

Aus dem Institut  
MESANTIS 3D DENTAL-RADIOLOGIE Berlin

## **DISSERTATION**

# **Knochenangebot für kieferorthopädische Minischrauben im Bereich der Crista zygomaticoalveolaris**

zur Erlangung des akademischen Grades  
Doctor medicinae dentariae (Dr. med. dent.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät  
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Thabet Arar

aus Tafas / Syrien

Datum der Promotion: 13.12.2019



# Inhaltsverzeichnis

<b>Abstract</b>	<b>7</b>
<b>1. Einleitung</b>	<b>9</b>
<b>1.1. Anatomie der Maxilla</b>	<b>10</b>
<b>1.2. Skelettale Verankerungstechniken in der Kieferorthopädie</b>	<b>12</b>
<b>1.3. Minischrauben in der Kieferorthopädie</b>	<b>13</b>
<b>1.4. Miniplatten in der Kieferorthopädie</b>	<b>16</b>
<b>1.5. Digitale Volumentomographie (DVT)</b>	<b>17</b>
<b>2. Fragestellung</b>	<b>21</b>
<b>3. Methodik</b>	<b>23</b>
<b>3.1. Allgemeine Methodik</b>	<b>23</b>
3.1.1. DVT-Datensätze (DICOM-Datensätze)	23
3.1.2. DVT-Bearbeitungssoftware	23
<b>3.2. Spezielle Methodik</b>	<b>25</b>
3.2.1. Das Knochenangebot von kaudal nach kranial	25
3.2.2. Das Knochenangebot im Seitenvergleich	25
3.2.3. Das Knochenangebot in Abhängigkeit zum Geschlecht	25
3.2.4. Das Knochenangebot in Abhängigkeit zum Alter	26
3.2.5. Die Knochendichte im kranialsten Punkt	26
<b>3.3. Statistische Methodik</b>	<b>26</b>
<b>4. Ergebnisse</b>	<b>28</b>
<b>4.1. Das Knochenangebot von kaudal nach kranial</b>	<b>28</b>
<b>4.2. Das Knochenangebot im Seitenvergleich</b>	<b>31</b>
<b>4.3. Das Knochenangebot in Abhängigkeit zum Geschlecht</b>	<b>37</b>
<b>4.4. Das Knochenangebot in Abhängigkeit zum Alter</b>	<b>43</b>
<b>4.5. Die Knochendichte im kranialsten Punkt (A)</b>	<b>49</b>

<b>5. Diskussion</b>	<b>57</b>
<b>5.1. Diskussion der Methoden</b>	<b>57</b>
<b>5.2. Diskussion der Ergebnisse</b>	<b>57</b>
5.2.1. Knochenangebot von kaudal nach kranial	57
5.2.2. Das Knochenangebot im Seitenvergleich	60
5.2.3. Das Knochenangebot in Abhängigkeit zum Geschlecht	60
5.2.4. Das Knochenangebot in Abhängigkeit zum Alter	61
5.2.5. Die Knochendichte am kranialsten Punkt	62
<b>5.3. Schlussfolgerungen</b>	<b>64</b>
<b>6. Literaturverzeichnis</b>	<b>66</b>
<b>7. Anhang</b>	<b>73</b>
<b>7.1. Tabellenverzeichnis</b>	<b>73</b>
<b>7.2. Abbildungsverzeichnis</b>	<b>75</b>
<b>7.3. Abkürzungen</b>	<b>77</b>
<b>7.4. Eidesstattliche Erklärung</b>	<b>78</b>
<b>7.5. Lebenslauf</b>	<b>79</b>
<b>7.6. Danksagung</b>	<b>80</b>

## **Abstrakt**

**Einleitung:** In den vergangenen 15 Jahren haben sich Minischrauben als skelettale Verankerungselemente in der Kieferorthopädie etabliert. Die am häufigsten empfohlenen Insertionsstellen sind interradiikuläre Areale, der Gaumen, zahnlose Kieferkammabschnitte, das Kinn, der Tuber maxillae, die Spina nasalis sowie die retromolare Region. Aufgrund verschiedener Risiken und Komplikationen, ist die Indikation für diese Insertionsorte in einigen Fällen jedoch eingeschränkt. Als alternativer Insertionsort bietet sich hier die Crista zygomatico-alveolaris an. Ziel der vorliegenden Studie war daher, anhand digitaler Volumetomographien das Knochenangebot im Bereich der Crista zygomatico-alveolaris zu erheben, um valide Daten über den optimalen Insertionsort zu erhalten.

**Methodik:** Die Datenerhebung erfolgte an 100 anonymisierten DVT-Datensätzen aus dem EU-zertifizierten Langzeitarchiv des 3D DENTAL-RADIOLOGICUMs MESANTIS Berlin. An fünf definierten Messpunkten (A-E) der Crista zygomatico-alveolaris wurde das gesamte Knochenangebot und die Dicke der Kompakta erfasst. Zusätzlich wurde am kranialsten Messpunkt im Bereich der Crista zygomatico-alveolaris die Knochendichte in vier unterschiedlichen Knochentiefen bestimmt. Die statistische Auswertung der quantitativen Werte erfolgte mittels Kolmogorow-Smirnow-Test. Bei Abweichungen von einer Normalverteilung wurden nichtparametrische Tests verwendet (Mann-Whitney, Wilcoxon und Spearman-Rank-Korrelation). Das Signifikanzniveau wurde auf 5% festgesetzt.

**Ergebnisse:** Das Knochenangebot im Bereich der Crista zygomatico-alveolaris nahm vom kaudalen bis zum kranialen Messpunkt signifikant zu (kaudal 1,58 mm; kranial 16,90 mm). Die Dicke der Kompakta wies im Trend ähnliche Ergebnisse auf (kaudal 1,54 mm; kranial 5,39 mm). Frauen wiesen insgesamt eine dickere Kompakta auf als Männer. Die Parameter Kieferseite und Alter hatten keinen signifikanten Einfluss auf das Knochenangebot. Die Knochendichte nahm am kranialsten Messpunkt von der Oberfläche zur Tiefe hin signifikant ab ( 344,4 HE versus 125,8 HE). Ebenfalls konnte eine signifikante Abhängigkeit der Knochendichte von Alter und Geschlecht nachgewie-

sen werden. Der Vergleich der Knochendichte in Abhängigkeit von der jeweiligen Seite ergab keine signifikanten Unterschiede.

**Schlussfolgerung:** Die Ergebnisse der vorliegenden Studie belegen, dass im Bereich der Crista zygomatico-alveolaris nur der kranialste Messpunkt für eine sichere Insertion von Minischrauben geeignet ist. An den vier übrigen Messpunkten würde es bei der Insertion einer 4 mm langen Minischraube zur Perforation in den Sinus maxillaris kommen. Die Bedeutung einer derartigen Perforation wird in der Literatur kontrovers diskutiert. Die Insertion von Minischrauben im Bereich der Crista zygomatico-alveolaris stellt aufgrund der großen Variabilität hinsichtlich des Knochenangebotes eine rechtfertigende Indikation für die Anfertigung eines DVT mit mAs-reduzierten Protokollen ( $<35 \mu\text{Sv}$ ) dar.

## Abstract

**Introduction:** In the last 15 years, mini screws have become established as skeletal anchoring elements in orthodontics. The most commonly recommended sites of insertion are the inter-radicular areas, the palate, edentulous ridge and below the nasal spine. Additional possible sites of insertion are the maxillary tuberosity, the chin and the retromolar space. However, various risks and complications may limit the indication for these sites. An alternative site of insertion is the crista zygomaticoalveolaris. Here, we use digital volume tomography to measure the bone availability of the crista zygomaticoalveolaris in order to obtain valid data for the best insertion site.

**Methods:** The data was compiled from 100 anonymized DVT-data sets from the EU-certified long-term archive of the 3D-DENTAL-RADIOLOGICUM MESANTIS Berlin. The entire bone supply and the thickness of the compacta were recorded at five defined measurement points (A-E) of the crista zygomaticoalveolaris. Further, the bone densities at four different bone depths were determined at the most cranial point. The statistical evaluation of the quantitative values followed by Kolmogorow-Smirnow test. Non-parametric tests were used for deviations from a normal distribution (Mann-Whitney, Wilcoxon, and Spearman rank correlation). The significance level was set at 5%.

**Results:** The bone availability at the cortical bone of the crista zygomaticoalveolaris increased significantly from the caudal to the cranial (caudal 1.58 mm; cranial 16.90 mm). The same was observed for the Kompakta thickness (caudal 1.54 mm; cranial 5.39 mm). Females have thicker Kompakta than males. Both, age and side of the jaw had no significant effect on bone availability. Bone density decreased significantly at the cranial point from surface to depth (344.4 HU versus 125.8 HU). A significant dependence of bone density on age and sex could also be demonstrated. The comparison of the bone density depending on the respective side showed no significant differences.

**Conclusion:** This study shows that at the crista zygomaticoalveolaris, only the most cranial point is appropriate for safe insertion of mini screws. At the other four points, insertion of a 4 mm long mini screw would lead to perforation in the maxillary sinus. The significance of such a perforation is controversially discussed in the literature. The insertion of mini screws at the crista zygomaticoalveolaris constitutes a justifying indication for the preparation of a DVT with mAs-reduced protocols ( $<35 \mu\text{Sv}$ ) due to the great variability with regard to the bone supply.



## 1. Einleitung

Die skelettale Verankerung hat sich über die Jahre als ein sehr zuverlässiges und risikoarmes Verfahren bei kieferorthopädischen Behandlungen erwiesen (Wehrbein und Göllner 2007). Seit Ende der 90er-Jahre wurden Minischrauben in der Kieferorthopädie zur skelettalen Verankerung erfolgreich eingesetzt und eröffneten damit neue therapeutische Möglichkeiten. Die Minischrauben haben sich in der Klinik aufgrund ihrer vielen Vorteile weit verbreitet. Die Insertion der Minischrauben ist grundsätzlich minimalinvasiv. (Baumgaertel 2014). Die Verlustrate von Minischrauben ist relativ gering, sodass sie sich klinisch auch bewähren (Alharbi et al. 2018). Damit gewährleisten sie eine sichere Verankerung und erlauben so eine zuverlässige Behandlung komplexer Malokklusionen.

Die am häufigsten empfohlenen Insertionsstellen sind die interradiikulären Areale bukkal oder palatinal, zahnlose Kieferkammabschnitte sowie unterhalb der Spina nasalis anterior. Weitere mögliche Insertionsorte sind der maxilläre Tuber, das Kinn sowie die retromolare Region. Der Gaumen eignet sich nach den Ergebnissen zahlreicher Studien ebenfalls zur Insertion von Minischrauben (Carano et al. 2005, Melsen 2005, Park et al. 2008, Holm et al. 2012).

Trotz der hohen Erfolgsrate der Minischrauben sind verschiedene Risiken und Komplikationen grundsätzlich möglich, wie zum Beispiel eine Schädigung der Zahnwurzeln, eine Perforation des Nasenbodens oder eine Schädigung des N. inzisivus (Wehrbein 2005). Zahlreiche andere Studien haben sich bereits mit den Verluste von Minischrauben beschäftigt (Antoszewska 2009, Baek 2008, Berens 2005, Wilmes 2006, Uribe 2015). Aufgrund dessen ist die Indikation für diese Insertionsorte in einigen Fällen eingeschränkt. Deswegen war es erforderlich alternative Insertionsorte zu finden. Weitere mögliche Insertionsorte wie die Crista zygomaticoalveolaris sind bis jetzt aufgrund der schweren Zugänglichkeit und der mobilen bedeckenden Schleimhaut nur eingeschränkt empfohlen worden. Durch die Kombination mit Miniplatten ist es jedoch möglich, auch vormals schwierige Insertionsorte wie die Crista zygomaticoalveolaris zur skelettalen Verankerung zu nutzen. Durch vollständige Bedeckung der Miniplatten mit Schleimhaut ist dabei eine adäquate Defektheilung zu erzielen (Lee et al. 2012).

In der Literatur wurde von erfolgreicher skelettaler Verankerung durch Minischrauben und Miniplatten an der Crista zygomaticoalveolaris berichtet (Sherwood et al. 2003, De Clerck et al. 2002). In einigen Fällen verloren die Miniplatten jedoch ihre Primärstabil-

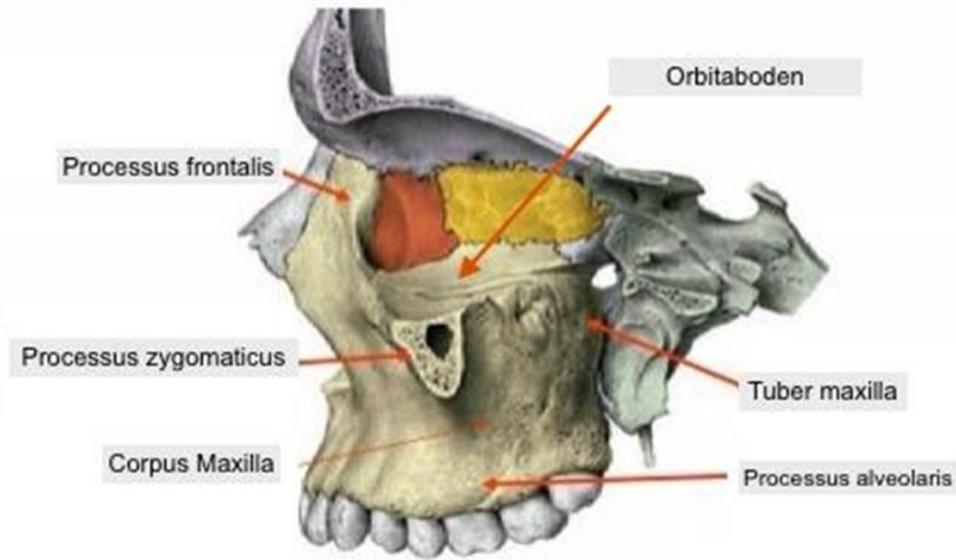
tät, sodass eine erneute Operation zur Fixierung der Miniplatten oder auch eine Änderung des Behandlungsplans erforderlich war (Lee et al. 2013). Daher ist die Primäre Stabilität der Schraube ein wichtiges Kriterium für den Erfolg der Minischraube. Die wichtigsten Voraussetzungen für die erfolgreiche Stabilität einer Minischraube sind das gesamte Knochenangebot und Dichte des Knochens (Seebeck et al. 2004, Molly, 2006). Außerdem dürfen keine benachbarten sensiblen Strukturen verletzt werden. Um dies zu achten sollten mindestens 5 mm Knochenangebot für die Insertion von Minischrauben vorhanden sein (Winsauer 2012, Kang 2007). Leider werden bei der Insertion der Minischrauben anatomische Aspekte oft nachrangig beachtet (Hisham et al. 2018). Dies führt zu ungewollten Komplikationen wie Perforation der Nasennebenhöhlen, Verletzungen der Zahnwurzeln, unerwarteten Blutungen, Entzündungen der intraoralen Schleimhäute (Baumgaertel und Hans 2009, Mayer 2013, Veziroglu et al. 2008, Wehrbein et al. 2008) und daraus folgend die Lockerung der Schrauben und damit verbundener Elemente. Aus diesem Grund sind präzise Vorkenntnisse der Knochengegebenheiten an der Crista zygomaticoalveolaris eine Voraussetzung für eine gezielte Insertion der Minischrauben in diesem Bereich.

Mit diesem Vorwissen wurden anhand digitaler Volumentomographien und mithilfe einer Bildbearbeitungssoftware die Knochenstrukturen im Bereich der Crista zygomaticoalveolaris im Hinblick auf Kompakta-, Gesamtknochenangebot und Knochendichte im Schädelseitenvergleich bei Mann und Frau untersucht um dadurch valide Daten zum besten Insertionsort der Minischrauben an der Crista zygomaticoalveolaris zu erhalten.

## **1.1. Anatomie der Maxilla**

Die Maxilla ist der zentrale Knochen des Mittelgesichts und beteiligt sich an der Wandbildung von Orbita und Nase sowie am Aufbau des Gaumens. Die Hauptteile der Maxilla sind die Kieferhöhle, der Processus frontalis, Processus palatinus, Processus zygomaticus und der Processus alveolaris (Abbildung 1).

Der Processus zygomaticus besteht aus zwei Hauptteilen: dem leicht konvexen Planum laterale, der in einer weichen Kurve verlaufende Margo orbitalis, und das nach oben ziehende Planum orbital des Processus frontalis, der nach rückwärts weisende Processus temporalis.

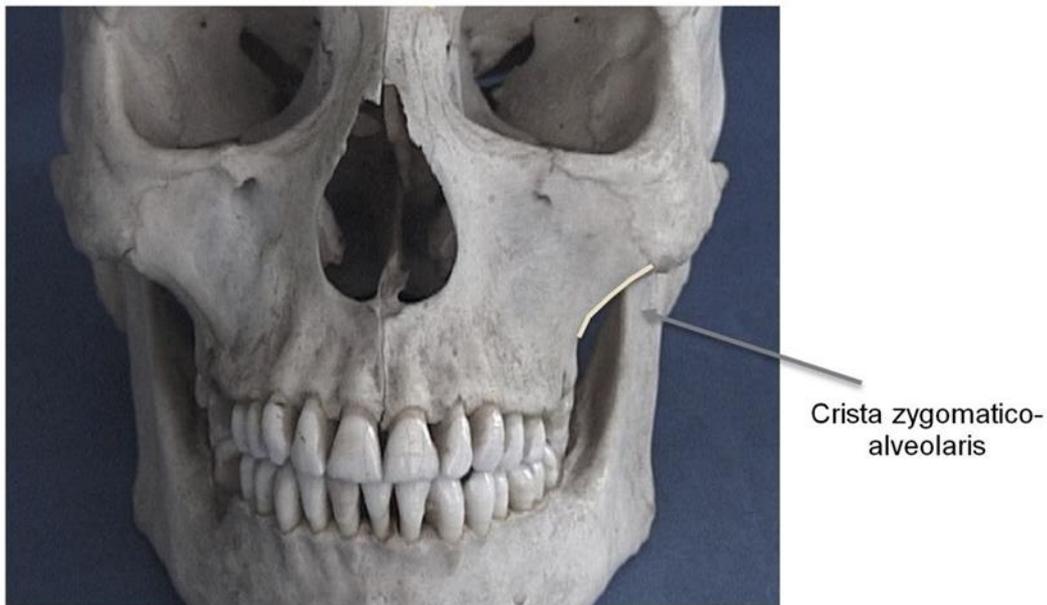


**Abbildung 1:** Die Maxilla. Sagittale Abbildung, modifiziertes Bild (Sobotta 2000).

Der Processus alveolaris, der parabolische Alveolarbogen, Arcus alveolaris, entwickelt sich wie der entsprechende Alveolarteil des Unterkiefers erst nach der Geburt mit dem Durchbruch der Zähne und wird nach Zahnverlusten rasch resorbiert. Vor allem im Frontzahnbereich sind die Alveolenwülste, Juga alveolaria, auf der vestibulären Fläche auffällig. Die Projektion der Grenzlinie zwischen Corpus maxillae und dem Processus alveolaris liegt etwa auf Höhe des Abgangs des Processus palatinus.

Der Processus zygomaticus weist zur Seite und tritt über eine raue Fläche mit dem Jochbein (ÖL).

Der Processus palatinus, der Gaumenfortsatz, bildet den vorderen, größten Teil des harten Gaumens. Die Hauptteile des Os palatinum sind: Lamina perpendicularis mit dem Processus pyramidalis, die am unteren Ende sich vorwärts entwickelt, der Processus sphenoidalis und der Processus orbitalis am oberen Ende der Lamina perpendicularis mit der Incisura sphenopalatina dazwischen, die Lamina horizontalis, die am Ende sich nach median entwickelt, der Processus pyramidalis, der am unteren Ende nach rückwärts zieht. Der Processus frontalis maxillae ist nach oben gerichtet und legt sich mit seinem gezackten oberen Rand dem Stirnbein an. Sein vorderer Rand stößt an das Nasenbein, Os nasale, und sein hinterer Rand an das Tränenbein, Os lacrimale (McMinn et al. 1983).



**Abbildung 2:** Darstellung der Crista zygomaticoalveolaris (modif. nach Bertolini 1992).

## 1.2. Skelettale Verankerungstechniken in der Kieferorthopädie

Die skelettale Verankerung in der Kieferorthopädie wird grundsätzlich in die intraorale und die extraorale Verankerung unterteilt:

Bei der extraoralen Apparatur erfolgt die Abstützung zur Zahnbewegung extraoral (Nacken, Hinterkopf, Kinn, Stirn). Die Kraftwirkung wird hier durch spezifische Elemente auf die intraoralen Apparaturen übertragen. Diese Apparaturen haben zwei Vorteile: Zum einen werden sie im Labor hergestellt, wodurch die Arbeitszeit am Patienten verkürzt wird. Zum anderen ist es dem Patienten möglich, die extraorale Apparatur aus sozialen Aspekten kurzzeitig abzunehmen (Proffit 2012). Um eine aber maximale Verankerung sicherzustellen, ist eine gute Compliance der Patienten unerlässlich (Böhm et al. 2007). Es ist jedoch zu erwähnen, dass diese Apparaturen eine mögliche Verletzungsgefahr bei unsachgemäßer Handhabung bergen. Einige Beispiele für extraorale Apparaturen sind Headgear, Delaire-Maske und Grummons-Maske.

Durch die intraorale skelettale Verankerung kann in vielen Fällen auf andere unkomfortablere kieferorthopädische Geräte wie z. B. den Headgear verzichtet werden (Eroğlu et al. 2010, Erverdi und Acar 2005, Veziroglu et al. 2008). Die intraorale Verankerung wird durch einfache singuläre Minischrauben gewährleistet, die mittlerweile in verschiedenen Bereichen eingesetzt werden können (Gaumen, retromolar, interforaminal, Zygoma) oder durch eine Kombination aus mehreren Minischrauben mit einer Miniplatte (Kraiko-

sol et al. 2007, Kravitz et al. 2007, Seres und Kocsis 2009, Tuncer et al. 2008). Weitere Möglichkeiten der skelettalen Verankerung sind die für die zahnärztliche Prothetik entwickelten enossalen Implantatsysteme. Bei den intraoralen Apparaturen liegt der Vorteil darin, dass sie Compliance-unabhängige Apparaturen sind. Zu den Nachteilen gehört, dass sie gewöhnungsbedürftig sind und die Mundhygiene erschweren.

### **1.3. Minischrauben in der Kieferorthopädie**

Minischrauben dienen in der Kieferorthopädie als temporäre skelettale Verankerung. Eine maximale Verankerung ist durchaus sicher, sodass die Verankerungselemente stabil bleiben (Böhm 2007).

Die meisten Minischrauben bestehen aus reinem Titan oder der Titanlegierung Titan-6-Aluminium-4-Vanadium (Böhm 2007). Die Biokompatibilität des Titans ist einer der wichtigsten Vorteile, denn dadurch wird die Osteointegration der Schrauben begünstigt. Dagegen werden Minischrauben aus Edelstahl nicht empfohlen. Trotz ihrer Biokompatibilität bildet sich eine Schicht von Bindegewebe um die Schraube, was die sekundäre Stabilität der Minischraube hemmt (Albrektsson et al. 1987). Die Längen der auf dem Markt erhältlichen Minischrauben variieren zwischen 4 und 14 mm. Die Auswahl der Länge einer Minischraube richtet sich im Vordergrund nach dem Knochenangebot und sollte den Insertionsort und die benachbarten anatomischen Strukturen (Nerven, Blutgefäße, Zahnwurzeln, Kieferhöhlen) beachten (Alkadhimi und Al-Awadhi 2018). Abhängig von der Form des Gewindes werden Minischrauben in zwei Schraubenarten unterschieden: selbstschneidend und selbstbohrend. Die selbstschneidenden Schrauben werden nach Vorbohren mit einem Pilotbohrer in den Knochen inseriert. Im Gegensatz können die selbstbohrenden Minischrauben durch ihre Scharfspitze ohne Vorbohren eingesetzt werden. Im klinischen Setting sorgen die Minischrauben für stabile Verankerung für verschiedene Zahnbewegungen, einschließlich Intrusion, Extrusion, Distalisation, Protraktion, Mittellinien-Koordination und Veränderungen in der Okklusionsebene (Alkadhimi und Al-Awadhi 2018), wie z. B. die verschiedenen Molarenbewegungen im Oberkiefer und Unterkiefer sowie Ex- und Intrusionen der übrigen Zähne (Erverdi und Acar 2005, Fukunaga et al. 2006, Kilkis et al. 2012, Lee und Baek 2012, Ohura et al. 2011). Insertionsorte können im Oberkiefer unterschiedlich sein. Der vordere Gaumen bietet sich als meist in der Literatur empfohlener Insertionsbereich an (Bernhart et al. 2001, Holm et al. 2012) (Abbildung 3).

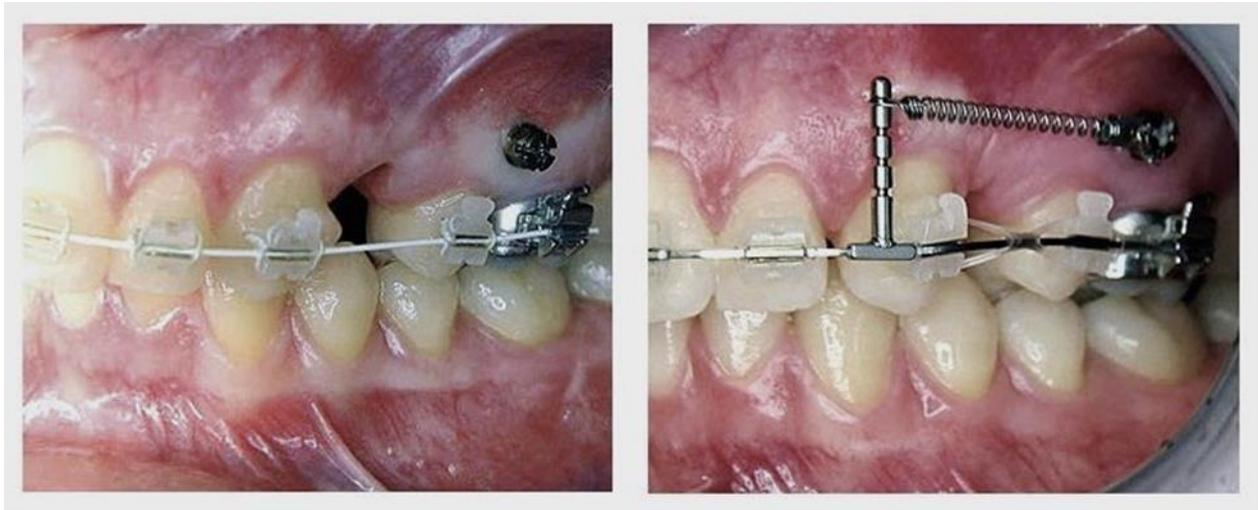


**Abbildung 3:** Beispiele für Minischrauben, die im vorderen Gaumen eingesetzt sind (Braun 2015).

Dazu sind interradikuläre Bereiche, der maxilläre Tuber, der Jochbeinfortsatz mit der Crista infrazygomatica, zahnlose Abschnitte auch in der Literatur beschrieben. Park und Cho (2009) konzentrierten sich in ihrer Studie auf die interradikulären Kompakta-Anteile. Diese interradikuläre Region für Insertionen von Minischrauben birgt jedoch immer das Risiko der Zahnwurzelverletzungen, die es immer zu vermeiden gilt. Die Problematik liegt dabei darin, dass nicht genau bekannt ist, wie viel Kompakta, also qualitativ hochwertiger Knochen, sich im möglichen Insertionsbereich befindet oder auch wie viel Knochen insgesamt vorhanden ist, da es dazu bislang keine festgelegten Angaben gibt. Dies ist nur dann komplikationslos machbar, wenn genügend Sicherheitsabstand zu den Wurzeln der Zähne eingehalten werden kann (Kokitsawat et al. 2008). Dieser Abstand zu den Zahnwurzeln muss auch während einer kieferorthopädischen Behandlung, das heißt bei Zahnbewegungen, kontrolliert werden, damit es nicht zu Verletzungen der Wurzeln kommt (Erverdi und Acar 2007) (Abbildung 4).

Die anderen Regionen zur Insertion der Minischrauben wurden in der Literatur eingeschränkt untersucht. Einen großen Anteil an der hohen Stabilität der Minischraube hat die Art der Insertion, das heißt das verwendete Drehmoment beim Eindrehen der Schraube (Wilmes et al. 2006 und 2008). Um eine sofortige Belastung gewährleisten zu können, muss besonders auf die Primärstabilität und die Art der Belastung der Minischraube im Knochen geachtet werden. Die Primärstabilität steht in direktem Zusammenhang mit der Kontaktfläche zwischen Minischraube und Knochen und sollte möglichst groß sein (Jung et al. 2008). Somit ist die Knochenqualität von großer Bedeutung

und ob es sich um Zug-, Schub- oder Rotationskräfte handelt, die auf die Schraube wirken (Vital et al. 2009).



**Abbildung 4:** Minischraube interradikulär zwischen erstem Molar und dem Prämolare im Oberkiefer gesetzt zur Retraktion der Frontzähne (vorher und nachher).

Auch hat sich herausgestellt, dass unterschiedliche Insertionsorte verschiedene Größen von Minischrauben benötigen (Berens et al. 2005). In der Kieferorthopädie ist dabei die Kompakta von besonderer Relevanz, da sie, im Gegensatz zum Spongiosa-Anteil, eine wesentlich höhere Dichte aufweist und somit beinahe alleine für die primäre Stabilität der Schraube verantwortlich ist (Holm et al. 2012, Ludwig 2008, Pischel 2005, Wehrbein et al. 2008).

Trotz der sehr hohen Stabilität der Minischrauben kann aber nicht garantiert werden, dass Minischrauben während der Behandlungsbelastung zu 100 % ortsstabil bleiben (Liou et al. 2004). Eine jüngere systematische Studie kommt zu dem Ergebnis, dass die Minischrauben im Allgemeinen eine hohe Erfolgsrate bei einer Verlustrate von nur 13,5 % (Alharbi et al. 2018) haben.

Minischrauben ermöglichen heutzutage neue Optionen und vor allem patientenfreundliches Behandeln. Viele Fragestellungen müssen noch ausführlicher untersucht und erforscht werden, eine zielorientierte und risikoarme Behandlung ist momentan häufig erfolgreich durchführbar (Köstenberger 2016).

## 1.4. Miniplatten in der Kieferorthopädie

Die Miniplatten bieten eine ausgezeichnete Stabilität in der temporären Verankerungstechnik und haben ein breites Anwendungsspektrum. Sie erlauben nach dem Einsetzen die sofortige Anwendung der kieferorthopädischen Kräfte und es besteht keine Notwendigkeit, die vollständige Osteointegration abzuwarten. Es wird jedoch eine kurze Wartezeit empfohlen, bis die primäre Weichteilheilung erreicht ist (Papadopoulos 2015). Die einfache Applikation und die reduzierte Einheilphase der Miniplatten ebneten den Weg für die weitere Entwicklung und die Nutzung dieser Elemente. Die Miniplatten werden mit genügendem Abstand zu den Wurzeln der Zähne eingesetzt, dadurch bieten sich völlig neue Behandlungsmöglichkeiten (Sander et al. 2011). Denn die Gefahr der Verletzung der Nachbarzähne führte in manchen Fällen zur Einschränkung des Einsetzens der Minischrauben in diesem Bereich. Das Applizieren der Miniplatten braucht aber mehr Zeit und Erfahrung als bei Minischrauben und Mini-Implantaten. Es ist für das Einsetzen und für die Entfernung dieser Platten ein Chirurg erforderlich, und für die Befestigung werden mindestens zwei bis vier Minischrauben benötigt.

Die Miniplatten bieten eine maximale Verankerung und können aufgrund der hohen primären Stabilität sofort nach der Insertion belastet werden. Die Insertionsorte für die Platten sind vielfältig, z. B. sind Jochbeinfortsatz, Apertura piriformis, mandibuläre Symphyse und die Linea obliqua mandibula. Am häufigsten wird der Jochbeinfortsatz als Hauptinsertionsort aufgrund der Dicke des Kortikalis verwendet (Papadopoulos 2015).

In der Literatur wurde bei Schädelfrakturen der zygomatiche Stützpfilerbereich aus folgenden Gründen als Region für die Platzierung der Miniplatten verwendet: 1. Er hat eine ausreichende Dicke und ausreichende Knochenqualität. 2. Er liegt nahe dem Zentrum des Widerstands des nasomaxillären Komplexes, sodass der Kraftvektor nahe dem Rotationszentrum des nasomaxillären Komplexes platziert werden kann (Kuroedova et al. 2018). Aus klinischer Sicht wurden die Miniplatten in mehreren Formen modifiziert, um die Erreichbarkeit, die Verletzungsgefahr der Nachbarstrukturen und die Irritation der Mukosa zu verringern.

Die temporäre skelettale Verankerung durch die modifizierten Miniplatten stellen heutzutage eine Alternative für die Minischrauben dar. Nach einer Befragungsstudie waren die postoperativen Beschwerden (Schwellung, Irritationen der Wangenschleimhaut) die einzigen Probleme der Patienten. Sonst werden diese Platten von den Patienten gut toleriert (Pasler 2008). Aufgrund der unterschiedlichen anatomischen Besonderheiten,

der Knochenqualität und der benötigten kieferorthopädischen Bewegung unterscheiden sich die Miniplatten hinsichtlich Form und Lokalisation. Beispiele für die Titan-Miniplatten für die skelettale Verankerung in der Kieferorthopädie sind die Bollard-Miniplatten (Nguyen et al. 2011) und die C-Tube-Platte (5).



**Abbildung 5:** Bollard-Platte (links), C-Tube-Miniplatte in Höhe des ersten oberen Molaren (rechts) (Kaygisiz 2015).

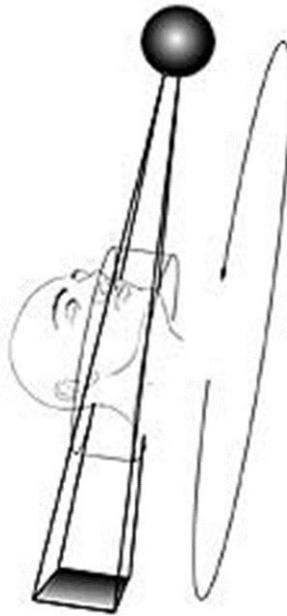
Miniplatten werden basierend auf den Durchmessern der Fixierungs-Minischrauben klassifiziert, z. B. 1,0-, 1,5-, 2,0- oder 2,3-mm-Systeme. Die Oberflächen von 2,0-mm- oder 2,3-mm-Schrauben sind beträchtlich größer als die der 1,5-mm-Schraube, und sie haben eine größere mechanische Festigkeit. Das Risiko von Wurzelschäden nimmt jedoch mit zunehmendem Durchmesser zu. Sowohl selbstschneidende als auch selbstbohrende Schrauben können zur Befestigung von Miniplatten verwendet werden. Der Punkt, an dem der Plattenarm freiliegt oder die Mundschleimhaut perforiert, wird als Austrittspunkt der Platte bezeichnet und ist einer der kritischen und wichtigsten Aspekte, der beim Einsetzen der Platte berücksichtigt werden muss (Papadopoulos 2015).

### **1.5. Digitale Volumentomographie (DVT)**

Röntgenbilder werden seit über 100 Jahren als diagnostisches Hilfsmittel im Kopf-Hals-Bereich eingesetzt. Auf der Basis der Arbeiten von Wilhelm Conrad Röntgen, dem Entdecker der Röntgenstrahlung (Schimank 1946), entwickelte sich diese Technologie innerhalb des letzten Jahrhunderts immer weiter. Die digitalen Bildaufnahmetechniken haben zu einer revolutionären Verbesserung in der zahnärztlichen Diagnostik (Schulze 2009) geführt. Nach der Entdeckung der Darstellbarkeit von knöchernen Strukturen mittels ionisierender Strahlung 1895 durch Wilhelm Conrad Röntgen (Pasler 2008) wurde

schnell klar, welchen enormen Nutzen diese bahnbrechende Technologie birgt. Die ersten OPG-Bilder 1952 waren der riesige Sprung in der zahnmedizinischen Diagnostik. Die digitale Technik verbesserte nicht nur die Bildqualität, sondern reduzierte auch im Vergleich zu konventionellen Aufnahmetechniken wie Panoramaschichtaufnahmen (PSA) und Fernröntgenseitenbildaufnahmen (FRS) die durch den Patienten absorbierte Röntgenstrahlung (Gijbels et al. 2005, Visser et al. 2001). Seit Ende der 90er-Jahre besteht durch die digitale Volumentomographie (DVT, engl.: cone beam computed tomography [CBCT]) die Möglichkeit der Darstellung von knöchernen Strukturen in einer zusätzlichen dritten Ebene. Bereits 1996 beschrieben Fuhrmann et al. die Durchführung von dreidimensionalen (3D) Schädelanalysen mittels Computertomographie (CT) und Personal Computer (PC). 3D-Darstellungen von Schädelregionen oder einzelnen Knochenstrukturen erlauben hochpräzise Befunde, Diagnosen, Therapieplanungen und kieferorthopädische Kieferrelationsbestimmungen. Die digitale Volumentomographie (DVT) bietet heute einen entscheidenden diagnostischen Aspekt in der zahnmedizinischen Radiologie.

Die Funktionsweise der DVT sei hier kurz im Überblick erklärt: Bei der dentalen digitalen Volumentomographie handelt es sich um eine digitale Aufnahmetechnik, bei der ein dreidimensionales (3D) Strahlenbündel in Kombination mit einem flächigen Detektor verwendet wird. Das Strahlenbündel wird entweder konusförmig (Bildverstärker) oder pyramidenförmig (Flachpanel-Detektoren) eingeblendet. Auf einer zirkulären Bahn wird eine große Anzahl von Projektionsaufnahmen erzeugt, aus welchen mittels Rückprojektionsverfahren unmittelbar ein 3D-Volumen der abgebildeten Region berechnet wird. Für das Verfahren typisch ist eine isometrische Ortsauflösung im Volumen in allen drei Raumrichtungen sowie die Konzentration auf die Darstellung von Hochkontrast, d.h. auf Hartgewebe. Gegenüber der klassischen (Einzeilen) Computertomographie (CT) grenzt sich die DVT durch die Verwendung eines dreidimensionalen Nutzstrahlenbündels sowie eines zweidimensionalen Bildrezeptors technisch ab (DGZMK Leitlinie 2013). Für die Aufnahme eines solchen DVTs fährt eine kegelförmige Röntgenstrahlquelle um ein Objekt, wie z. B. den Kopf des Patienten, herum, wodurch eine 360-Grad-Projektion des Objekts als ein zylinderförmiger Datensatz entsteht (Abbildung 6). Aus diesem Rohdatensatz können unterschiedliche Sekundärrekonstruktionen erstellt werden, wie z.B. sagittale, koronare, paraaxiale, Panoramaschicht und 3D-Ansicht (Schnelle 2001).



**Abbildung 6:** Die kegelförmige Rotation um das zu untersuchende Objekt (Bumann 2008).

Heutzutage verwenden die modernen indikationsabhängigen Dosisreduktions (IADR)-Protokolle im Vergleich zu den bisher verwendeten konventionellen Protokollen signifikant niedrigere effektive Dosen (Währisch 2015). Durch die Reduzierung der Milliampere-Werte lässt sich eine weitere, teilweise drastische Strahlenreduktion erreichen. Bei einem Field of View (FoV) von 20 x 17 cm und der Einstellung 90 kV/ 2,0 mA/9,0 s/18,0 mAs lag die effektive Dosis bei 13,5  $\mu$ Sv und damit weit unter den Werten für eine analoge PSA-Aufnahme (21,5  $\mu$ Sv und 24,4  $\mu$ Sv) (Grünheid et al. 2012, Ludlow und Ivanovic 2008, Patcas 2012). Moderne, weiterentwickelte Gerätetypen verfügen über eine Zusatzfunktion, die aus angefertigten DVT-Aufnahmen PSA- und FRS-Bilder generiert. Dadurch können zusätzliche Strahlenbelastungen am Patienten vermieden werden (Bumann et al. 2009). Protokolle mit niedriger Dosis mit großem FOV, normale Bilderauflösung, 80 kVp, 5 mA und Erfassungszeit von 15 s ergab einen effektiven Dosis von 35 microSievert ( $\mu$ Sv). Dieses Protokoll ermöglicht die Untersuchung von Maxillofacial Region mit hoher Bildqualität und einem sehr niedrigen Strahlendosis und könnte daher in den Studien eingesetzt werden, in dem eine vollständige Beurteilung von den Regionen für die Behandlungsplan erforderlich ist (Feragalli et al. 2017)

Trotz der vielen Vorteile der DVT-Aufnahmen im Vergleich zu den konventionellen Aufnahmen sollte vor der Anfertigung der DVT eine Rechtfertige Indikation gestellt werden. Grauwe et al. im 2018 führten in einer Studie eine systematische Überprüfung durch, um die Effektivität der DVT gegen die konventionellen Röntgenaufnahmen in der Diag-

nose der Kieferorthopädischen Fälle zu bewerten. Sie kamen zu den Ergebnisse, dass die DVT in den Fällen gerechtfertigt ist, in denen die konventionelle Radiographie keine konkrete Diagnose liefert, und wenn die Behandlungsoptionen dadurch positiv beeinflusst werden. Daher kann es nicht als Standardmethode für die Diagnose angesehen werden.

Noch immer wird die DVT von vielen Zahnärzten skeptisch beurteilt. Die hohe Strahlendosis, die komplizierten Anwendungsmodalitäten und der hohe betriebswirtschaftliche Aufwand stellen für viele Behandler eine Hürde dar. Daher erarbeiten internationale Kommissionen und Gesellschaften kontinuierlich Richtlinien, die es Anwendern wie Zahnärzten, Oralchirurgen oder Kieferorthopäden ermöglichen sollen, sich über die aktuellen Forschungsergebnisse und Empfehlungen zu informieren (Währisch 2015).

## 2. Fragestellung

Seit Ende der 90er-Jahre werden Minischrauben in der Kieferorthopädie zur skelettalen Verankerung erfolgreich eingesetzt. Der Insertionsort wird seitdem immer noch kontrovers diskutiert. Ziel ist es, eine hohe Stabilität zu erreichen und Komplikationen zu minimieren. Die am häufigsten empfohlenen Insertionsstellen sind interradiikuläre Areale von bukkal oder palatinal, zahnlose Kieferkammabschnitte und unterhalb der Spina nasalis anterior. Weitere mögliche Insertionsorte sind der Tuber maxillae, das Kinn sowie die retromolare Region. Der Gaumen eignet sich nach den Ergebnissen zahlreicher Studien ebenfalls zur Insertion von Minischrauben. Eines der Probleme bei der chirurgischen Insertion ist die Verletzung umliegender Parodontien bzw. der Zahnwurzeln. Weitere anatomische Strukturen, die bei der Insertion verletzt werden können, sind Nerven (N. alveolaris inferior, N. incisivus, N. palatinus).

Bei der Suche nach alternativen Lokalisationen wurden in der Vergangenheit die Minischrauben auch an der Crista zygomaticoalveolaris eingesetzt. Dabei wurden in der Literatur verschiedene Komplikationen beschrieben, wie z. B. die Perforation der Kieferhöhle, Nervenverletzungen, Schleimhautentzündungen, Verletzung benachbarter Strukturen und die Lockerung der Schrauben. Daher ergibt sich die Frage, ob die Crista zygomaticoalveolaris wirklich eine sinnvolle anatomische Lokalisation für Minischrauben ist.

Ziel der vorliegenden Studie war, anhand digitaler Volumentomographien das Knochenangebot in der Region der Crista zygomaticoalveolaris zu vermessen, um dadurch valide Daten zum besten Insertionsort und zur idealen Schraubenlänge der Minischrauben zu erhalten.

Mit der vorliegenden Arbeit sollten insbesondere folgende Hypothesen überprüft werden:

1. Das Knochenangebot im Bereich der Crista zygomaticoalveolaris nimmt von kaudal nach kranial zu.
2. Das Knochenangebot im Bereich der Crista zygomaticoalveolaris weist deutliche Unterschiede im Seitenvergleich auf.
3. Das Knochenangebot im Bereich der Crista zygomaticoalveolaris weist geschlechtsspezifische Unterschiede auf.
4. Das Knochenangebot im Bereich der Crista zygomaticoalveolaris nimmt mit zunehmendem Alter der Patienten zu.

5. Am kranialsten Punkt der Crista zygomaticoalveolaris hängt die Region der optimalen Knochendichte von Alter und Geschlecht des Patienten sowie von der Seite im Gesichtsschädel ab.

## **3. Methodik**

### **3.1. Allgemeine Methodik**

#### 3.1.1. DVT-Datensätze (DICOM-Datensätze)

Die ermittelten Daten dieser Arbeit wurden aus anonymisierten 100 Patienten-DVT-Datensätzen gewonnen. Diese wurden aus einem Pool von rund 400 vorhandenen DVT-Datensätzen aus dem Archiv des 3D DENTAL-RADIOLOGICUMs MESANTIS Berlin ausgewählt, wobei das Geschlecht der Patienten zunächst keine Rolle spielte. Es handelt sich um Kopf-DVT-Datensätze aus dem Raum Los Angeles in den USA. Für jede DVT-Aufnahme bestand entweder vor oder während einer kieferorthopädischen Behandlung eine rechtfertigende Indikation zur Anfertigung einer dentalen Volumentomographie. Ausschlusskriterien für einzelne Datensätze waren, aufgrund von Verwickelungen und Unschärfen, unbrauchbare DVTs. Ebenso wurden Datensätze ausgesondert, die für die ausgeführten Berechnungen eine zu starke Kopfneigung aufwiesen. Auch Patienten mit einem zu frühen Wechselgebiss wurden nicht berücksichtigt.

#### 3.1.2. DVT-Bearbeitungssoftware

Mithilfe des Programms Simplant<sup>®</sup> Master 12.02 der Firma Materialise (Leuven, Belgien) wurden die Kopf-DVT-Datensätze eingelesen und bearbeitet. Da Simplant<sup>®</sup> eine dreidimensionale Planungssoftware ist, bietet es hervorragende Möglichkeiten im Bereich der räumlichen Darstellung von Knochenstrukturen, die für die Planung und die Durchführung von chirurgischen Eingriffen äußerst zweckmäßig ist. Operative Behandlungsfehler werden so stark minimiert. Auch mögliche Schädigungen von Nerven und Zahnwurzeln können so vermieden werden.

In der vorliegenden Studie wird Simplant<sup>®</sup> zur Evaluation der Knochendichte und Knochendicke an der Crista zygomaticoalveolaris verwendet, um eine Tendenzaussage für einen optimalen Insertionsort von Minischrauben zu finden. Zudem dient die Software dazu, eine optimale Lage der Minischrauben zu finden, um eine Perforation der Nasennebenhöhlen zu vermeiden.

#### 3.1.3. Allgemeine Messmethodik

Für die Vermessung dieser Untersuchung von Bedeutung war die Darstellung in der sagittalen und der koronaren Ebene. Um die Untersuchungen vornehmen zu können,

wurden zuerst fünf Messpunkte (A–E) festgelegt, die auf der Crista zygomaticoalveolaris eingesetzt wurden.

Als Referenzpunkte diente die Sutura zygomaticomaxillaris (Punkt A, der kranialste Punkt). Im 5mm Abstand nach kaudal, gemessen mithilfe der Linealfunktion auf der Knochenoberfläche, wurden die Punkte von B bis E weiter festgesetzt (Abbildung 7).



**Abbildung 7:** Koronares Schnittbild einer DVT-Aufnahme für Darstellung der Messpunkte von kranial nach kaudal (A–E) an der Crista zygomaticoalveolaris mit Abstand von 5 mm.

Nun wurde im 90-Grad-Winkel zur Knochenoberfläche an allen Punkten die Kompakta-Dicke abgemessen. Genauso wurde die Messung für die gesamte Knochendicke durchgeführt, nur wurde in diesem Fall die Spongiosa mitgemessen. Spongiosa und Kompakta lassen sich auf den DVT-Bildern gut auseinanderhalten, da die Kompakta aufgrund der höheren Dichte viel heller erscheint und sich gut von der Spongiosa abhebt. Dieser Umstand macht die Messung mit der Linealfunktion relativ einfach und reproduzierbar.

Es wurde im Punkt A mithilfe des Implantatplanungswerkzeugs in Simplant® ein virtuelles Implantat eingesetzt. Bei der Wahl der Lage für das virtuelle Implantat wurde immer die Position bevorzugt, die am meisten Kompakta-Knochen beinhaltet. Mit der Dichtemessfunktion wurden dafür vier verschiedene Messungen in Punkt A durchgeführt. Diese Punkte liegen in Implantatrichtung von der Knochenoberfläche aus eingesetzt bei 1 mm, 4 mm, 7 mm und 10 mm (Abbildung 8).



**Abbildung 8:** Markierung des Abstands der Messpunkte für die Knochendichte an einer Mini-schraube (hier ein Tomas<sup>®</sup>-Pin von Dentaureum).

## 3.2. Spezielle Methodik

### 3.2.1. Das Knochenangebot von kaudal nach kranial

Es wurde erwartet, dass das Knochenangebot an der Crista zygomaticoalveolaris von kaudal nach kranial zunimmt. Um diese These zu überprüfen, wurde der Kolmogorow-Smirnow-Test angewandt. In einem ersten Schritt wurde der Median des Knochenangebots an den verschiedenen Messpunkten A–E verglichen. Dieser Vergleich wurde auch für die Dicke der Kompakta an den verschiedenen Punkten durchgeführt.

### 3.2.2. Das Knochenangebot im Seitenvergleich

Die Hypothese war in diesem Fall, dass es einen deutlichen Unterschied im Knochenangebot der rechten und der linken Kieferhälfte gebe. Die Überprüfung erfolgte mit dem Wilcoxon-Test. Zunächst wurde der Median des Knochenangebots an den fünf Messpunkten A–E der rechten Kieferhälfte mit dem der linken Kieferhälfte verglichen. Die gleichen Berechnungen wurden im Anschluss für die Dicke der Kompakta rechts und links separat durchgeführt.

### 3.2.3. Das Knochenangebot in Abhängigkeit zum Geschlecht

Das Knochenangebot an der Crista zygomaticoalveolaris wurde zwischen den männlichen und den weiblichen Patienten verglichen. Die Hypothese lautete, dass das Knochenangebot im Bereich der Crista zygomaticoalveolaris geschlechtsspezifische Unterschiede aufweise. Zur Überprüfung wurde der Mann-Whitney-U-Test durchgeführt. Zu-

nächst wurde der Medianwert des Knochenangebots an den verschiedenen Messpunkten der männlichen Patienten mit dem Medianwert der weiblichen Patienten verglichen. Die gleichen Vergleiche wurden auch für die Dicke der Kompakta an den Messpunkten A–E angefertigt.

#### 3.2.4. Das Knochenangebot in Abhängigkeit zum Alter

Hier wurde das Knochenangebot in den verschiedenen Messpunkten A–E in Abhängigkeit zum Alter der Patienten verglichen. Die Hypothese lautete, dass ältere Patienten mehr Knochenangebot im Bereich der Crista zygomaticoalveolaris besitzen als jüngere Patienten. Zunächst wurden die Medianwerte des Knochenangebots an den verschiedenen Messpunkten A–E verglichen. In Bezug auf das Alter ist eine Normalverteilung nicht gegeben, daher wurde mit der Spearman-Rank-Korrelation gearbeitet, um die Hypothese zu überprüfen. Im Anschluss wurden die gleichen Berechnungen für die Dicke der Kompakta bei verschiedenen Altersgruppen durchgeführt.

#### 3.2.5. Die Knochendichte im kranialsten Punkt

Die Knochendichte wurde in vier verschiedenen Ebenen entlang der Minischraube gemessen. Diese Ergebnisse wurden auch in Abhängigkeit der Tiefe, des Alters, des Geschlechts und der Kieferseite verglichen. Bei der Normalverteilung der gemessenen Werte wurde der Kolmogorow-Smirnow-Test benutzt. Außerdem wurde mit dem Spearman-Rho-Test weitergearbeitet, um die Signifikanz der Ergebnisse in Bezug auf das Alter zu testen. Beim Vergleich der gemessenen Knochendichte in Abhängigkeit von Kieferhälften wurde die statistische Auswertung mittels Wilcoxon-Test durchgeführt.

### 3.3. Statistische Methodik

Alle erhobenen Parameter wurden als quantitative Größe anhand von Mittelwert und Standardabweichung, Minimum und Maximum sowie der Quartile beschreibend dargestellt und mittels Kolmogorow-Smirnow-Test auf Normalverteilung geprüft. Konnten signifikante Abweichungen von einer Normalverteilung nachgewiesen werden, wurden nichtparametrische Tests verwendet.

Unabhängige Größen wurden mithilfe des Mann-Whitney-Tests zwischen den beiden Geschlechtern verglichen, während der Wilcoxon-Test für Paardifferenzen verwendet wurde, um auf Unterschiede bezüglich zweier abhängiger Größen zu testen. Mehrere abhängige quantitative Größen wurden mithilfe des Friedman-Testes zunächst global

verglichen. Bei einem signifikanten globalen Unterschied zwischen den Parametern wurden Paarvergleiche mithilfe des Post-hoc-Tests nach Schaich-Hamerle durchgeführt. Die erhobenen Parameter wurden mit dem Alter mittels Spearman-Rank-Korrelation verglichen.

Wenn keine signifikante Abweichung von einer Normalverteilung nachgewiesen werden konnte, wurden die Parameter mittels Varianzanalyse für Messwiederholungen untersucht. Zeigte sich global ein signifikanter Unterschied zwischen den Messwiederholungen, wurden anschließend multiple Post-hoc-Paarvergleiche mittels linearer Kontraste durchgeführt.

Es wurde stets zweiseitig getestet und ein Signifikanzniveau von 5 % zugrunde gelegt. Eine Alpha-Adjustierung für multiples Testen fand nicht statt, die Ergebnisse haben dementsprechend explorativen, beschreibenden Charakter. Für die Durchführung der statistischen Berechnungen wurde IBM SPSS Statistics 20 (SPSS Inc. an IBM Company, Chicago, IL) eingesetzt. Der Post-hoc-Test nach Schaich-Hamerle wurde mit Bias Version 9.14 durchgeführt.

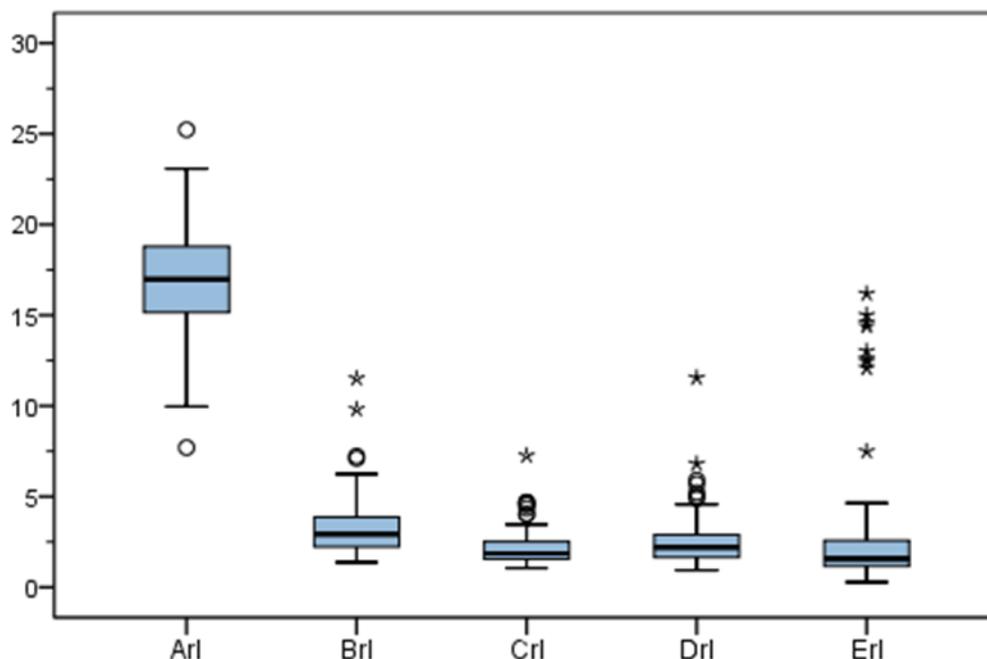
## 4. Ergebnisse

### 4.1. Das Knochenangebot von kaudal nach kranial

Das Knochenangebot wurde anhand von DVT-Datensätzen an den verschiedenen Messpunkten von A–E an der Crista zygomaticoalveolaris erhoben. Beim Vergleich der Medianwerte Erl (kaudal [1,58 mm]) zu Arl (kranial [16,90 mm]) ist immer eine deutliche Steigerung des gesamten Knochenangebots erkennbar. Jedoch nimmt das Knochenangebot von Erl zu Arl nicht konstant zu, sondern steigt über Drl (2,20 mm) und sinkt auf Crl (1,87 mm) ab. Nach einem geringen Anstieg zu Brl (2,86 mm) ist das Gesamtknochenangebot im Median beim kranialsten Punkt Arl (16,90 mm) am größten. Aufgrund der statistischen Auswertung der Testergebnisse in Bezug auf eine Normalverteilung mit dem Kolmogorow-Smirnow-Test kann eine Normalverteilung für die Werte Brl, Crl, Drl und Erl mit einer Wahrscheinlichkeit von 100 % ausgeschlossen werden (Tabelle 1, Abbildung 9).

**Tabelle 1:** Darstellung des Knochenangebots an der Crista zygomaticoalveolaris an den fünf Referenzpunkten A–E. Das Knochenangebot wies an dem Referenzpunkt A statistisch signifikant höhere Werte.

	N	Mittelwert	Standardabweichung	Min.	Max.	Perzentile		
						25.	50. (Median)	75.
<b>Arl</b>	100	16,86	2,81	7,70	25,23	15,15	16,90	18,76
<b>Brl</b>	100	3,28	1,67	1,26	11,52	2,20	2,87	3,82
<b>Crl</b>	100	2,16	0,98	1,05	7,26	1,57	1,87	2,51
<b>Drl</b>	99	2,51	1,46	0,85	11,55	1,63	2,20	2,87
<b>Erl</b>	94	2,86	3,53	0,28	16,18	1,17	1,58	2,62

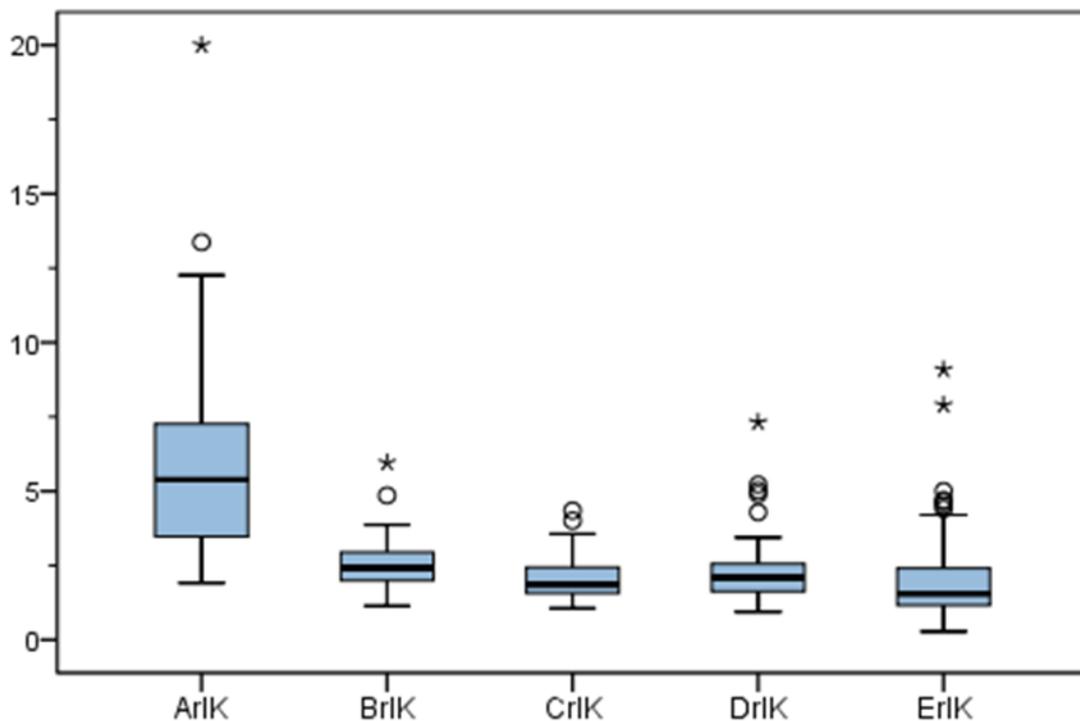


**Abbildung 9:** Graphische Darstellung der statistischen Werte (Tabelle 1) des Knochenangebots an der Crista zygomaticoalveolaris, gemessen an den fünf verschiedenen Messpunkten A–E. Das Knochenangebot wies an dem Referenzpunkt A statistisch signifikant höhere Werte auf.

Da die Kompakta im Gegensatz zu dem spongiösen Knochenanteil eine wesentlich höhere Dichte aufweist und somit beinahe alleine für die Stabilität der Schraube verantwortlich ist, wurde die Dichte der Kompakta separat an den verschiedenen Punkten A–E vermessen. Generell nimmt die Kompakta von kaudal (Punkt E) nach kranial (Punkt A) an Dicke zu. Beim Betrachten der Medianwerte erkennt man eine Steigerung von ErlK (1,54 mm) nach DrlK (2,07 mm). Es folgt ein leichter Abfall auf 1,86 mm bei CrlK. Danach steigt die Dicke der Kompakta bei BrlK (2,35 mm) bis ArlK (5,39 mm) wieder an (Tabelle 2). Der Test auf Normalverteilung zeigt, dass außer bei BrlK keine Normalverteilung vorliegt (Tabelle 3). Wie auch in Tabelle 3 und Abbildung 10 zu sehen ist, liegen große Abweichungen in den Maxima und Minima in allen Punkten vor.

**Tabelle 2:** Darstellung der Dicke der Kompakta an der Crista zygomaticoalveolaris an den fünf Referenzpunkten A–E (rechts/links zusammen). Die Kompakta nimmt von kaudal (Punkt E) nach kranial (Punkt A) an Dicke signifikant zu.

	N	Mittelwert	Standard- abweichung	Minimum	Maxi- mum	Perzentile		
						25.	50. (Median)	75.
<b>ArIK</b>	100	5,89	3,06	1,92	20,00	3,49	5,39	7,35
<b>BrIK</b>	100	2,48	0,82	1,15	5,96	1,91	2,35	2,94
<b>CrIK</b>	100	2,01	0,65	1,05	4,35	1,57	1,86	2,44
<b>DrIK</b>	99	2,19	0,97	0,85	7,32	1,60	2,07	2,54
<b>ErIK</b>	94	2,04	1,43	0,28	9,09	1,17	1,54	2,42



**Abbildung 10:** Graphische Darstellung der statistischen Werte (in **Tabelle 2**) der Kompakta-Dicke an der Crista zygomaticoalveolaris an den fünf Referenzpunkten A–E (rechts/links zusammen). Die Kompakta-Dicke ist an Punkt A signifikant höher als an den anderen Referenzpunkten.

**Tabelle 3:** Test auf Normalverteilung der Werte der Kompakta-Dicke an den Referenzpunkten A–E an der Crista zygomaticoalveolaris. Es liegen große Abweichungen in den Maxima und Minima in allen Punkten vor.

	Kolmogorow-Smirnow <sup>a</sup>		
	Statistik	df	Signifikanz
ArIK	0,131	87	0,001
BrIK	0,055	87	0,200
CrIK	0,134	87	0,001
DrIK	0,162	87	0,000
ErIK	0,204	87	0,000

<sup>a</sup> Signifikanzkorrektur nach Lilliefors

## 4.2. Das Knochenangebot im Seitenvergleich

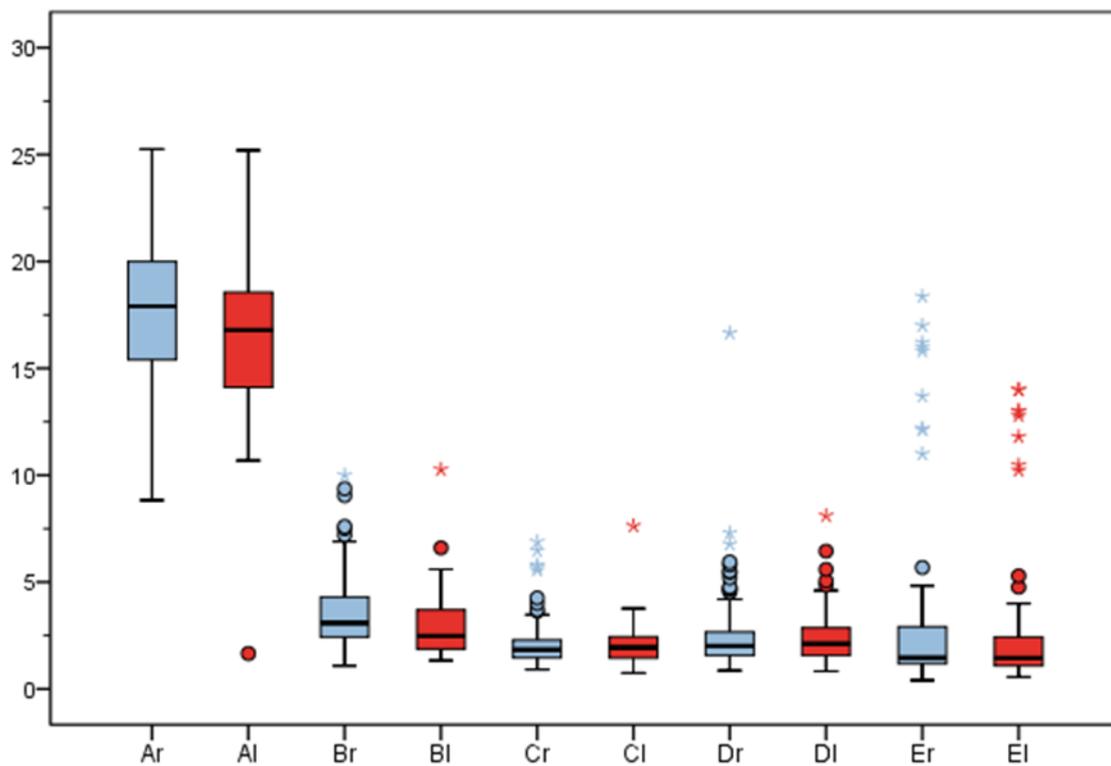
Hier wurde das Knochenangebot in den verschiedenen Punkten A–E an der linken und der rechten Kieferhälfte verglichen. Außer bei den Punkten Ar und Al liegt bei allen anderen Punkten keine Normalverteilung vor (**Tabelle 4**, Abbildung 11).

**Tabelle 4:** Test auf Normalverteilung der Werte von dem Knochenangebot an den Referenzpunkten an der Crista zygomaticoalveolaris im Seitenvergleich. Außer bei den Punkten Ar und Al liegt bei allen anderen Punkten keine Normalverteilung vor.

Tests auf Normalverteilung			
	Kolmogorow-Smirnow <sup>a</sup>		
	Statistik	df	Signifikanz
Ar	0,065	87	0,200
Br	0,177	87	0,000
Cr	0,211	87	0,000
Dr	0,247	87	0,000

<b>Er</b>	0,291	87	0,000
<b>Al</b>	0,056	87	0,200
<b>Bl</b>	0,134	87	0,001
<b>Cl</b>	0,161	87	0,000
<b>DI</b>	0,147	87	0,000
<b>EI</b>	0,318	87	0,000

<sup>a</sup> Signifikanzkorrektur nach Lilliefors



**Abbildung 11:** Graphische Darstellung des Knochenangebots an den fünf Referenzpunkten A–E an der Crista zygomaticoalveolaris im Vergleich der rechten und der linken Schädelhälfte. Signifikante Unterschiede im Seitenvergleich sind an den Referenzpunkten A, B und E zu sehen.

Bei Betrachtung der Medianwerte zeigt sich, dass Abweichungen zwischen links und rechts bestehen (Tabelle 5). Mithilfe des Wilcoxon-Tests konnten statistisch signifikante Unterschiede zwischen linker und rechter Kieferhälfte für die Punkte A, B und E festgestellt werden (Tabelle 6).

**Tabelle 5:** Das Knochenangebot im Vergleich der rechten und linken Schädelhälfte gemessen an den Referenzpunkten A–E an der Crista zygomaticoalveolaris. Abweichungen zwischen links und rechts im Betracht der Medianwerte sind nachweisbar.

	n	Mittelwert	Standardabweichung	Min.	Max.	Perzentile		
						25.	50. (Median)	75.
<b>Ar</b>	100	17,27	3,13	8,83	25,26	15,37	17,16	19,50
<b>Br</b>	100	3,60	2,30	1,09	16,22	2,25	2,91	4,21
<b>Cr</b>	100	2,17	1,19	0,91	6,89	1,50	1,84	2,31
<b>Dr</b>	99	2,61	1,99	0,60	16,65	1,56	2,01	2,76
<b>Er</b>	91	3,11	4,07	0,28	18,36	1,17	1,52	2,74
<b>Al</b>	100	16,46	3,35	1,66	25,20	14,15	16,75	18,73
<b>Bl</b>	100	2,95	1,44	1,14	10,27	1,87	2,51	3,76
<b>Cl</b>	100	2,16	0,96	0,75	7,63	1,48	1,97	2,52
<b>DI</b>	99	2,42	1,25	0,80	8,11	1,48	2,10	2,82
<b>EI</b>	90	2,69	3,22	0,56	14,00	1,09	1,47	2,46

**Tabelle 6:** Das Knochenangebot an den Referenzpunkten A, B und E unterscheidet sich signifikant zwischen links und rechts (Wilcoxon-Test:  $p=0,018$ ,  $p=0,005$  bzw.  $0,029$ , gelb markiert, nicht signifikante Unterschiede sind grau markiert).

Statistik für Test <sup>a</sup>					
	Al–Ar	Bl–Br	Cl–Cr	DI–Dr	EI–Er
Z	-2,376 <sup>b</sup>	-2,790 <sup>b</sup>	-,685 <sup>c</sup>	-,712 <sup>b</sup>	-2,177 <sup>b</sup>
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	0,018	0,005	0,493	0,476	0,029

<sup>a</sup> Wilcoxon-Test

<sup>b</sup> Basiert auf positiven Rängen

<sup>c</sup> Basiert auf negativen Rängen

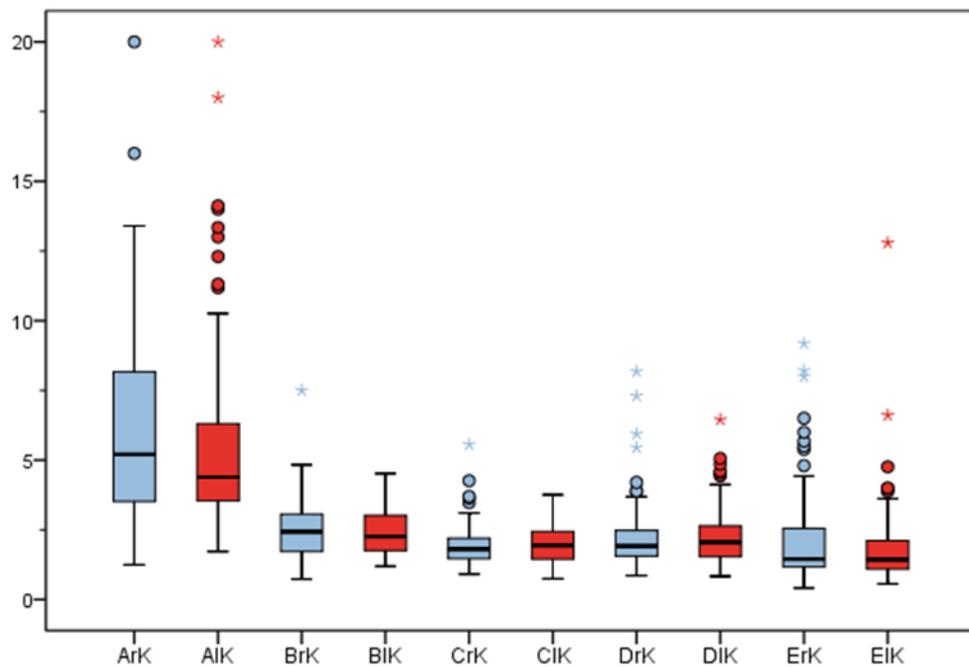
Es wurde erneut die Dicke der Kompakta an den jeweiligen Messpunkten A–E separat gemessen. Beim Seitenvergleich der Dicke der Kompakta zeigt sich, dass die Medianwerte die These leicht bestätigen. Auf der rechten Seite sind Punkt A, B und E geringfügig größer, besonders A ist hier auffällig größer (ArK 5,2 mm vs. AIK 4,41 mm) (Tabelle 7). Die statistische Auswertung zeigt aber, dass sich nur C und E signifikant unterscheiden (Abbildung 12, Tabelle 7).

**Tabelle 7:** Die Kompakta-Dicke an den fünf Referenzpunkten A–E an der Crista zygomaticoalveolaris im Schädelseitenvergleich. Abweichungen zwischen links und rechts im Betracht der Medianwerte sind nachweisbar.

	N	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum	Perzentile		
						25.	50. (Median)	75.
<b>ArK</b>	100	6,12	3,52	1,25	20,00	3,58	5,20	8,21
<b>BrK</b>	100	2,42	1,01	0,73	7,50	1,66	2,32	3,01
<b>CrK</b>	100	1,93	0,72	0,91	5,56	1,49	1,81	2,17
<b>DrK</b>	99	2,18	1,16	0,60	8,18	1,56	1,89	2,46
<b>ErK</b>	91	2,22	1,76	0,28	9,18	1,16	1,46	2,41
<b>AIK</b>	100	5,66	3,46	1,72	20,00	3,60	4,41	6,61
<b>BIK</b>	100	2,53	1,01	1,14	6,82	1,76	2,26	3,13
<b>CIK</b>	100	2,09	0,77	0,75	4,62	1,48	1,97	2,49
<b>DIK</b>	99	2,21	1,03	0,80	6,45	1,46	1,94	2,62

<b>EIK</b>	90	1,89	1,54	0,56	12,79	1,09	1,44	2,15
------------	----	------	------	------	-------	------	------	------

Dies ist der nicht vorhandenen Normalverteilung zuzuschreiben. Auffallend ist in diesem Zusammenhang jedoch, dass die Messwerte im Punkt C links eine größere Kompakta-Dicke aufweisen als rechts. Lediglich in Punkt A ist die These sowohl statistisch als auch bei Betrachtung der Medianwerte erfüllt.



**Abbildung 12:** Graphische Darstellung der Kompakta-Dicke an den fünf Referenzpunkten A–E im Schädelseitenvergleich (rechte Seite blau markiert, linke Seite rot markiert). An Punkt A sind signifikante Unterschiede zwischen links und rechts zu sehen.

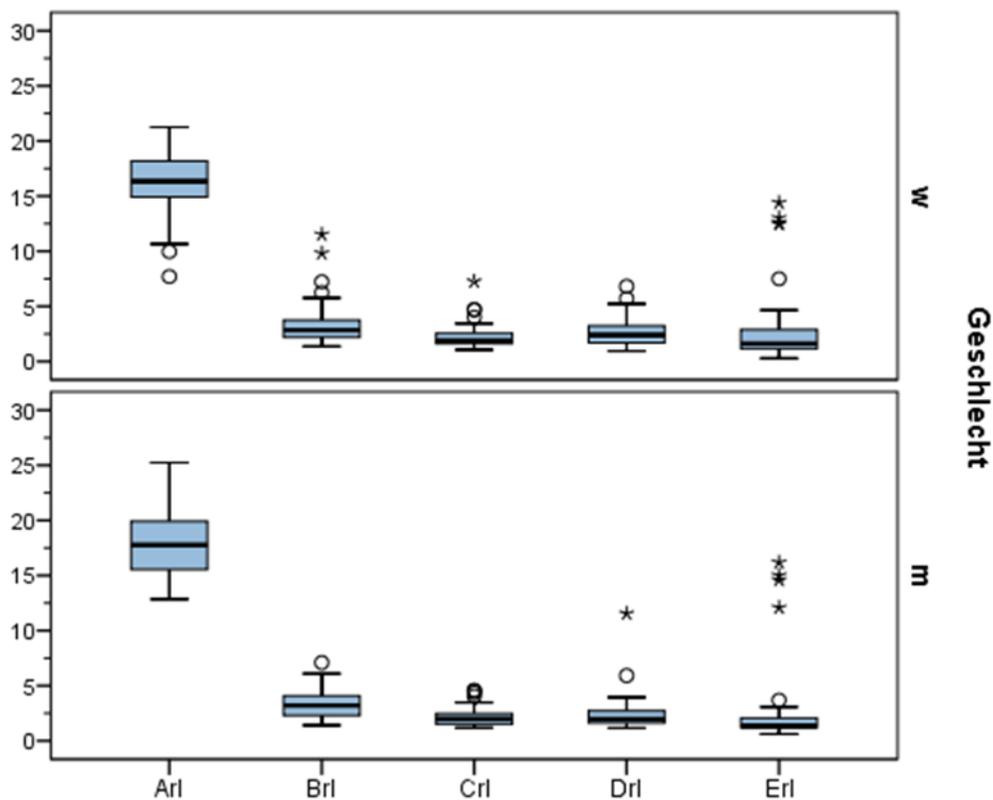
### 4.3. Das Knochenangebot in Abhängigkeit zum Geschlecht

Ein möglicher Einfluss des Geschlechts auf das Knochenangebot wurde überprüft. Es sind keine signifikanten Unterschiede in Bezug auf das Knochenangebot zwischen Männern und Frauen erkennbar. Obwohl Männer bei Punkt Arl im Median 1,24 mm mehr Knochenangebot aufweisen, lässt sich statistisch kein signifikanter Unterschied zwischen Männern und Frauen feststellen (Tabelle 8, Abbildung 13).

**Tabelle 8:** Darstellung des Knochenangebots an den fünf Referenzpunkten A–E unter Berücksichtigung des Geschlechts. Es lässt sich kein signifikanter Unterschied zwischen Männern und Frauen feststellen. Nur bei Punkt Arl weisen Männer im Median einen geringen Unterschied (1,24 mm) mehr Knochenangebot als Frauen auf.

Geschlecht	n	Mittelwert	Standard- abweichung	Min.	Max.	Perzentile			
						25.	50. (Me- dian)	75.	
w	Arl	60	16,31	2,67	7,70	21,25	14,78	16,34	18,18
	Brl	60	3,26	1,89	1,26	11,52	2,13	2,78	3,73
	CrI	60	2,15	1,03	1,05	7,26	1,60	1,85	2,51
	DrI	59	2,59	1,25	0,85	6,81	1,65	2,39	3,13
	ErI	56	2,79	3,15	0,28	14,40	1,17	1,61	2,96
m	Arl	40	17,69	2,85	12,86	25,23	15,56	17,58	19,73
	Brl	40	3,30	1,29	1,41	7,10	2,25	3,19	4,03
	CrI	40	2,19	0,91	1,18	4,58	1,53	2,00	2,53
	DrI	40	2,40	1,74	1,16	11,55	1,60	1,98	2,64

	<b>Erl</b>	38	2,95	4,08	0,61	16,18	1,20	1,34	2,08
--	------------	----	------	------	------	-------	------	------	------



**Abbildung 13:** Graphische Darstellung des Knochenangebots an den fünf Referenzpunkten A–E unter Einbezug des Geschlechts. Außer des geringen Unterschieds an Punkt A sind keine signifikanten Unterschiede zwischen Mann und Frau erkennbar.

Die mögliche Abhängigkeit der Kompakta-Dicke vom Geschlecht wurde auch separat für jeden einzelnen Punkt (A–E) untersucht. Beim Betrachten der Mediane fällt auf, dass entgegen der These meist Frauen eine dickere Kompakta aufweisen. Eine Ausnahme stellt Punkt CrlK dar, hier zeigten Männer eine größere Kompakta-Dicke (Tabelle 9). Auch hier liegt keine Normalverteilung bei der Geschlechteraufteilung vor (Tabelle 10, Abbildung 14), sodass mit dem Mann-Whitney-U-Test weitergearbeitet wurde. Hier zeigt sich, dass es entgegen der Median-Auswertung keine statistisch signi-

signifikanten Kompakta-Unterschiede zwischen Mann und Frau gibt (Tabelle 11 und Tabelle 12).

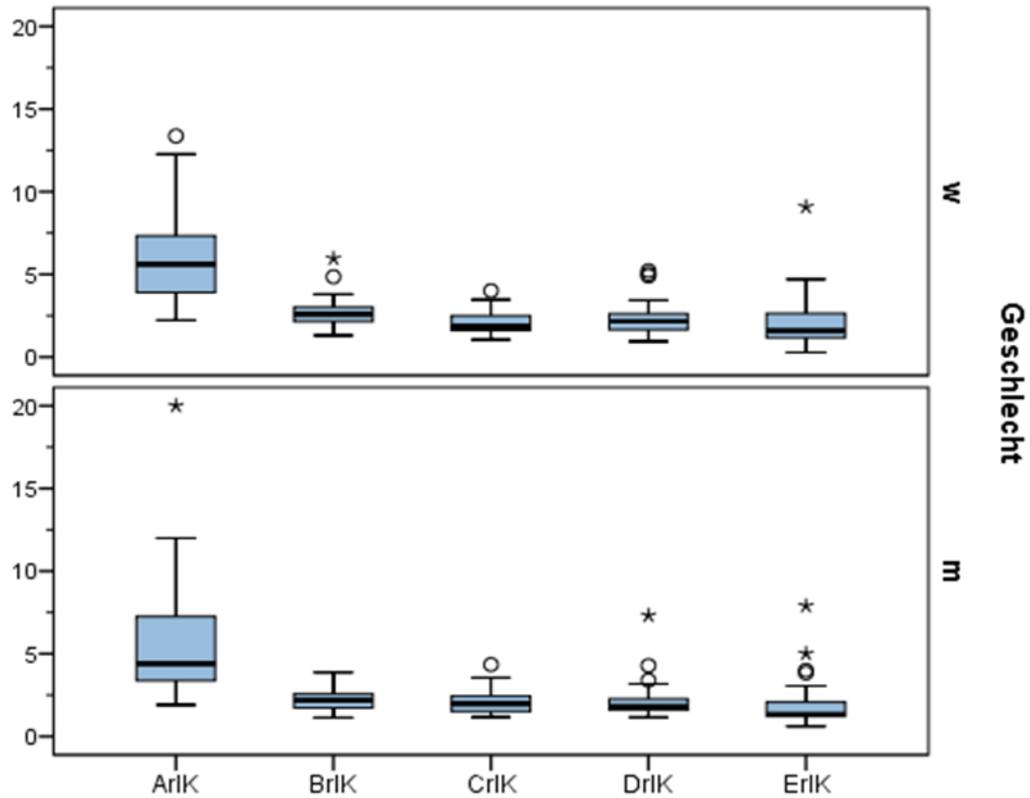
**Tabelle 9:** Darstellung der Kompakta-Dicke an den fünf Referenzpunkten A–E aufgeteilt nach Geschlecht. Hier ist kein signifikanter Unterschied zwischen Männern und Frauen nachzuweisen.

Geschlecht		n	Mittelwert	Standardabweichung	Min.	Max.	Perzentile		
							25.	50. (Median)	75.
W	ArIK	60	5,98	2,84	2,24	13,37	3,87	5,53	7,44
	BrIK	60	2,60	0,86	1,26	5,96	2,00	2,56	3,00
	CrIK	60	2,00	0,65	1,05	4,01	1,60	1,83	2,46
	DrIK	59	2,25	0,90	0,85	5,22	1,61	2,15	2,59
	ErIK	56	2,13	1,48	0,28	9,09	1,17	1,60	2,67
M	ArIK	40	5,76	3,39	1,92	20,00	3,38	4,65	7,35
	BrIK	40	2,28	0,73	1,15	3,87	1,74	2,21	2,66
	CrIK	40	2,03	0,66	1,18	4,35	1,53	1,99	2,44
	DrIK	40	2,12	1,08	1,16	7,32	1,48	1,76	2,26
	ErIK	38	1,91	1,36	0,61	7,90	1,20	1,34	2,07

**Tabelle 10:** Test auf Normalverteilung nach Geschlecht.

Geschlecht		Kolmogorow-Smirnow <sup>a</sup>		
		Statistik	Df	Signifikanz
<b>W</b>	<b>ArIK</b>	0,140	56	0,008
	<b>BrIK</b>	0,105	56	0,184
	<b>CrIK</b>	0,208	56	0,000
	<b>DrIK</b>	0,132	56	0,017
	<b>ErIK</b>	0,193	56	0,000
<b>M</b>	<b>ArIK</b>	0,167	38	0,009
	<b>BrIK</b>	0,147	38	0,037
	<b>CrIK</b>	0,104	38	0,200
	<b>DrIK</b>	0,221	38	0,000
	<b>ErIK</b>	0,263	38	0,000

<sup>a</sup> Signifikanzkorrektur nach Lilliefors



**Abbildung 14:** Graphische Darstellung der Messwerte der Kompakta-Dicke an den fünf Referenzpunkten A–E. Hier ist kein signifikanter Unterschied zwischen den Geschlechtern nachzuweisen.

Tabelle 11: Darstellung der Kompakta-Dicke an den fünf Referenzpunkten A–E nach Mann-Whitney-U-Test: Ränge. Es liegen keine Unterschiede zwischen Mann und Frau vor.

Geschlecht		n	Mittlerer Rang	Rangsumme
ArIK	w	60	52,01	3.121
	m	40	48,24	1.930
	Gesamt	100		
BrIK	w	60	55,11	3.307
	m	40	43,59	1.744

	Gesamt	100		
<b>CrIK</b>	w	60	49,98	2.999
	m	40	51,29	2.052
	Gesamt	100		
<b>DrIK</b>	w	59	53,17	3.137
	m	40	45,33	1.813
	Gesamt	99		
<b>ErIK</b>	w	56	48,75	2.730
	m	38	45,66	1.735
	Gesamt	94		

**Tabelle 12:** Darstellung der Signifikanz der Kompakta-Unterschiede an den fünf Referenzpunkten A–E bei den Geschlechtern nach Mann-Whitney-U-Test:  $p=0,524$ ,  $p=0,052$ ,  $p=0,825$ ,  $p=0,182$  bzw.  $p=0,590$ .

<b>Statistik für Test<sup>a</sup></b>					
	<b>ArIK</b>	<b>BrIK</b>	<b>CrIK</b>	<b>DrIK</b>	<b>ErIK</b>
Mann-Whitney-U	1.110	924	1.169	993	994
Wilcoxon-W	1.930	1.744	2.999	1.813	1.735
Z	-0,637	-1,946	-0,222	-1,333	-0,539
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	0,524	0,052	0,825	0,182	0,590
<sup>a</sup> Gruppenvariable: Geschlecht					

#### 4.4. Das Knochenangebot in Abhängigkeit zum Alter

Die Altersspanne erstreckt sich von 6 bis 54 Jahren. Das Median liegt bei 13 Jahren (Tabelle 13).

Wie Abbildung 18 veranschaulicht, liegen 90 % der Probanden im Alterssegment zwischen 8 und 18 Jahren, und lediglich 10 % der Probanden haben das 30. Lebensjahr überschritten. In Bezug auf das Alter ist eine Normalverteilung nicht gegeben, daher wurde der mögliche Einfluss des Alters auf das Knochenangebot mit der Spearman-Rank-Korrelation überprüft. Die in diesem Fall notwendigen nichtparametrischen Tests (Tabelle 14) zeigen eine signifikante und schwach positive Korrelation zwischen dem Alter und dem Knochenangebot an Punkt Arl auf (Abbildung 15). Bei allen anderen Punkten Brl, Crl, Drl und Erl zeigt sich keine positive Korrelation zwischen dem Alter und dem Knochenangebot (Tabelle 15).

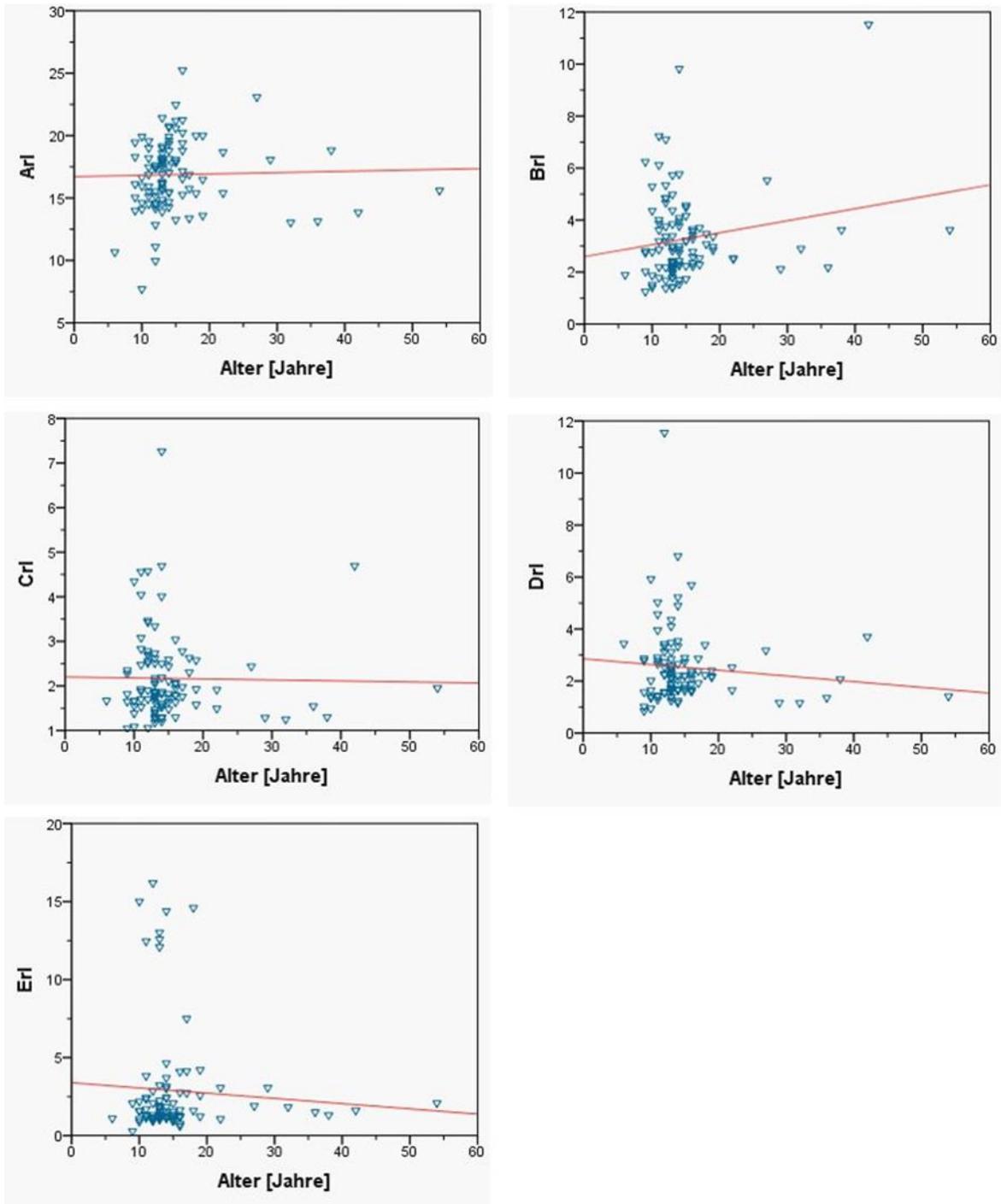
**Tabelle 13:** Die Altersverteilung bei der Dicke der Kompakta.

	n	Mittelwert	Standardabweichung	Min.	Max.	Perzentile		
						25.	50. (Median)	75.
Alter (Jahre)	99	15,04	6,99	6,00	54,00	12,00	13,00	16,00

**Tabelle 14:** Darstellung des Signifikanz der Knochenangebot-Unterschiede an den fünf Referenzpunkten A–E nach Spearman-Rank-Korrelation. Es liegt eine signifikante und schwach positive Korrelation zwischen Alter und Knochenangebot an Punkt Arl vor ( $R=0,215$  und  $p=0,033$ , gelb markiert). Es liegt keine nennenswerte Korrelation zwischen Alter und Knochenangebot an den Punkten Brl, Crl, Drl, Erl vor (grau markiert).

			Alter (Jahre)
Spearman-Rho	Arl	Korrelationskoeffizient	,215*
		Sig. (2-seitig)	,033
		n	99
	Brl	Korrelationskoeffizient	,088
		Sig. (2-seitig)	,387
		n	99
	Crl	Korrelationskoeffizient	-,049
		Sig. (2-seitig)	,629
		n	99
	Drl	Korrelationskoeffizient	-,030
		Sig. (2-seitig)	,768
		n	98
	Erl	Korrelationskoeffizient	,133

		Sig. (2-seitig)	,204
		n	93



**Abbildung 15:** Graphische Darstellung der Signifikanz der Knochenangebot-Unterschiede an den fünf Referenzpunkten A–E unter Einbezug des Alters (rote Hilfslinie).

**Tabelle 15:** Die Altersverteilung beim Knochenangebot.

	n	Mittelwert	Standardabweichung	Min.	Max.	Perzentile		
						25.	50. (Median)	75.
Alter (Jahre)	99	15,04	6,990	6	54	12,00	13,00	16,00

Der Einfluss der Altersgruppen auf die Dicke der Kompakta wurde ebenfalls an jedem einzelnen Punkt untersucht. Aufgrund der nicht vorliegenden Normalverteilung (Tabelle 16) wurde mit der Spearman-Rank-Korrelation gearbeitet und aufgezeigt, dass keine statistisch signifikante Korrelation zwischen dem Alter und der Dicke der Kompakta besteht (Tabelle 17).

**Tabelle 16:** Test auf Normalverteilung bzgl. Alter.

	Kolmogorow-Smirnow <sup>a</sup>		
	Statistik	df	Signifikanz
Alter (Jahre)	0,274	99	0,000
<sup>a</sup> Signifikanzkorrektur nach Lilliefors			

**Tabelle 17:** Darstellung der Signifikanz der Kompakta-Unterschiede an den fünf Referenzpunkten A–E bzgl. Alter nach Spearman-Rank-Korrelation. Es zeigt sich keine statistisch signifikante Korrelation zwischen dem Alter und der Dicke der Kompakta.

			Alter (Jahre)
<b>Spearman-Rho</b>	<b>ArIK</b>	Korrelationskoeffizient	0,172
		p	0,089
		n	99
	<b>BrIK</b>	Korrelationskoeffizient	0,144
		p	0,156
		n	99
	<b>CrIK</b>	Korrelationskoeffizient	-0,024
		p	0,814
		n	99
	<b>DrIK</b>	Korrelationskoeffizient	0,055
		p	0,589
		n	98
	<b>ErIK</b>	Korrelationskoeffizient	0,142
		p	0,174
		n	93

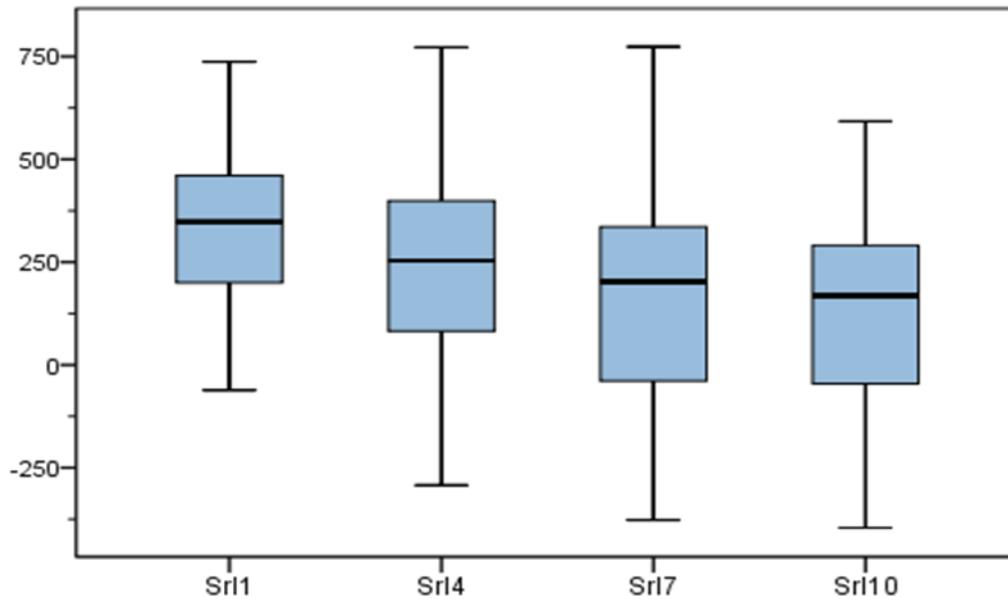
#### 4.5. Die Knochendichte im kranialsten Punkt (A)

Es wurde im Punkt A mithilfe des Implantatplanungswerkzeugs in der Simplant® Software ein virtuelles Implantat eingesetzt. Mit der Dichtemessfunktion wurden dafür vier verschiedene Messungen an Punkt A durchgeführt. Diese Messungen liegen in Implantatrichtung von der Knochenoberfläche aus eingesetzt bei 1 mm, 4 mm, 7 mm und 10 mm (Abbildung 8). Damit soll die Dichte des Knochens entlang der Schraube vermessen werden.

Die Knochendichte im kranialsten Punkt nimmt von Srl1 nach Srl10 ab. Gut zu erkennen ist der Dichteverlauf beim Betrachten der Medianwerte und der Graphik (Tabelle 18, Abbildung 16). Der Kolmogorow-Smirnow-Test zeigt, dass hier eine Normalverteilung vorliegt (Tabelle 19).

**Tabelle 18:** Darstellung der Knochendichte an den vier Messpunkten von Srl1 bis Srl10 in Punkt A. Die Knochendichte in Punkt A nimmt von Srl1 nach Srl10 ab. (Die Werte sind in HE=Hounsfield-Einheit angegeben)

	n	Mittelwert	Standardabweichung	Min.	Max.	Perzentile		
						25.	50. (Median)	75.
<b>Srl1</b>	100	344,40	166,91	-61,78	737,02	199,79	348,00	464,77
<b>Srl4</b>	100	247,48	215,10	-292,81	772,53	80,01	253,75	400,16
<b>Srl7</b>	100	158,83	261,72	-377,05	774,00	-43,08	202,74	337,41
<b>Srl10</b>	100	125,75	237,95	-395,99	592,47	-47,11	168,23	292,19



**Abbildung 16:** Graphische Darstellung der Knochendichte an den vier Messpunkten Srl1–Srl10 in Punkt A.

**Tabelle 19:** Statistische Darstellung der Normalverteilung der Messwerte an den Punkten Srl1–Srl10 nach Kolmogorow-Smirnow-Test. Es konnte keine signifikante Abweichung von einer Normalverteilung nachgewiesen werden (entsprechend:  $p=0,200$ , grau markiert), so wurden die folgenden Analysen mit parametrischen Tests gemacht.

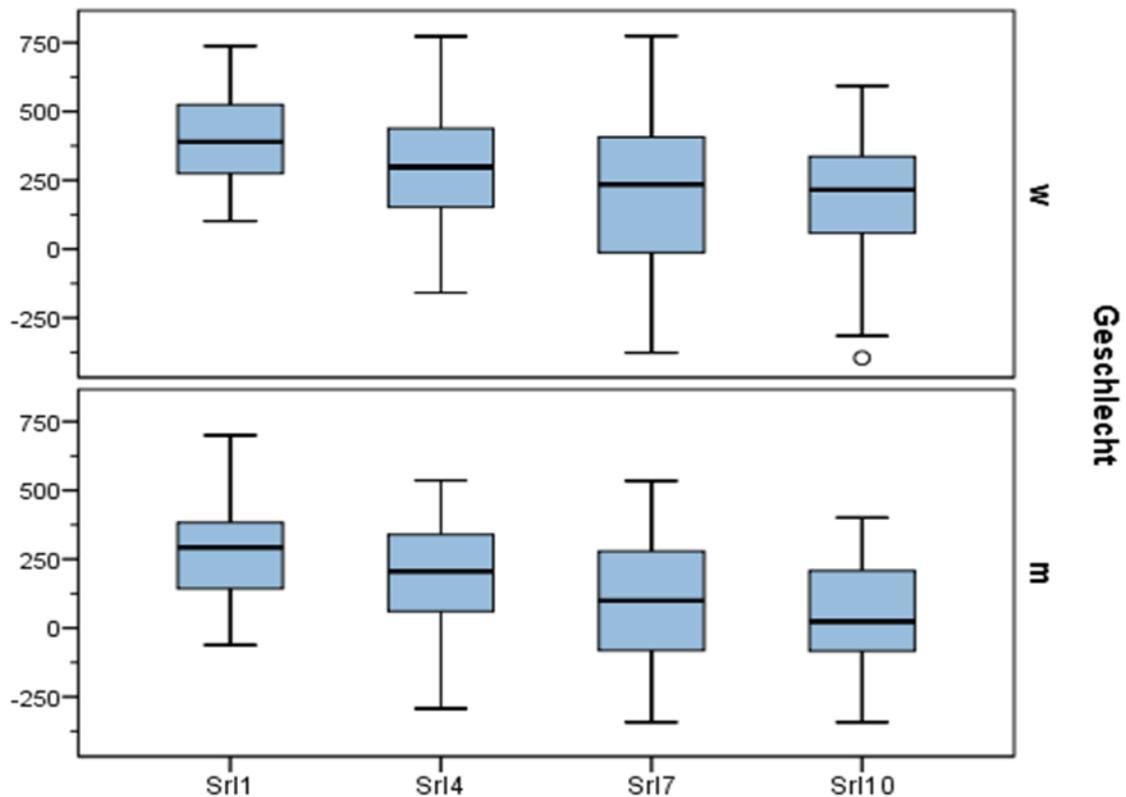
Test auf Normalverteilung			
Kolmogorow-Smirnow <sup>a</sup>			
Signifikanz	df	Statistik	
0,200	100	0,065	<b>Srl1</b>
0,200	100	0,067	<b>Srl4</b>
0,086	100	0,083	<b>Srl7</b>
0,063	100	0,086	<b>Srl10</b>

Beim Betrachten der Medianwerte zeigt sich, dass Frauen in allen Punkten (Srl1–Srl10) eine höhere Dichte als Männer aufweisen. Statistisch lässt sich in allen Punkten, außer

in Punkt Srl7, ein signifikanter Unterschied zwischen Mann und Frau zeigen (Tabelle 20, Abbildung 17).

**Tabelle 20:** Darstellung der Knochendichte an den vier Messpunkten Srl1–Srl10 in Punkt A auf das Geschlecht bezogen. Es lässt sich in allen Punkten, außer in Punkt Srl7, ein signifikanter Unterschied zwischen Mann und Frau zeigen. (Die Werte sind in HE=Hounsfield-Einheit angegeben)

Geschlecht	n	Mittelwert	Standard- abweichung	Min.	Max.	Perzentile			
						25.	50. (Medi- an)	75.	
<b>w</b>	<b>Srl1</b>	60	394,01	158,70	101,21	737,02	266,65	389,14	524,93
	<b>Srl4</b>	60	290,62	218,12	-158,97	772,53	150,24	298,33	443,96
	<b>Srl7</b>	60	196,00	278,30	-377,05	774,00	-16,01	235,03	408,56
	<b>Srl10</b>	60	178,54	243,60	-395,99	592,47	56,77	215,20	338,29
<b>m</b>	<b>Srl1</b>	40	269,98	152,16	-61,78	700,01	142,70	292,84	384,06
	<b>Srl4</b>	40	182,76	195,74	-292,81	536,34	58,69	205,60	343,09
	<b>Srl7</b>	40	103,06	226,70	-342,19	534,15	-83,95	99,14	281,69
	<b>Srl10</b>	40	46,56	207,94	-342,80	400,79	-84,18	23,10	212,64

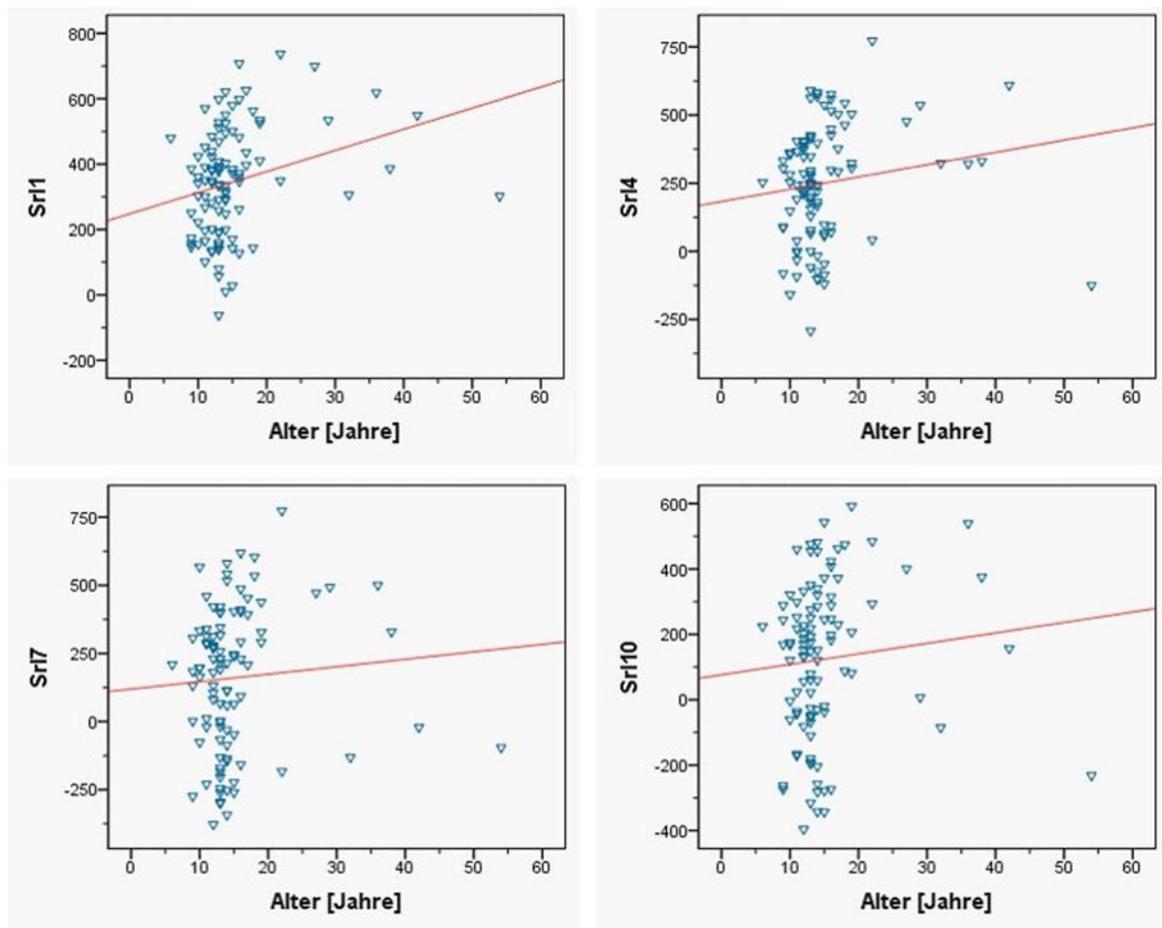


**Abbildung 17:** Graphische Darstellung der Knochendichte an den vier Messpunkten Srl1–Srl10 in Punkt A auf das Geschlecht bezogen. Außer in Punkt Srl7 ist stets ein signifikanter Unterschied zwischen Mann und Frau zu beobachten.

Beim Vergleich der Knochendichte in Bezug auf das Alter liegt keine Normalverteilung vor. Daher wurde mit dem Spearman-Rho-Test weitergearbeitet. Es zeigt sich in den Punkten Srl1, Srl4 und Srl10 eine schwach positive und signifikante Altersabhängigkeit (Tabelle 21, Abbildung 18).

**Tabelle 21:** Vergleich der Knochendichte an den vier Messpunkten Srl1–Srl10 in Bezug auf das Alter nach Spearman-Rho. Hinsichtlich der Punkte Srl1, Srl4 und Srl10 lässt sich eine schwache positive und signifikante Altersabhängigkeit nachweisen (Spearman-Korrelation, Effizienten und p-Werte sind markiert).

			Alter (Jahre)
<b>Spearman-Rho</b>	<b>Srl1</b>	Korrelationskoeffizient	,325**
		Sig. (2-seitig)	,001
		n	99
	<b>Srl4</b>	Korrelationskoeffizient	,249*
		Sig. (2-seitig)	,013
		n	99
	<b>Srl7</b>	Korrelationskoeffizient	,167
		Sig. (2-seitig)	,099
		n	99
	<b>Srl10</b>	Korrelationskoeffizient	,221*
		Sig. (2-seitig)	,028
		n	99
* Die Korrelation ist auf dem 0,05-Niveau signifikant (zweiseitig).			
** Die Korrelation ist auf dem 0,01-Niveau signifikant (zweiseitig).			

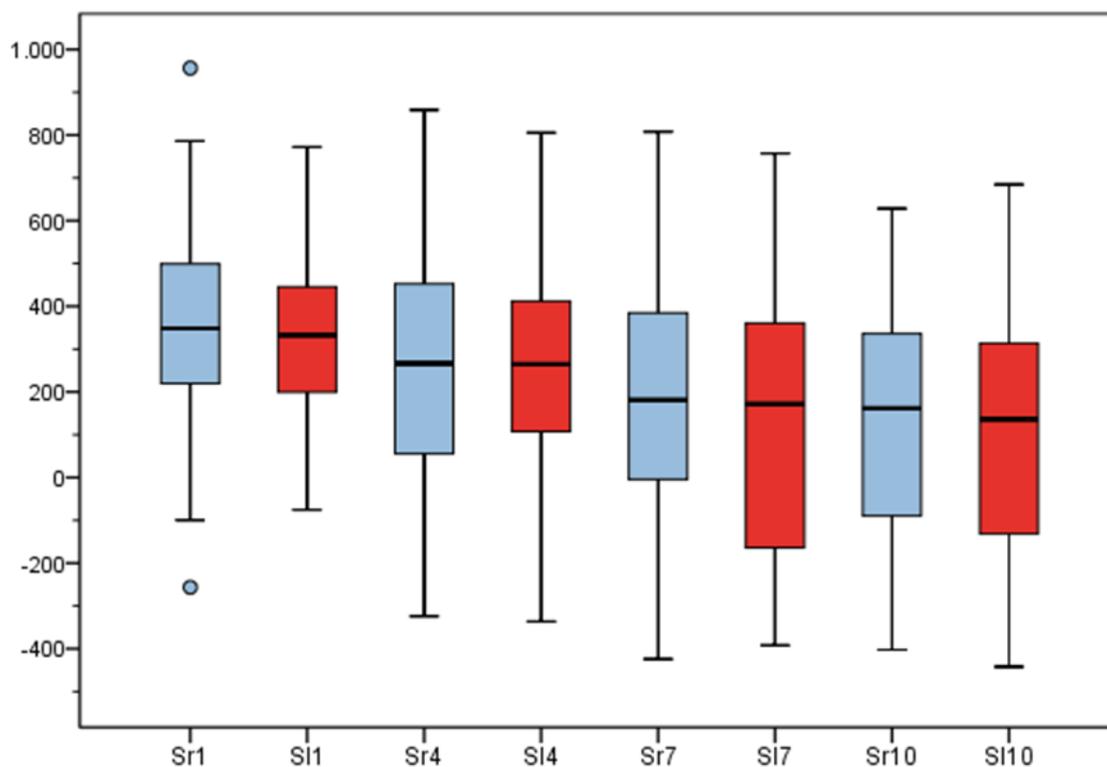


**Abbildung 18:** Graphische Darstellung für die Verteilung der Werte von der Knochendichte am kranialsten Punkt (A) in den vier Messpunkten (Knochentiefe) Srl1–Srl10 auf das Alter bezogen.

Mithilfe der Medianwerte wurde die Knochendichte in den vier Punkten an der linken und der rechten Kieferhälfte verglichen. Die linke Kieferhälfte wies einen unbedeutenden Unterschied in den Punkten 1, 4, 10 zur der rechten Kieferhälfte auf. Nur in Punkt Srl7 wies die Knochendichte einen höheren Unterschied mit 175,242 mm auf und die rechte Kieferhälfte mit 142,4116 mm (Tabelle 22, Abbildung 19).

**Tabelle 22:** Darstellung der Knochendichte im Schädelseitenvergleich an den vier Messpunkten Srl1–Srl10 im kranialsten Punkt A. An den Punkten Srl1, Srl4, Srl10 ließ sich kein signifikanter Unterschied im Seitenvergleich beobachten. Nur in Punkt Srl7 wies die Knochendichte einen signifikanten Unterschied auf. (Die Werte sind in HE=Hounsfield-Einheit angegeben)

	n	Mittelwert	Standardabweichung	Min.	Max.	Perzentile		
						25.	50. (Median)	75.
<b>Sr1</b>	100	354,6808	217,14564	-256,50	956,40	219,2525	349,0750	508,3050
<b>Sr4</b>	100	253,9258	248,63930	-324,19	859,02	52,8975	270,9050	465,7900
<b>Sr7</b>	100	175,242	274,1073	-423,9	808,1	-22,303	178,860	386,053
<b>Sr10</b>	99	132,0827	267,97486	-402,30	628,17	-94,6800	161,7900	341,5600
<b>SI1</b>	100	334,120	172,4772	-75,9	772,2	199,310	327,390	445,755
<b>SI4</b>	100	241,0259	247,99545	-336,62	805,44	106,4600	264,2550	414,1950
<b>SI7</b>	100	142,4116	305,49783	-391,99	757,10	-164,1400	183,4300	364,8850
<b>SI10</b>	100	116,1150	274,51861	-442,11	684,45	-134,2725	136,9800	325,9925



**Abbildung 19:** Graphische Darstellung der Knochendichte an den vier Messpunkten Sr1–Sr10 am kranialsten Punkt (A) im Schädelseitenvergleich.

Die statistische Auswertung mittels Wilcoxon-Test zeigt jedoch, dass keine signifikanten Unterschiede zwischen rechter und linker Kieferhälfte vorliegen (Tabelle 23).

**Tabelle 23:** Statistische Darstellung der Knochendichte an den vier Messpunkten Sr1–Sr10 durch den Wilcoxon-Test. Es zeigen sich keine signifikanten Unterschiede zwischen links und rechts (Wilcoxon-Test, p-Werte sind grau markiert).

Statistik für Test <sup>a</sup>				
	SI1–Sr1	SI4–Sr4	SI7–Sr7	SI10–Sr10
Z	-1,592 <sup>b</sup>	-1,348 <sup>b</sup>	-1,231 <sup>b</sup>	-,241 <sup>b</sup>
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	0,111	0,178	0,218	0,810

<sup>a</sup> Wilcoxon-Test

<sup>b</sup> Basiert auf positiven Rängen

## **5. Diskussion**

### **5.1. Diskussion der Methoden**

In dieser Studie wurde die gesamte Knochenoberfläche der Crista zygomaticoalveolaris untersucht. Die Messungen wurden an weiter apikal gelegenen Regionen getätigt, als in den Studien in den Knochen interdental vermessen wurde, wie von (Fayed et al. 2010), oder apikal der Wurzeln des ersten Molaren (Baumgaertel und Hans 2009.) Als Referenzpunkt wurde die Sutura zygomaticomaxillaris gewählt, die sich gut röntgenologisch darstellt und von den anderen Strukturen leicht unterschieden werden kann. Die Sutura lässt sich auch klinisch von extraoral ertasten, was hier als klinischer Referenzpunkt dienen könnte. In vielen anderen Studien wurden nur röntgenologische Referenzpunkte gewählt (Baumgaertel und Hans 2009, Fayed et al. 2010, Koch 2014). Das Problem hierbei ist es, die Punkte in die Mundhöhle zu übertragen. Dies kann zu falschen Insertionsorten und so zu Verletzungen von anatomischen Strukturen führen. Es wurden in unserer Studie die weiteren Messpunkte im Abstand von 5 mm vom Referenzpunkt aus nach kaudal gemessen. Baumgaertel und Hans (2009) legten apikal von der Wurzelspitze des ersten Molaren ihre fünf Messpunkte im Abstand von 1 mm fest. Dies erlaubte natürlich eine präzise Messung dieser Region. Durch den engen Abstand bekam die Arbeitsgruppe eine genaue Messung über insgesamt 5 mm Länge apikal von der Wurzelspitze des ersten Molaren. In unserer Studie wurde der Abstand auf 5 mm vergrößert, was eine größere Region abdeckt und für den behandelnden Arzt besser zugänglich und praktikabel ist.

### **5.2. Diskussion der Ergebnisse**

#### **5.2.1. Knochenangebot von kaudal nach kranial**

Die hier aufgestellte These, dass sich das Gesamtknochenangebot im Bereich der Crista zygomaticoalveolaris im Verlauf vom kaudal nach kranial zunehmend vergrößert, hat

sich grundsätzlich bestätigt. Das gesamte Knochenangebot am Referenzpunkt E=(kaudal) lag median bei 2,86 mm und am Punkt A=(kranial) bei median 16,86 mm. Präger et al. (2015) kamen ebenfalls zu dem Ergebnis, dass die Knochenstärke mit zunehmender Entfernung von den Wurzelspitzen zunimmt. Die durchschnittliche Knochenstärke betrug laut Präger et al.  $4,1 \pm 1,0$  mm auf der Höhe der Wurzelspitzen, das Minimum war 2,7 mm. 15 mm kranial der Wurzelspitzen erreichte die Knochenstärke im Durchschnitt  $8,3 \pm 1,0$  mm, der geringste gemessene Wert war dort 6,9 mm. Die unterschiedlichen Messwerte in unserer Studie verglichen mit der Studie von Präger et al. liegen an den verschiedenen Referenzpunkten und der unterschiedlichen Auswertungsschichten. Präger et al. haben die Wurzelspitze des ersten Molaren als Referenzpunkt genannt und in axialer Sicht nach kranial weiter ausgewertet. In unserer Studie haben wir die Sutura als Referenzpunkt gewählt und nach kaudal in koronarer Sicht ausgewertet. Dadurch wurden unsere Messungen weiter distal durchgeführt. Dies führte zu unterschiedlichen Messwerten. Somit stehen die von uns erhobenen geringeren Werte nicht im Widerspruch zur Studie von Präger et al. und lassen sich durch die unterschiedliche Methodik erklären. Auch andere Studien berichten von zunehmender Knochendicke in kranialer Richtung (Lee und Baek 2012).

Andere Studien, wie die von Baumgaertel und Hans (2009), untersuchten nicht kranial über den Sinus maxillaris (Nasennebenhöhle) hinaus und hoben hervor, dass im Bereich des Sinus das geringste Knochenangebot vorliegt. Das entspricht den Ergebnissen in unserer Studie hinsichtlich der Messwerte an den Referenzpunkten B–E. Diese Messwerte schwanken im Median von 3,28 mm (an Punkt Br1) bis 2,86 (an Punkt Erl). Angesichts der Länge der auf dem Markt verfügbaren Minischrauben sind diese Messungen für die Insertion der Minischrauben eher ungeeignet, da die Mindestlänge der heutzutage benutzten Minischrauben 4 mm beträgt. Hier wird die Insertion ohne Perforation der Sinus maxillaris unvermeidbar. Jedoch wird deutlich, dass der Punkt Ar1 das absolut größte Knochenangebot aufweist (mind. Knochenstärke: 7,70 mm; max. Knochenstärke: 25,23 mm), welches noch weit größer ist als das kaudal des Sinus gelegene (vgl. Baumgaertel und Hans 2009). Somit ist auch nur in Punkt Ar1 gewährleistet, dass die Nasennebenhöhle nicht mit einer Minischraube perforiert wird.

Die Konsequenzen der Perforation der Kieferhöhlenschleimhaut sind in der Literatur umstritten. Jia et al. haben in ihrer Studie (2018) die Inzidenz der Perforation der Kieferhöhle durch das Einsetzen von Mini-Implantaten in der Crista zygomaticoalveolaris und ihre Auswirkungen auf das Sinusgewebe untersucht. Die Ergebnisse zeigten keine

Anzeichen von Entzündungen der Kieferhöhle, wenn die Perforation bis zu 1 mm betrug. Ähnliche Ergebnisse hatten auch andere Autoren (Zhong et al. 2013) bei der Perforation der Kieferhöhlenschleimhaut durch Zahnimplantate. Dabei zeigten sich keine Anzeichen einer Entzündung.

Die Ergebnisse von Jan et al wurden von Valladares et al. 2018 argumentiert und aufgrund der, aus ihrer Sicht den Mangel an wichtigen Ausschlusskriterien in der Methodik und der Schlussfolgerung der Studie kontrovers diskutiert, Was die Relevanz der Ergebnisse von Jan et al schwächt. Auf der anderen Seite wurde In der Studie von Motoyoshi et al. 2016 einen möglichen Zusammenhang zwischen Sinusperforation und Lockerung der Minischrauben nachgewiesen. Da die Perforation zu einer Sinusitis führen kann, die zum Verlust der Stabilität der Minischraube führt. Trotz der umschrittenen Meinungen bleibt dieses Thema für die aktuelle kieferorthopädische Praxis relevant.

Farnsworth et al. (2011), Baumgaertel und Hans (2009) und Liou et al. (2007) beschrieben bereits die Dicke der Kompakta in der kaudalen Region an der Crista zygomaticoalveolaris, jedoch betrachten diese Studien nicht die Dicke und die Dichte des Knochens weiter kranial gelegen. Die vorliegende Studie kann hierzu aufzeigen, dass die Dicke der Kompakta nach kranial zwar stark zunimmt, diese Zunahme jedoch nicht konstant verläuft. Dies könnte mit der Entwicklung der Kieferhöhle zusammenhängen.

Bezogen auf die Insertion von Minischrauben weist erst der Punkt ArLK eine signifikant bessere Kompakta-Dicke auf, die eine hohe Stabilität der Minischraube gewährleistet und diesen Punkt als Insertionsort nahelegt. Der Punkt ArLK liegt jedoch sehr weit kranial im Vestibulum, wo die Gefahr besteht, dass eine Minischraube im Bereich der losen Schleimhaut gesetzt werden würde. Dies könnte zu einem vorzeitigen Verlust der Schraube durch Entzündung führen (Hyde et al. 2010). Auch Freire et al. haben in ihrer Studie von 2007 die erhöhte Mini-Implantat-Verlustrate aufgrund von Insertion in beweglicher Schleimhaut hervorgehoben, und auch Alharbi et al. (2018) beschreiben in ihrer systematischen Studie die Verlustrate der Minischrauben. Hier bietet sich die Insertion einer Miniplatte durch ihre geschlossene Heilung, um die Irritation der Schleimhaut zu vermeiden und die Erreichbarkeit des kranialsten Punkts zu ermöglichen. Durch die Plattenosteosynthese ist die Tür für weitere Möglichkeiten geöffnet. Diese Miniplatten benötigen mehr als eine Schraube.

Wenn wir kurze Schrauben von einer Länge von 2–3 mm benutzen könnten und dabei eine gute Stabilität der Miniplatte erreichen, dann wäre es möglich, auch in den weiter kaudalen Bereichen der Crista zygomaticoalveolaris die Minischrauben zu inserieren.

Zu dieser Thematik liegen noch keine Studien vor, die solchen kurzen Schrauben untersuchen. Alharbi et al. (2018) haben, wie viele andere Autoren auch, in ihrer Studie den Zusammenhang zwischen der Schraubenlänge und der Verlustrate der Schrauben untersucht. Dabei kamen sie zu dem Ergebnis, dass bei einer Schraubenlänge unter 8 mm die Verlustrate bei 12,7 % lag, wogegen die längeren Schrauben mit einer Verlustrate von 8,3 % einhergingen. Lim et al. (2011) beschreiben eine größere Verlustrate (25 %) bei Minischrauben von 6 mm (oder weniger) im Vergleich zu Minischrauben mit einer Länge über 6 mm (Verlustrate: < 12 %).

### 5.2.2. Das Knochenangebot im Seitenvergleich

Die Hypothese, dass es Unterschiede zwischen der rechten und der linken Kieferhälfte gibt, wurde hier bestätigt. Zur Überprüfung der Hypothese wurde der Test nach Wilcoxon durchgeführt. Dieser dient zum Vergleich zweier abhängiger Stichproben. Es konnten dadurch statistisch signifikante Unterschiede zwischen der rechten und der linken Kieferhälfte festgestellt werden, da der p-Wert deutlich unter 0,05 lag (AI–Ar:  $p=0,018$ ; BI–Br:  $p=0,005$ ; EI–Er:  $0,029$ ,) (Tabelle 7). Zu ähnlichen Ergebnissen kamen auch Santos et al. (2017) mit statistisch signifikanten Unterschieden zwischen der linken und der rechten Kieferhälfte. In den beiden Studien stellt sich aber die Frage der klinischen Relevanz dieses geringfügigen Unterschieds hinsichtlich der Minischraubenlänge. Auf der anderen Seite fanden Lee et al. keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Messungen auf der rechten und der linken Seite. Andere Autoren, die andere Kieferregionen untersucht haben (Gaumenhälfte) (Gracco et al. 2008, Kang et al. 2007). Bernhart et al. (2001) gingen bei nicht vorhandener Gesichtssymmetrie davon aus, dass es keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen der rechten und der linken Gaumenseite bezüglich der Knochendicke gebe.

Bei der weiteren Vermessung der Dicke der Kompakta an der Crista zygomaticoalveolaris wurde die vorgestellte Hypothese hier leicht bestätigt. Signifikant waren aber die Ergebnisse hier nicht. Denn es bestand kein relevanter Unterschied in der Dicke der Kompakta an der Crista zygomaticoalveolaris zwischen den Kieferhälften. Diese Annahme wird auch durch andere Studien bestätigt (Deguchi et al. 2006).

### 5.2.3. Das Knochenangebot in Abhängigkeit zum Geschlecht

Im Vergleich zwischen Mann und Frau konnten keine Unterschiede ausgemacht werden. Die hier in der Fragestellung aufgestellte These lässt sich für diese anatomischen

Regionen nicht bestätigen. Auch andere Studien bestätigen dieses Ergebnis der nicht vorhandenen Knochenangebotsunterschiede zwischen den Geschlechtern an der Crista zygomaticoalveolaris (Santos 2017). Andere Autoren (Gracco et al. 2008), die andere anatomische Regionen untersucht haben (Gaumen), kamen ebenfalls zu dem Ergebnis, dass es keine signifikanten Unterschiede bei dem Knochenangebot zwischen Mann und Frau gibt. Es liegen aber auch Studien vor, die Unterschiede zwischen Mann und Frau beschreiben. Dies lässt vermuten, dass das Knochenangebot in starkem Zusammenhang mit der anatomischen Region steht (Kang et al. 2007). Lee et al. (2012) zeigten, dass Männer ein höheres Knochenangebot als Frauen aufweisen.

Bei der weiteren Vermessung der Kompakta zeigte unsere Studie, dass Frauen in den meisten Messpunkten mehr Kompakta aufweisen als Männer, der Unterschied ist jedoch statistisch nicht signifikant. In der Literatur zur Dicke der Kompakta (z. B. Deguchi et al. 2006, Ort der Dickemessung etwa mit Punkt E vergleichbar) wird beschrieben, dass kein Unterschied zwischen den Geschlechtern besteht. Es liegt aber auch Literatur vor (Fayed et al. 2010), die zeigt, dass Männer mehr Kompakta als Frauen aufweisen.

Gründe für diese Unstimmigkeiten könnten in den unterschiedlichen Vorgehensweisen bei den Messungen liegen. Außerdem wurde in allen Studien ein sehr großer interindividueller Unterschied im Knochenangebot gefunden. Hier sind auch die Abweichungen der untersuchten Regionen zu berücksichtigen.

#### 5.2.4. Das Knochenangebot in Abhängigkeit zum Alter

Durch die Überprüfung der Hypothese, dass das Knochenangebot im Bereich der Crista zygomaticoalveolaris mit zunehmendem Alter der Patienten zunimmt, lag eine signifikante und schwach positive Korrelation zwischen Alter und Knochenangebot an Arl vor. Sonst konnte von keinem signifikanten Zusammenhang zwischen Knochenangebot und Alter der Patienten ausgegangen werden. Die weitere Vermessung der Kompakta zeigte auch keine statistisch signifikante Korrelation zwischen dem Alter und der Kompakta-Dicke. Andere Autoren wie Farnsworth et al. (2011) bestätigten die Ergebnisse unserer Studie, wobei hier nur die Kompakta-Dicke gemessen wurde. Auf der anderen Seite zeigten andere Studien wie die von Uesugi et al. (2017), dass die Kompakta-Dicke bei Erwachsenen signifikant stärker war als bei Jugendlichen. Die altersbedingten Unterschiede in der kortikalen Knochendicke können durch Veränderungen der funktionellen Kapazität erklärt werden, da maximale Bisskräfte, Kaumuskelgröße und Muskelaktivität

mit zunehmendem Alter zunehmen (Pancherz 1980). Dies kann zu mehr Anlagerung und Bildung der Kompakta durch die appositionelle Ossifikation und das Knochenremodelling führen. Allerdings konnte das in unserer Studie nicht bestätigt werden.

#### 5.2.5. Die Knochendichte am kranialsten Punkt

Die Knochenqualität ist ein wichtiger Faktor für den Erfolg der Verankerung von Minischrauben. Die Ergebnisse unserer Studie zeigten, dass sich am kranialsten Punkt der Crista zygomaticoalveolaris die Knochendichte in Abhängigkeit vom Alter, Geschlecht des Patienten und von der Tiefe entlang der Implantatlänge unterscheidet. In diesem Punkt konnte die These der Fragestellung bestätigt werden. Hinsichtlich der Tiefe der Minischraube nimmt die Knochendichte am kranialsten Punkt A von Srl1 nach Srl10 durch eine Normalverteilung ab. Im Seitenvergleich zeigte sich jedoch kein signifikanter Unterschied. Die vorliegende Literatur kommt ebenfalls zu dem Ergebnis, dass die Dichte mit dem tieferen Eindringen in den Knochen abnimmt (Choi et al. 2009).

In Bezug auf das Alter analysierten Han et al. (2012) die Dichte des harten Gaumens von Jugendlichen und Erwachsenen und kamen zu dem Schluss, dass mit dem Alter die Knochendichte zunimmt. Auch Liu et al. (2017) haben die Veränderungen und die Knochendichte an der Crista zygomaticomaxillaris in Korrelation zum Alter an Ratten untersucht und kamen zu dem Ergebnis, dass die Dichte des Knochens an der Crista zygomaticomaxillaris mit dem Alter signifikant anstieg. Aktuelle Studien beweisen auch die Zunahme der Knochendichte an verschiedenen Bereichen des Kiefers im Zusammenhang mit dem Alter (Kuroedova et al. 2018).

Diese Unterschiede sind eher auf die höhere Mineralisationsrate des Knochens bei älteren Patienten zurückzuführen. In unserer Studie zeigten sich signifikante Unterschiede bei der Knochendichte zwischen den Geschlechtern. Frauen wiesen allgemein eine größere Knochendichte als Männer auf. In der Studie von Turkyilmaz und McGlumphy (2008) wurde auch die Knochendichte im Oberkiefer anhand von Computertomographie-Bildern vermessen. Turkyilmaz et al. konnten zeigen, dass Frauen eine signifikant niedrigere Knochendichte im Vergleich zu Männern haben. Einschränkend ist jedoch zu erwähnen, dass die untersuchte Gruppe deutlich älter war als die Population in unserer Studie. Die Arbeitsgruppe führte diese Unterschiede zwischen den Geschlechtern auf hormonelle Faktoren zurück. Park et al. (2008) beschreiben auch einen Patientenpool mit beiden Geschlechtern. Als Nebenfund fanden sie, dass es keinen signifikanten Unterschied zwischen den Geschlechtern gab. Die Geschlechter wurden jedoch zu ei-

ner Gesamtpopulation zusammengefasst und nicht noch einmal separat betrachtet. In diesem Punkt, der getrennten Analyse der Geschlechter, kann die hier vorliegende Studie erste Anregungen für die weitere Forschung liefern. Bei der Vermessung der Knochendichte im Seitenvergleich konnte nur eine mögliche Tendenz zu unterschiedlichen Messwerten ausgemacht werden, was die hier aufgestellte These schwach bestätigt. Die unterschiedliche Knochendichte, die hier gemessen wurde, könnte ihre Ursache in den unterschiedlichen Kaugewohnheiten und somit unterschiedlichen Belastungen der Kieferhälften haben. Moon et al. (2010) betrachteten in ihrer Studie die Knochendichte am harten Gaumen und konnten keinen Unterschied zwischen rechter und linker Schädelhälfte feststellen. Andere aktuelle Studien vergleichen zumeist den Oberkiefer mit dem Unterkiefer und gehen nicht auf die Schädelseiten ein. Auch in diesem Punkt kann die hier vorliegende Forschung einen Impuls für zukünftige wissenschaftliche Projekte geben.

### 5.3. Schlussfolgerungen

Da die Primärstabilität zwingende Voraussetzung für die Anwendung von Minischrauben ist, hängt deren Erfolg sowohl von der Quantität und der Qualität des Knochens ab als auch insbesondere von dem Knochenangebot und der Dicke der Kortikalis des jeweiligen Insertionsorts ab. Nach ausführlicher Untersuchung der Crista zygomaticoalveolaris zeigten unsere Ergebnisse, dass das Knochenangebot und die Dicke der Kompakta im Bereich der Crista zygomaticoalveolaris von kaudal nach kranial zunimmt. Unterschiede zwischen den Kieferhälften waren nicht nachweisbar. Messbare Unterschiede zwischen Mann und Frau waren zu sehen. Mit dem Alter nimmt sowohl das Knochenangebot als auch die Dicke der Kompakta signifikant zu.

Es bot sich anhand der Studie der kranialste Punkt der Crista zygomaticoalveolaris als einzige geeignete Region der fünf verschiedenen Messpunkte für die Insertion der Minischrauben. Alle andere Insertionsorte wiesen im Mittelwert weniger Knochen als 4mm auf. In diesen Regionen (Messpunkte (B, C, D, E)=in kaudaler Richtung) ist die Kieferhöhlenperforation nicht zu vermeiden, wenn Minischrauben von 4 mm Länge oder mehr für die Verankerung verwendet werden. Es ist allerdings zu erwähnen, dass in der Literatur die Nebenwirkungen hinsichtlich der Perforation der Kieferhöhlenschleimhaut umstritten sind.

Bei der weiteren Untersuchung der Knochendichte zeigten die Ergebnisse, dass an dem kranialsten Punkt der Crista zygomaticoalveolaris in den ersten 3 mm des Knochens (Srl1) eine deutlich höhere Knochendichte als in den tieferen Bereichen zu verzeichnen war. Dort findet sich hauptsächlich Kompakta, was für die Stabilität der Schrauben eine entscheidende Rolle spielt. Beim Vergleich der Geschlechter wiesen Frauen an allen Messpunkten eine höhere Knochendichte als Männer auf. Eine schwach positive und signifikante Altersabhängigkeit war messbar. Zudem gab es keine Unterschiede bei der Dichte des Knochens zwischen der rechten und der linken Kieferhälfte.

Die Ergebnisse unserer Studie an der Crista zygomaticoalveolaris bieten dem Praktiker eine Grundlage für einen sicheren Insertionsort ohne das Risiko einer Perforation der Kieferhöhlenschleimhaut. Dies betrifft insbesondere den kranialsten Punkt der Crista zygomaticoalveolaris. Dieses Areal ist heutzutage durch die Entwicklung und die Modifizierung der Miniplattenosteosynthese möglich. Wenn die Verwendung von Miniplatten, die durch mehreren Schrauben befestigt werden, in der Zukunft das Einsetzen von kür-

zieren Minischrauben (< 4mm) erlauben würde, dann wird es möglich, die kaudalen Regionen der Crista zygomaticoalveolaris (Referenzpunkte B, C, D, E) als Insertionsorte für die Minischrauben im Betracht zu ziehen.

Um eine sichere und komplikationslose Insertion zu erzielen, ist eine präoperative dreidimensionale Diagnostik empfehlenswert. Damit werden das Knochenangebot, die Dichte des Knochens und dadurch die mögliche Länge der Minischrauben präzise bestimmt.

## 6. Literaturverzeichnis

1. Albrektsson T, Brånemark PI, Jacobsson M, Tjellström A. Present clinical applications of osseointegrated percutaneous implants. *Plast Reconstr Surg* 1987;79(5):721–731.
2. Alharbi F, Almuzian M, Bearn D. Miniscrews failure rate in orthodontics: systematic review and meta-analysis. *Eur J Orthod* 2018;40(5):519–530.
3. Alkadhimi A, Al-Awadhi EA. Miniscrews for orthodontic anchorage: a review of available systems. *J Orthod* 2018;45(2):102–114.
4. Annelore De Grauwe , Irem Ayaz, Sohaib Shujaat, Simon Dimitrov, Logan Gbadegbegnon, Bart Vande Vannet, and Reinhilde Jacobs. CBCT in orthodontics: a systematic review on justification of CBCT in a paediatric population prior to orthodontic treatment. *Eur J Orthod*. 2018. doi: 10.1093/ejo/cjy066.
5. Antoszewska J, Papadopoulos MA, Park HS, Ludwig B (2009) Five-year experience with orthodontic miniscrew implants: a retrospective investigation of factors influencing success rates. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 136:158.e1-10.
6. Baek SH, Kim BM, Kyung SH, Lim JK, Kim YH (2008) Success rate and risk factors associated with mini-implants reinstalled in the maxilla. *Angle Orthodontist* 78(5):895-901.
7. Baumgaertel S. Temporary skeletal anchorage devices: the case for miniscrews. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2014;145(5):558–564.
8. Baumgaertel S, Hans MG. Assessment of infrazygomatic bone depth for mini-screw insertion. *Clin Oral Implants Res* 2009;20(6):638–642.
9. Berens A, Wiechmann D, Rüdiger J. Erfolgsraten von Mini-Mikroschrauben zur skelettalen Verankerung in der Kieferorthopädie. *Inf Orthod Kieferorthop* 2005;37(4):283–287.
10. Bernhart T, Freudenthaler J, Dörtbudak O, Bantleon HP, Watzek G. Short epithetic implants for orthodontic anchorage in the paramedian region of the palate. A clinical study. *Clin Oral Implants Res* 2001;12(6):624–631.
11. Bertolini R, Leutert G, Rother P, Scheuner G, Wendler D. *Systematische Anatomie des Menschen*. Berlin: Ullstein Mosby 1992.
12. Böhm B, Glasl, Landes C, Lietz T, Schopf P, Wilmes B. *Mini-Implantate in der Kieferorthopädie. Innovative Verankerungskonzepte*. Quintessenz Verlag 2007.
13. Braun AK. *Anatomische Studie über das Knochenangebot des Gaumens im Bereich der dorsalsten Gaumenfalte zur Insertion von Minischrauben*. Dissertation, Universität des Saarlandes, Homburg/Saar 2015.
14. Bumann A, Nitka M, Mah J. DVT – Für und Wider aus Sicht des Anwenders. *KN Wissenschaft & Praxis* 2009;9:6–9.

15. Bumann A, Wiemer K, Staribratova-Reister K et al. Die digitale Volumentomographie – klinisch unterschätzt und wirtschaftlich überschätzt? ZMK 2008;24(4):214–224.
16. Carano A, Velo S, Leone P, Siciliani G. Clinical applications of the miniscrew anchorage system. J Clin Orthod 2005;39:9-24.
17. Choi JH, Park CH, Yi SW, Lim HJ, Hwang HS. Bone density measurement in interdental areas with simulated placement of orthodontic miniscrew implants. Am J Orthod Dentofacial Orthop 2009;136(6):766.e1–e12.
18. Costa A, Raffaini M, Melsen B. Miniscrews as orthodontic anchorage: a preliminary report. Int J Adult Orthodon Orthognath Surg 1998;13(3):201–209.
19. Deutsche Gesellschaft für Zahn- Mund und Kieferheilkunde. S2k-Leitlinie: Dentale-digitale Volumentomographie, Leitlinie: 2013.
20. Deguchi T, Nasu M, Murakami K, Yabuuchi T, Kamioka H, Takano-Yamamoto T. Quantitative evaluation of cortical bone thickness with computed tomographic scanning for orthodontic implants. Am J Orthod Dentofacial Orthop 2006;129(6):721.e7–12.
21. Eroğlu T, Kaya B, Cetişahin A, Arman A, Uçkan S. Success of zygomatic plate-screw anchorage system. J Oral Maxillofac Surg 2010;68(3):602–605.
22. Erverdi N, Usumez S, Solak A, Koldas T. Noncompliance open-bite treatment with zygomatic anchorage. Angle Orthod 2007;77(6):986–990.
23. Erverdi N, Acar A. Zygomatic anchorage for en masse retraction in the treatment of severe Class II division 1. Angle Orthod 2005;75(3):483–490.
24. Farnsworth D, Roussouw PE, Ceen RF, Buschang PH. Cortical bone thickness at common miniscrew implant placement sites. Am J Orthod Dentofacial Orthop 2011;139(4):495–503.
25. Favero L, Brollo P, Bressan E. Orthodontic anchorage with specific fixtures: related study analysis. Am J Orthod Dentofacial Orthop 2002;122(1):84–94.
26. Fayed MM, Pazera P, Katsaros C. Optimal sites for orthodontic mini-implant placement assessed by cone beam computed tomography. Angle Orthod 2010;80(5):939–951.
27. Feragalli, B, Rampado, O , Abate, C, Macrì, M, Festa, F, Stromei, F , Caputi, S , Guglielmi, G. Cone beam computed tomography for dental and maxillofacial imaging: technique improvement and low-dose protocols. Radiol med (2017) 122:581–588 DOI 10.1007/s11547-017-0758-2.
28. Fukunaga T, Kuroda S, Kurosaka H, Takano-Yamamoto T. Skeletal anchorage for orthodontic correction of maxillary protrusion with adult periodontitis. Angle Orthod 2006;76(1):148–155.

29. Gijbels F, Jacobs R, Bogaerts R, Debaveye D, Verlinden S, Sanderink G. Dosimetry of digital panoramic imaging. Part I: Patient exposure. *Dentomaxillofac Radiol* 2005;34(3):145–149.
30. Gracco A, Lombardo L, Cozzani M, Siciliani G. Quantitative cone-beam computed tomography evaluation of palatal bone thickness for orthodontic miniscrew placement. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2008;134(3):361–369.
31. Grünheid T, Kolbeck Schieck JR, Pliska BT, Ahmad M, Larson BE. Dosimetry of a cone-beam computed tomography machine compared with a digital x-ray machine in orthodontic imaging. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2012;141(4):436–443.
32. Han S, Bayome M, Lee J, Lee YJ, Song HH, Kook YA. Evaluation of palatal bone density in adults and adolescents for application of skeletal anchorage devices. *Angle Orthod* 2012;82(4):625–631.
33. Hisham Mohammed, Khaled Wafaie, Mummen Z. Rizk, Mohammed Almuzian, Rami Sosly, and David R. Bearn. Role of anatomical sites and correlated risk factors on the survival of orthodontic miniscrew implants: a systematic review and meta-analysis. *Prog Orthod*. 2018 Sep 24;19(1):36. doi: 10.1186/s40510-018-0225-1.
34. Holm L, Cunningham SJ, Petrie A, Cousley RR. An in vitro study of factors affecting the primary stability of orthodontic mini-implants. *Angle Orthod* 2012;82(6):1022–1026.
35. Hyde JD, King GJ, Greenlee GM, Spiekerman C, Huang GJ. Survey of orthodontists' attitudes and experiences regarding miniscrew implants. *J Clin Orthod* 2010;44(8):481–486.
36. Jia X, Chen X, Huang X. Influence of orthodontic mini-implant penetration of the maxillary sinus in the infrazygomatic crest region. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2018;153(5):656–661.
37. José Valladares-Neto, Karine Evangelista Infrazygomatic mini-implant penetration into the maxillary sinus, Goiânia, Goiás, Brazil, *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2018;Volume 154, Issue 4, Pages 462–463.
38. Jung BA, Yildizhan F, Wehrbein H. Bone-to-implant contact of orthodontic implants in humans – a histomorphometric investigation. *Eur J Orthod* 2008;30(6):552–557.
39. Kang S, Lee SJ, Ahn SJ, Heo MS, Kim TW. Bone thickness of the palate for orthodontic mini-implant anchorage in adults. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2007;131(4 Suppl):S74–81.
40. Kaygisiz E, Bozkaya E, Yuksel S, Erkmen E, Atac MS. Bone-anchored maxillary protraction followed by fixed appliances in skeletal Class III malocclusion: A report of two cases. *J Orthod Res* 2015;3(1):65–69.
41. Kilikis D, Bayram M, Celikoglu M, Nur M. Unilateral maxillary molar distalization with zygoma-gear appliance. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2012;142(2):e1–7.

42. Koch N. Untersuchung zum Knochenangebot im palatinalen Seitenzahnbereich mittels digitaler Volumetomographie. Promotionsarbeit. Berlin 2014.
43. Kokitsawat S, Manosudprasit M, Godfrey K, Chatchaiwiwattana C. Clinical effects associated with miniscrews used as orthodontic anchorage. *Aust Orthod J* 2008;24(2):134–139.
44. Kraikosol K, Rattanayatikul C, Godfrey K, Vattraphudej T. Treatment of skeletal 2 malocclusion using bone-plate anchorage. A case report. *Aust Orthod J* 2007;23(1):65–71.
45. Kravitz ND, Kusnoto B, Tsay PT, Hohlt WF. Intrusion of overerupted upper first molar using two orthodontic miniscrews. A case report. *Angle Orthod* 2007;77(5):915–922.
46. Kuroedova VD, Vyzhenko EE, Makarova AN, Stasiuk AA. Optical density of mandible in orthodontic patients. *Wiad Lek* 2018;71(6):1161–1164.
47. Lee NK, Baek SH. Stress and displacement between maxillary protraction with miniplates placed at the infrazygomatic crest and the lateral nasal wall: a 3dimensional finite element analysis. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2012;141(3):345–351.
48. Lim HJ, Choi YJ, Evans CA, Hwang HS. Predictors of initial stability of orthodontic miniscrew implants. *Eur J Orthod* 2011;33(5):528–532.
49. Liou EJ, Chen PH, Wang YC, Lin JC. A computed tomographic image study on the thickness of the infrazygomatic crest of the maxilla and its clinical implications for miniscrew insertion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2007;131(3):352–356.
50. Liou EJ, Pai BC, Lin JC. Do miniscrews remain stationary under orthodontic forces? *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2004;126(1):42–47.
51. Liu H, Wu X, Yang L, Ding Y. Safe zones for miniscrews in maxillary dentition distalization assessed with cone-beam computed tomography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2017;151(3):500–506.
52. Ludlow JB, Ivanovic M. Comparative dosimetry of dental CBCT devices and 64-slice CT for oral and maxillofacial radiology. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2008;106(1):106–114.
53. Ludwig B. Mini-Implantate in der Kieferorthopädie. Berlin: Quintessenz Verlag 2008.
54. Mayer G. Komplikationen bei kieferorthopädischen Minischrauben. Die Insertion kieferorthopädischer Minischrauben – technisch einfach und atraumatisch (2). *ZahnarztWoche* 2013;9:30–32.
55. McMinn RH, Hutchings RT, Logan BM. Anatomie der Kopf- und Halsregion. München: Karl F. Haug Fachbuchverlag 1983.
56. Melsen B. Mini-implants: where are we? *J Clin Orthod* 2005;39:539-47.

57. Moon SH, Park SH, Lim WH, Chun YS. Palatal bone density in adult subjects: implications for mini-implant placement. *Angle Orthod* 2010;80(1):137–144.
58. Motoyoshi M, Sanuki-Suzuki R, Uchida Y, Saiki A, Shimizu N. Maxillary sinus perforation by orthodontic anchor screws. *J Oral Sci* 2015;57:95-100.
59. Nguyen T, Cevitanes L, Cornelis MA, Heymann G, de Paula LK, De Clerck H. Three-dimensional assessment of maxillary changes associated with bone anchored maxillary protraction. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2011;140(6):790–798.
60. Ohmae M, Saito S, Morohashi T, Seki K, Qu H, Kanomi R, Yamasaki KI, Okano T, Yamada S, Shibasaki Y. A clinical and histological evaluation of titanium mini-implants as anchors for orthodontic intrusion in the beagle dog. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2001;119(5):489–497.
61. Ohura R, Kuroda S, Takahashi T, Tomita Y, Tanaka E. Efficient usage of implant anchorage to treat overerupted maxillary first molar and mesially inclined mandibular molars. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2011;139(1):113–122.
62. Pancherz H. Temporal and masseter muscle activity in children and adults with normal occlusion. An electromyographic investigation. *Acta Odontol Scand* 1980;38(6):343–348.
63. Papadopoulos MA. *Skeletal Anchorage in Orthodontic Treatment of Class II Malocclusion*. Maryland Heights, Missouri: Mosby, Elsevier 2015.
64. Park J, Cho HJ. Three-dimensional evaluation of interradicular spaces and cortical bone thickness for the placement and initial stability of microimplants in adults. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2009;136(3):314.e1–e12.
65. Park HS, Lee YJ, Jeong SH, Kwon TG. Density of the alveolar and basal bones of the maxilla and the mandible. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2008;133(1):30–37.
66. Pasler FA. *Zahnärztliche Radiologie*. Stuttgart: Thieme 2008.
67. Patcas R, Signorelli L, Peltomäki T, Schätzle M. Is the use of the cervical vertebrae maturation method justified to determine skeletal age? A comparison of radiation dose of two strategies for skeletal age estimation. *Eur J Orthod* 2013;35(5):604–609.
68. Pischel H. Kieferorthopädische Implantate eröffnen neue Möglichkeiten der Behandlung. [www.kfokompakt.de](http://www.kfokompakt.de), [http://wissen.liste24.at/frontend/scripts/entry\\_export.php?productId=2933&exportEntryKindId=1](http://wissen.liste24.at/frontend/scripts/entry_export.php?productId=2933&exportEntryKindId=1), Nov 2005.
69. Präger TM, Brochhagen HG, Mischkowski R, Jost-Brinkmann PG, Müller-Hartwich R. Bone condition of the maxillary zygomatic process prior to orthodontic anchorage plate fixation. *J Orofac Orthop* 2015;76(1):3–13.

70. Proffit WR, Fields HW, Sarver DM. Contemporary Orthodontics. 5. Aufl., Maryland Heights, Missouri: Mosby, Elsevier 2012.
71. Sander FG, Schwenzer N, Ehrenfeld M. Kieferorthopädie (ZMK-Heilkunde). 2. Aufl., Stuttgart: Thieme 2011.
72. Santos AR, Castellucci M, Crusoé-Rebello IM, Sobral MC. Assessing bone thickness in the infrazygomatic crest area aiming the orthodontic miniplates positioning: a tomographic study. Universidade Federal da Bahia, Departamento de Ortodontia (Salvador/BA, Brasil). (Salvador/BA, Brasil). Received 2016 Oct 27; Accepted 2017 Mar 31.
73. Schimank H. Wilhelm Conrad Röntgen. Physikalische Blätter 2.3, 1946:55–56.
74. Schnelle C. Vergleich der Strahlenexposition bei der Digitalen-Volumen-Tomographie, der Panoramaschichtaufnahme und der Computertomographie. Promotionsarbeit. Düsseldorf 2001.
75. Schulze D. Quintessenz. Focus Zahnmedizin. Zahnärztliche Röntgenologie. Berlin: Quintessenz Verlag 2009:1–13.
76. Seres L, Kocsis A. Closure of severe skeletal anterior open bite with zygomatic anchorage. J Craniofac Surg 2009;20(2):478–482.
77. Sobotta. Putz R, Pabst R. Atlas der Anatomie des Menschen. Band 1: Kopf, Hals, Obere Extremität. 21. Aufl., München, Jena: Urban & Fischer 2000.
78. Tuncer C, Ataç MS, Tuncer BB, Kaan E. Osteotomy assisted maxillary posterior impaction with miniplate anchorage. Angle Orthod 2008;78(4):737–744.
79. Turkyilmaz J, McGlumphy EA. Influence of bone density on implant stability parameters and implant success: a retrospective clinical study. BMC Oral Health 2008;8:32.
80. Uesugi S, Kokai S, Kanno Z, Ono T. Prognosis of primary and secondary insertions of orthodontic miniscrews: What we have learned from 500 implants. Am J Orthod Dentofacial Orthop 2017;152(2):224–231.
81. Uribe F, Mehr R, Mathur A, Janakiraman N, Allareddy V. Failure rates of mini-implants placed in the infrazygomatic region. Prog Orthod. 2015;16:31. doi: 10.1186/s40510-015-0100-2. Epub 2015 Sep 15.
82. Veziroglu F, Uckan S, Ozden U, Arman A. Stability of zygomatic plate-screw orthodontic anchorage system: a finite element analysis. Angle Orthod 2008;78(5):902–907.
83. Visser H, Rödiger T, Hermann KP. Dose reduction by direct-digital cephalometric radiography. Angle Orthod 2001;71(3):159–163.
84. Vitral RW, da Silva Campos MJ, de Andrade Vitral JC, Santiago RC, Fraga MR. Orthodontic distalization with rigid plate fixation for anchorage after bone grafting and maxillary sinus lifting. Am J Orthod Dentofacial Orthop 2009;136(1):109–114.

85. Währisch W. Vergleich der Strahlenbelastung von konventionellen orthodontischen Röntgenaufnahmen mit konventionellen und indikationsabhängigen dosisreduzierten digitalen Volumentomographien. Promotionsarbeit. Berlin 2015.
86. Wehrbein H, Göllner P. Skeletal anchorage in orthodontics – basics and clinical application. *J Orofac Orthop* 2007;68(6):443–461.
87. Wehrbein H, Jung BA, Kunkel M. Wissenschaftliche Stellungnahme zur kieferorthopädischen Verankerung mit Kortikalisschrauben und Gaumenimplantaten. [https://www.dgkfo-vorstand.de/fileadmin/redaktion/veroeffentlichungen/Stellungnahme\\_DGKFO\\_KS\\_und\\_GI\\_Wehrbein\\_Jung\\_Kunkel\\_08-09-26.pdf](https://www.dgkfo-vorstand.de/fileadmin/redaktion/veroeffentlichungen/Stellungnahme_DGKFO_KS_und_GI_Wehrbein_Jung_Kunkel_08-09-26.pdf) (letzter Zugriff 12.11.2018).
88. Wilmes B, Su Y, Drescher D. Insertion angle impact on primary stability of orthodontic mini-implants. *Angle Orthod* 2008;78(6):1065–1070.
89. Wilmes B, Rademacher C, Olthoff G, Drescher D. Parameters affecting primary stability of orthodontic mini-implants. *J Orofac Orthop* 2006;67(3):162–174.
90. Zhong W, Chen B, Liang X, Ma G. Experimental study on penetration of dental implants into the maxillary sinus in different depths. *J Appl Oral Sci* 2013;21(6):560–566.

## 7. Anhang

### 7.1. Tabellenverzeichnis

<b>Tabelle 1:</b> Darstellung des Knochenangebots an der Crista zygomaticoalveolaris an den fünf Referenzpunkten A–E. Das Knochenangebot wies an dem Referenzpunkt A statistisch signifikant höhere Werte. ....	28
<b>Tabelle 2:</b> Darstellung der Dicke der Kompakta an der Crista zygomaticoalveolaris an den fünf Referenzpunkten A–E (rechts/links zusammen). Die Kompakta nimmt von kaudal (Punkt E) nach kranial (Punkt A) an Dicke signifikant zu. ....	30
<b>Tabelle 3:</b> Test auf Normalverteilung der Werte der Kompakta-Dicke an den Referenzpunkten A–E an der Crista zygomaticoalveolaris. Es liegen große Abweichungen in den Maxima und Minima in allen Punkten vor. ....	31
<b>Tabelle 4:</b> Test auf Normalverteilung der Werte von dem Knochenangebot an den Referenzpunkten an der Crista zygomaticoalveolaris im Seitenvergleich. Außer bei den Punkten Ar und Al liegt bei allen anderen Punkten keine Normalverteilung vor. ....	31
<b>Tabelle 5:</b> Das Knochenangebot im Vergleich der rechten und linken Schädelhälfte gemessen an den Referenzpunkten A–E an der Crista zygomaticoalveolaris. Abweichungen zwischen links und rechts im Betracht der Medianwerte sind nachweisbar. ....	33
<b>Tabelle 6:</b> Das Knochenangebot an den Referenzpunkten A, B und E unterscheidet sich signifikant zwischen links und rechts (Wilcoxon-Test: $p=0,018$ , $p=0,005$ bzw. $0,029$ , gelb markiert, nicht signifikante Unterschiede sind grau markiert).....	33
<b>Tabelle 7:</b> Die Kompakta-Dicke an den fünf Referenzpunkten A–E an der Crista zygomaticoalveolaris im Schädelseitenvergleich. Abweichungen zwischen links und rechts im Betracht der Medianwerte sind nachweisbar. ....	34
<b>Tabelle 8:</b> Darstellung des Knochenangebots an den fünf Referenzpunkten A–E unter Berücksichtigung des Geschlechts. Es lässt sich kein signifikanter Unterschied zwischen Männern und Frauen feststellen. Nur bei Punkt Arl weisen Männer im Median einen geringen Unterschied (1,24 mm) mehr Knochenangebot als Frauen auf.....	36
<b>Tabelle 9:</b> Darstellung der Kompakta-Dicke an den fünf Referenzpunkten A–E aufgeteilt nach Geschlecht. Hier ist kein signifikanter Unterschied zwischen Männern und Frauen nachzuweisen. ....	38
<b>Tabelle 10:</b> Test auf Normalverteilung nach Geschlecht. ....	39
<b>Tabelle 11:</b> Darstellung der Kompakta-Dicke an den fünf Referenzpunkten A–E nach Mann-Whitney-U-Test: Ränge. Es liegen keine Unterschiede zwischen Mann und Frau vor. ....	40
<b>Tabelle 12:</b> Darstellung der Signifikanz der Kompakta-Unterschiede an den fünf Referenzpunkten A–E bei den Geschlechtern nach Mann-Whitney-U-Test: $p=0,524$ , $p=0,052$ , $p=0,825$ , $p=0,182$ bzw. $p=0,590$ . ....	41

<b>Tabelle 13:</b> Darstellung des Signifikanz der Knochenangebot-Unterschiede an den fünf Referenzpunkten A–E nach Spearman-Rank-Korrelation. Es liegt eine signifikante und schwach positive Korrelation zwischen Alter und Knochenangebot an Punkt Arl vor ( $R=0,215$ und $p=0,033$ , gelb markiert). Es liegt keine nennenswerte Korrelation zwischen Alter und Knochenangebot an den Punkten Brl, Crl, Drl, Erl vor (grau markiert).....	43
<b>Tabelle 14:</b> Die Altersverteilung beim Knochenangebot.....	45
<b>Tabelle 15:</b> Die Altersverteilung bei der Dicke der Kompakta.....	42
<b>Tabelle 16:</b> Test auf Normalverteilung bzgl. Alter.....	45
<b>Tabelle 17:</b> Darstellung der Signifikanz der Kompakta-Unterschiede an den fünf Referenzpunkten A–E bzgl. Alter nach Spearman-Rank-Korrelation. Es zeigt sich keine statistisch signifikante Korrelation zwischen dem Alter und der Dicke der Kompakta.....	46
<b>Tabelle 18:</b> Darstellung der Knochendichte an den vier Messpunkten von Srl1 bis Srl10 in Punkt A. Die Knochendichte in Punkt A nimmt von Srl1 nach Srl10 ab. (Die Werte sind in HE=Hounsfield-Einheit angegeben) .....	47
<b>Tabelle 19:</b> Statistische Darstellung der Normalverteilung der Messwerte an den Punkten Srl1–Srl10 nach Kolmogorow-Smirnow-Test. Es konnte keine signifikante Abweichung von einer Normalverteilung nachgewiesen werden (entsprechend: $p=0,200$ , grau markiert), so wurden die folgenden Analysen mit parametrischen Tests gemacht.....	48
<b>Tabelle 20:</b> Darstellung der Knochendichte an den vier Messpunkten Srl1–Srl10 in Punkt A auf das Geschlecht bezogen. Es lässt sich in allen Punkten, außer in Punkt Srl7, ein signifikanter Unterschied zwischen Mann und Frau zeigen. (Die Werte sind in HE=Hounsfield-Einheit angegeben).....	49
<b>Tabelle 21:</b> Vergleich der Knochendichte an den vier Messpunkten Srl1–Srl10 in Bezug auf das Alter nach Spearman-Rho. Hinsichtlich der Punkte Srl1, Srl4 und Srl10 lässt sich eine schwache positive und signifikante Altersabhängigkeit nachweisen (Spearman-Korrelation, Effizienten und p-Werte sind markiert). .....	51
<b>Tabelle 22:</b> Darstellung der Knochendichte im Schädelseitenvergleich an den vier Messpunkten Srl1–Srl10 im kranialsten Punkt A. An den Punkten Srl1, Srl4, Srl10 ließ sich kein signifikanter Unterschied im Seitenvergleich beobachten. Nur in Punkt Srl7 wies die Knochendichte einen signifikanten Unterschied auf.(Die Werte sind in HE=Hounsfield-Einheit angegeben) .....	53
<b>Tabelle 23:</b> Statistische Darstellung der Knochendichte an den vier Messpunkten Srl1–Srl10 durch den Wilcoxon-Test. Es zeigen sich keine signifikanten Unterschiede zwischen links und rechts (Wilcoxon-Test, p-Werte sind grau markiert).....	54

## 7.2. Abbildungsverzeichnis

<b>Abbildung 1:</b> Die Maxilla. Sagittale Abbildung, modifiziertes Bild (Sobotta 2000).....	11
<b>Abbildung 2:</b> Darstellung der Crista <b>zygomaticoalveolaris</b> (modif. nach Bertolini 1992). .....	12
<b>Abbildung 3:</b> Beispiele für Minischrauben, die im vorderen Gaumen eingesetzt sind (Braun 2015). .....	14
<b>Abbildung 4:</b> Minischraube interradiär zwischen erstem Molar und dem Prämolare im Oberkiefer gesetzt zur Retraktion der Frontzähne (vorher und nachher). .....	15
<b>Abbildung 5:</b> Bollard-Platte (links), C-Tube-Miniplatte in Höhe des ersten oberen Molaren (rechts) (Kaygisiz 2015).....	17
<b>Abbildung 6:</b> Die kegelförmige Rotation um das zu untersuchende Objekt (Bumann 2008)....	19
<b>Abbildung 7:</b> Koronares Schnittbild einer DVT-Aufnahme für Darstellung der Messpunkte von kranial nach kaudal (A–E) an der Crista zygomaticoalveolaris mit Abstand von 5 mm.....	24
<b>Abbildung 8:</b> Markierung des Abstands der Messpunkte für die Knochendichte an einer Minischraube (hier ein Tomas <sup>®</sup> -Pin von Dentaureum).....	25
<b>Abbildung 9:</b> Graphische Darstellung der statistischen Werte (Tabelle 1) des Knochenangebots an der Crista zygomaticoalveolaris, gemessen an den fünf verschiedenen Messpunkten A–E. Das Knochenangebot wies an dem Referenzpunkt A statistisch signifikant höhere Werte auf. ....	29
<b>Abbildung 10:</b> Graphische Darstellung der statistischen Werte (in <b>Tabelle 2</b> ) der Kompaktdicke an der Crista zygomaticoalveolaris an den fünf Referenzpunkten A–E (rechts/links zusammen). Die Kompaktdicke ist an Punkt A signifikant höher als an den anderen Referenzpunkten. ....	30
<b>Abbildung 11:</b> Graphische Darstellung des Knochenangebots an den fünf Referenzpunkten A–E an der Crista zygomaticoalveolaris im Vergleich der rechten und der linken Schädelhälfte. Signifikante Unterschiede im Seitenvergleich sind an den Referenzpunkten A, B und E zu sehen. ....	32
<b>Abbildung 12:</b> Graphische Darstellung der Kompaktdicke an den fünf Referenzpunkten A–E im Schädelseitenvergleich (rechte Seite blau markiert, linke Seite rot markiert). An Punkt A sind signifikante Unterschiede zwischen links und rechts zu sehen. ....	35
<b>Abbildung 13:</b> Graphische Darstellung des Knochenangebots an den fünf Referenzpunkten A–E unter Einbezug des Geschlechts. Außer des geringen Unterschieds an Punkt A sind keine signifikanten Unterschiede zwischen Mann und Frau erkennbar. ....	37
<b>Abbildung 14:</b> Graphische Darstellung der Messwerte der Kompaktdicke an den fünf Referenzpunkten A–E. Hier ist kein signifikanter Unterschied zwischen den Geschlechtern nachzuweisen. ....	40

<b>Abbildung 15:</b> Graphische Darstellung der Signifikanz der Knochenangebot-Unterschiede an den fünf Referenzpunkten A–E unter Einbezug des Alters (rote Hilfslinie).....	44
Abbildung 16: Graphische Darstellung der Knochendichte an den vier Messpunkten Srl1–Srl10 in Punkt A.....	48
<b>Abbildung 17:</b> Graphische Darstellung der Knochendichte an den vier Messpunkten Srl1–Srl10 in Punkt A auf das Geschlecht bezogen. Außer in Punkt Srl7 ist stets ein signifikanter Unterschied zwischen Mann und Frau zu beobachten. ....	50
<b>Abbildung 18:</b> Graphische Darstellung für die Verteilung der Werte von der Knochendichte am kranialsten Punkt (A) in den vier Messpunkten (Knochentiefe) Srl1–Srl10 auf das Alter bezogen. ....	52
<b>Abbildung 19:</b> Graphische Darstellung der Knochendichte an den vier Messpunkten Srl1–Srl10 am kranialsten Punkt (A) im Schädelseitenvergleich. ....	54

### 7.3. Abkürzungen

<b>A</b>	Messpunkt A
<b>Ar</b>	gesamtes Knochenangebot rechts in Messpunkt A
<b>ArK</b>	Kompaktadicke rechts in Messpunkt A
<b>Al</b>	gesamtes Knochenangebot links in Messpunkt A
<b>AlK</b>	Kompaktadicke links in Messpunkt A
<b>ArIK</b>	Kompaktadicke rechts/links zusammen in Messpunkt A
<b>ArI</b>	gesamtes Knochenangebot links/rechts in Messpunkt A
<b>B</b>	Messpunkt B
<b>Br</b>	gesamtes Knochenangebot rechts in Messpunkt B
<b>BrK</b>	Kompaktadicke rechts in Messpunkt B
<b>Bl</b>	gesamtes Knochenangebot links in Messpunkt B
<b>BlK</b>	Kompaktadicke links in Messpunkt B
<b>BrIK</b>	Kompaktadicke rechts/links zusammen in Messpunkt B
<b>BrI</b>	gesamtes Knochenangebot links/rechts in Messpunkt B
<b>C</b>	Messpunkt C
<b>Cr</b>	gesamtes Knochenangebot rechts in Messpunkt C
<b>CrK</b>	Kompaktadicke rechts in Messpunkt C
<b>Cl</b>	gesamtes Knochenangebot links in Messpunkt C
<b>ClK</b>	Kompaktadicke links in Messpunkt C
<b>CrIK</b>	Kompaktadicke rechts/links zusammen in Messpunkt C
<b>CrI</b>	gesamtes Knochenangebot links/rechts in Messpunkt C
<b>D</b>	Messpunkt D
<b>Dr</b>	gesamtes Knochenangebot rechts in Messpunkt D
<b>DrK</b>	Kompaktadicke rechts in Messpunkt D
<b>DI</b>	gesamtes Knochenangebot links in Messpunkt D
<b>DIK</b>	Kompaktadicke links in Messpunkt D
<b>DrIK</b>	Kompaktadicke rechts/links zusammen in Messpunkt D
<b>DrI</b>	gesamtes Knochenangebot links/rechts in Messpunkt D
<b>E</b>	Messpunkt E
<b>HE</b>	Hounsfield-Einheiten
<b>HU</b>	Hounsfield units

## 7.4. Eidesstattliche Erklärung

„Ich, Thabet Arar, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema „Knochenangebot für kieferorthopädische Minischrauben im Bereich der Crista zygomaticoalveolaris“ selbstständig und ohne nicht offengelegte Hilfe Dritter verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel genutzt habe.

Alle Stellen, die wörtlich oder dem Sinne nach auf Publikationen oder Vorträgen anderer Autoren beruhen, sind als solche in korrekter Zitierung (siehe „Uniform Requirements for Manuscripts (URM)“ des ICMJE - [www.icmje.org](http://www.icmje.org)) kenntlich gemacht. Die Abschnitte zu Methodik (insbesondere praktische Arbeiten, Laborbestimmungen, statistische Aufarbeitung) und Resultaten (insbesondere Abbildungen, Graphiken und Tabellen) entsprechen den URM (s. o.) und werden von mir verantwortet.

Meine Anteile an etwaigen Publikationen zu dieser Dissertation entsprechen denen, die in der untenstehenden gemeinsamen Erklärung mit dem Betreuer angegeben sind. Sämtliche Publikationen, die aus dieser Dissertation hervorgegangen sind und bei denen ich Autor bin, entsprechen den URM (s. o.) und werden von mir verantwortet.

Die Bedeutung dieser eidesstattlichen Versicherung und die strafrechtlichen Folgen einer unwahren eidesstattlichen Versicherung (§ 156, 161 des Strafgesetzbuches) sind mir bekannt und bewusst.“

Thabet Arar

## **7.5. Lebenslauf**

**Mein Lebenslauf wird auf Datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.**

## **7.6. Danksagung**

Mein Dank gilt zunächst Herrn Prof. Dr. Axel Bumamm, meinem Doktorvater, für die Unterstützung und die Betreuung dieser Arbeit und der immer freundlichen Hilfe, die mir einen Zugang zu dieser Thematik eröffnete.

Des Weiteren möchte ich mich bei meinen Kollegen Sandra Eckert, Philip Teichert, NINETTE TÖDTMANN, Ahmad Obeid und Mohammad Shehade für die Bereitstellung von wichtiger Literatur, sowie ihre Hilfe bei der Rechtschreibung bedanken.

Mein Dank gilt auch meinen Brüdern Moamer und Bassem für ihre kritischen Betrachtungen, ihre differenzierten Anmerkungen sowie die mit ihnen zielführenden Diskussionen, vor allem aber ihre menschliche Halt.

Danken möchte ich außerdem meinen Schwestern, Samah, Hiba, Wafa und Rawda, die mich im Rahmen der Promotion moralisch unterstützt haben.

Tief verbunden und dankbar bin ich meiner Frau Marah Alhourani, für ihre unglaublich hilfreiche Unterstützung und ihr Verständnis bei der Anfertigung dieser Doktorarbeit.