Kopf, Hals und Neuroanatomie*, Elsevier Health Sciences.
- PAULSEN, F., WASCHKE, J. & SOBOTTA, J. 2022. *Sobotta, Atlas der Anatomie*, München, Elsevier GmbH, Urban & Fischer.
- PIEHSLINGER, E., CHOUEKI, A., CHOUEKI-GUTTENBRUNNER, K. & LEMBACHER, H. 1991. Arterial supply of the oral mucosa. *Acta Anat (Basel)*, 142, 374-8.
- PINEDA, F. & KUTTLER, Y. 1972. Mesiodistal and buccolingual roentgenographic investigation of 7,275 root canals. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*, 33, 101-110.
- POUTOGLIDIS, A., SAVVAKIS, S., KARAMITSOU, P., FOROZIDOU, E., PARASKEVAS, G., LAZARIDIS, N., FYRMPAS, G., KARAMITSOU, A. & SKALIAS, A. 2023. Is the origin of the superior thyroid artery consistent? A systematic review of 5488 specimens. *American Journal of Otolaryngology*, 44, 103823.
- REGEZI, J. A., JORDAN, R. C. K. & SCIUBBA, J. J. 2017. *Oral pathology clinical pathologic correlations*.
- SAMANDARI, F. & MAI, J. K. 1995. *Curriculum funktionelle Anatomie für Zahnmediziner*, Quintessenz.
- SAMIETZ, S., WOSTMANN, B., KUHR, K., JORDAN, A. R., STARK, H. & NITSCHKE, I. 2025. Oral health in the elderly: results of the 6th German Oral Health Study (DMS * 6). *Quintessence Int*, 56, S112-S119.
- SÁNCHEZ-PÉREZ, A., BORACCHIA, A. C., LÓPEZ-JORNET, P. & BOIX-GARCÍA, P. 2016. Characterization of the Maxillary Sinus Using Cone Beam Computed Tomography. A Retrospective Radiographic Study. *Implant Dent*, 25, 762-769.
- SCHÜNKE, M., SCHULTE, E., SCHUMACHER, U., VOLL, M. & WESKER, K. 2015. *Prometheus Lernatlas-Kopf, Hals und Neuroanatomie*, Thieme.
- SHELLEY, A., TINNING, J., YATES, J. & HORNER, K. 2019. Potential neurovascular damage as a result of dental implant placement in the anterior maxilla. *Br Dent J*, 226, 657-661.
- SHELLEY, A. M., RUSHTON, V. E. & HORNER, K. 1999. Canalis sinuosus mimicking a periapical inflammatory lesion. *Br Dent J*, 186, 378-9.
- 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.
- STANDRING, S. & GRAY, H. 2020. *Gray's anatomy the anatomical basis of clinical practice*, Elsevier.
- SUN, Z., LOU, Y., LIU, Z., WANG, B., YU, M. & WANG, H. 2024. [Anatomy and function of the canalis sinuosus and its injury prevention and treatment strategies in implant surgery]. *Zhejiang Da Xue Xue Bao Yi Xue Ban*, 53, 561-568.
- SUVARNA, S. K., LAYTON, C. & BANCROFT, J. D. 2013. *Bancroft's theory and practice of histological techniques*.

- WATTED, N., MUHAMAD, A., PROFF, P., WATTED, A., HEGEDU"S, V. & PÉTER, B. 2019. Chirurgische Freilegung palatinal verlagerter Zähne. *Oralchirurgie Journal*.
- WELSCH, U., KUMMER, W. & DELLER, T. 2014. *Lehrbuch Histologie*, Elsevier.
- WHETZEL, T. P. & SAUNDERS, C. J. 1997. Arterial anatomy of the oral cavity: an analysis of vascular territories. *Plast Reconstr Surg*, 100, 582-7; discussion 588-90.
- WHYTE, A. & BOEDDINGHAUS, R. 2019. Correction to The maxillary sinus: physiology, development and imaging anatomy. *Dentomaxillofac Radiol*, 48, 20190205c.

6. Anhang

6.1. Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Schädel von lateral	2
Abb. 2: Schädel von anterior	4
Abb. 3: Verlauf des Canalis sinuosus	6
Abb. 4: Nomenklatur der Zähne am mazerierten Schädel	8
Abb. 5: Eckzahn im Schnittbild	10
Abb. 6: Schematische Darstellung der dorsalen Gruppe und der Endäste der A. carotis externa	13
Abb. 7: Abgänge der Arteria maxillaris	15
Abb. 8: Schematische Darstellung der LeFort-Frakturverläufe mit Variation der Trennung des Arcus zygomaticus am mazerierten Schädel	32
Abb. 9: Präparationsfenster für die mikroskopische Analyse	35
Abb. 10: Darstellung von Präparat 1	39
Abb. 11: Darstellung von Präparat 2	41
Abb. 12: Darstellung von Präparat 3	43
Abb. 13: Darstellung von Präparat 4	45
Abb. 14: Darstellung von Präparat 5	47
Abb. 15: Darstellung von Präparat 6	49
Abb. 16: Darstellung von Präparat 7	51
Abb. 17: Darstellung von Präparat 8	53
Abb. 18: Darstellung von Präparat 9	55
Abb. 19: Darstellung von Präparat 10	57
Abb. 20: Darstellung von Präparat 11	60
Abb. 21: Darstellung von Präparat 12	62
Abb. 22: Darstellung von Präparat 13	64
Abb. 23: Nachweis des C. sinuosus und akzessorischer Kanäle	67
Abb. 24: Nachweis des C. sinuosus und akzessorischer Kanäle	67
Abb. 25: Nachweis des C. sinuosus mit Bezug zum Zahnstatus	68
Abb. 26: Nachweis des C. sinuosus und akzessorischer Kanäle mit Bezug zum Zahnstatus	69
Abb. 27: Mikroskopische Betrachtung der Arterie im C. sinuosus	70

Abb. 28: Mikroskopische Betrachtung der Arterie im akzessorischen Kanal

..... 71

6.2. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Materialliste	30
Tabelle 2: Ergebnisse des makroskopischen Versuchsteils	66

6.3. Letztwillige Verfügung

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

Als Erstes möchte ich mich bei allen Körperspender*innen und deren Familien bedanken. Das Geschenk der Körperspende ist für die Medizin unverzichtbar und die wertvollste Möglichkeit, die Anatomie zu verstehen und zu lernen, wie wir unsere zukünftigen Patienten bestmöglich behandeln können.

Als Nächstes möchte ich mich herzlichst bei meiner Doktormutter Frau Univ.-Prof. Dr. phil. nat. Charlotte Freifrau von Gall für Ihr Vertrauen in meine Arbeit bedanken.

Mein herzlicher Dank gilt auch Herrn Prof. Dr. rer. nat. Christoph V. Suschek für die Übernahme der Co-Betreuung meiner Dissertation.

Mein ganz besonderer Dank gilt Frau Dr. Beryl Schwaz-Herzke für die enge Betreuung sowie das Überlassen des Forschungsthemas.

Ohne die Unterstützung des Instituts für Anatomie I, welches die Körperspender*innen zur Verfügung stellte, wäre diese Forschungsarbeit nicht möglich gewesen.

Ich bedanke mich bei Martha Frederike Grittner, Doktorandin des Instituts für Anatomie II, für die enge Freundschaft und Zusammenarbeit in den letzten Jahren.

Mein Dank gilt allen Freunden, die mich in den Jahren motiviert und unterstützt haben.

Zu guter Letzt bedanke ich mich bei meiner Familie und meinem Ehemann. Danke für eure unendliche Liebe. Danke, dass ihr immer für mich da seid.

Wie gerne hätte ich diesen Moment noch mit meiner Oma geteilt.