

Aus der Klinik und Poliklinik für
Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie – Plastische Operationen
der Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Morphometrie des Sinus maxillaris in der digitalen Volumentomografie

Inauguraldissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der
Zahnmedizin
der Universitätsmedizin
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

vorgelegt von

Henning Carl Reinhard Theodor Emmelius
aus Mainz

Mainz, 2022

Wissenschaftlicher Vorstand:

[REDACTED]

1. Gutachter:

[REDACTED]

2. Gutachter:

[REDACTED]

Tag der Promotion:

12.Juli.2022

Meiner Familie

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis.....	II
Tabellenverzeichnis.....	III
1. Einleitung.....	1
2. Literaturdiskussion	2
2.1 Anatomie und Entwicklung des Sinus maxillaris	2
2.2 Funktionen des Sinus maxillaris	3
2.3 Bedeutung des Sinus maxillaris in der Zahnheilkunde	5
2.3.1 Zahnextraktion und periradikuläre Entzündungsprozesse.....	5
2.3.2 Implantologie und Sinusbodenelevation	8
2.4 Die digitale Volumentomografie	9
2.5 Ziel der Arbeit.....	10
3. Material und Methoden.....	11
3.1 Patientenauswahl.....	11
3.2 Analyse der Kieferhöhlen	12
3.3 Statistische Auswertungen.....	20
4. Ergebnisse	22
4.1 Patientenkollektiv	22
4.1.1 Demografische Daten	22
4.1.2 Bezahnung	23
4.1.3 Indikation für die digitale Volumentomografie.....	23
4.2 Kieferhöhlenmorphometrie.....	24
4.2.1 Höhe	24
4.2.2 Breite	26
4.2.3 Tiefe.....	30
4.3 Knochenhöhe bezahnt	31
4.3.1 Eckzahn (regio 13 und 23).....	31
4.3.2 Erster Prämolare (regio 14 und 24)	34
4.3.3 Zweiter Prämolare (regio 15 und 25)	35
4.3.4 Erster Molare (regio 16 und 26).....	36
4.3.5 Zweiter Molare (regio 17 und 27).....	40
4.3.6 Dritter Molare (regio 18 und 28).....	41

4.4 Knochenhöhe unbezahnt	42
4.4.1 Einfluss von Geschlecht	42
4.4.2 Einfluss von Alter	43
5. Diskussion	47
5.1 Diskussion der Methodik	47
5.2 Diskussion der Ergebnisse	48
5.2.1 Kieferhöhlenmorphometrie	48
5.2.2 Knochenhöhe bezahnt.....	51
5.2.3 Knochenhöhe unbezahnt.....	52
6. Zusammenfassung	55
Literaturverzeichnis	56
Anhang	63
Danksagung	64
Tabellarischer Lebenslauf	65

Abkürzungsverzeichnis

db	distobukkal
DVT	digitale Volumentomografie
KH	Kieferhöhle
mb	mesiobukkal
NNH	Nasennebenhöhle
NO	Stickstoffmonoxid
pal	palatinal
SM	Sinus maxillaris
vest	vestibulär

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Sinus paranasales (Lizensiert von 123rf.com, Urheber Peter Hermes Furian)	2
Abbildung 2: Enge Langebeziehung der Wurzeln von 17 bis 15.....	5
Abbildung 3: Apikale Parodontitis an Zahn 14	6
Abbildung 4: Mukozele der rechte Kieferhöhle.....	7
Abbildung 5: Ausrichten der Transversalebene mit grüner Linie und blauen Punkten	13
Abbildung 6: Frontalebene	14
Abbildung 7: Sagittalebene	14
Abbildung 8: Kranial-kaudale Höhe (hellblaue Linie)	15
Abbildung 9: Medial-laterale Breite (hellblaue Linie).....	16
Abbildung 10: Anterior-posteriore Weite (hellblaue Linie).....	17
Abbildung 11: Knochenhöhe über der palatinalen Wurzel von 16 (blaue Linie).....	18
Abbildung 12: Knochenhöhe über der mesiobukkalen Wurzel (links) und distobukkalen Wurzel (rechts) von 16 (hellblaue Linien).....	19
Abbildung 13: Messung der Knochenhöhe über dem Implantat (hellblaue Linie)	20
Abbildung 14: Patientenanzahl nach Altersgruppen	22
Abbildung 15: Häufigkeitsverteilung zur Höhe der Kieferhöhlen	25
Abbildung 16: Häufigkeitsverteilung zur Breite der Kieferhöhlen	27
Abbildung 17: Häufigkeitsverteilung zur Tiefe der Kieferhöhlen.....	30

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Bezahnung nach Quadrant und Geschlecht.....	23
Tabelle 2: DVT-Indikation nach Diagnose und Geschlecht.....	24
Tabelle 3: Morphometrie der Kieferhöhlen nach Alter (Median-Werte).....	29
Tabelle 4: Knochenhöhe Eckzahn gesamt und nach Geschlecht.....	32
Tabelle 5: Knochenhöhe über Apex und Alter für die Eckzähne sowie die oberen Prämolaren.....	33
Tabelle 6: Knochenhöhe erster Prämolar gesamt und nach Geschlecht (KH-Boden – Kieferhöhlenboden, pal – palatinal, vest – vestibulär).....	34
Tabelle 7: Knochenhöhe erster Prämolar gesamt und nach Geschlecht.....	35
Tabelle 8: Knochenhöhe erster Molar gesamt und nach Geschlecht (KH-Boden – Kieferhöhlenboden, pal – palatinal, db –distobukkal, mb – mesiobukkal).....	37
Tabelle 9: Knochenhöhe über Apex und Alter für die ersten oberen Molaren	39
Tabelle 10: Knochenhöhe über Apex und Alter für die zweiten und dritten oberen Molaren	39
Tabelle 11: Knochenhöhe zweiter Molar gesamt und nach Geschlecht (KH-Boden – Kieferhöhlenboden, pal – palatinal, db –distobukkal, mb – mesiobukkal).....	40
Tabelle 12: Knochenhöhe dritter Molar gesamt und nach Geschlecht (KH-Boden – Kieferhöhlenboden).....	41
Tabelle 13: Knochenhöhe nach Region und Geschlecht nach Zahnverlust (*p < 0,05, **p < 0,01, ***p < 0,001).....	43
Tabelle 14: Knochenhöhe nach Region bei fehlenden Zähnen im ersten Quadranten	44
Tabelle 15: Knochenhöhe nach Region bei fehlenden Zähnen im zweiten Quadranten	46

1. Einleitung

Spezielle Kenntnisse der Kieferhöhlenanatomie sind sowohl für die zahnärztliche Tätigkeit als auch für kieferchirurgische Eingriffe von besonderer Bedeutung. Der Sinus maxillaris hat aufgrund seiner Lage mit unmittelbarem Bezug zum Oberkiefer nicht nur diagnostische Relevanz, sondern spielt auch bei vielen therapeutischen Überlegungen eine zentrale Rolle.

Als eine der größten Nasennebenhöhlen (NNH) liegt der Sinus maxillaris (SM) paarig als pyramidenartiger Hohlraum kaudal zu den Orbitae und wird auf allen Seiten knöchern begrenzt. Üblicherweise ist die Kieferhöhle (KH) stets auf der zahnärztlichen Panoramaschichtaufnahme darstellbar, sodass strukturelle Veränderungen wie auch Raumforderungen innerhalb des SM diagnostiziert werden können. Hierzu gehören Zysten, Mukozelen sowie einige Tumorentitäten.

Neben diesen Erkrankungen ist die KH außerdem für die dentoalveoläre Chirurgie bedeutsam. So können bereits einfache Extraktionen von Prämolaren und Molaren in Abhängigkeit von der Restknochenhöhe zu einer Mund-Antrum-Verbindung führen, die eine plastische Deckung erforderlich macht. Im Bereich der Implantologie des Oberkiefers ist die kaudale Ausdehnung der KH häufig dafür verantwortlich, dass eine Implantation nur in Verbindung mit höhenreduzierten Implantaten oder einer Sinusbodenelevation realisiert werden kann. Die Topografie der medialen Begrenzung des SM ist ebenfalls von Bedeutung, da häufig zur Belüftungsverbesserung der Kieferhöhle über die Osteotomie der medialen Wand ein temporärer kaudaler Zugang zur Nasenhöhle angelegt wird.

Genauere Kenntnisse der Kieferhöhlenmorphologie sind demnach wesentlich, um das Komplikationsrisiko bereits bei der prächirurgischen Diagnostik und Planung abschätzen zu können. Dabei muss berücksichtigt werden, dass die KH im Laufe des Lebens einer dynamischen Veränderung unterliegt, die von Faktoren wie Geschlecht, Alter und dem Vorhandensein von Zähnen maßgeblich beeinflusst wird.

Ziel dieser Arbeit ist es daher, in einer retrospektiven Untersuchung die Morphometrie der Kieferhöhle eines universitären Patientenkollektivs anhand digitaler Volumetomografie zu beschreiben und dabei auf Einflussfaktoren wie Geschlecht, Alter, Bezahnung und anatomische Region einzugehen.

2. Literaturdiskussion

2.1 Anatomie und Entwicklung des Sinus maxillaris

Der SM wurde 1489 von Leonardo da Vinci illustriert und 1651 vom Anatom Nathaniel Highmore weiter beschrieben (Whyte und Boeddinghaus, 2019). Er wird zusammen mit dem Sinus frontalis, dem Sinus sphenoidalis und den Cellulae ethmoidales zu den Sinus paranasales gezählt (Abbildung 1). Der SM stellt dabei den größten Sinus dar. Er ist paarig angelegt und liegt pyramidenförmig lateral und dorsal der Nasenhöhlen. Kranial wird der SM vom Orbitaboden, nach anterior durch die Facies anteriores maxillae, nach kaudal durch den Alveolarfortsatz des Oberkiefers beziehungsweise die Wurzeln der Oberkieferseitenzähne und nach medial von der Nasenhöhlenwand begrenzt. Die Verbindung zur Nasenhöhle liegt kranial im Hiatus semilunaris (Hosemann und Grimm 2020; Aumüller 2017).

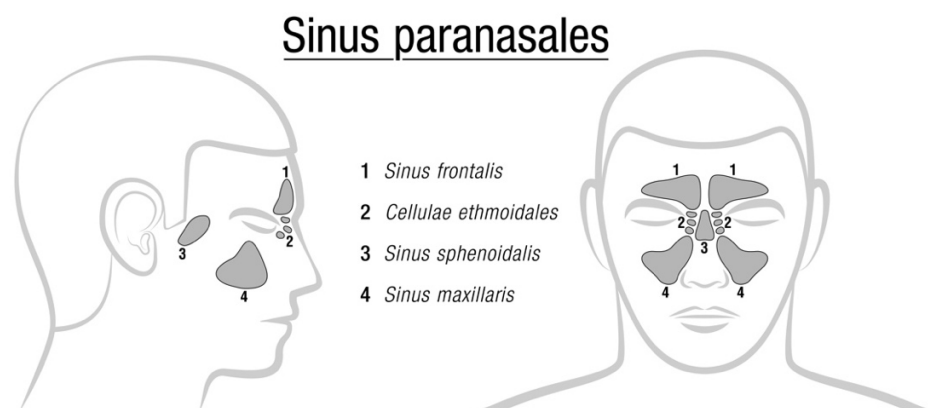


Abbildung 1: Sinus paranasales (Lizenziert von 123rf.com, Urheber Peter Hermes Furian)

Histologisch zeigt sich eine Auskleidung des SM mit niedrigem respiratorischen Flimmerepithel (Welsch und Deller 2010). Das respiratorische Epithel des SM wird – nach seinem Erstbeschreiber Konrad Victor Schneider – Schneider'sche Membran genannt. Der Aufbau des respiratorischen Epithels folgt grundsätzlich dem Schleimhautaufbau des respiratorischen Systems, allerdings hinsichtlich der Zellzahl und -form nicht so ausgeprägt. Tunica propria und Basalmembran sind dünner als in der Nase und das Epithel ist mit deutlich weniger Zilien besetzt. In den Schleimhäuten der SM lassen sich, verglichen mit der Nasenschleimhaut, zudem weniger Drüsenzellen finden (Herberhold 1982).

Die Entwicklung des SM beginnt bereits im pränatalen Stadium, etwa nach der 17. Woche, und ist damit die erste NNH, welche sich zu entwickeln beginnt. Bis zur Geburt sind die Sinus zunächst mit Flüssigkeit gefüllt und pneumatisieren nach der Geburt (Wang et al. 1994). Bereits bei Neugeborenen, spätestens aber nach den ersten fünf Lebensmonaten, ist der SM im Röntgenbild erkennbar (Weiglein et al. 1992).

Die größte Wachstumszunahme findet unmittelbar nach der Geburt statt, wobei die meisten Studien zum Wachstum des SM auf computer- oder magnetresonanztomografischen Aufnahmen basieren (Bhushan et al. 2016). Untersuchungen zur Kieferhöhlenmorphometrie mit Aufnahmen vom digitalen Volumentomografen gibt es bislang nur wenige. In der bisherigen Literatur finden sich verschiedene Studien, welche das durchschnittliche Volumen des SM sowie die Ausdehnung des adulten SM beschreiben. Die für die Messung angewandten bildgebenden Methoden unterscheiden sich jedoch deutlich voneinander, sodass die beschriebenen Werte von 5 bis 22 ml bei einem mittleren Volumen von 14 bis 15 cm³ reichen (Ariji et al. 1994; Giacomini et al. 2018; Gosau et al. 2009).

2.2 Funktionen des Sinus maxillaris

Die genaue Funktion des SM im menschlichen Organismus ist noch nicht geklärt. Jedoch existieren zahlreiche Theorien, auf die im Folgenden näher eingegangen werden soll.

Der „Crumple-Zone-Theory“ zufolge kommt der NNH eine protektive Funktion als sogenannte Knautschzone zu. Gemäß diesem theoretischen Ansatz werden durch den anatomischen Aufbau der KH Sollbruchstellen gebildet, welche im Falle eines Traumas die aufprallende Energie verteilen und so andere anatomische Bereiche schützen. Kellman und Schmidt konnten diesbezüglich 2009 in einer experimentellen Studie zeigen, dass der Orbitaboden bei Gewalteinwirkung bevorzugt im Bereich des SM frakturiert, um schwerwiegenden Schädelfrakturen vorzubeugen (Kellman und Schmidt 2009). Lee et al. (2014) konnten nachweisen, dass ein Verschluss der NNH und Nasenhöhle zu einer erhöhten Toleranz bei stumpfen frontalen Schlägen im vorderen Schädelbereich führt. Jedoch kam es zu einem vorzeitigen strukturellen Einbruch der hinteren Schädelgrube, was ein deutlich schlechteres neurologisches Outcome zur Folge hatte (Lee et al. 2014).

Bei Mittelgesichtsfrakturen ist bei bestimmten Mustern eine Beteiligung des SM zu beobachten. Der papierdünne Knochen, welcher den Orbitaboden und zugleich das Dach des SM bildet, ist nur im medialen Bereich verdickt und stellt die schwächste Stelle der knöchernen Begrenzung der Augenhöhle dar. Aufgrund dessen kommt es bei Gewalteinwirkung auf den Orbitalbereich zur Transmission der Kräfte auf den Orbitaboden mit nachfolgendem Bruch. Die Blow-out-Fraktur und Mittelgesichtsfrakturen der LeFort-Klassen I–III weisen allesamt eine Beteiligung des SM auf, aber auch bei Aussprengungen von Jochbeinfragmenten sind typische Frakturstellen in der fazialen KH-Wand vorzufinden (Rasse 2014; Prescher 2009; Zwahlen 2013).

Die KH scheint außerdem eine Rolle bei der Stickstoffmonoxid(NO)-Produktion und -Regulation zu spielen. Lundberg et al. wiesen 1995 eine hohe NO-Produktion im SM nach (Lundberg et al. 1995). NO wirkt im menschlichen Körper vasodilatierend an der glatten Muskulatur sowie antithrombogen, thrombozytenaggregationshemmend, permeabilitätsmindernd, entzündungshemmend und antiproliferativ. Makrophagen und neutrophile Granulozyten können NO produzieren und durch weitere chemische Reaktionen mit Hydroperoxyd-Radikalen eindringende zellfremde Bakterien und andere Mikroorganismen abtöten. Daher wird NO auch zur unspezifischen Immunantwort gezählt (Horn 2015; Bauer 1997). Die genaue Aufgabe des NO in den NNH ist bis heute noch nicht abschließend geklärt, allerdings scheint die NO-Konzentration mit Erkrankungen der NNH zu korrelieren (Lundberg 2008). Beispielsweise fanden Wen et al. eine deutlich verminderte NO-Konzentration bei Kindern mit akuter unilateraler Sinusitis (Wen et al. 2019).

Neben den genannten Theorien werden noch weitere Funktionen des SM diskutiert, wie die Wärmeisolation des Gehirns, die Funktion als Resonanzkörper für die Stimme, die Befeuchtung und Klimatisierung der Atemluft oder die Funktion als Gleitstruktur beim Gesichtswachstum (Jankowski et al. 2016; Sieron et al. 2020).

2.3 Bedeutung des Sinus maxillaris in der Zahnheilkunde

2.3.1 Zahnextraktion und periradikuläre Entzündungsprozesse

Aufgrund der engen räumlichen Beziehung des SM zum kaudal angrenzenden Alveolarfortsatz kann es vorkommen, dass sich Teile der Molaren- oder Prämolarenwurzeln direkt im SM befinden (Abbildung 2) und dass so bei Zahnextraktionen eine direkte Verbindung zur Mundhöhle entsteht. Dies kann im Rahmen einer Extraktion zu einer ungewünschten Mund-Antrum-Verbindung führen (Prescher 2009). Unbehandelt resultiert die Mund-Antrum-Verbindung in einer odontogenen Sinusitis.

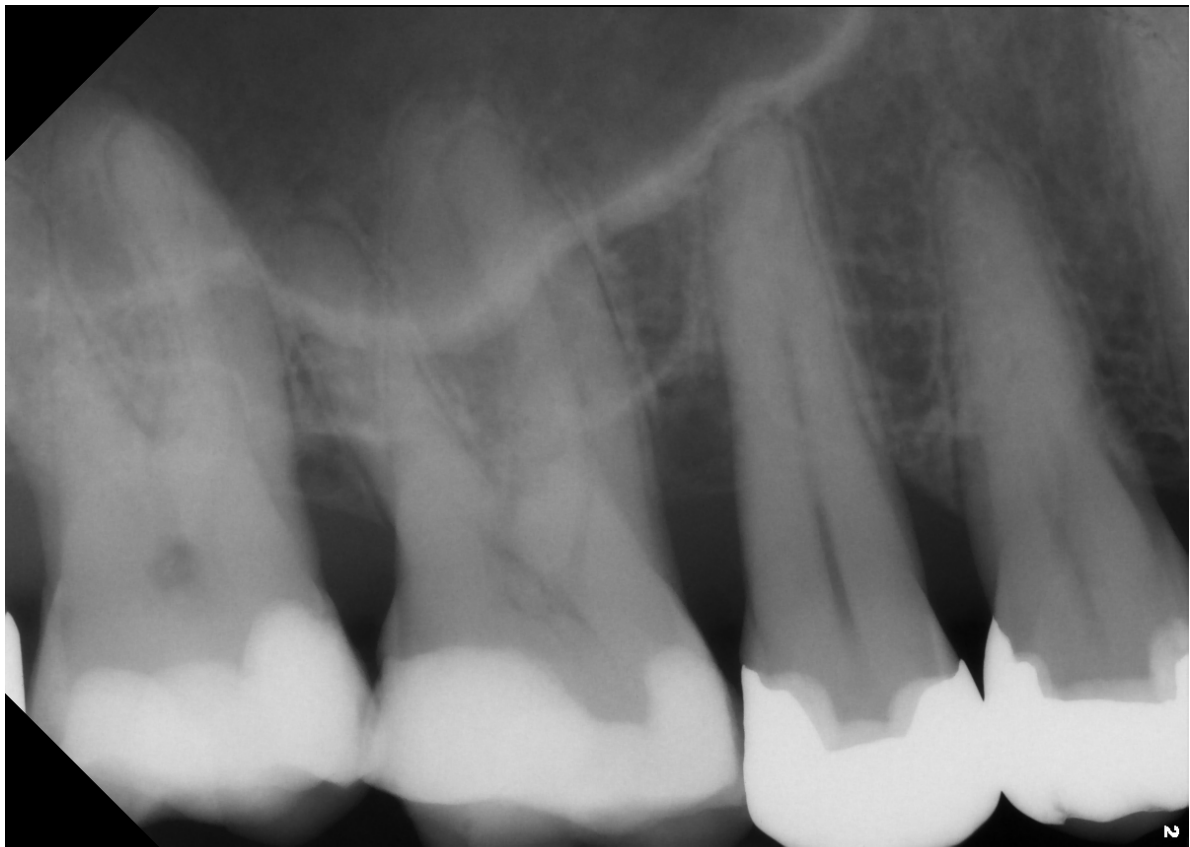


Abbildung 2: Enge Langebeziehung der Wurzeln von 17 bis 15

Gemäß der Literatur sind bei 34 bis 85 % der KH pathologische Auffälligkeiten vorhanden, wobei am häufigsten Verdickungen der KH-Schleimhaut auftreten, gefolgt von Sinusitis und Retentionszysten (Nascimento et al. 2016; Roque-Torres et al. 2016). Zahnärzte spielen bei der Diagnostik von Pathologien des SM anhand von Panoramaschichtaufnahmen eine wesentliche Rolle – zum einen beim Ausschluss

dentogener Ursachen und zum anderen bei der Überweisung von Patienten mit auffälligen Zufallsbefunden an Hals-, Nasen- und Ohrenärzte.

Die odontogene Sinusitis entsteht infolge von Verletzungen oder Infektionen der Schneider'schen Membran. Die Inzidenz wird schätzungsweise mit 30 bis 40 % angegeben (Simuntis et al. 2014). Laut Lechien et al. handelt es sich in den meisten Fällen um eine iatrogene Ursache, gefolgt von apikaler Parodontitis (Abbildung 3), apikalen Granulomen, Zysten und marginaler Parodontitis. Selten kommt es aufgrund von Periimplantitis, Ektopien und Odontomen zu einer Sinusitis maxillaris (Lechien et al. 2014). Akhlagi et al. geben demgegenüber eine persistierende Mund-Antrum-Verbindung und apikale Parodontitis als häufigste Ursachen an (Akhlaghi et al. 2015). Zwar handelt es sich meist um komplikationslose Verläufe, allerdings kann es bei einer eitrigen Sinusitis maxillaris aufgrund der anatomischen Lagebeziehungen zu einer Ausbreitung der Entzündung in Nachbarstrukturen wie Augenhöhle, Schädelbasis und Alveolarknochen oder zu einer Sinusvenenthrombose kommen (Krimmel 2021; Stuck et al. 2021).



Abbildung 3: Apikale Parodontitis an Zahn 14

Therapeutisch steht bei der odontogenen Sinusitis die Beseitigung der odontogenen Ursache durch den Zahnarzt im Vordergrund, wohingegen bei Patienten mit Rhinosinusitis die Weiterbehandlung von den Hals-, Nasen- und Ohrenärzten übernommen werden sollte.

Die Mukozele ist oft ein Zufallsbefund im KH-Boden der Panoramaschichtaufnahme, der zunächst häufig als Extravasationszyste fehldiagnostiziert wird. Es handelt sich dabei um benigne, mit Epithel ausgekleidete Zysten, wobei das Zystenlumen mit Schleim und abgeschilferten Epithelien gefüllt ist. Aufgrund des langsamen Wachstums können zwischen einem und 20 Jahren von der Entstehung bis zur Diagnosestellung vergehen. Der Großteil der Mukozelen tritt nach operativen Eingriffen auf. Als häufigsten Grund (in 66 % der Fälle) geben Bockmühl et al. eine vorangegangene NNH-Operation an, gefolgt von Trauma in 14 % und einer chronischen NNH-Entzündung in 2 % der Fälle (Bockmühl et al. 2005). Scangas et al. beobachteten bei 77,5 % der Patienten mit Mukozelen eine frühere chronische Rhinosinusitis (Scangas et al. 2013) (Abbildung 4).



Abbildung 4: Mukozele der rechten Kieferhöhle

Am häufigsten – mit 43 bis 84 % – ist der Sinus fronto-ethmoidalis von einer Mukozele betroffen, gefolgt vom SM in 8 bis 25 % der Fälle (Bockmühl et al. 2005; Hssaine et al. 2016; Lee und Lee 2010; Scangas et al. 2013). Die Entfernung einer Mukozele des SM erfolgt chirurgisch (Bockmühl et al. 2005; Caylakli et al. 2006).

2.3.2 Implantologie und Sinusbodenelevation

Insbesondere die Implantattherapie erfreut sich in den letzten Jahren aufgrund ihres minimalinvasiven Charakters und der Durchführbarkeit in Lokalanästhesie immer größerer Beliebtheit. Die gesteigerte Patientennachfrage hat zu einer deutlichen Steigerung der Implantationszahlen auf über 1,3 Millionen Implantat-Insertionen pro Jahr allein in Deutschland geführt – mit zunehmender Ausweitung der Indikationsgebiete für dentale Implantate (DGI 2018). Die Zahl der Zahnärzte mit implantologischer Zusatzqualifikation unterlag ebenfalls einem sprunghaften Anstieg (Tewelde et al. 2021).

Nach einem Zahnverlust werden automatisch Umbauprozesse des Alveolarknochens in Gang gesetzt, die mit einer vertikalen und horizontalen Atrophie des Alveolarkamms einhergehen. Weitere Ursachen für Knochenverluste stellen Traumata, die Parodontitis und entzündliche Prozesse dar (Walter und Al-Nawas 2016).

Die vertikale Mindestknochenhöhe für eine erfolgreiche Implantation beträgt 6 mm im Oberkieferseitenzahnbereich (Ravidà et al. 2019). Ein unzureichendes Knochenangebot oder eine schlechte Qualität des Alveolarknochens kann zum Misserfolg der Implantation mit nachfolgendem Implantatverlust führen. Schwerwiegender sind seltene Komplikationen wie Migration beziehungsweise Dislokation des Implantats in die Kieferhöhle (Jeong et al. 2016).

Ist die vertikale Knochenhöhe nicht ausreichend, kann im Oberkieferseitenzahnbereich eine Augmentation in Form einer Sinusbodenelevation indiziert sein. Hierbei wird operativ die Schneider'sche Membran der KH-Schleimhaut vorsichtig vom Alveolarknochen gelöst und gleichzeitig angehoben, um das vertikale Platzangebot zu erhöhen (Weber 2017; Schwenzer und Ehrenfeld 2019). Der entstandene Hohlraum unter der Schneider'schen Membran wird entweder mit autologem Knochen oder Knochenersatzmaterial aufgefüllt. Der Zugang zur Schleimhaut kann dabei extern über die laterale Kieferhöhlenwand oder intern über

den Alveolarfortsatz erfolgen (Schwenzer und Ehrenfeld 2019). Die häufigste Komplikation stellt, ungeachtet des Zugangs, die Perforation der Schneider'schen Membran dar. Diese tritt in circa 10–60 % der Fälle auf (Nolan et al. 2014; Park et al. 2019; Shiffler et al. 2015).

2.4 Die digitale Volumentomografie

Für die Beurteilung zahnmedizinisch relevanter Strukturen wird traditionell die Panoramaschichtaufnahme als zweidimensionale Übersichtsaufnahme von Ober- und Unterkiefer für unterschiedliche diagnostische Fragestellungen und zur präoperativen Planung herangezogen. Inzwischen steht mit der digitalen Volumentomografie (DVT) auch die Möglichkeit der dreidimensionalen Bildgebung zur Verfügung. Bei diesem Verfahren wird das Bild durch direkte dreidimensionale Rekonstruktion generiert, wohingegen andere dreidimensionale Verfahren wie computertomografische (CT) Aufnahmen auf der Überlagerung einer Vielzahl einzelner zweidimensionaler Schichtaufnahmen basieren (Yeung et al. 2020).

Rein technisch setzen sich DVT-Geräte aus drei Komponenten – Röntgenröhre, Generator zur Energieerzeugung und Detektor zur Erfassung der Strahlen – zusammen. Im Gegensatz zum CT ist das Strahlenbündel nicht fächerförmig, sondern konisch geformt und bildet einen Kegel. Dessen Spitze wird von der Röntgenquelle gebildet und bildet die Basis des Bilddetektors. Nach Erfassung der Röntgenstrahlung erfolgt eine Berechnung der dreidimensionalen Ansicht des Objekts, welche später auf dem Computerbildschirm in drei unterschiedlichen Ebenen (sagittal, axial und koronar) betrachtet werden kann. Das digitale Bild setzt sich aus den einzelnen Volumenelementen (*Voxel*n) zusammen, die mit ihrer gleichen Kantenlänge eine präzise und vor allem isometrische Ortsauflösung in allen drei Dimensionen ermöglichen (Dawood et al. 2009).

Im klinischen Alltag werden DVT-Aufnahmen primär zur präoperativen Beurteilung von komplexen Lagebeziehungen angefertigt. Dies betrifft hauptsächlich sowohl die Beurteilung des Nervus alveolaris inferior und seiner Umgebungsstrukturen vor Zahnentfernungen und Implantationen im Unterkiefer als auch die präimplantologische Planung im Oberkiefer. Vor allem in Verbindung mit dem Guided-Surgery-Verfahren erfolgt zunehmend die präoperative Implantationsplanung auf DVT-Basis. Ein weiteres Gebiet ist die Lokalisierung retinierter und/oder verlagelter Zähne bei Kindern und

Jugendlichen bei geplanter kieferorthopädischer Behandlung (Gallichan et al. 2020; Jawad et al. 2016; Jacobs et al. 2018).

Verbindliche Kriterien für die Anfertigung einer DVT-Aufnahme gibt es kaum, sodass der chirurgisch tätige Behandler in seiner Entscheidung derzeit noch weitestgehend frei ist. Aufgrund der erhöhten Strahlenbelastung bei der DVT im Vergleich zur Panoramaschichtaufnahme ist jedoch bei der Indikationsstellung eine sorgfältige und strenge Risiko-Nutzen-Abwägung zu treffen. Die Strahlenbelastung für eine digitale Panoramaschichtaufnahme liegt zwischen 0,2 und 1,0 μSv , wohingegen die Strahlenbelastung bei der Anfertigung einer DVT-Aufnahme je nach Gerät zwischen 11 und 674 μSv variiert (AWMF 2013).

2.5 Ziel der Arbeit

Hochauflösende DVT-Geräte ermöglichen inzwischen eine präzise Darstellung und Befundung der Kieferhöhlenmorphologie in drei Dimensionen, jedoch mit nur einem Bruchteil der Strahlenbelastung von computertomografischen Aufnahmen. Der Einsatz von DVT-Aufnahmen erfolgt dabei für beide Geschlechter, über eine Vielzahl von Indikationen, für sämtliche Altersgruppen und unabhängig vom Zahnbestand. Bisherige Studien zur Kieferhöhlenmorphometrie basieren in der Regel auf CT- oder MRT-Datensätzen; Untersuchungen zur Kieferhöhlenmorphometrie unter Einsatz des DVT sind hingegen selten.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit war es daher, auf Basis einer retrospektiven Untersuchung die Morphometrie der Kieferhöhle eines universitären und vorwiegend kaukasischen Patientenkollektivs unter diagnostischer Zuhilfenahme von DVT-Aufnahmen zu charakterisieren.

3. Material und Methoden

3.1 Patientenauswahl

Es wurde eine retrospektive Untersuchung durchgeführt. Hierzu wurden alle im Jahr 2012 in der Klinik für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität Mainz angefertigten DVTs ausgewertet. Ihre Selektion erfolgte entsprechend den nachfolgend aufgeführten Ein- und Ausschlusskriterien.

Einschlusskriterien

Es wurden alle DVTs in die Auswertung inkludiert, bei denen die gesamte knöcherne Begrenzung der Kieferhöhle nachvollziehbar dargestellt war. Es war dabei unerheblich, ob die knöcherne Begrenzung nur bei einer oder bei beiden Kieferhöhlen komplett nachvollziehbar war. Zur besseren Vergleichbarkeit der Messdaten wurden außerdem lediglich DVTs eingeschlossen, welche mit dem Gerät KaVo 3D eXam (KaVo Dental GmbH, Biberach/Riß, Deutschland) angefertigt worden waren.

Ausschlusskriterien

Von der Studie ausgeschlossen wurden all diejenigen DVT-Aufnahmen, auf denen die Kieferhöhlen nicht vollständig dargestellt sind. Zudem konnten Aufnahmen nicht inkludiert werden, die stark dislozierte Knochenfrakturen oder starke Einblutungen zeigten, wodurch die Kieferhöhle nicht mehr eindeutig begrenzt war. Außerdem erfolgte der Ausschluss von DVT-Aufnahmen, in denen ein destruktiv wachsender Tumor diagnostiziert wurde, da auch hier keine knöcherne Begrenzung eindeutig dargestellt war.

Den Patientenakten wurden die folgenden Parameter entnommen und in einer Excel-Tabelle verwaltet:

- Geschlecht
- Alter zum Zeitpunkt der DVT-Aufnahme
- überweisende Abteilung
- rechtfertigende Indikation für die DVT-Aufnahme
- Bezahnung

Für die Einteilung entsprechend der rechtfertigenden Indikation wurden insgesamt zwölf Kategorien festgelegt: Fraktur, Raumforderung der Kieferhöhle, Implantation, Lage des Zahns, ossäre Erkrankung, Lippen-Kiefer-Gaumenspalte, Kiefergelenkerkrankung, Abszess, Zyste, Kieferfehlstellung, Kiefernekrose und sonstige Diagnose.

3.2 Analyse der Kieferhöhlen

Die Kieferhöhlenanalyse umfasste Basismessungen zu Höhe, Breite und Tiefe der KH. Ferner wurde eine Auswertung der Messwerte realisiert, um mögliche Einflussfaktoren auf die einzelnen Kieferhöhlendimensionen zu ermitteln. Als Einflussfaktoren wurden dabei die Parameter Geschlecht, Alter, Körperseite, Zahnregion und Zahnbestand festgelegt.

Für die Analysen wurden mehrere Messungen im Bereich der Sinus maxillares und des Alveolarfortsatzes im Oberkiefer durchgeführt. Dabei wurde das Vorgehen weitestgehend standardisiert, um eine möglichst genaue Reproduzierbarkeit der Messungen zu gewährleisten. Dazu wurde vor Beginn der Befundung stets eine Konstanzprüfung des verwendeten Monitors entsprechend den Herstellervorgaben durchgeführt, um die technische Eignung für die Befundung sicherzustellen. Es handelte sich bei dem Befundungsmonitor um einen 24 Zoll Apple iMac 5. Generation aus dem Jahr 2008 mit dem Betriebssystem Mac OS X Lion 10.7. Als Software wurde das Programm eXam Vision verwendet, welches über Parallels Desktop ausgeführt wurde. Bei der Befundung wurde der Raum abgedunkelt, um einen ausreichenden Kontrast bei der Befundung zu erreichen.

Das Vorgehen bei der Vermessung und Auswertung der DVT-Aufnahme umfasste im ersten Schritt das Festlegen der Schnittebenen, gefolgt von der Erhebung der Messwerte in einem zweiten Schritt. Dabei erfolgte die Analyse für die Zähne 18 bis 13 und 23 bis 28 jeweils einzeln. Um etwaige Messfehler und Ungenauigkeiten auszuschließen, wurden zudem 30 zufällig ausgewählte DVT-Aufnahmen nach Abschluss der Datenerhebung erneut vermessen, um einen eventuell vorhandenen Messfehler berechnen zu können.

Festlegen der Schnittebenen

Das standardisierte Festlegen der Schnittebenen für die einzelnen Messungen diente der Sicherstellung möglichst exakter und in erster Linie reproduzierbarer Ergebnisse. Zunächst musste, um eine präzise Darstellung zu erreichen, die Panoramaansicht angepasst werden. Hierzu wurde die grüne Linie (Abbildung 5), welche der Transversalebene entspricht, für den Oberkiefer auf die Höhe des Oberkieferalveolarfortsatzes gebracht. Anschließend wurden die blauen Punkte zur Definition der Bildebene gleichmäßig verteilt, ausgehend von der Mittellinie und dem Alveolarkamm. Hieraus resultierte die korrekte Darstellung der Implantat-Ansicht für die Vermessung des Knochenangebotes.

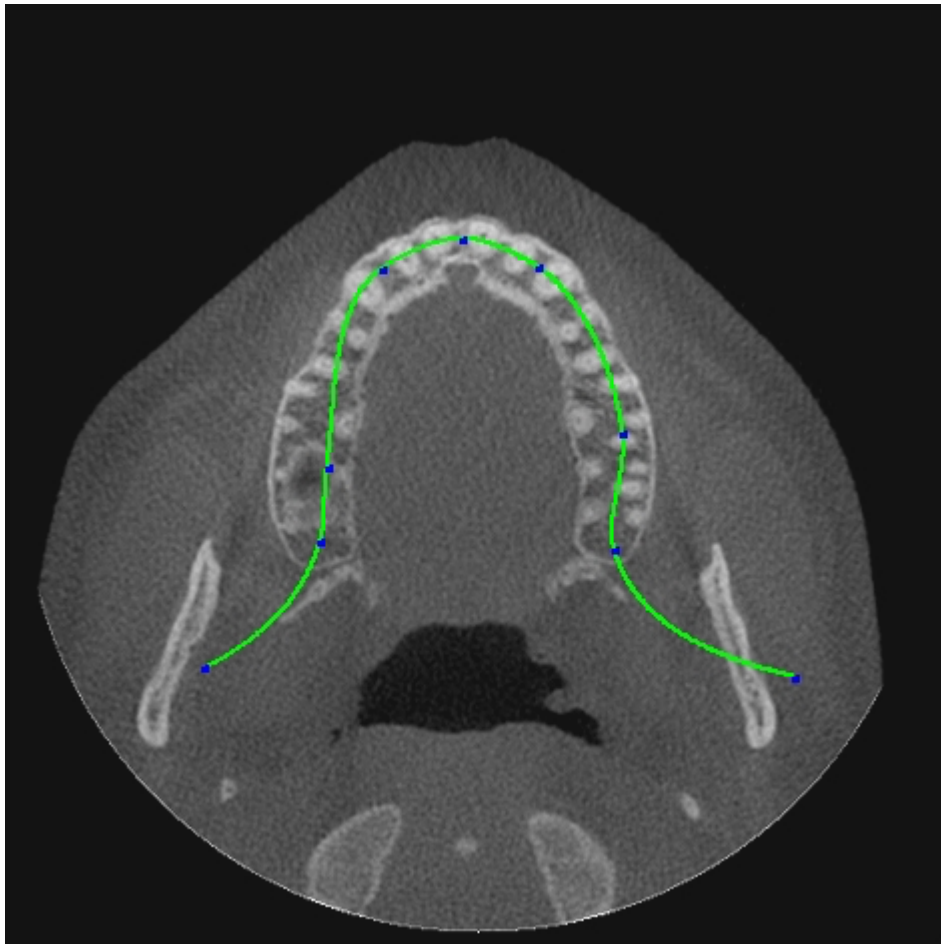


Abbildung 5: Ausrichten der Transversalebene (grüne Linie mit blauen Punkten)

Daraus ergab sich automatisch die Ausrichtung der Frontalebene (Abbildung 6) und der Sagittalebene (Abbildung 7).



Abbildung 6: Frontalebene

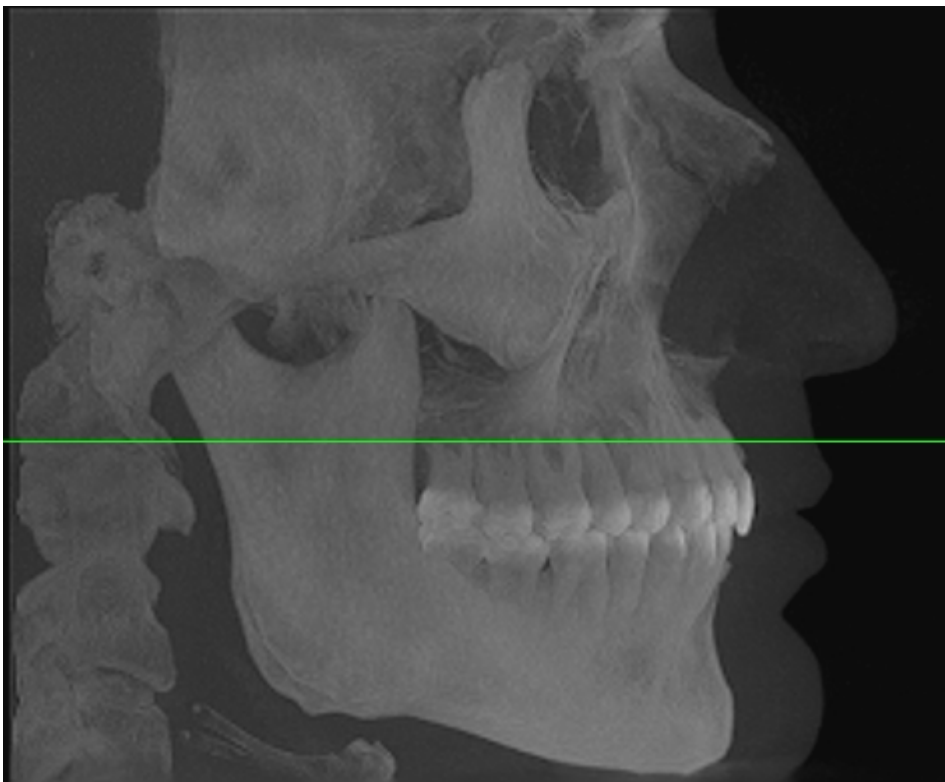


Abbildung 7: Sagittalebene

Die Messungen für die Maße der Kieferhöhlen (kranial-kaudale Höhe [Abbildung 8], medial-laterale Breite [Abbildung 9], anterior-posteriore Weite [Abbildung 10]) wurden allesamt in der Multi-Planare-Rekonstruktion-Ansicht durchgeführt. Bei dieser Ansicht stehen die axiale, sagittale und koronare Ansicht zur Verfügung.

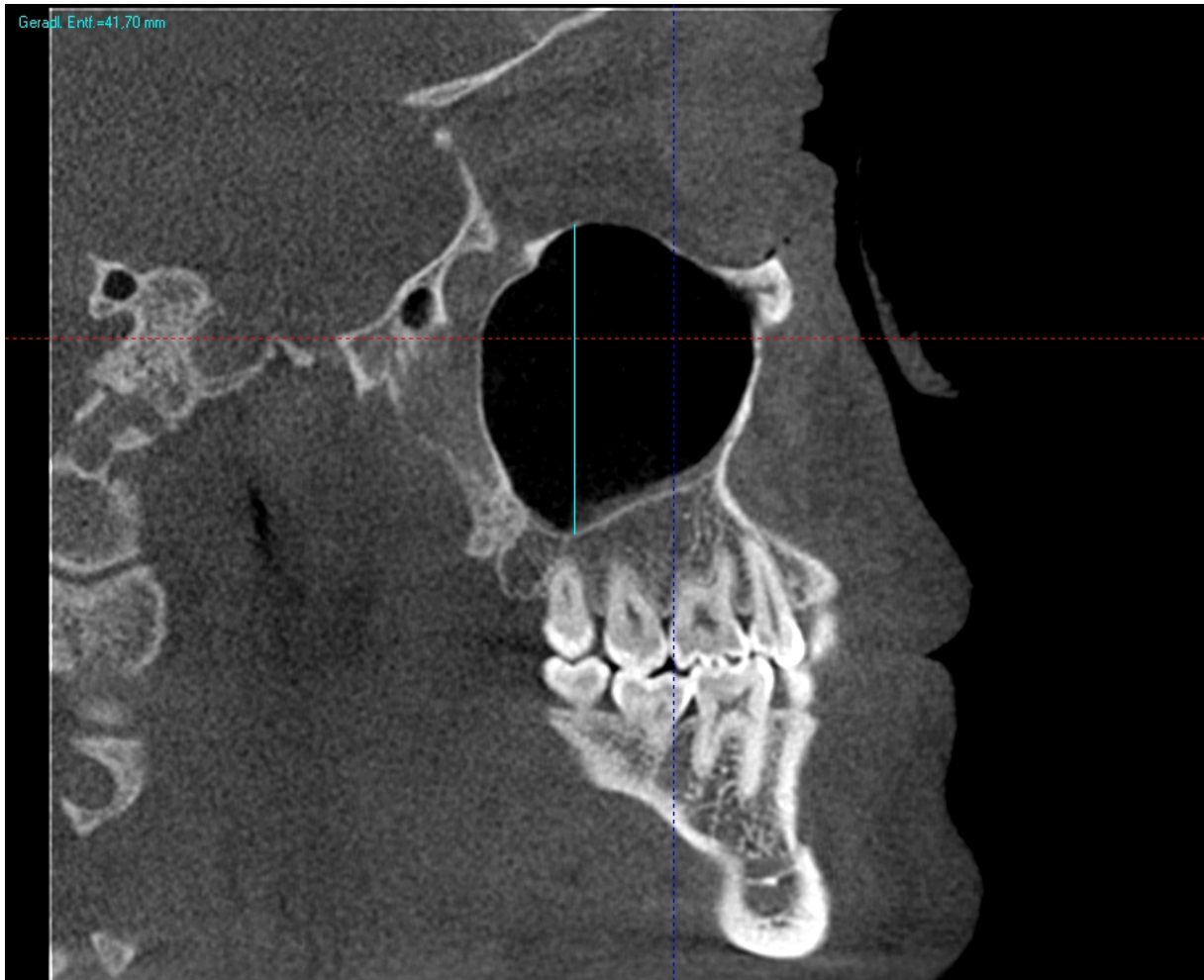


Abbildung 8: Kranial-kaudale Höhe (hellblaue Linie)

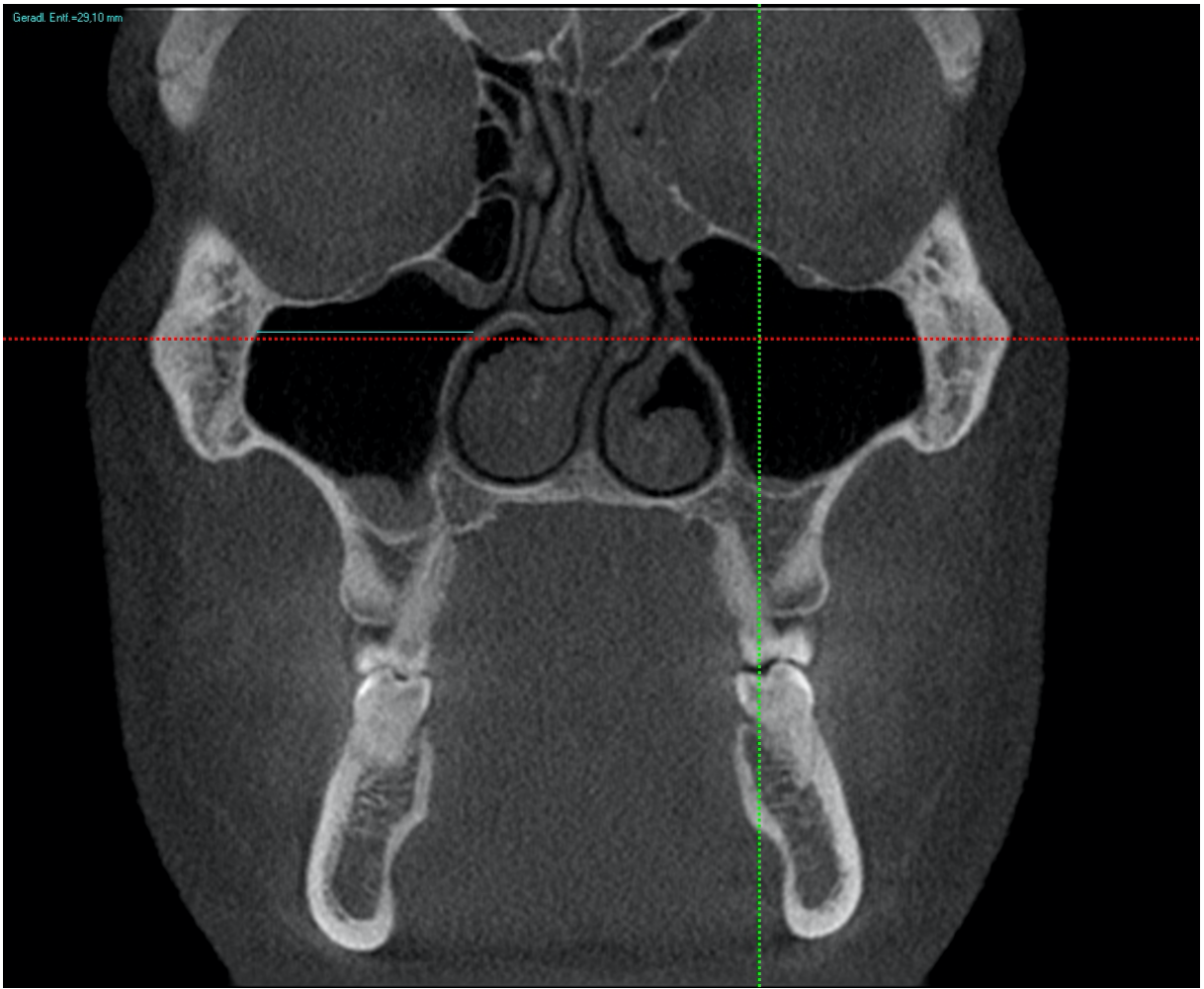


Abbildung 9: Medial-laterale Breite (hellblaue Linie)

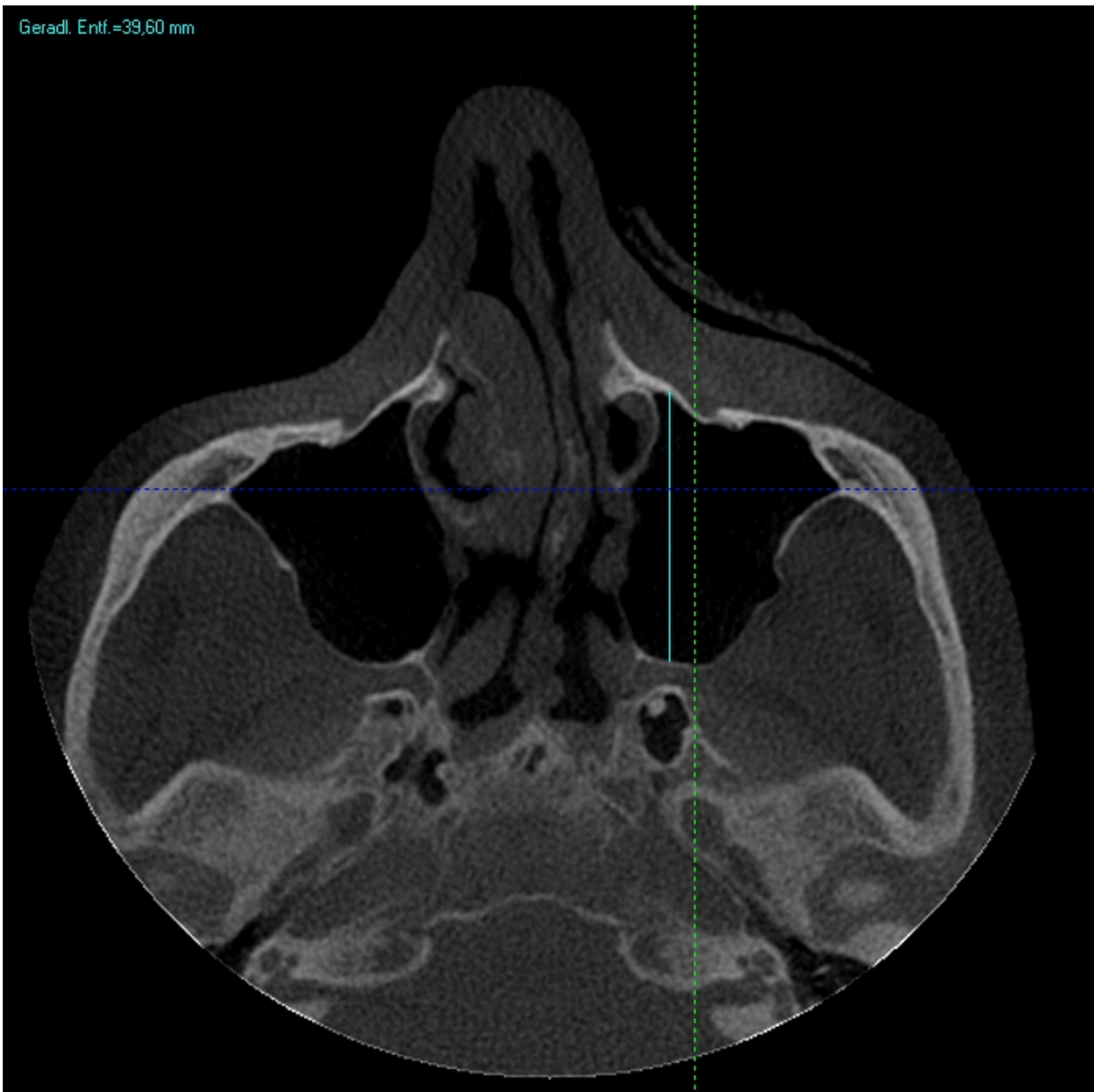


Abbildung 10: Anterior-posteriore Weite (hellblaue Linie)

Erheben der Messwerte

Die Werte für die Höhe der Kieferhöhle wurden in der koronaren Ansicht erhoben und in der sagittalen Ansicht überprüft. Die Breite wurde hingegen in der axialen Ansicht erhoben und in der koronaren Ansicht überprüft. Die Tiefe wurde in der sagittalen Ansicht erhoben und in der axialen Ansicht überprüft. Auf diese Weise wurde jedes Messergebnis direkt einer Gegenprobe zugeführt. Der zu messende Abstand wurde immer parallel zu der Bezugsebene gewählt (Abb. 8–Abb. 10).

Für das Messen des Knochenangebots wurde die vom verwendeten Programm speziell erzeugte Implantat-Ansicht aufgerufen. Diese zentriert immer auf das

Implantat (Abbildung 13). Auch hier wurde wieder parallel zu den Körperebenen gemessen. Exemplarisch für alle gemessenen Zähne wird das Messprotokoll von Zahn 16 sowie bei fehlendem Zahn 16 oder einem Implantat regio 16 erläutert.

Zunächst wurde der Wert für die Knochenhöhe über dem Apex gemessen. Der Apex der palatinalen Wurzel des ersten rechten Backenzahnes wurde in der Implantat-Ansicht dargestellt und dann der Knochen über dem Apex parallel zur sagittalen Ebene gemessen. Danach wurde der Abstand des Apex der jeweiligen Wurzel, bei dem Zahn 16 entsprechend die palatinale (Abbildung 11), mesiobukkale und die distobukkale Wurzel (Abbildung 12), zum Kieferhöhlenboden gemessen.

Die Messung erfolgte parallel zur sagittalen Ebene. Ragte die Wurzelspitze in die Kieferhöhle, wurde der Abstand von der Wurzelspitze zum Kieferhöhlenboden in der Tabelle mit einem negativen Wert versehen. Die Messwerte wurden für jede Wurzel getrennt dokumentiert und ausgewertet.



Abbildung 11: Knochenhöhe über der palatinalen Wurzel von 16 (blaue Linie)

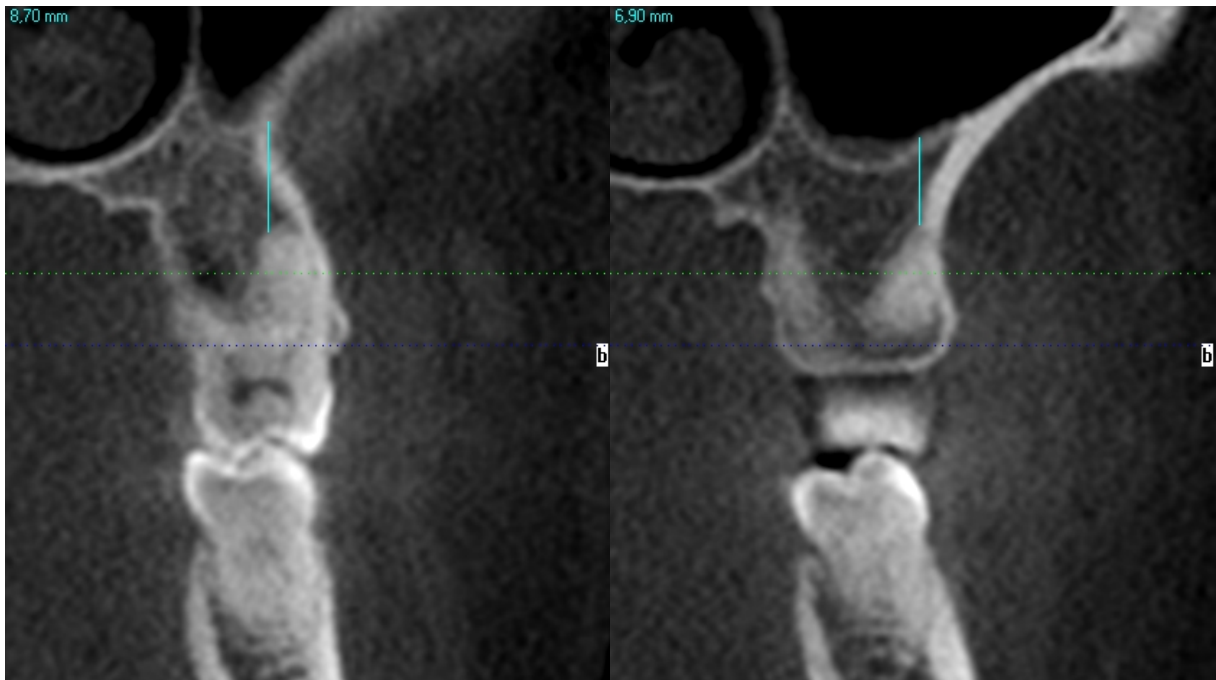


Abbildung 12: Knochenhöhe über der mesiobukkalen Wurzel (links) und distobukkalen Wurzel (rechts) von 16 (hellblaue Linien)

Bei Vorhandensein eines Implantates regio 16 wurden der Knochen über dem Implantat und der Abstand zum Kieferhöhlenboden nach dem gleichen Prinzip wie bei einem einwurzeligen Zahn gemessen (Abbildung 13).



Abbildung 13: Messung der Knochenhöhe über dem Implantat (hellblaue Linie)

Bei einem fehlenden Zahn 16 wurde die Höhe des Knochens parallel zu der sagittalen Ebene und die Breite parallel zur axialen Ebene erhoben. Die Messwerte wurden einer getrennten Auswertung für unbezahnte Bereiche unterzogen.

3.3 Statistische Auswertungen

Sämtliche Daten wurden in einer Excel-Tabelle (Windows Excel 2010) gesammelt und für die Auswertung aufbereitet. Die statistischen Analysen erfolgten mit dem Programm SPSS (IBM SPSS Statistics V22). Neben den Angaben zur deskriptiven Statistik wie Mittelwert, Standardabweichung, Median, Minimum und Maximum kamen außerdem unterschiedliche statistische Tests zur Anwendung. Die ausgewerteten Daten wurden auf ihre Relevanz mit folgenden statistischen Tests analysiert:

- Mann-Whitney-Test (2 unabhängige Stichproben),
- Wilcoxon-Test (2 abhängige Stichproben) sowie
- Korrelationen nach Spearman.

4. Ergebnisse

4.1 Patientenkollektiv

4.1.1 Demografische Daten

Insgesamt konnten 601 auswertbare DVT-Aufnahmen in die Analysen eingeschlossen werden. Die Aufnahmen stammten von 266 (44,3 %) weiblichen und 355 (55,7 %) männlichen Patienten. Das mittlere Alter lag im Gesamtkollektiv bei $43,9 \pm 20,5$ Jahren, wobei der jüngste Patient zum Zeitpunkt der Aufnahmen 4 und der älteste Patient 90 Jahre alt war. Die männlichen Patienten waren im Durchschnitt etwas jünger als die Weiblichen ($\text{♂ } 42,9 \pm 20,0$ Jahre, $\text{♀ } 45,2 \pm 21,0$ Jahre).

Am häufigsten wurden DVT-Aufnahmen bei Patienten zwischen 21 und 30 Jahren (18,0 %) angefertigt, gefolgt von der Altersgruppe der 41- bis 50-Jährigen (15,1 %). Lediglich 4 (0,7 %) der untersuchten DVT-Aufnahmen stammten von Patienten zwischen 0 und 5 Jahren (Abbildung 14).

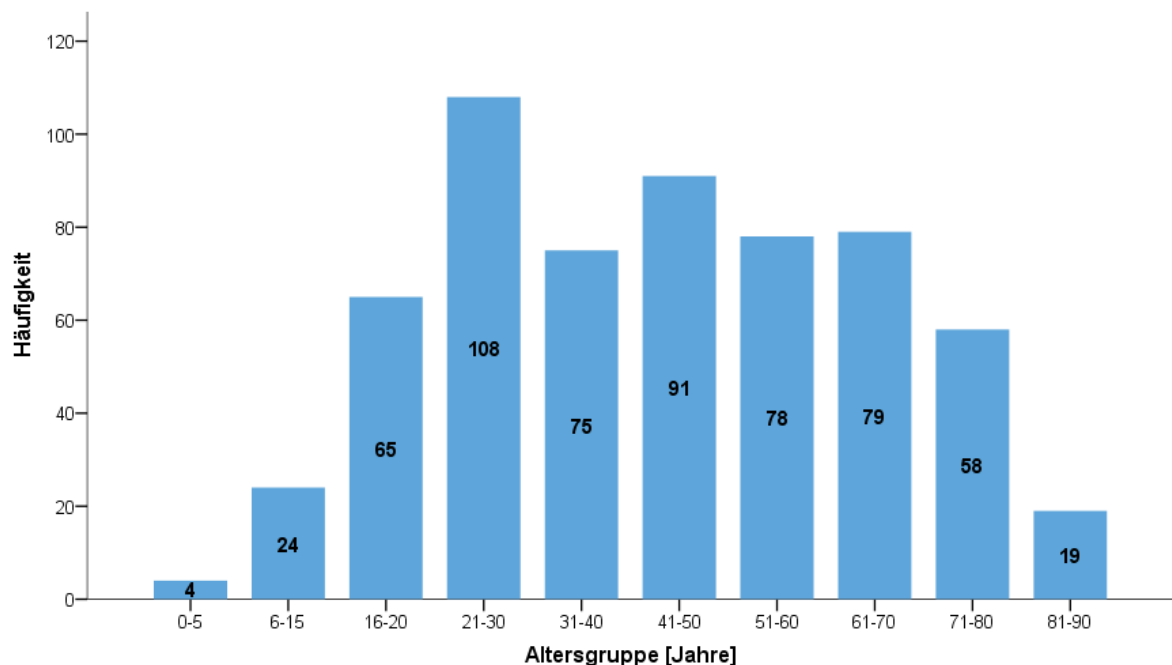


Abbildung 14: Patientenanzahl nach Altersgruppen

4.1.2 Bezahnung

Angaben zur Bezahnung konnten für 584 Patienten ausgewertet werden, wobei zwischen dem ersten und zweiten Quadranten unterschieden wurde. Im ersten Quadranten waren 270 (50,3 %) Patienten vollbezahnt, 232 (39,7 %) teilbezahnt und 82 (14,0 %) unbezahnt. Im zweiten Quadranten waren 265 (45,4 %) Personen vollbezahnt, 238 (40,8 %) teilbezahnt und 81 (13,9 %) zahnlos. Die Übersicht inklusive entsprechender Geschlechterverteilung ist Tabelle 1 zu entnehmen.

Tabelle 1: Bezahnung nach Quadrant und Geschlecht

	Oberkieferbezahnung rechts (%)			Oberkieferbezahnung links (%)		
	gesamt	männlich	weiblich	gesamt	männlich	weiblich
vollbezahnt	46,2	50,3	41,0	45,4	50,6	38,7
teilbezahnt	39,7	37,8	42,2	40,8	38,1	44,1
unbezahnt	14,0	11,9	16,8	13,9	11,3	17,2

4.1.3 Indikation für die digitale Volumentomografie

Die Klinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie war mit 91,4 % der häufigste Überweiser, gefolgt von der Oralchirurgie mit 5 % und der Prothetik mit 3,5 %. Insgesamt wurden 302 (50,2 %) DVT-Aufnahmen zur allgemeinen Diagnostik, das heißt zum Ausschluss oder Bestätigung einer Verdachtsdiagnose, angefordert. Der präoperativen Planung dienten 146 (24,3 %) Aufnahmen, während 153 (25,5 %) postoperative Kontrollaufnahmen darstellten.

Die häufigste Indikation für die Anfertigung einer DVT-Aufnahme war der Frakturverdacht oder die postoperative Kontrolle nach Frakturposition mit 37,7 %. Die implantologische Diagnostik machte 14,3 % der DVTs aus, wohingegen Lippen-Kiefer-Gaumenspalten (0,7 %) und Abszesse (0,5 %) seltene Indikationen für die Anfertigung einer DVT-Aufnahme darstellten.

Im Geschlechtervergleich wurde bei männlichen Patienten deutlich häufiger die Indikation Fraktur gestellt (♂ 44,5 %, ♀ 29,1 %). Die Implantation als zweithäufigster Grund war relativ ausgeglichen mit einer Verteilung von 12,5 % bei den männlichen und 16,6 % bei den weiblichen Patienten (Tabelle 2).

Tabelle 2: DVT-Indikation nach Diagnose und Geschlecht

Diagnose	gesamt (%)	männlich (%)	weiblich (%)
Fraktur	37,7	44,5	29,1
Implantation	14,3	12,5	16,6
Sonstige Diagnose	13,0	11,6	14,7
Kieferfehlstellung	11,0	10,4	11,7
Zyste	6,3	6,0	6,8
Ossäre Erkrankung	5,8	4,8	7,2
Raumforderung der Kieferhöhle	4,2	4,8	3,4
Lage Zahn	3,2	2,7	3,8
Kiefergelenkserkrankung	1,8	1,2	2,6
Kiefernekrose	1,5	0,6	2,6
Lippen-Kiefer-Gaumenspalte	0,7	0,6	0,8
Abszess	0,5	0,3	0,8

4.2 Kieferhöhlenmorphometrie

4.2.1 Höhe

Die rechte Kieferhöhle war im Durchschnitt $38,6 \pm 6,1$ mm hoch, wobei die niedrigste Höhe 12,8 mm und die größte kranio-kaudale Entfernung 57,2 mm betrug. Die linke Kieferhöhle war im Mittel $39,0 \pm 5,9$ mm hoch mit einem Minimum von 17,8 mm und einem Maximum von 59,9 mm. Die linke Kieferhöhle war nach dem Wilcoxon-Test signifikant größer als die rechte Kieferhöhle ($p = 0,020$). In Abbildung 15 ist das Histogramm zur Häufigkeitsverteilung der Höhen beider Kieferhöhlen dargestellt.

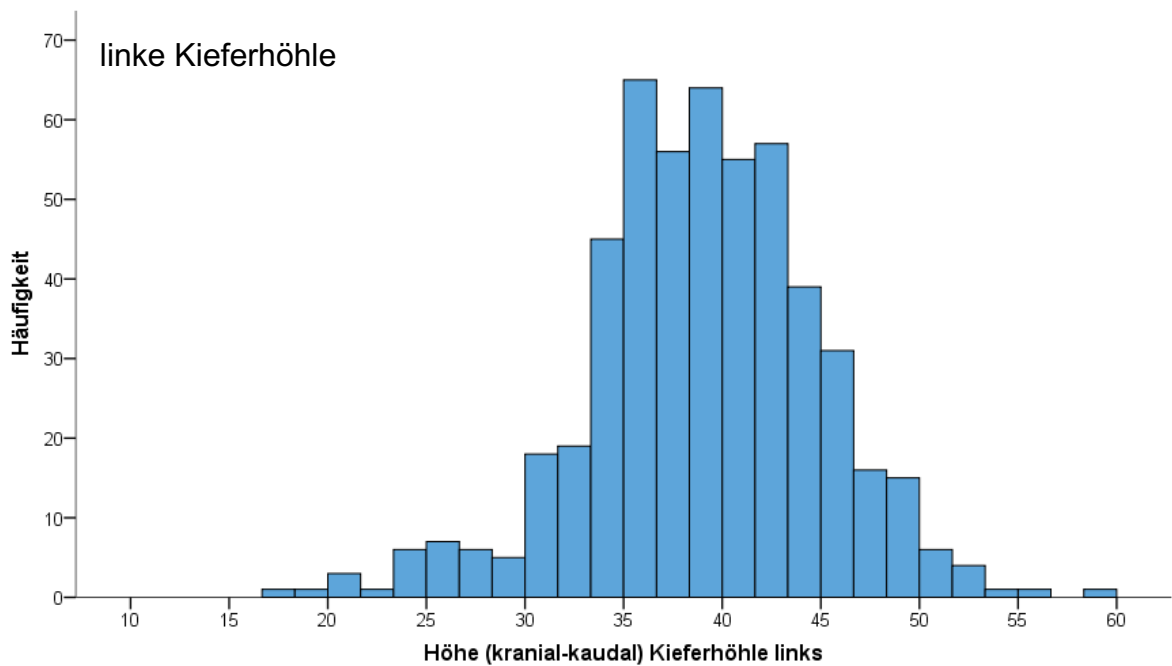
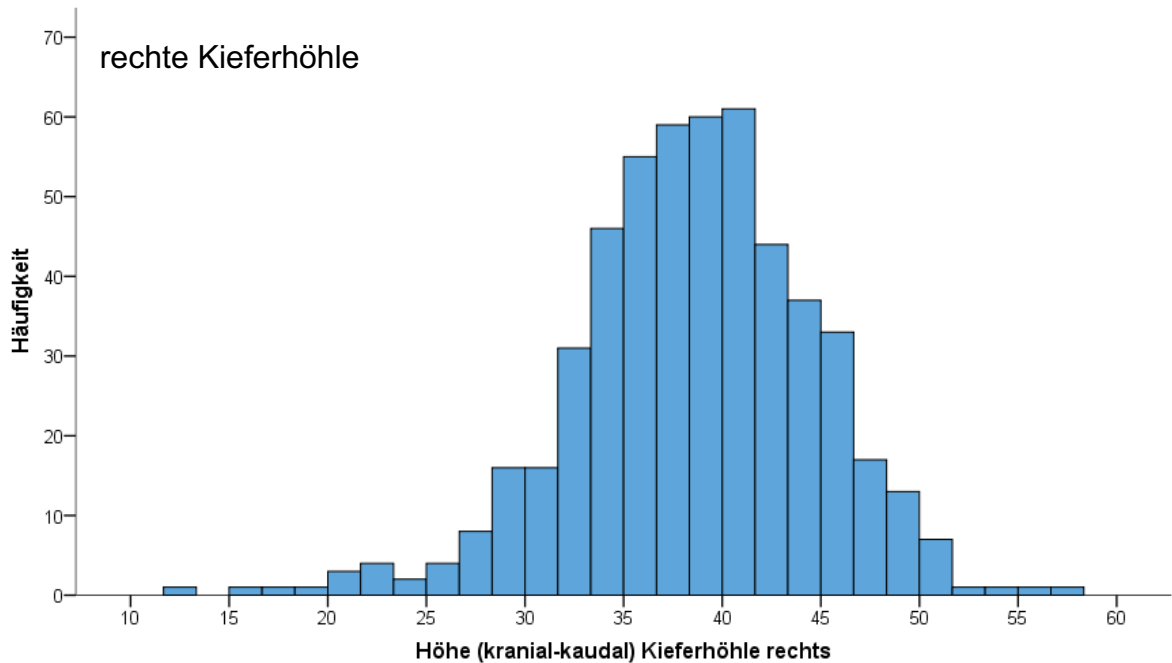


Abbildung 15: Häufigkeitsverteilung zur Höhe der Kieferhöhlen

Analyse nach Alter

Der höchste Median für die rechte Kieferhöhle war mit 40,2 mm in der Gruppe der 31- bis 40-Jährigen zu finden, gefolgt von 40,0 mm bei den 21- bis 30-Jährigen und 39,4 mm bei den 51- bis 60-Jährigen. Am niedrigsten war der Median bei den 0- bis 5-jährigen Patienten mit einer Höhe von 19,7 mm. Die Korrelationsanalyse zeigte keinen Zusammenhang zwischen Patientenalter und Höhe der rechten Kieferhöhle (Spearman's $\rho = -0,044$, $p = 0,319$).

Für die linke Kieferhöhle war der höchste Median bei den 21- bis 30-Jährigen 40,8 mm, gefolgt von 40,5 mm bei den Patienten im Alter von 51 bis 60 Jahren. Kleinkinder zwischen 0 und 5 Jahren hatte mit einem Median von 24,7 mm die geringste Höhe. Es gab keinen Zusammenhang zwischen dem Alter der Patienten und der Höhe der linken Kieferhöhle (Spearman's $\rho = -0,037$, $p = 0,403$). Die Detailaufstellung für alle Altersgruppen ist der Tabelle 3 zu entnehmen.

Analyse nach Geschlecht

Der Medianwert für die Höhe der rechten Kieferhöhle bei den männlichen Patienten lag mit 40,8 mm fast 4,5 mm über dem entsprechenden Wert von 36,4 mm für die weiblichen Patienten. Der Geschlechtervergleich der kranio-kaudalen Entfernung war mit $p < 0,000$ im Mann-Whitney-Test hochsignifikant. Die linke Kieferhöhle wies bei Männern einen Median von 41,1 mm auf und bei Frauen einen Wert von 37,0 mm. Dieser Unterschied war mit $p < 0,000$ ebenfalls hochsignifikant.

4.2.2 Breite

Die medial-laterale Breite der rechten Kieferhöhle betrug $27,5 \pm 4,8$ mm mit einem Minimum von 8,0 mm und einem Maximum von 47,7 mm. Für die linke Kieferhöhle wurde ein Mittelwert von $27,6 \pm 4,4$ mm errechnet bei einem Minimum von 8,8 mm und einem Maximum von 42,2 mm. Der Seitenvergleich der Breiten fiel nicht signifikant aus ($p = 0,113$). Das Histogramm zur Breite wird in Abbildung 16 präsentiert.

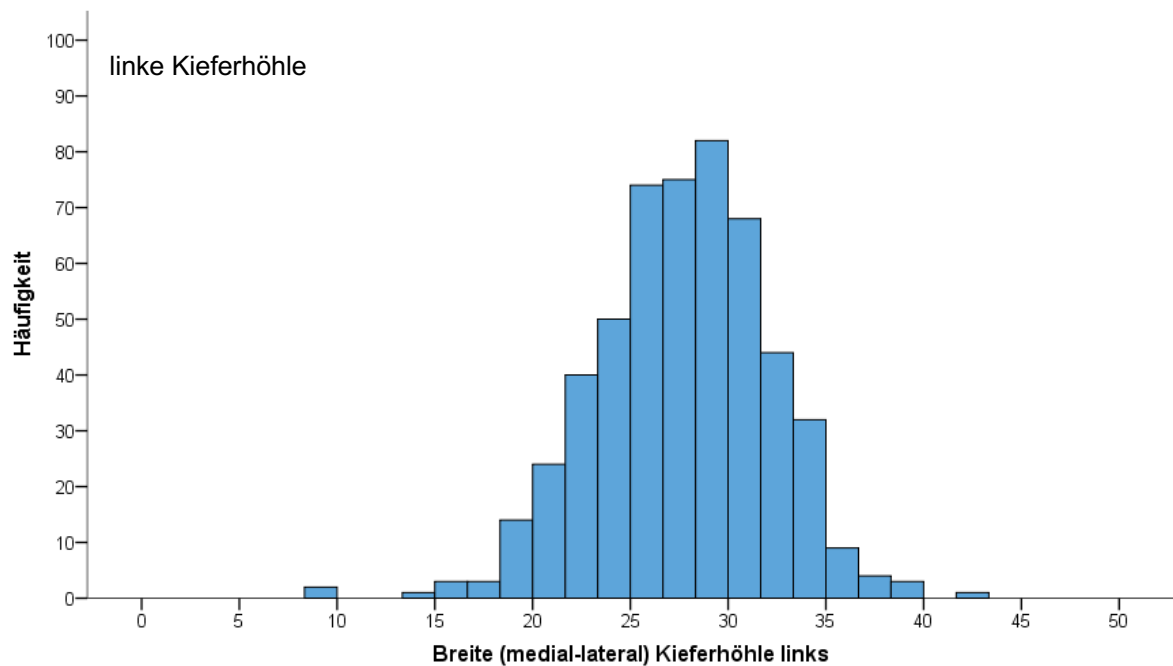
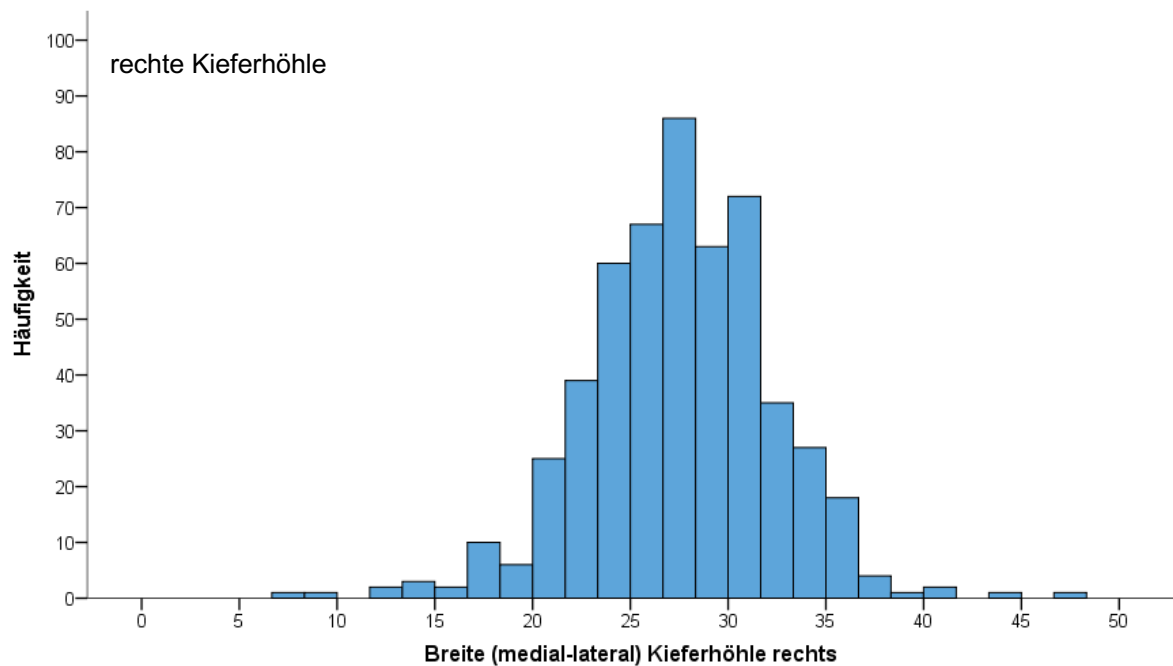


Abbildung 16: Häufigkeitsverteilung zur Breite der Kieferhöhlen

Analyse nach Alter

Der größte Median-Wert war mit 28,6 mm unter den 16- bis 20-Jährigen zu finden, gefolgt von 28,4 mm in der Gruppe der 21- bis 30-jährigen Patienten. Die niedrigsten Median-Werte wurden in der Gruppe der 0- bis 5-Jährigen (18,0 mm) und der 81- bis 90-Jährigen (26,5 mm) ermittelt (Tabelle 3). Die Breite der rechten Kieferhöhle korrelierte nicht mit dem Patientenalter (Spearman's $\rho = -0,078$, $p = 0,072$).

Der höchste Median-Wert für die linke Kieferhöhle wurde mit 29,9 mm in der Gruppe der 61- bis 70-Jährigen verzeichnet. Die 21- bis 30-jährigen Patienten hatten mit einem Median von 29,1 mm eine geringere Breite. Kleinkinder von 0 bis 5 Jahren wiesen mit 19,2 mm die geringste Breite der linken Kieferhöhle auf. Die Breite der linken Kieferhöhle korrelierte nicht mit dem Alter der Patienten (Spearman's $\rho = -0,053$, $p = 0,220$).

Analyse nach Geschlecht

Der Median für die rechte Kieferhöhle von männlichen Patienten betrug 28,2 mm, bei den weiblichen Patientinnen lag er bei 26,9 mm. Der entsprechende Unterschied zwischen beiden Geschlechtern war mit $p < 0,000$ hochsignifikant. Für die linke Kieferhöhle betragen die einschlägigen Werte 28,4 mm und 26,9 mm. Damit waren die linken Kieferhöhlen von Männern signifikant breiter als die von den untersuchten Frauen ($p = 0,001$).

Tabelle 3: Morphometrie der Kieferhöhlen nach Alter (Median-Werte)

Altersgruppe (Jahre)	rechte Kieferhöhle					linke Kieferhöhle				
	Höhe (mm)	Breite (mm)	Tiefe (mm)	minimale Dicke mediale Kieferhöhlen- wand (mm)	Abstand zur Concha nasalis inferior (mm)	Höhe (mm)	Breite (mm)	Tiefe (mm)	minimale Dicke mediale Kieferhöhlen- wand (mm)	Abstand zur Concha nasalis inferior (mm)
0–5	19,7	18,0	29,6	1,3	2,4	24,7	19,2	33,6	0,9	2,1
6–15	34,9	27,0	37,5	0,9	2,3	34,4	26,9	39,0	0,9	2,3
16–20	38,5	28,6	38,7	1,0	2,4	39,0	28,5	38,9	0,9	2,4
21–30	40,0	28,4	39,4	0,9	2,4	40,8	29,1	39,2	0,9	2,3
31–40	40,2	27,1	39,2	0,9	2,7	38,3	27,3	39,1	0,9	2,7
41–50	38,5	27,6	39,3	0,9	2,4	38,2	27,8	39,0	0,9	2,3
51–60	39,4	28,2	38,4	1,1	2,4	40,5	28,7	39,9	0,9	2,4
61–70	38,3	26,9	38,4	1,1	3,0	39,5	29,9	38,7	0,9	2,7
71–80	37,8	26,9	38,1	0,9	2,8	37,3	26,6	39,1	0,9	2,8
81–90	36,3	26,5	37,8	0,9	3,4	38,0	27,8	38,2	1,0	2,9

4.2.3 Tiefe

Die mittlere Tiefe der rechten Kieferhöhle in anterior-posteriorer Richtung lag bei $38,7 \pm 4,0$ mm mit einem Minimum von 23,4 mm und einem Maximum von 48,8 mm. Die linke Kieferhöhle war durchschnittlich $38,9 \pm 3,8$ mm tief, wobei der niedrigste Wert 19,2 mm und der höchste Wert 48,7 mm betrug (Abbildung 17). Der Seitenvergleich war mit $p = 0,048$ signifikant.

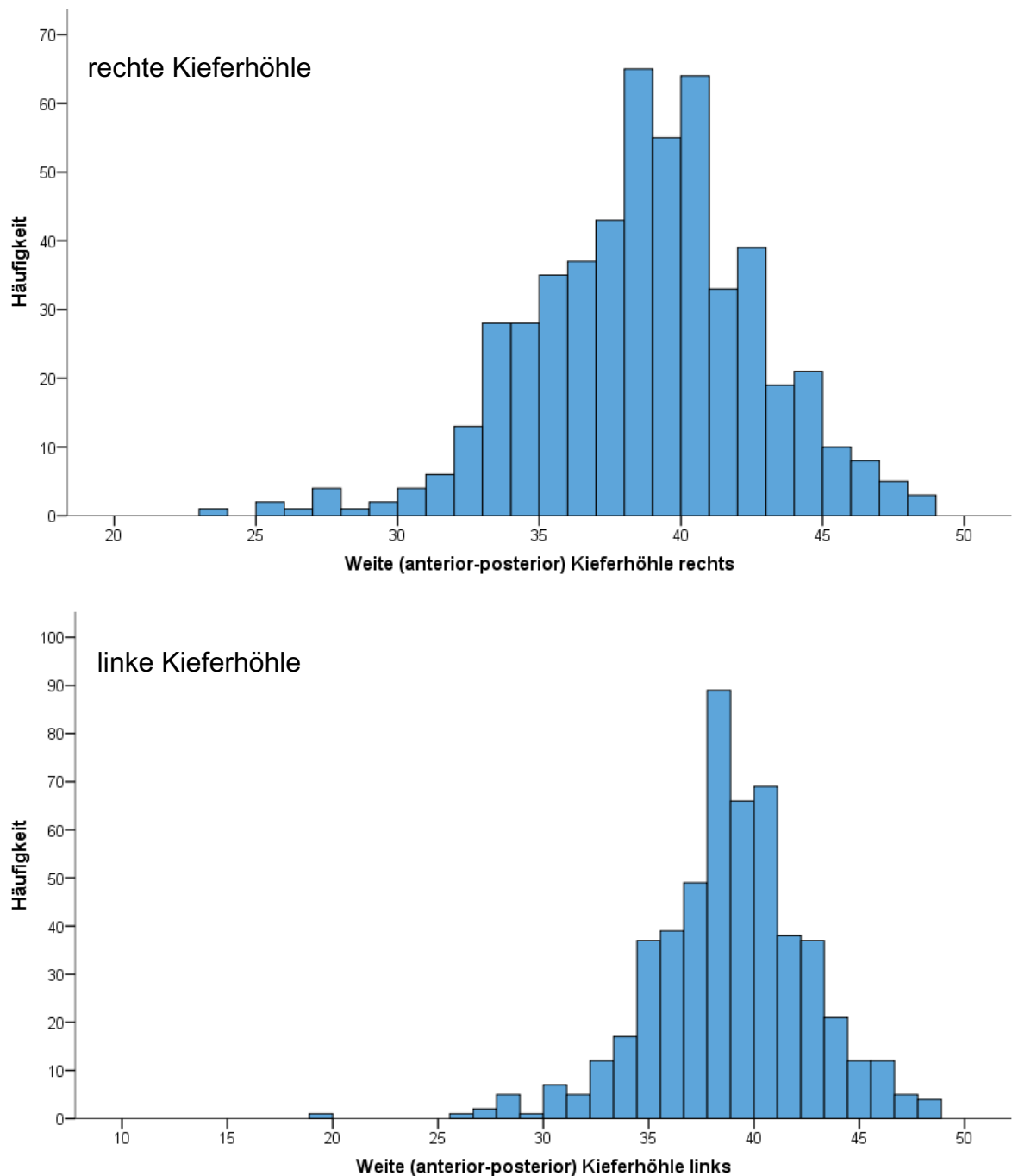


Abbildung 17: Häufigkeitsverteilung zur Tiefe der Kieferhöhlen

Analyse nach Alter

Der höchste Median für die Tiefe wurde mit 39,4 mm in der Gruppe der 21- bis 30-jährigen Patienten aufgezeichnet. Es folgten an zweiter Stelle die 41- bis 50-jährigen Patienten mit einem Median von 39,3 mm und die 31- bis 40-jährigen Personen mit einem Wert von 39,2 mm. Der geringste Median hinsichtlich der Tiefe lag bei 29,6 mm und wurde bei den Kleinkindern von 0 bis 5 Jahren ermittelt. Die Korrelationsanalyse zeigte keinen Zusammenhang zwischen dem Alter der Patienten und der Tiefe der rechten Kieferhöhle (Spearman's $\rho = -0,050$, $p = 0,256$).

Bei der linken Kieferhöhle wurde die größte Tiefe in der Gruppe der 51- bis 60-Jährigen vorgefunden (Median = 39,9 mm), gefolgt von den 21- bis 30-Jährigen mit einem Median von 39,2 mm. Die 0- bis 5-Jährigen wiesen mit 33,6 mm die geringste Kieferhöhlentiefe auf. Die Werte zu den hier nicht genannten Altersgruppen werden in *Tabelle 3* präsentiert.

Es konnten auch hier keine Korrelationen zwischen dem Patientenalter und der Tiefe der linken Kieferhöhle festgestellt werden (Spearman's $\rho = -0,047$, $p = 0,283$).

Analyse nach Geschlecht

Die Median lag bei den DVTs der rechten Kieferhöhlen von Männern bei 39,7 mm und für Frauen bei 38,1 mm. Der statistische Vergleich der beiden Median-Werte ergab mit $p < 0,000$ einen hochsignifikanten Unterschied. Für die Tiefe der linken Kieferhöhle betragen die korrespondierenden Median-Werte 39,7 mm bei den männlichen und 38,1 mm bei den weiblichen Patienten. Der Geschlechtervergleich fiel auch für die linke Kieferhöhle hochsignifikant aus ($p < 0,000$).

4.3 Knochenhöhe bezahnt

4.3.1 Eckzahn (regio 13 und 23)

Für beide Eckzähne waren die Aspekte Knochenhöhe über Apex und Abstand zwischen Apex und Kieferhöhlenboden jeweils fast identisch. Für Zahn 13 wurde ein Median-Wert von 6,8 mm für das Gesamtkollektiv ermittelt. Bei Männern war der Median mit 7,0 mm größer als mit 6,2 mm bei den Frauen. Die entsprechenden Werte für Zahn 23 waren 6,7 mm im Gesamtkollektiv, 7,0 mm für Patienten und 6,3 mm für

Patientinnen. Es gab keine signifikanten Unterschiede zwischen den Werten für beide Geschlechter (

Tabelle 4).

Tabelle 4: Knochenhöhe Eckzahn gesamt und nach Geschlecht

Zahn 13	gesamt	männlich	weiblich	p-Wert
Knochenhöhe über Apex (mm)	6,8	7,0	6,2	0,113
Abstand Apex–Kieferhöhlenboden (mm)	6,8	7,0	6,2	0,116

Zahn 23	Gesamt	Männlich	Weiblich	p-Wert
Knochenhöhe über Apex (mm)	6,7	7,0	6,3	0,132
Abstand Apex–Kieferhöhlenboden (mm)	6,7	7,0	6,3	0,129

Daten zur Knochenhöhe über dem Apex vom rechten oberen Eckzahn waren für Kinder ab 6 Jahren verfügbar. Der Median-Wert in der Gruppe der 6- bis 15-Jährigen betrug 5,7 mm. Es war dabei ein kontinuierlicher Anstieg der Mediane zu beobachten bis zum Wert von 10,1 mm für die 81- bis 90-Jährigen (Tabelle 5). Die Korrelationsanalyse ergab einen fast moderaten Zusammenhang für das Alter, der hochsignifikant war (Spearman's $\rho = 0,284$, $p < 0,000$).

Für den linken oberen Eckzahn lagen Median-Werte für Patienten ab 6 Jahren vor. Kinder und Jugendliche zwischen 6 und 15 Jahren wiesen mit 4,9 mm den geringsten Median-Wert auf. Die Knochenhöhe über dem Apex von Zahn 23 nahm kontinuierlich zu, bis das Maximum im Alter von 81 bis 90 Jahren mit 11,6 mm erreicht wurde. Es konnte auch für den linken oberen Eckzahn ein knapp moderater Zusammenhang zwischen dem Patientenalter und der Knochenhöhe festgestellt werden, der ebenfalls hochsignifikant ausfiel (Spearman's $\rho = 0,284$, $p < 0,000$).

Tabelle 5: Knochenhöhe über Apex und Alter für die Eckzähne sowie die oberen Prämolaren

Knochenhöhe über Apex (mm)								
Altersgruppe (Jahre)	Zahn 13	Zahn 23	Zahn 14 palatinal	Zahn 14 bukkal	Zahn 24 palatinal	Zahn 24 bukkal	Zahn 15	Zahn 25
0–5	--	--	--	--	--	--	--	--
6–15	5,7	4,9	7,1	7,0	7,0	8,5	3,2	2,5
16–20	5,8	4,5	5,6	6,2	5,9	7,5	1,1	1,2
21–30	5,9	4,9	8,0	8,9	5,1	7,4	1,9	1,5
31–40	6,0	6,7	7,1	6,9	8,2	9,7	2,7	2,4
41–50	6,8	6,9	8,1	7,6	7,1	8,1	2,3	2,6
51–60	7,0	6,8	6,7	8,3	7,3	8,7	2,6	1,9
61–70	8,4	7,9	10,4	10,2	6,6	10,8	2,6	2,7
71–80	8,7	8,8	9,8	10,2	9,4	13,5	5,8	5,0
81–90	10,1	11,6	12,5	10,9	12,4	10,6	5,1	12,3

4.3.2 Erster Prämolare (regio 14 und 24)

Beim ersten oberen Prämolaren war die Knochenhöhe über der palatinalen Wurzel in beiden Quadranten geringer als die Knochenhöhe über der bukkalen Wurzel. Bei Zahn 14 betrug der Knochenhöhen-Unterschied zwischen den beiden Wurzeln 0,5 mm. Jener für Zahn 24 war mit 1,7 mm deutlich größer. Im ersten Quadranten waren die Geschlechterunterschiede ausgeprägter als im zweiten Quadranten. Kein einziger Vergleich zwischen den Patienten und Patientinnen war dabei jedoch signifikant (Tabelle 6).

Tabelle 6: Knochenhöhe erster Prämolare gesamt und nach Geschlecht (KH-Boden – Kieferhöhlenboden, pal – palatinal, vest – vestibulär)

Zahn 14	gesamt	männlich	weiblich	p-Wert
Knochenhöhe über Apex pal (mm)	7,7	8,1	7,1	0,116
Knochenhöhe über Apex vest (mm)	8,2	8,9	7,6	0,093
Abstand Apex-KH-Boden pal (mm)	7,7	8,1	7,2	0,096
Abstand Apex-KH-Boden vest (mm)	8,2	9,0	7,6	0,080

Zahn 24	gesamt	männlich	weiblich	p-Wert
Knochenhöhe über Apex (mm)	6,6	6,6	6,7	0,360
Knochenhöhe über Apex vest (mm)	8,3	8,3	8,2	0,816
Abstand Apex-KH-Boden pal (mm)	6,6	6,6	6,6	0,323
Abstand Apex-KH-Boden vest (mm)	8,3	8,3	8,2	0,797

Die Knochenhöhe über der palatinalen Wurzel von 14 zeigte einen schwankenden Verlauf in den Altersgruppen. Der Median startete bei 7,1 mm bei den 6- bis 15-Jährigen, nahm bei den Jugendlichen zwischen 16 und 20 Jahren leicht ab auf 5,6 mm und stieg in der Gruppe der 21- bis 30-Jährigen auf 8,0 mm an. Dieses Muster mit Abnahme und Zunahme im Wechsel setzte sich bis zur Gruppe der Ältesten mit 81 bis 90 Jahren fort. Hier wurde auch die höchste mediane Knochenhöhe über dem Apex der palatinalen Wurzel des ersten oberen Prämolaren gemessen mit 12,5 mm (Tabelle 5). Die Korrelationsanalyse ergab einen geringen Zusammenhang zwischen dem Alter und der Knochenhöhe über dem Apex der palatinalen Wurzel von 14, der sehr signifikant ausfiel (Spearman's $\rho = 0,165$, $p = 0,001$).

Ein ähnliches Bild zeigte sich für die bukkale Wurzel von 14, wobei der wellenförmige Verlauf der medianen Knochenhöhe bis zur Gruppe der 31- bis 40-Jährigen

beobachtet wurde. In den nachfolgenden Altersgruppen war ein kontinuierlicher Anstieg der Knochenhöhe über dem Apex der bukkalen Wurzel zu beobachten. Der Höchstwert wurde unter den 81- bis 90-Jährigen ermittelt und lag bei 10,9 mm. Die Knochenhöhe über der bukkalen Wurzel korrelierte schwach mit dem Patientenalter und war signifikant (Spearman's $\rho = 0,154$, $p = 0,005$).

Die Median-Werte des linken oberen ersten Prämolaren wiesen ebenfalls Schwankungen zwischen den Altersgruppen auf. Die einzelnen Werte sind der Tabelle 5 zu entnehmen. Die statistischen Tests ergaben eine schwache, aber signifikante Korrelation mit dem Patientenalter sowohl für die Knochenhöhe über der palatinalen Wurzel von Zahn 14 (Spearman's $\rho = 0,105$, $p = 0,038$) als auch für die Knochenhöhe über der bukkalen Wurzel (Spearman's $\rho = 0,186$, $p = 0,001$).

4.3.3 Zweiter Prämolare (regio 15 und 25)

Bei den beiden zweiten Prämolaren waren die Parameter Knochenhöhe über Apex und Abstand Apex–Kieferhöhlenboden jeweils fast gleich groß. Die Knochenhöhe war in beiden Quadranten bei den Frauen größer als bei den Männern – es konnten jedoch keine signifikanten Unterschiede zwischen den Median-Werten beider Geschlechter aufgezeigt werden (Tabelle 7).

Tabelle 7: Knochenhöhe erster Prämolare gesamt und nach Geschlecht

Zahn 15	gesamt	männlich	weiblich	p-Wert
Knochenhöhe über Apex (mm)	2,3	2,1	2,4	0,249
Abstand Apex–Kieferhöhlenboden (mm)	2,3	2,1	2,4	0,162
Zahn 25	gesamt	männlich	weiblich	p-Wert
Knochenhöhe über Apex (mm)	2,0	1,9	2,2	0,130
Abstand Apex–Kieferhöhlenboden (mm)	2,1	1,9	2,2	0,207

Die mediane Knochenhöhe über dem Apex des zweiten oberen Prämolaren lag im ersten Quadranten zunächst bei 3,2 mm bei den Kindern und Jugendlichen im Alter von 6 bis 15 Jahren und nahm dann auf 1,1 mm ab bei den 16- bis 20-Jährigen. Es

folgte ein leicht wellenförmiger Verlauf, wobei der höchste Median mit 5,8 mm bei den 71- bis 80-Jährigen gemessen wurde (Tabelle 5). Auffällig ist die geringe Knochenhöhe von nur 5,1 mm in der Gruppe der 81- bis 90-Jährigen, der im Seitenvergleich niedrig erscheint. Die Korrelationsanalyse ergab einen geringen Zusammenhang zwischen dem Patientenalter und der Knochenhöhe über Apex von 15, der hochsignifikant ausfiel (Spearman's $\rho = 0,206$, $p < 0,000$).

Im zweiten Quadranten wurden ähnliche Ergebnisse für den Median ermittelt und auch der Verlauf der Werte in den Altersgruppen glich dem Zahn 15. Auffällig war lediglich der sprunghafte Anstieg des Medians von 5,0 mm in der Gruppe der 71- bis 80-Jährigen auf 12,3 mm bei den 81- bis 90-Jährigen (Tabelle 5). Die Knochenhöhe über Apex korrelierte schwach mit dem Patientenalter und war hochsignifikant (Spearman's $\rho = 0,222$, $p < 0,000$).

4.3.4 Erster Molar (regio 16 und 26)

Die größte mediane Knochenhöhe wurde jeweils für die mesiobukale Wurzel in beiden Quadranten gemessen. Die Knochenhöhe über der palatinalen und distobukalen Wurzel war fast gleich groß. Der Vergleich der Knochenhöhe über den drei Wurzeln konnte keine signifikanten Unterschiede zwischen Männern und Frauen aufzeigen (Tabelle 8).

Tabelle 8: Knochenhöhe erster Molar gesamt und nach Geschlecht (KH-Boden – Kieferhöhlenboden, pal – palatinal, db – distobukkal, mb – mesiobukkal)

Zahn 16	gesamt	männlich	weiblich	p-Wert
Knochenhöhe über Apex pal (mm)	1,2	1,2	1,2	0,868
Knochenhöhe über Apex mb (mm)	1,5	1,3	1,5	0,453
Knochenhöhe über Apex db (mm)	1,2	1,1	1,3	0,640
Abstand Apex-KH-Boden pal (mm)	1,2	1,2	1,2	0,756
Abstand Apex-KH-Boden mb (mm)	1,5	1,3	1,5	0,585
Abstand Apex-KH-Boden db (mm)	1,2	1,1	1,3	0,704

Zahn 26	gesamt	männlich	weiblich	p-Wert
Knochenhöhe über Apex pal (mm)	1,0	1,2	0,9	0,934
Knochenhöhe über Apex mb (mm)	1,2	1,2	1,1	0,624
Knochenhöhe über Apex db (mm)	1,1	1,1	1,1	0,867
Abstand Apex-KH-Boden pal (mm)	1,1	1,2	0,9	0,656
Abstand Apex-KH-Boden mb (mm)	1,2	1,2	1,1	0,271
Abstand Apex-KH-Boden db (mm)	1,1	1,2	1,1	0,565

Die mediane Knochenhöhe über den Apices von Zahn 16 war von Schwankungen zwischen den Altersgruppen und den einzelnen Wurzeln geprägt. Eindeutige Trends konnten bei der Durchsicht der Einzelwerte nicht identifiziert werden (Tabelle 9). Die geringste Knochenhöhe wurde mit 0,0 mm bis 0,7 mm für alle drei Wurzeln durchweg in der Gruppe der Jugendlichen und jungen Erwachsenen von 16 bis 20 Jahren gemessen. An zweiter Stelle stand die Gruppe der 21- bis 30-Jährigen mit deutlich größeren Median-Werten von 1,1–1,2 mm, während die größte Knochenhöhe bei den 61- bis 70-jährigen Patienten ermittelt wurde. Die entsprechenden Mediane lagen je nach Wurzel bei 1,9–2,7 mm. Es konnte für alle drei Wurzeln von 16 jeweils ein schwacher Zusammenhang zwischen dem Patientenalter und der Knochenhöhe über Apex aufgezeigt werden. Die Werte waren im Einzelnen wie folgt: palatinal: Spearman's $\rho = 0,218$, $p < 0,000$; mesiobukkal: Spearman's $\rho = 0,204$, $p < 0,000$; distobukkal: Spearman's $\rho = 0,194$, $p < 0,000$.

Bei der Betrachtung der Werte für 26 konnten ebenfalls keine eindeutigen Trends abgelesen werden. So zeigte jede einzelne Wurzel für sich variable Median-Werte für die jeweiligen Altersgruppen. Wie im ersten Quadranten konnten die niedrigsten Median-Werte bei Jugendlichen und jungen Erwachsenen ermittelt werden, gefolgt von Patienten zwischen 21 und 30 Jahren. Größere Knochenangebote fanden sich bei den 61- bis 70- sowie den 71- bis 80-Jährigen (Tabelle 9). Die Korrelationen zwischen

Patientenalter und apikaler Knochenhöhe waren allesamt schwach (palatinal: Spearman's $\rho = 0,137$, $p = 0,008$; mesiobukkal: Spearman's $\rho = 0,174$, $p = 0,001$; distobukkal: Spearman's $\rho = 0,135$, $p = 0,010$).

Tabelle 9: Knochenhöhe über Apex und Alter für die ersten oberen Molaren

Altersgruppe (Jahre)	Zahn 16 palatinal	Zahn 16 mesiobukkal	Zahn 16 distobukkal	Zahn 26 palatinal	Zahn 26 mesiobukkal	Zahn 26 distobukkal
0–5	--	--	--	--	--	--
6–15	1,8	1,6	1,2	1,3	0,9	1,1
16–20	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0
21–30	1,2	1,1	1,2	0,0	0,7	0,8
31–40	1,2	1,9	1,4	1,5	1,2	1,2
41–50	1,5	1,8	1,1	1,6	1,8	0,3
51–60	1,6	1,3	1,8	0,0	1,1	0,5
61–70	2,7	2,3	1,9	1,8	1,8	2,0
71–80	1,6	2,0	1,3	2,1	1,8	1,9
81–90	--	--	--	--	--	--

Tabelle 10: Knochenhöhe über Apex und Alter für die zweiten und dritten oberen Molaren

Altersgruppe (Jahre)	Zahn 17 palatinal	Zahn 17 mesiobukkal	Zahn 17 distobukkal	Zahn 27 palatinal	Zahn 27 mesiobukkal	Zahn 27 distobukkal	Zahn 18	Zahn 28
0–5	--	--	--	--	--	--	--	--
6–15	3,9	1,7	2,9	2,5	1,8	2,0	1,8	1,2
16–20	1,2	0,0	1,3	1,2	0,0	1,3	1,2	1,3
21–30	1,0	0,4	0,6	0,2	0,0	0,0	1,0	1,4
31–40	1,2	0,0	1,3	1,8	0,9	1,5	1,9	2,0
41–50	1,6	1,0	1,2	1,3	1,0	1,6	1,7	1,2
51–60	2,1	1,5	1,9	1,5	1,4	1,7	2,1	1,8
61–70	1,8	1,5	1,8	1,8	1,7	2,0	1,2	1,8
71–80	2,0	1,5	1,4	1,5	1,6	1,4	2,7	1,1
81–90	4,2	2,3	2,4	2,3	3,7	2,4	--	0,7

4.3.5 Zweiter Molar (regio 17 und 27)

Der zweite obere Molar hatte die niedrigste mediane Knochenhöhe über der mesiobukkalen Wurzel. Dies wurde sowohl im ersten als auch im zweiten Quadranten vorgefunden. Für Zahn 17 waren die Werte für die palatinale und mesiobukkalen Knochenhöhe über Apex bei den Patientinnen größer als bei den Patienten. Es wurden jedoch keine signifikanten Unterschiede zwischen den Geschlechtern festgestellt (Tabelle 11).

Tabelle 11: Knochenhöhe zweiter Molar gesamt und nach Geschlecht (KH-Boden – Kieferhöhlenboden, pal – palatinal, db – distobukkal, mb – mesiobukkal)

Zahn 17	gesamt	männlich	weiblich	p-Wert
Knochenhöhe über Apex pal (mm)	1,5	1,4	1,6	0,385
Knochenhöhe über Apex mb (mm)	1,0	0,8	1,1	0,661
Knochenhöhe über Apex db (mm)	1,3	1,4	1,3	0,456
Abstand Apex-KH-Boden pal (mm)	1,5	1,4	1,6	0,298
Abstand Apex-KH-Boden mb (mm)	1,0	0,8	1,1	0,662
Abstand Apex-KH-Boden db (mm)	1,4	1,5	1,3	0,374

Zahn 27	gesamt	männlich	weiblich	p-Wert
Knochenhöhe über Apex pal (mm)	1,3	1,4	1,3	0,944
Knochenhöhe über Apex mb (mm)	0,9	0,9	0,8	0,931
Knochenhöhe über Apex db (mm)	1,3	1,5	1,2	0,231
Abstand Apex-KH-Boden pal (mm)	1,3	1,4	1,2	0,952
Abstand Apex-KH-Boden mb (mm)	0,9	0,9	0,7	0,958
Abstand Apex-KH-Boden db (mm)	1,3	1,5	1,2	0,523

Bei der Betrachtung der Altersgruppen lagen die höchsten Median-Werte in der Gruppe der Kinder und Jugendlichen zwischen 6 und 15 Jahren, während die niedrigsten für alle drei Wurzeln bei den 21- bis 30-Jährigen zu finden waren. Die zweitgrößten Knochenhöhen wurden bei den 81- bis 90-jährigen Patienten gemessen (Tabelle 10). Die Korrelationsanalyse ergab für alle drei Wurzeln von 17 jeweils schwache Zusammenhänge zwischen dem Alter und der gemessenen Knochenhöhe (palatinal: Spearman's $\rho = 0,136$, $p = 0,009$; mesiobukkal: Spearman's $\rho = 0,144$, $p = 0,006$; distobukkal: Spearman's $\rho = 0,138$, $p = 0,009$).

Die Ergebnisse waren für den Zahn 27 im zweiten Quadranten ähnlich, allerdings waren die Knochenhöhen in der Gruppe der Ältesten (81- bis 90-Jährige) hier am

höchsten, gefolgt von den 6- bis 15-Jährigen. Die niedrigsten Werte wurden bei den 16- bis 20- sowie den 21- bis 30-Jährigen vorgefunden (Tabelle 10). Es gab für alle drei Wurzeln einen schwachen Zusammenhang zwischen dem Patientenalter und der Knochenhöhe über Apex (palatinal: Spearman's $\rho = 0,110$, $p = 0,033$; mesiobukkal: Spearman's $\rho = 0,152$, $p = 0,003$; distobukkal: Spearman's $\rho = 0,159$, $p = 0,003$).

4.3.6 Dritter Molar (regio 18 und 28)

Die mediane Knochenhöhe bei Weisheitszähnen war in beiden Quadranten bei Männern größer als bei Frauen. Es gab keine signifikanten Unterschiede zwischen den Geschlechtern (Tabelle 12).

Tabelle 12: Knochenhöhe dritter Molar gesamt und nach Geschlecht (KH-Boden – Kieferhöhlenboden)

Zahn 18	gesamt	männlich	weiblich	p-Wert
Knochenhöhe über Apex (mm)	1,5	1,5	1,3	0,893
Abstand Apex-KH-Boden (mm)	1,5	1,8	1,3	0,664

Zahn 28	gesamt	männlich	weiblich	p-Wert
Knochenhöhe über Apex (mm)	1,4	1,5	1,2	0,603
Abstand Apex-KH-Boden (mm)	1,5	1,5	1,2	0,409

Im ersten Quadranten wies die mediane Knochenhöhe über 18 einen wellenförmigen Verlauf auf. Der Median startete zunächst bei Kindern (6–15 Jahre) mit 1,8 mm und sank bis zu den 21- bis 30-Jährigen auf 1,0 mm ab. Es folgten weitere Anstiege und Abnahmen im Wechsel, bis mit 2,7 mm schließlich das Maximum in der Gruppe der 71- bis 80-Jährigen erreicht wurde (Tabelle 10). Die Knochenhöhe über dem Apex von 18 korrelierte schwach mit dem Alter des jeweiligen Patienten (Spearman's $\rho = 0,129$, $p = 0,104$).

Die Knochenhöhe bei 28 zeigte im Verlauf der Altersgruppen einen kleinen Doppelpeak (Tabelle 10). Der Median starteten bei Kindern (6–15 Jahre) mit 1,2 mm und stieg bis 2,0 mm für die Gruppe der 31- bis 40-Jährigen kontinuierlich an. Es folgte eine kurze Reduktion auf 1,2 mm, bevor mit 1,8 mm bei den 51- bis 60- und 61- bis 70-Jährigen ein Plateau erreicht wurde. Anschließend sank der Median weiter und

erreichte sein Minimum mit 0,7 mm in der Gruppe der Ältesten. Es konnte ein schwacher Zusammenhang zwischen dem Alter und der Knochenhöhe über dem Zahn 28 ausfindig gemacht werden (Spearman's $\rho = 0,122$, $p = 0,138$).

4.4 Knochenhöhe unbezahlt

4.4.1 Einfluss von Geschlecht

Die Knochenhöhe wurde auch in Bereichen mit fehlenden Zähnen ermittelt. Im ersten Quadranten wies die Eckzahnregion mit 14,2 mm die größte Knochenhöhe auf und der Bereich über Zahn 16 mit 6,0 mm die geringste Restknochendicke. Bei allen untersuchten Regionen im ersten Quadranten war die bei Männern gemessene Knochenhöhe größer als in den jeweiligen Regionen der Frauen. Der statistische Vergleich zwischen den Geschlechtern fiel für die Weisheitszahnregion und beim ersten oberen Molaren signifikant aus. Die Unterschiede zwischen den Geschlechtern waren für die regio 13 und 14 sogar sehr signifikant (Tabelle 13).

Im zweiten Quadranten lag die größte Knochenhöhe in regio 23 bei 14,1 mm, gefolgt von 13,9 mm in regio 24. Am wenigsten Knochen war im Bereich von 26 mit 6,1 mm und 27 mit 6,0 mm vorhanden. Die vorhandene Knochenhöhe bei fehlenden Zähnen war bei Männern außer in regio 28 größer als bei Frauen. Die Differenz der Knochenhöhen für die Geschlechter betrug dabei bis zu 5,0 mm, wobei die größten Unterschiede in der Eckzahn- und Prämolarenregion beobachtet wurden. Der Geschlechtervergleich fiel für regio 24 sehr signifikant, für regio 23 und 25 sogar hochsignifikant aus. Die übrigen Vergleiche waren nicht signifikant (Tabelle 13).

Tabelle 13: Knochenhöhe nach Region und Geschlecht nach Zahnverlust (*p < 0,05, **p < 0,01, ***p < 0,001)

1. Quadrant	gesamt	männlich	weiblich	p-Wert
Regio 13 Knochenhöhe (mm)	14,2	15,7	12,1	0,001**
Regio 14 Knochenhöhe (mm)	13,4	14,6	11,5	0,007**
Regio 15 Knochenhöhe (mm)	9,1	10,0	8,3	0,094
Regio 16 Knochenhöhe (mm)	6,0	6,7	5,6	0,017*
Regio 17 Knochenhöhe (mm)	6,1	6,9	5,7	0,104
Regio 18 Knochenhöhe (mm)	7,5	8,0	7,1	0,041*

2. Quadrant	gesamt	männlich	weiblich	p-Wert
Regio 23 Knochenhöhe (mm)	14,1	16,1	11,8	<0,000***
Regio 24 Knochenhöhe (mm)	13,9	15,0	12,0	0,001**
Regio 25 Knochenhöhe (mm)	10,4	12,2	7,2	<0,000***
Regio 26 Knochenhöhe (mm)	6,1	6,8	5,4	0,190
Regio 27 Knochenhöhe (mm)	6,0	6,2	6,0	0,916
Regio 28 Knochenhöhe (mm)	7,5	7,2	7,5	0,707

4.4.2 Einfluss von Alter

Im Bereich der rechten oberen Eckzahnregion waren erst Daten ab einem Alter von 31 Jahren verfügbar. Die maximale Knochenhöhe betrug 15,0 mm in der Gruppe der 61- bis 70-Jährigen, gefolgt von 14,7 mm bei den 31- bis 40-Jährigen. Die geringste mediane Knochenhöhe lag bei 12,9 mm und wurde sowohl bei den Patienten im Alter von 41 bis 50 als auch bei jenen im Alter von 81 bis 90 Jahren vorgefunden. Es gab keinen Zusammenhang zwischen Patientenalter und Knochenhöhe in der regio 13 (Spearman's $\rho = -0,030$, $p = 0,783$).

In regio 14 waren erst Werte von Patienten ab 16 Jahren verfügbar, wobei die größte Knochenhöhe bei den Jugendlichen und jungen Erwachsenen vorlag (16,3 mm). Die geringste Knochenhöhe war in der Gruppe der 61- bis 70-Jährigen mit 12,0 mm vorhanden. Die Korrelationsanalyse ergab keinen Zusammenhang mit dem Alter (Spearman's $\rho = -0,009$, $p = 0,921$).

Die Knochenhöhe bei fehlenden Zähnen in regio 15 schwankte zwischen 15,2 mm in der Gruppe der 21- bis 30-Jährigen und 4,5 mm bei den 16- bis 20-Jährigen. Zwischen den Altersgruppen zeigten sich jeweils große Unterschiede in der Restknochenhöhe, die jedoch keinem erkennbaren Trend folgten. Der statistische Vergleich konnte keinen Zusammenhang zwischen Alter und Knochenhöhe für diese Region aufzeigen (Spearman's $\rho = -0,060$, $p = 0,458$).

In der Region 16 bewegten sich die Werte für die Knochenhöhe je nach Altersgruppe zwischen 5,0 und 6,8 mm. Das Alter korrelierte jedoch nicht mit der Knochenhöhe (Spearman's $\rho = 0,019$, $p = 0,813$).

Bei fehlendem Zahn 17 betrug die geringste Knochenhöhe 5,1 mm in der Gruppe der 41- bis 50-Jährigen. Das größte Knochenangebot war mit 10,8 mm bei den Kindern und Jugendlichen zu finden. Es konnte kein Zusammenhang mit dem Patientenalter identifiziert werden (Spearman's $\rho = 0,030$, $p = 0,852$).

In der rechten oberen Weisheitszahnregion lag das maximale Knochenangebot bei 8,4 mm bei Kindern und Jugendlichen zwischen 6 und 15 Jahren. Am niedrigsten war die Knochenhöhe in der Gruppe der Ältesten mit 6,7 mm. Die Knochenhöhe korrelierte in diesem Bereich nicht mit dem Patientenalter (Spearman's $\rho = -0,046$, $p = 0,379$).

Tabelle 14: Knochenhöhe nach Region bei fehlenden Zähnen im ersten Quadranten

Altersgruppe (Jahre)	Regio 13 (mm)	Regio 14 (mm)	Regio 15 (mm)	Regio 16 (mm)	Regio 17 (mm)	Regio 18 (mm)
0–5	--	--	--	--	--	--
6–15	--	--	13,7	--	10,8	8,4
16–20	--	16,3	4,5	--	6,2	6,8
21–30	--	14,6	15,2	6,2	6,6	7,5
31–40	14,7	15,9	10,4	6,8	7,8	7,8
41–50	12,9	12,8	8,9	6,0	5,1	7,8
51–60	13,6	13,6	10,1	5,7	5,8	8,0
61–70	15,0	12,0	8,2	6,0	6,7	7,8
71–80	13,7	12,7	9,8	5,7	6,0	7,2
81–90	12,9	13,3	7,5	6,0	6,0	6,7

Für regio 23 wurde die größte Knochenhöhe bei 16- bis 20-jährigen Patienten vorgefunden (18,3 mm). Die geringste Knochenhöhe lag mit 8,5 mm in der Gruppe der 21- bis 30-Jährigen vor. Anschließend war ein Anstieg auf 15,6 mm in der Gruppe der 41- bis 50-Jährigen zu beobachten, bevor die Knochenhöhe mit zunehmendem Alter auf 11,7 mm in der Gruppe der Ältesten abnahm. Die Korrelationsanalyse konnte keinen Zusammenhang zwischen Alter und Knochenhöhe bei fehlendem Eckzahn ausmachen (Spearman's $\rho = -0,045$, $p = 0,674$).

Die maximale Knochenhöhe wurde in regio 24 bei den Patienten im Alter von 21 bis 30 Jahren ermittelt (16,9 mm), gefolgt von jüngeren Patienten zwischen 16 und 20

Jahren (15,6 mm). Am wenigsten Knochen war mit 9,0 mm nach Verlust des linken ersten oberen Prämolaren bei den ältesten Patienten vorhanden. Es gab einen schwachen, negativ gerichteten Zusammenhang zwischen dem Patientenalter und der Knochenhöhe, der jedoch nicht signifikant ausfiel (Spearman's $\rho = -0,128$, $p = 0,127$).

Die Knochenhöhe in regio 25 zeigte einen variablen Verlauf bei der Betrachtung über die Altersgruppen. Am höchsten war der Knochen bei Kindern und Jugendlichen (13,6 mm) und am niedrigsten bei Patienten zwischen 51 und 60 Jahren. Das Patientenalter korrelierte nicht mit der Knochenhöhe (Spearman's $\rho = -0,012$, $p = 0,876$).

Im Bereich des linken ersten oberen Molaren lagen erst Werte ab einem Alter von 21 Jahren vor. Die Gruppe der 21- bis 30-Jährigen wies mit 8,4 mm das höchste Knochenangebot nach Zahnverlust auf, gefolgt von den Patienten zwischen 81 und 90 Jahren mit 7,1 mm. Das geringste Knochenangebot wurde bei Patienten zwischen 31 und 40 Jahren ermittelt – es lag hier bei 5,5 mm. Die Korrelationsanalyse konnte keine Assoziation zwischen dem Alter des Patienten und der Knochenhöhe identifizieren (Spearman's $\rho = 0,047$, $p = 0,544$).

Bei fehlendem Zahn 27 betrug die geringste Knochenhöhe 4,8 mm in der Gruppe der 21- bis 30-Jährigen. Das größte Knochenangebot war mit 10,1 mm bei den Jugendlichen und jungen Erwachsenen zwischen 16 und 20 Jahren anzutreffen. Es konnte kein Zusammenhang mit dem Patientenalter ausfindig gemacht werden (Spearman's $\rho = 0,020$, $p = 0,790$).

In der linken oberen Weisheitszahnregion lag das maximale Knochenangebot bei 8,8 mm bei Kindern und Jugendlichen zwischen 6 und 15 Jahren. Am niedrigsten war die Knochenhöhe in der Gruppe der 61- bis 70-Jährigen mit 6,6 mm. Die Knochenhöhe korrelierte in diesem Bereich nicht mit dem Patientenalter (Spearman's $\rho = -0,056$, $p = 0,272$).

Tabelle 15: Knochenhöhe nach Region bei fehlenden Zähnen im zweiten Quadranten

Alters- gruppe (Jahre)	Regio 23 (mm)	Regio 24 (mm)	Regio 25 (mm)	Regio 26 (mm)	Regio 27 (mm)	Regio 28 (mm)
0-5	--	--	--	--	--	--
6-15	--	--	13,6	--	9,0	8,8
16-20	18,3	15,6	10,9	--	10,1	7,8
21-30	8,5	16,9	11,0	8,4	4,8	7,4
31-40	15,0	12,7	10,2	5,5	8,2	8,7
41-50	15,6	15,1	10,6	6,1	5,1	7,2
51-60	14,5	13,8	8,3	5,7	6,4	6,9
61-70	14,2	13,9	11,0	6,0	6,3	6,6
71-80	13,6	12,6	10,0	6,9	5,8	7,4
81-90	11,7	9,0	9,7	7,1	6,6	7,8

5. Diskussion

5.1 Diskussion der Methodik

Die vorliegende Untersuchung zur Charakterisierung der Kieferhöhlenmorphometrie wurde als retrospektive DVT-Studie konzipiert. Mit der Einführung der DVT in die Zahnheilkunde im Jahre 1998 hat diese Aufnahmetechnik die CT inzwischen fast vollständig abgelöst (Tewelde et al. 2021). Vorteile für den Patienten sind die geringere Strahlenbelastung und deutlich reduzierte Artefakt-Anfälligkeit gegenüber metallischen prothetischen Restaurationen wie Implantaten, Kronen und Brücken (Yeung et al. 2020).

Bei allen diagnostischen Fragestellungen ist die Bildqualität maßgeblich für die Beurteilung relevanter Strukturen. Die Bildqualität der DVT wird von verschiedenen Faktoren beeinflusst, darunter die Belichtungsparameter, das Auflösungsvermögen des Sensors sowie die Software-Algorithmen zur Bildrekonstruktion und Artefaktreduktion. Die in dieser Studie untersuchten DVT-Aufnahmen wurden allesamt mit dem Gerät KaVo 3D eXam (KaVo Dental GmbH, Biberach/Riß, Deutschland) angefertigt, für das eine hohe Bildqualität bestätigt wurde (Neller und Geibel 2012). Weil die gerätespezifischen Parameter zwischen DVTs zu Abweichungen hinsichtlich der Messwerte führen können, wurde im Vorfeld die Entscheidung getroffen, lediglich Aufnahmen des KaVo 3D eXam in die Analysen miteinzubeziehen. Um die Genauigkeit der Auswertungen zu erhöhen, wurden außerdem sämtliche Aufnahmen ausgeschlossen, in denen die knöchernen Kieferhöhlenbegrenzung nicht in vollem Umfang und eindeutig dargestellt war. Dies betraf insbesondere Aufnahmen mit stark dislozierten Frakturen, heftigen Einblutungen und/oder destruktiv wachsenden Tumoren.

Die Messungen wurden allesamt vom Verfasser der vorliegenden Arbeit durchgeführt, der sich zuvor intensiv mit der Auswertung der DVT-Aufnahmen, den Funktionen der Software-Elemente für die Messung und den relevanten anatomischen Strukturen befasst hatte. Die Auflösung des KaVo 3D eXam stellte trotz Voxelgrößen von 0,4 bis 0,125 mm einen limitierenden Faktor bei der Datenerhebung dar.

5.2 Diskussion der Ergebnisse

5.2.1 Kieferhöhlenmorphometrie

Die Charakterisierung der Kieferhöhlenmorphologie erfolgte als Morphometrie über die Maximalwerte für Höhe, Breite und Tiefe der KH. Es handelte sich in der vorliegenden Studie um eine der größten Patientenkohorten mit DVT-Aufnahmen, welche bislang zur Charakterisierung der Kieferhöhlenmorphometrie (ohne Fokus auf Septa) untersucht worden ist.

Die Auswertung ergab, dass die linke KH signifikant höher war als die rechte. Dabei konnte kein Zusammenhang zwischen dem Patientenalter und der Höhe beider KH festgestellt werden. Der Geschlechtervergleich ergab hingegen hochsignifikante Größenunterschiede für die Höhe der KH zwischen den Männern und Frauen, die in diese Untersuchung eingeschlossen worden waren. Die Breite der KH korrelierte ebenfalls nicht mit dem Alter, allerdings war die linke KH bei Männern signifikant breiter als bei Frauen. Die linke KH war signifikant tiefer als die rechte, es konnten diesbezüglich jedoch keine Korrelationen mit dem Alter aufgezeigt werden. Im Geschlechtervergleich waren beide KH bei Männern hochsignifikant tiefer als bei Frauen.

Der Blick in die einschlägige Literatur zeigt, dass das Publikationsvolumen zur Charakterisierung der Kieferhöhlenmorphologie mittels DVT in den vergangenen Jahren deutlich zugenommen hat. Es scheint sich in den entsprechenden Untersuchungen dabei im Wesentlichen um zwei zentrale Fragestellungen zu handeln. So beschäftigen sich manche Forschungsgruppen mit der Kieferhöhlenmorphologie vor dem Hintergrund der präoperativen Planung (vor allem im Bereich der Implantologie und Sinusbodenelevation), während sich andere Arbeitsgruppen mit den forensischen Aspekten der Kieferhöhlenmorphologie befassen (beispielsweise zur Personenidentifikation).

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung stimmen weitestgehend mit den in der Literatur angeführten Erkenntnissen zu DVT-basierten KH-Untersuchungen überein, wonach ein Geschlechtsdimorphismus bei der Kieferhöhlenmorphometrie besteht. Dabei ist die KH bei Männern in allen Dimensionen größer als bei Frauen, jedoch gibt

es zwischen den einzelnen Studien Unterschiede hinsichtlich der Frage, welche Parameter größer ausfallen (Höhe, Breite oder Tiefe).

In einer DVT-basierten Untersuchung von Supraja et al. mit 40 Personen (20 Männer, 20 Frauen) im Alter von 20 bis 40 Jahren wurden für den Geschlechtervergleich hinsichtlich der Höhe ($\text{♂} = 32,2 \text{ mm}$, $\text{♀} = 24,6 \text{ mm}$) und Breite ($\text{♂} = 19,7 \text{ mm}$, $\text{♀} = 19,6 \text{ mm}$) der rechten KH sowie in Bezug auf Höhe ($\text{♂} = 32,7 \text{ mm}$, $\text{♀} = 23,6 \text{ mm}$) und Breite ($\text{♂} = 18,1 \text{ mm}$, $\text{♀} = 17,8 \text{ mm}$) der linken KH signifikante ($p < 0,05$) Unterschiede gefunden. Die Vorhersagegenauigkeit der Geschlechterbestimmung anhand der Kieferhöhlenmaße lag bei Frauen bei 100 % und bei Männern bei 90 % mit einer Gesamtgenauigkeit von 95 % (Supraja et al. 2021). Sowohl die Angaben für die Höhe als auch die Breite der KH fallen deutlich niedriger aus als die in dieser Studie ermittelten Werte, obwohl es sich alterstechnisch um die Gruppe derjenigen Personen handelt, die die größten Kieferhöhlenausmaße vorweisen müsste. Als Ursache hierfür wird die Anthropometrie der zugrunde liegenden Studienpopulation, die im Süden Indiens lebt.

Im Gegensatz dazu präsentierten Urooge und Patil (2017) nach der Untersuchung von 100 DVT-Aufnahmen (50 Männer, 50 Frauen) von Patienten zwischen 20 und 50 Jahren eines weiteren indischen Patientenkollektivs deutlich größere KH-Dimensionen, die den Werten der vorliegenden Studie ähneln. Signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) wurden dabei jedoch lediglich beim Geschlechtervergleich der KH-Breite festgestellt.

Paknahad et al. (2017) untersuchten retrospektiv die Kieferhöhlendimensionen von 100 Patienten (50 Männer, 50 Frauen), welche in der Abteilung für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie vorstellig wurden. Der Vergleich von Höhe ($\text{♂} = 39,0 \text{ mm}$, $\text{♀} = 33,7 \text{ mm}$) und Tiefe ($\text{♂} = 40,3 \text{ mm}$, $\text{♀} = 37,8 \text{ mm}$) der rechten KH sowie von Höhe ($\text{♂} = 38,8 \text{ mm}$, $\text{♀} = 33,5 \text{ mm}$) und Breite ($\text{♂} = 40,1 \text{ mm}$, $\text{♀} = 37,6 \text{ mm}$) der linken KH war jeweils sehr signifikant ($p = 0,00$). Der Vergleich der Breite von rechter ($\text{♂} = 30,7 \text{ mm}$, $\text{♀} = 30,0 \text{ mm}$) und linker ($\text{♂} = 31,6 \text{ mm}$, $\text{♀} = 30,6 \text{ mm}$) KH war in Bezug auf die Geschlechter hingegen nicht signifikant ($p > 0,05$). Die Dimensionen der KH der iranischen Studienpopulation ähneln den in dieser Untersuchung ermittelten Werten. Interessant ist in diesem Zusammenhang das Verhältnis von Tiefe zu Höhe, das in dieser Studie genau umgekehrt ist.

DVT-basierte Studien zur Charakterisierung der Kieferhöhlenmorphologie in kaukasischen Populationen scheinen bislang nur selten durchgeführt worden zu sein. Zumindest ergab die Suche keine relevanten Publikationen, die an dieser Stelle diskutiert werden könnten.

Insgesamt ist die große Variabilität bei den Messwerten der einzelnen Studien durchaus bemerkenswert. Diese Unterschiede haben vielfältige Ursachen und können einzeln oder in Kombination auftreten. So sind die untersuchten Patientenkohorten in einigen Studien sehr klein und auch die jeweiligen Altersdurchschnitte sind verschieden. Kleinere Abweichungen bei den Messwerten sind bereits geräte- und softwarebedingt durch die Unterschiede bei den verwendeten DVT-Geräten zu erwarten. Hinzu kommen die Differenzen zwischen den Bevölkerungsgruppen aufgrund anthropometrischer Unterschiede. Weitere Einflussfaktoren auf die Kieferhöhlenmaße stellen die ethnische Herkunft, Körperstatur, Skelettgröße, Körpergröße, der Körperbau, genetische Faktoren, Umweltfaktoren sowie anatomische Variationen dar (Saccucci et al. 2015).

Zusätzlich wird der Literaturvergleich mit älteren Publikationen durch die fast ausschließliche Verwendung von CT-Aufnahmen zur Charakterisierung der Kieferhöhlenmorphologie erschwert. Vor dem Hintergrund der zunehmenden Etablierung der DVT für Fragestellungen im Kopf-Hals-Bereich sollten weitere retrospektive Studien mit größeren Patientenkollektiven und für verschiedene Studienpopulationen durchgeführt werden, um Daten zu den Kieferhöhlendimensionen zu generieren, welche als Referenzwerte herangezogen werden könnten.

Ein Einfluss des Alters auf die Kieferhöhlenmorphometrie mit den Parametern Höhe, Breite und Tiefe konnte in der vorliegenden Studie nicht nachgewiesen werden. In der Literatur finden sich dazu ähnliche Angaben, wobei die meisten DVT-basierten Untersuchungen volumetrische Maße aufführen. In einer retrospektiven Studie mit 200 Patienten nahm das Kieferhöhlenvolumen in den fünf Altersgruppen von 18 bis 24 Jahren bis über 55 Jahre ohne signifikante Unterschiede ab (Aktuna Belgin et al. 2019). Eine volumetrische Studie mit 133 DVT-Aufnahmen von Patienten im Alter von 8 bis 51 Jahren fand ebenfalls keinen signifikanten Zusammenhang zwischen dem Patientenalter und dem Kieferhöhlenvolumen (Gulec et al. 2020). Zu dem gleichen Ergebnis kamen Luz et al. (2018) nach der Auswertung von 64 DVT-Aufnahmen. Die

Spannbreite des Patientenalters wurde in dieser Studie zwar nicht genannt, allerdings konnte anhand einer Abbildung eine Range von ca. 5 bis 85 Jahren angegeben werden.

Es wurden jedoch in keiner der genannten Studien lineare Maße angegeben, sodass kein direkter Vergleich mit den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchung durchgeführt werden konnte. Eine italienische Arbeitsgruppe fand in Kindern und Jugendlichen signifikante Unterschiede hinsichtlich des Kieferhöhlenvolumens und der Kieferhöhlenoberfläche zwischen den Altersgruppen. Dazu wurden die DVT-Aufnahmen von 146 jungen Patienten in drei Altersgruppen aufgeteilt: 6 bis 8 Jahre, 9 bis 11 Jahre und 12 bis 14 Jahre. Bei den linearen Maßen fiel lediglich der Vergleich der Kieferhöhlentiefe für die Gruppe der 12- bis 14-Jährigen signifikant aus (Maspero et al. 2020).

Diesbezüglich sind in Zukunft weitere Studien notwendig, um etwaige Zusammenhänge der Kieferhöhlendimensionen mit dem Patientenalter sichtbar zu machen. Eventuell ist die Korrelation lediglich für Kleinkinder bis zu dem Lebensjahr vorhanden, an dem die Kieferhöhle ihre maximale Ausdehnung erreicht. Nachdem jedoch für Kleinkinder selten eine Indikation zur Durchführung von DVT-Aufnahmen besteht, ist die Datenlage insgesamt sehr gering, sodass nur selten entsprechende Studien durchgeführt werden.

5.2.2 Knochenhöhe bezahnt

Die Knochenhöhe über Apex ist beim bezahnten Patienten (Median = 3 mm) vor allem vor der Zahnextraktion von Bedeutung. Das Maximum von 21,22 mm war über dem Apex 13 zu finden. Bei den Apices der Molaren des 1. Und 2. Quadranten lag der minimale Wert für die Knochenhöhe über Apex bei 0,1 mm. In dieser Studie gab es keine geschlechtsspezifischen Unterschiede ($\text{♂} = 2,9 \text{ mm}$, $\text{♀} = 2,8 \text{ mm}$) zwischen dem Knochenangebot über den Apices der untersuchten Zahnregionen. Schwache Korrelationen wurden zwischen den Faktoren Patientenalter und Knochenhöhe über Apex in allen untersuchten Zahnregionen festgestellt.

Es konnten keine weiteren DVT-basierten Studien zur Knochenhöhe in bezahnten Gebieten ausfindig gemacht werden. Jain und Chowdhary (2013) beschrieben eine Technik zur Messung des Knochenangebots über dem Apex anhand von OPG-Aufnahmen in einer indischen Studienpopulation. Die Relevanz der gewonnenen Daten sahen die Studienautoren in der Generierung von Baseline-Referenzwerten und als Hilfestellung zur Abschätzung des Restknochenangebots im Falle einer geplanten Implantation nach Zahnextraktion. Gemessen an der geringen Anzahl von bisherigen Publikationen zu diesem Thema dürfte der Stellenwert dieser Methode jedoch sehr gering sein.

Die Relevanz dieser Daten für die Zahnheilkunde könnte in der Entscheidungsfindung zur Überweisung von Extraktionsfällen liegen. Die geringe Knochenhöhe von teilweise unter 1 mm über den Apices der zweiten Prämolaren bis zum zweiten Molaren könnte auch im Rahmen der endodontischen Behandlungsplanung eine Rolle spielen. Hier wäre beispielsweise zu klären, ob es bei geringerer Knochenhöhe über Apex und bei periapikalen Entzündungen gehäuft zu dentogenen Infektionen der KH kommt. Ebenfalls von Relevanz wäre das Komplikationsrisiko im Falle von Überinstrumentierung des Wurzelkanalsystems sowie Überstopfungen bei der Wurzelfüllung.

5.2.3 Knochenhöhe unbezahlt

Die Knochenhöhe beim unbezahnten Patienten spielt eine zentrale Rolle bei der prächirurgischen Diagnostik und Planung von implantatprothetischen Rehabilitationen. Bei den Analysen im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden regionale Unterschiede hinsichtlich des vorhandenen Knochenangebots vorgefunden. Dabei wiesen die Eckzahnregion und die Region des ersten Prämolaren beide Knochenhöhen von deutlich über 10 mm auf. Die geringsten Knochenhöhen waren jeweils im Bereich der ersten und zweiten Molaren zu finden. Der Vergleich der Restknochenhöhen zwischen den Geschlechtern fiel lediglich für einige Bereiche signifikant aus, jedoch war in allen Regionen die Restknochenhöhe bei Männern größer als bei Frauen. Ein Einfluss des Alters konnte nicht festgestellt werden.

Diese Erkenntnisse sind von besonderer Tragweite für die Implantologie einerseits und andererseits für das Management von Extraktionsalveolen im posterioren Oberkieferseitenzahnbereich. Dies betrifft vor allem den Bereich des zweiten

Prämolaren bis zum zweiten Molaren. Der Alveolarkamm unterliegt im Rahmen der physiologischen Remodelling-Prozesse einer vertikalen und horizontalen Resorption, die je nach Restzahnsituation und vorangegangenen Knochenverlusten unterschiedlich stark ausgeprägt ist (Pramstraller et al. 2011).

Eine zu geringe Restknochenhöhe führt im Bereich der posterioren Maxilla regelmäßig zur Notwendigkeit augmentativer Maßnahmen, falls implantatprothetische Restaurationen angestrebt werden. Dabei wird bevorzugt eine ein- oder zweizeitige Sinusbodenelevation mit begleitender Augmentation durchgeführt, um ein ausreichend dimensioniertes Implantatbett zu schaffen (Tewelde et al. 2021). Mit dem zusätzlichen Eingriff und dem Einbringen von Augmentationsmaterialien steigen das Infektionsrisiko sowie die Gefahr einer Perforation der Schneider'schen Membran (Kim und Jang 2019). Hinzu kommt, dass viele Patienten Kontraindikationen gegen eine Augmentation aufweisen.

Aus diesem Grund haben sich bereits verschiedene Forschungsgruppen mit der Verwendung von kurzen Implantaten mit einer Länge von bis zu 6 mm im Bereich der posterioren Maxilla befasst. Eine Metaanalyse mit sieben inkludierten Primärstudien und 310 Patienten konnte keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der Überlebensraten von kurzen Implantaten im Vergleich zu Implantaten mit einer Länge von 10 mm oder mehr in Verbindung mit stattgehabter Sinusbodenelevation feststellen. Die Bewertung der Studienqualität fiel allerdings moderat aus und die Überlebensraten wurden nur für den Zeitraum bis drei Jahre nach der Implantation angegeben (Yan et al. 2019).

Die kleine Patientenkohorte von insgesamt 310 Patienten und die kurze Nachbeobachtungszeit verdeutlichen, dass die Ergebnisse nicht auf die Allgemeinheit übertragen werden können. Eine weitere Metaanalyse mit neun eingeschlossenen Studien untersuchte die Outcomes nach sechs Monaten von Patienten mit und ohne Sinusbodenelevation vor der Implantation. Die Implantat-Überlebensraten ohne Augmentation lagen bei 97,92 % und der periimplantäre Knochen war signifikant weniger dicht als in den augmentierten Bereichen (Lie et al. 2022).

Mit der *Alveolar Ridge Preservation* oder *Socket Preservation* als Teil des Managements der Extraktionsalveole steht eine weitere Option zur Verfügung, die auf Basis der Erkenntnisse dieser Arbeit einen höheren Stellenwert einnimmt. Allein durch das Einbringen von Augmentationsmaterialien und resorbierbaren Membranen kann

in vielen Fällen auf die spätere augmentative Behandlung bei der Implantation verzichtet werden (Lombardi et al. 2018; Cha et al. 2019). Aus den Daten dieser Studie resultiert daher die Empfehlung zur generellen Durchführung von Maßnahmen zum Erhalt des Kieferkamms nach Extraktion des oberen zweiten Prämolaren bis zum zweiten Molaren – insbesondere bei Frauen und in sämtlichen Fällen, in denen eine spätere Implantation für möglich gehalten wird.

6. Zusammenfassung

Die Ergebnisse dieser Arbeit haben gezeigt, dass die Dimensionen der KH einen Geschlechtsdimorphismus aufweisen, jedoch kein Zusammenhang mit dem Alter des Patienten besteht. Frauen haben signifikant kleinere KH als die männlichen Patienten, die in dieser Studie betrachtet wurden. Die Daten könnten als Referenzwerte zur Personenidentifikation im Rahmen forensischer Untersuchungen dienen. Insgesamt fehlen Referenzwerte aus DVT-basierten Untersuchungen für verschiedene Populationen.

Die Knochenhöhe über Apex ist beim bezahnten Patienten vor der Zahnextraktion von Bedeutung. Es konnten keine geschlechtsspezifischen Unterschieden zwischen dem Knochenangebot über den Apices der untersuchten Zahnregionen festgestellt werden. Schwache Korrelationen gab es jeweils zwischen dem Patientenalter und der Knochenhöhe über Apex in allen untersuchten Zahnregionen. Dieses Wissen könnte bei der Entscheidungsfindung zur Überweisung von Patienten zur Zahnextraktion an Oralchirurgen eine Rolle spielen. Ebenfalls bedeutsam könnte dieses Wissen bei der endodontischen Behandlungsplanung sein.

Die Knochenhöhe beim unbezahnten Patienten hat einen zentralen Stellenwert bei der prächirurgischen Diagnostik und Planung von implantatprothetischen Rehabilitationen. Nach der Extraktion waren die Knochenhöhen im Bereich des zweiten oberen Prämolaren bis zum zweiten oberen Molaren am geringsten. Das Restknochenangebot war außerdem bei Frauen insgesamt geringer als bei Männern, unabhängig von der untersuchten Region.

Eine zu geringe Restknochenhöhe führt im Bereich der posterioren Maxilla regelmäßig zur Notwendigkeit augmentativer Maßnahmen wie der Sinusbodenelevation, falls implantatprothetische Restaurationen angestrebt werden. Um die physiologischen Resorptionsprozesse einzudämmen sollten Maßnahmen zum Erhalt des Kieferkamms öfter eingesetzt werden. Dies gilt insbesondere für Frauen, da hier generell ein geringeres Restknochenangebot nach Zahnverlust vorhanden ist, sowie in sämtlichen Fällen in denen eine spätere Implantation in Betracht gezogen wird.

Literaturverzeichnis

Akhlaghi F, Esmaeelinejad M, Safai P (2015): Etiologies and Treatments of Odontogenic Maxillary Sinusitis: A Systematic Review. *Iran Red Crescent Med J* 17, e25536.

Aktuna Belgin C, Colak M, Adiguzel O, Akkus Z, Orhan K (2019): Three-dimensional evaluation of maxillary sinus volume in different age and sex groups using CBCT. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 276, 1493–1499.

Ariji Y, Kuroki T, Moriguchi S, Ariji E, Kanda S (1994): Age changes in the volume of the human maxillary sinus: a study using computed tomography. *Dentomaxillofac Radiol* 23, 163–168.

Aumüller G: Anatomie (Duale Reihe), 4., aktualisierte Auflage; Thieme, Stuttgart 2017.

AWMF (2013): Dentale digitale Volumentomografie, 9th ed., Mainz; DGZMK. <https://www.dgzmk.de/dentale-digitale-volumentomografie-s2k->, abgerufen am: 15.12.2021.

Bauer M: Stickstoffmonoxid; In: *Der Anaesthesist Weiterbildung für Anästhesisten 1997: Ihre Basis für die Facharztprüfung*; hrsg. v. Bardenheuer HJ, Hilfiger O, Larsen R, Radke J: Springer Berlin Heidelberg. Berlin, Heidelberg 1997, 163–172.

Bhushan B, Rychlik K, Schroeder, J. W., Jr. (2016): Development of the maxillary sinus in infants and children. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* 91, 146–151.

Bockmühl U, Kratzsch B, Benda K, Draf W (2005): [Paranasal sinus mucoceles: surgical management and long term results]. *Laryngorhinootologie* 84, 892–898.

Caylakli F, Yavuz H, Cagici AC, Ozluoglu LN (2006): Endoscopic sinus surgery for maxillary sinus mucoceles. *Head Face Med* 2, 29.

Cha J-K, Song YW, Park S-H, Jung RE, Jung U-W, Thoma DS (2019): Alveolar ridge preservation in the posterior maxilla reduces vertical dimensional change: A randomized controlled clinical trial. *Clinical oral implants research* 30, 515–523.

Dawood A, Patel S, Brown J (2009): Cone beam CT in dental practice. *Br Dent J* 207, 23–28.

DGI (2018): In Deutschland werden jährlich 1,3 Millionen Implantate gesetzt. <https://www.zwp-online.info/zwpnews/dental-news/branchenmeldungen/zahnimplantate-zunehmend-erste-wahl-13-millionen-werden-in-deutschland-pro-jahr-eingepflanzt>, abgerufen am: 15/12/2021.

Gallichan N, Albadri S, Dixon C, Jorgenson K (2020): Trends in CBCT current practice within three UK paediatric dental departments. *Eur Arch Paediatr Dent* 21, 537–542.

Giacomini G, Pavan ALM, Altemani JMC, Duarte SB, Fortaleza, Carlos Magno Castelo Branco, Miranda, José Ricardo de Arruda, Pina DR de (2018): Computed tomography-based volumetric tool for standardized measurement of the maxillary sinus. *PLOS ONE* 13, e0190770.

Gosau M, Rink D, Driemel O, Draenert FG (2009): Maxillary sinus anatomy: a cadaveric study with clinical implications. *Anat Rec (Hoboken)* 292, 352–354.

Gulec M, Tassoker M, Magat G, Lale B, Ozcan S, Orhan K (2020): Three-dimensional volumetric analysis of the maxillary sinus: a cone-beam computed tomography study. *Folia Morphol (Warsz)* 79, 557–562.

Herberhold C (1982): Physiologie und Pathophysiologie der Nasennebenhöhlen. *Archives of oto-rhino-laryngology* 235, 1–40.

Horn F: *Biochemie des Menschen*, 6., überarbeitete Auflage; Thieme, Stuttgart 2015.

Hosemann W, Grimm A (2020): [Surgical anatomy of the maxillary sinus]. *Hno* 68, 555–565.

Hssaine K, Belhoucha B, Rochdi Y, Nouri H, Aderdour L, Raji A (2016): Les mucocèles naso-sinusiennes à propos de 32 cas. *Revue de Stomatologie, de Chirurgie Maxillo-faciale et de Chirurgie Orale* 117, 11–14.

Jacobs R, Salmon B, Codari M, Hassan B, Bornstein MM (2018): Cone beam computed tomography in implant dentistry: recommendations for clinical use. *BMC Oral Health* 18, 88.

Jain A, Chowdhary R (2013): Maxillary posterior bone height in relation to maxillary sinus floor in Indian dentulous population. *J Indian Prosthodont Soc* 13, 78–82.

Jankowski R, Nguyen DT, Poussel M, Chenuel B, Gallet P, Rumeau C (2016): Sinusology. *Eur Ann Otorhinolaryngol Head Neck Dis* 133, 263–268.

Jawad Z, Carmichael F, Houghton N, Bates C (2016): A review of cone beam computed tomography for the diagnosis of root resorption associated with impacted canines, introducing an innovative root resorption scale. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol* 122, 765–771.

Jeong K-I, Kim S-G, Oh J-S, You J-S (2016): Implants Displaced Into the Maxillary Sinus: A Systematic Review. *Implant Dent* 25, 547–551.

Kellman RM, Schmidt C (2009): The paranasal sinuses as a protective crumple zone for the orbit. *Laryngoscope* 119, 1682–1690.

Kim J, Jang H (2019): A review of complications of maxillary sinus augmentation and available treatment methods. *J Korean Assoc Oral Maxillofac Surg* 45, 220–224.

Krimmel M: S2k-Leitlinie odontogene Sinusitis maxillaris - Langfassung 2021.

Lechien JR, Filleul O, Costa de Araujo P, Hsieh JW, Chantrain G, Saussez S (2014): Chronic maxillary rhinosinusitis of dental origin: a systematic review of 674 patient cases. *Int J Otolaryngol* 2014, 465173.

Lee KC, Lee NH (2010): Comparison of clinical characteristics between primary and secondary paranasal mucoceles. *Yonsei Med J* 51, 735–739.

Lee TS, Kellman R, Darling A (2014): Crumple zone effect of nasal cavity and paranasal sinuses on posterior cranial fossa. *Laryngoscope* 124, 2241–2246.

Lie SAN, Claessen RMMA, Leung CAW, Merten H-A, Kessler PAWH (2022): Non-grafted versus grafted sinus lift procedures for implantation in the atrophic maxilla: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery* 51, 122–132.

Lombardi T, Bernardello F, Berton F, Porrelli D, Rapani A, Camurri Piloni A, Fiorillo L, Di Lenarda R, Stacchi C (2018): Efficacy of Alveolar Ridge Preservation after Maxillary Molar Extraction in Reducing Crestal Bone Resorption and Sinus Pneumatization: A Multicenter Prospective Case-Control Study. *Biomed Res Int* 2018, 9352130.

Lundberg JO (2008): Nitric oxide and the paranasal sinuses. *Anat Rec (Hoboken)* 291, 1479–1484.

Lundberg JO, Farkas-Szallasi T, Weitzberg E, Rinder J, Lidholm J, Anggård A, Hökfelt T, Lundberg JM, Alving K (1995): High nitric oxide production in human paranasal sinuses. *Nat Med* 1, 370–373.

Luz J, Greutmann D, Wiedemeier D, Rostetter C, Rücker M, Stadlinger B (2018): 3D-evaluation of the maxillary sinus in cone-beam computed tomography. *Int J Implant Dent* 4, 17.

Maspero C, Farronato M, Bellincioni F, Annibale A, Machetti J, Abate A, Cavagnetto D (2020): Three-Dimensional Evaluation of Maxillary Sinus Changes in Growing Subjects: A Retrospective Cross-Sectional Study. *Materials (Basel)* 13.

Nascimento EH, Pontual ML, Pontual AA, Freitas DQ, Perez DE, Ramos-Perez FM (2016): Association between Odontogenic Conditions and Maxillary Sinus Disease: A Study Using Cone-beam Computed Tomography. *J Endod* 42, 1509–1515.

Neller H, Geibel MA (2012): Vergleich verschiedener mit dem 3D eXam (KaVo) erstellter Volumetomogramme eines menschlichen Kopfpräparats zur Analyse der Bildqualität. *ZZI* 28, 212–223.

Nolan PJ, Freeman K, Kraut RA (2014): Correlation between Schneiderian membrane perforation and sinus lift graft outcome: a retrospective evaluation of 359 augmented sinuses. *J Oral Maxillofac Surg* 72, 47–52.

Paknahad M, Shahidi S, Zarei Z (2017): Sexual Dimorphism of Maxillary Sinus Dimensions Using Cone-Beam Computed Tomography. *J Forensic Sci* 62, 395–398.

Park WB, Han JY, Kang P, Momen-Heravi F (2019): The clinical and radiographic outcomes of Schneiderian membrane perforation without repair in sinus elevation surgery. *Clin Implant Dent Relat Res* 21, 931–937.

Pramstraller M, Farina R, Franceschetti G, Pramstraller C, Trombelli L (2011): Ridge dimensions of the edentulous posterior maxilla: a retrospective analysis of a cohort of 127 patients using computerized tomography data. *Clinical oral implants research* 22, 54–61.

Prescher A (2009): [Clinical anatomy of the paranasal sinuses. Descriptive anatomy, topography and important variations]. Hno 57, 1039-50; quiz 1051.

Rasse M: Spezielle Traumatologie; In: Traumatologie des Mund-, Kiefer-, Gesichtsbereichs; hrsg. v. Hausamen J-E, Machtens E, Reuther JF, Eufinger H, Kübler A, Schliephake H: Springer Berlin Heidelberg. Berlin, Heidelberg 2014, 27–82.

Ravidà A, Wang IC, Barootchi S, Askar H, Tavelli L, Gargallo-Albiol J, Wang HL (2019): Meta-analysis of randomized clinical trials comparing clinical and patient-reported outcomes between extra-short (≤ 6 mm) and longer (≥ 10 mm) implants. J Clin Periodontol 46, 118–142.

Roque-Torres GD, Ramirez-Sotelo LR, Vaz SL, Bóscolo SM, Bóscolo FN (2016): Association between maxillary sinus pathologies and healthy teeth. Braz J Otorhinolaryngol 82, 33–38.

Saccucci M, Cipriani F, Carderi S, Di Carlo G, D'Attilio M, Rodolfino D, Festa F, Polimeni A (2015): Gender assessment through three-dimensional analysis of maxillary sinuses by means of cone beam computed tomography. Eur Rev Med Pharmacol Sci 19, 185–193.

Scangas GA, Gudis DA, Kennedy DW (2013): The natural history and clinical characteristics of paranasal sinus mucoceles: a clinical review. Int Forum Allergy Rhinol 3, 712–717.

Schwenzer N, Ehrenfeld M: Zahnärztliche Chirurgie, 5. unveränderte Auflage; Thieme 2019.

Shiffler K, Lee D, Aghaloo T, Moy PK, Pi-Anfruns J (2015): Sinus membrane perforations and the incidence of complications: a retrospective study from a residency program. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol 120, 10–14.

Sieron HL, Sommer F, Hoffmann TK, Grossi AS, Scheithauer MO, Stupp F, Lindemann J (2020): [Function and physiology of the maxillary sinus]. Hno 68, 566–572.

Simuntis R, Kubilius R, Vaitkus S (2014): Odontogenic maxillary sinusitis: a review. Stomatologija 16, 39–43.

Stuck BA, Popert U, Beule A, Jobst D, Klimek L, Laudien M, Lell M, Vogl TJ: Rhinosinusitis S2k-Leitlinie, Berlin 2021.

Supraja S, Anuradha A, Guduru V, Kiresur M, Pasupuleti M, Vignatha P (2021): Importance of sexual dimorphism of the maxillary sinus and mandibular inter coronoid distance of Vijayawada City population in Andhra Pradesh: An original research. J Forensic Sci Med 7, 91.

Tewelde A, Al-Nawas B, Kreisler M (2021): Implantologie in der allgemeinen Zahnarztpraxis. Z Zahnärztl Implantol 37, 220–226.

Urooge A, Patil BA (2017): Sexual Dimorphism of Maxillary Sinus: A Morphometric Analysis using Cone Beam Computed Tomography. J Clin Diagn Res 11, ZC67-ZC70.

Walter C, Al-Nawas B (2016): Vertikale Augmentation. Der MKG-Chirurg 9, 28–34.

Wang RG, Jiang SC, Gu R (1994): The cartilaginous nasal capsule and embryonic development of human paranasal sinuses. J Otolaryngol 23, 239–243.

Weber T: Memorix Zahnmedizin, 5., unveränderte Auflage; Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York 2017.

Weiglein A, Anderhuber W, Wolf G (1992): Radiologic anatomy of the paranasal sinuses in the child. Surgical and Radiologic Anatomy 14, 335–339.

Welsch U, Deller T: Lehrbuch Histologie, 3. Auflage; Elsevier, Urban & Fischer, München 2010.

Wen YS, Lin CY, Yang KD, Hung CH, Chang YJ, Tsai YG (2019): Nasal nitric oxide is a useful biomarker for acute unilateral maxillary sinusitis in pediatric allergic rhinitis: A prospective observational cohort study. World Allergy Organ J 12, 100027.

Yan Q, Wu X, Su M, Hua F, Shi B (2019): Short implants (≤ 6 mm) versus longer implants with sinus floor elevation in atrophic posterior maxilla: a systematic review and meta-analysis. BMJ Open 9, e029826.

Yeung AWK, Su Y, Bornstein MM (2020): CT scan vs. Cone Beam CT: an overview. <https://blog.iti.org/clinical-insights/ct-scan-vs-cone-beam-ct/>, abgerufen am: 03.01.2022.

Zwahlen R: Frakturen; In: Facharztwissen Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie; hrsg. v. Kruse Gujer A, Jacobsen C, Grätz KW: Springer Berlin Heidelberg. Berlin, Heidelberg 2013, 195–215.

Anhang

Danksagung

Mein Dank richtet sich an meinen Doktorvater [REDACTED] für die Überlassung des Themas und die Betreuung.

Einen besonderen Dank richte ich an meinen Freund und Betreuer [REDACTED] [REDACTED] für die stetige Unterstützung. Seine Unterstützung bei der Datenerhebung und der Entstehung der Arbeit waren eine sehr große Hilfe.

Ein weiteres Dankeschön geht an [REDACTED] und die Röntgenabteilung für das Überlassen der DVT Aufnahmen.

Meinen Eltern [REDACTED] danke ich unendlich, dass sie mir mein Studium ermöglicht und mich auf meinem Weg begleitet haben.

Meiner Freundin [REDACTED] danke ich für die unermüdliche Unterstützung, Rückhalt und Geduld. Dafür, dass du mich immer wieder motiviert hast und mich angetrieben hast, um meine Ziele zu erreichen. Ohne Dich wäre ich nicht da wo ich jetzt bin!

Meinem Bruder [REDACTED], der mir mein ganzes Leben lang in jeder Situation zur Seite steht und mir den Rücken freihält.

Last but not least meinen Freunden. [REDACTED] [REDACTED] und [REDACTED].

Tabellarischer Lebenslauf

Persönliche Daten

Name	Henning Carl Reinhard Theodor Emmelius
Geburtsdatum	04.Juni.1989
Geburtsort	Mainz
Staatsangehörigkeit	deutsch
Familienstand	ledig

Schulbildung und Studium

2015	Staatsexamen Zahnmedizin an der Johannes Gutenberg-Universität Mainz
2009	Allgemeine Hochschulreife an der Kurt-Schumacher-Schule Ingelheim

Beruflicher Werdegang

2016 - 2018	Anstellung als Assistenz Zahnarzt Zahnarztpraxis Dr. Müller in Idstein
2018 – heute	Anstellung als Zahnarzt bei Zahnärzten am Kurhaus in Wiesbaden