

Aus dem Bereich Klinische Medizin
der Medizinischen Fakultät
der Universität des Saarlandes, Homburg/Saar

**Untersuchung des Knochenangebotes am Gaumen zur
Bestimmung optimaler Insertionsstellen für Minischrauben
- Eine DVT-Studie -**

***Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnheilkunde
der Medizinischen Fakultät
der UNIVERSITÄT DES SAARLANDES
2016***

vorgelegt von: Layla Awad
geb. am: 16.06.1983 in Essen

Aus der Poliklinik für Kieferorthopädie,
Universitätsklinikum des Saarlandes, Homburg/Saar
Direktor: Prof. Dr. Jörg Lisson

Inhaltsverzeichnis

1. Zusammenfassung	4
1.1 Summary	5
2. Einleitung	6
2.1 Einführung in die Thematik und Fragestellung	6
2.1.1 Ziel dieser Dissertation	7
2.2 Grundlagen	8
2.2.1 Anatomie des Oberkiefers	8
2.2.2 Minischrauben.....	10
2.3 DVT als dreidimensionale Messmethode	14
3. Material und Methode	15
3.1 Patientenkollektiv und Einschlusskriterien	15
3.2 Erhobene Parameter	17
3.3 Vermessung der DVT-Bilder mit OsiriX®	17
3.4 DVT -rechtfertigende Indikationen-	20
3.5 Datenvollständigkeit	20
3.6 Statistische Auswertung	21
4. Ergebnisse	22
4.1 Basisdaten	22
4.1.1 Alter	22
4.1.2 Geschlecht.....	22
4.2 Vergleiche der Knochentiefe von anterior nach posterior	23
4.2.1 Gesamttiefe	23
4.2.1.1 Position 0.....	23
4.2.1.2 Position 1.....	24
4.2.1.3 Position 2.....	24
4.2.2 Tiefe der Compacta	25
4.2.2.1 Position 0.....	25
4.2.2.2 Position 1.....	26
4.2.2.3 Position 2.....	27
4.3 Vergleiche der Knochentiefe von medial nach lateral	28
4.3.1 Gesamttiefe	28
4.3.1.1 A-Linie.....	28
4.3.1.2 B-Linie.....	29
4.3.1.3 C-Linie	31
4.3.1.4 D-Linie	32
4.3.2 Tiefe der Compacta	34
4.3.2.1 A-Linie.....	34
4.3.2.2 B-Linie.....	36
4.3.2.3 C-Linie	38
4.3.2.4 D-Linie	40
4.4 Knochenmaterial < 6 mm in den verschiedenen Gaumenregionen	42

5. Diskussion	44
5.1 Untersuchung des Gaumens mittels DVT	44
5.2 Mess- und Referenzpunkte	44
5.3 Ergebnisse	45
5.4 Vermessung der DVT-Aufnahmen mit Osirix.....	46
5.5 Schlussfolgerung.....	47
6. Literaturverzeichnis	48
7. Publikation	52
8. Anhang	53
9. Danksagung	56

1. Zusammenfassung

Einleitung:

Ziel dieser Studie war es die Knochentiefe und Compactatiefe am Gaumen an Hand von dreidimensionaler Bildgebung in Relation zu einfach reproduzierbaren Referenzpunkten zu vermessen, um optimale Insertionsstellen für Minischrauben auszumachen.

Material und Methode:

Aus einer Vorauswahl von 1007 DVT-Aufnahmen (Digitale-Volumen-Tomographie) von kieferorthopädischen Patienten, wurden schließlich 125 DVT-Aufnahmen in diese Studie aufgenommen, die bestimmte Kriterien erfüllten.

An 12 definierten Messpunkten des Gaumens, jeweils auf der rechten und linken Seite wurden die Knochentiefe und Compactatiefe vermessen.

Bei den 125 DVT-Aufnahmen wurden die rechte Seite und linke Seite des Oberkiefers als eigenständig angesehen, so dass die Daten gepoolt wurden und sich eine Fallzahl von 250 ergab. Die Vermessungen erfolgten durch eine Person.

Ergebnisse:

Die Knochentiefe lag zwischen 1,80 mm und 13,34 mm und die Compactatiefe zwischen 0,41 mm und 1,66 mm.

Das höchste Knochenangebot war in den anterioren Bereichen des Gaumens vorzufinden. Die Knochentiefe und Compactatiefe nahm von anterior nach posterior signifikant ab.

Schlussfolgerung:

In den anterioren Bereichen des Gaumens ist ausreichendes Knochenangebot vorhanden für eine erfolgreiche Insertion von Minischrauben.

Diese optimalen Insertionsstellen sind einfach aufzufinden durch klinisch reproduzierbare Referenzpunkte.

1.1 Summary

Three dimensional investigation of palatal bone depth for the placement of mini-implants - a digital volume tomography study -

Summary:

The aim of this study was to measure palatal bone depth and cortical bone depth in relation to reproducible landmarks with the help of three-dimensional imaging.

Appropriate sites can be determined for orthodontic mini-implant insertion, based on clinically identifiable landmarks.

Material and Methods:

Out of 1007 digital volume tomographic records of orthodontic patients, 125 records were finally analyzed. Those 125 records fulfilled certain criteria.

On 12 predefined and standardized points on the right and left side of the hard palate the bone thickness and cortical bone thickness were measured. The right and left side of the maxilla were viewed separately and data were pooled so finally 250 cases were treated.

All measurements have been performed by a single examiner.

Results:

Bone thickness ranged between 1,8 mm and 13,34 mm and cortical bone thickness between 0,41 mm and 1,66 mm. Highest bone and cortical bone values were found in the anterior palate. Bone thickness and cortical bone thickness decreased significantly towards more posterior areas of the hard palate.

Conclusions:

In the anterior areas of the hard palate there is adequate bone thickness and cortical bone thickness for successful insertion of orthodontic mini-implants.

These optimal insertion points are clinically identifiable landmarks.

2. Einleitung

2.1 Einführung in die Thematik und Fragestellung

Minischrauben haben sich in der Kieferorthopädie als Verankerungselement etabliert, nicht zuletzt weil deren Verwendung den Verlust von Verankerung während kieferorthopädischer Zahnbewegung verringert bzw. vollständig eliminiert hat ^{11, 41, 52}. Darüber hinaus bieten Miniimplantate im Vergleich zu den regulären Implantaten in der Zahnmedizin einen schmalen Durchmesser, geringe Kosten und eine einfache Handhabung bei Insertion und Entfernung ³⁸. Deren Verwendung als Verankerungselement ist jedoch als limitierend anzusehen, wenn sie während der Behandlung nicht stabil bleiben.

Die wichtigsten Faktoren, die die Stabilität eines Miniimplantates beeinflussen sind ausreichende Compactatiefe ^{38, 39}, das Drehmoment ^{37, 39} und Wurzelkontakt ^{7, 22}.

Um mögliche Risiken wie Verletzung der Wurzel bei bukkaler Insertion zu vermeiden, können Minischrauben auch in paramedianer Region des Gaumen platziert werden ^{30, 33}. Die Verwendung von Minischrauben in dieser Region wurde erstmals Mitte der 90er Jahre beschrieben ⁴⁵. Durch palatinale Insertion in den anterioren Bereichen verringert sich das Risiko anatomische Strukturen zu verletzen, es liegt gute Knochenqualität, ausreichend viel befestigte Gingiva und Knochenquantität vor ³³. Die palatinale Insertion kann sowohl bei Erwachsenen als auch bei jungen Patienten, deren Sutura palatina noch nicht verknöchert ist, erfolgen ²⁴.

Es gibt jedoch keine festgelegte anatomische Struktur, die als Bezugspunkt verwendet werden kann, um dem Kliniker eine reproduzierbare Empfehlung für mögliche Insertionstellen von Minischrauben darzulegen ¹⁹.

In vorangegangenen Studien, die DVT-Bilder bezüglich Knochenqualität und –quantität untersuchten, diente das Foramen incisivum als anatomische Referenz ^{6, 12, 15-18, 21, 23, 28, 44}. Das Foramen incisivum ist zwar eine „feste“ anatomische Struktur, aber es ist schwierig dessen Lage eindeutig zu bestimmen ³³.

Baumgaertel et al. ⁴ untersuchten in ihrer Studie die Knochentiefe anhand von 30 DVT-Bildern, sie verwendeten die Kontaktpunkte der Zähne als Referenzpunkte.

Die Kontaktpunkte der Zähne sind jedoch variabel und deren Auffindung ist abhängig von Zahnmorphologie und Zahnwanderung ¹⁹.

2.1.1 Ziel dieser Dissertation

Ziel dieser Arbeit ist es anhand von DVT-Aufnahmen zu evaluieren an welchen Stellen des Gaumens ausreichende Knochentiefe und Compactatiefe vorhanden ist, um optimale Stellen für die Insertion von Minischrauben festzulegen.

Es sollen klinisch reproduzierbare Koordinaten gewählt werden, die Kontaktpunkte der Zähne, um dem Kliniker eine einfache Anwendbarkeit darzulegen.

2.2 Grundlagenwissen

2.2.1 Anatomie des Oberkiefers

Die folgenden Abbildungen 1 und 2 geben einen Überblick über den Aufbau des Oberkiefers und den Aufbau des Gaumens:

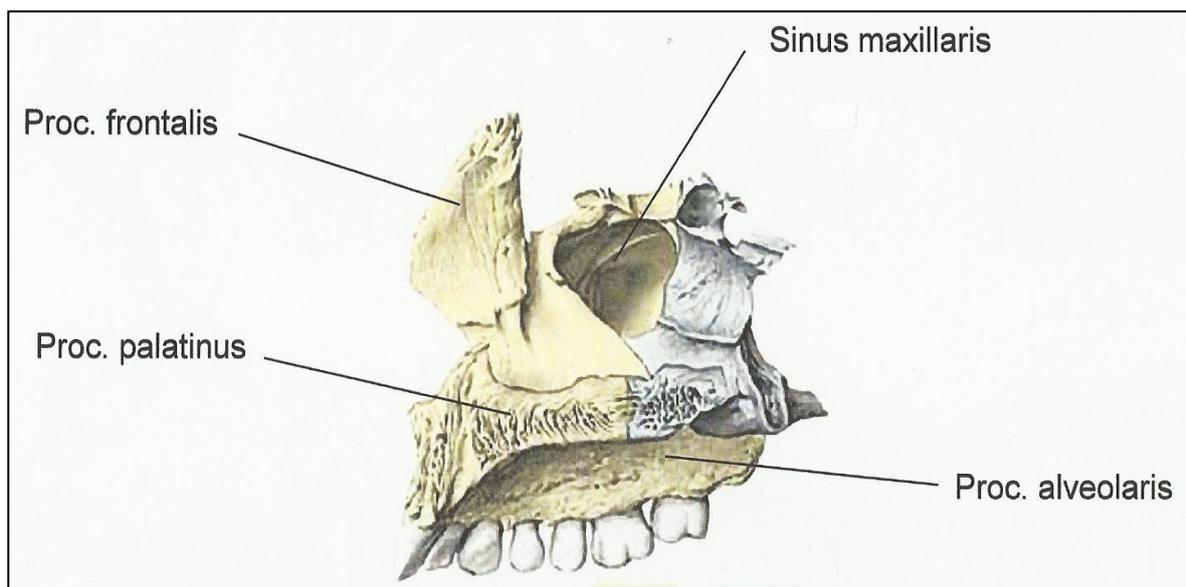


Abb.1: Maxilla, rechte Seite Medialansicht (modifiziert nach Sobotta) ⁴³

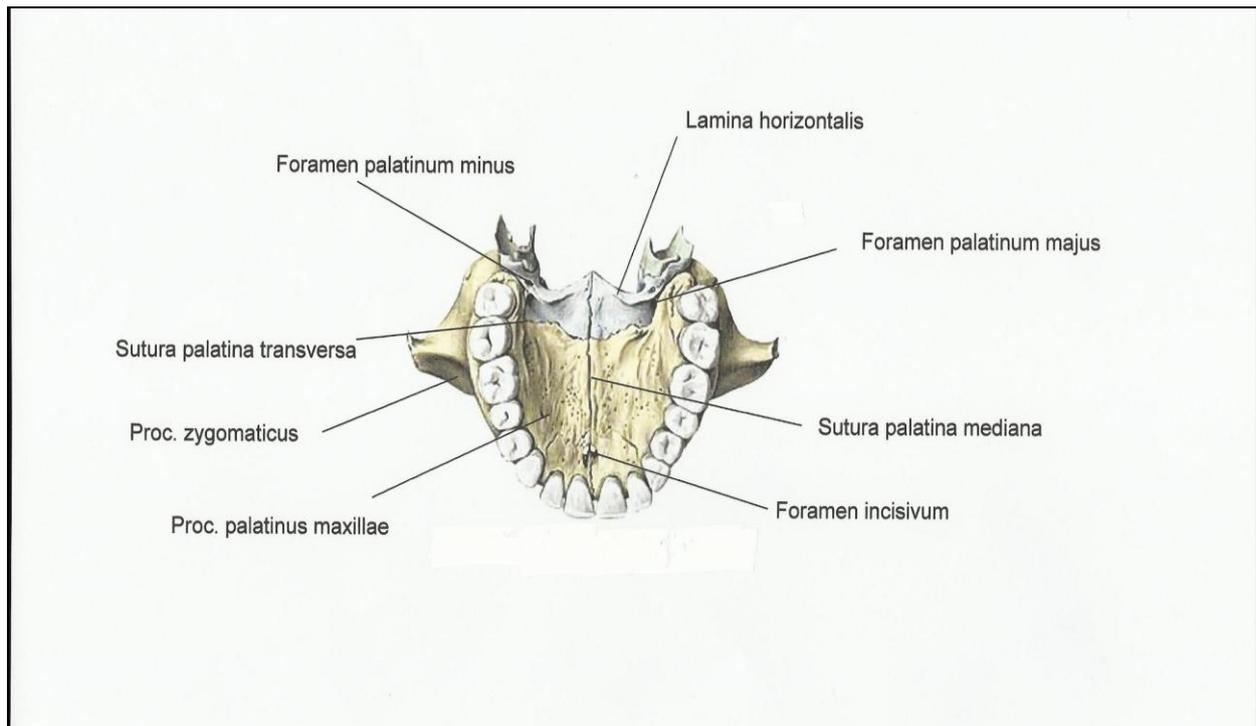


Abb. 2: Palatum durum von kaudal (modifiziert nach Sobotta) ⁴³

In der Nähe der Sutura palatina mediana im Bereich des anterioren Gaumens ist die Schleimhautdicke sehr gering ³². Die Schleimhaut im Bereich des anterioren Gaumens besteht nur aus befestigter Gingiva. Eine geringe Schleimhautdicke um den Implantatkopf ist mechanisch vorteilhaft und hygienisch und für eine komplikationslose Nutzungsperiode ist ausreichend viel befestigte Gingiva notwendig ^{4, 17}. In der Nähe von Bändern und unterhalb der mukogingivalen Grenze kann es zu Entzündungen, mechanischen Irritationen und Überwucherung des umliegenden Gewebes kommen und der Schraubenkopf kann nur unzureichend genutzt werden ⁴⁷. Außerdem würde es bei nicht ausreichender befestigter Gingiva zu Micro-Jiggling kommen, was zum Implantatverlust führen kann ^{5, 4}. Die Schleimhaut in der lateralen Region des Gaumens ist wiederum sehr dick ^{4, 17}.

2.2.2 Minischrauben

Heute gibt es eine große Anzahl von Miniimplantatsystemen zur Verankerung in der Kieferorthopädie ^{4, 52} (Abb. 3).



Abb. 3: Schraubentypen mit Unterschieden in Schraubendesign, Länge und Durchmesser am Beispiel von Abso Anchor Micro Implants

Durch diese Vielfalt soll für jede Situation bezüglich Knochenangebot, Platzverhältnissen und geplanter Zahnbewegung eine passende Schraube vorhanden sein ⁴⁷.

Minischrauben stellen eine ossäre Verankerungsmöglichkeit dar und gewährleisten bei Bedarf eine sofortige mechanische Belastung ⁴⁷. Zudem ist nach einiger Zeit eine gewisse Osseointegration nachzuweisen ⁴⁷.

Die Bausteine eines jeden Miniimplantates sind (Abb. 4):

1. der Kopf
2. der transmukosale Anteil
3. der Schaft mit dem Gewinde ³⁵.

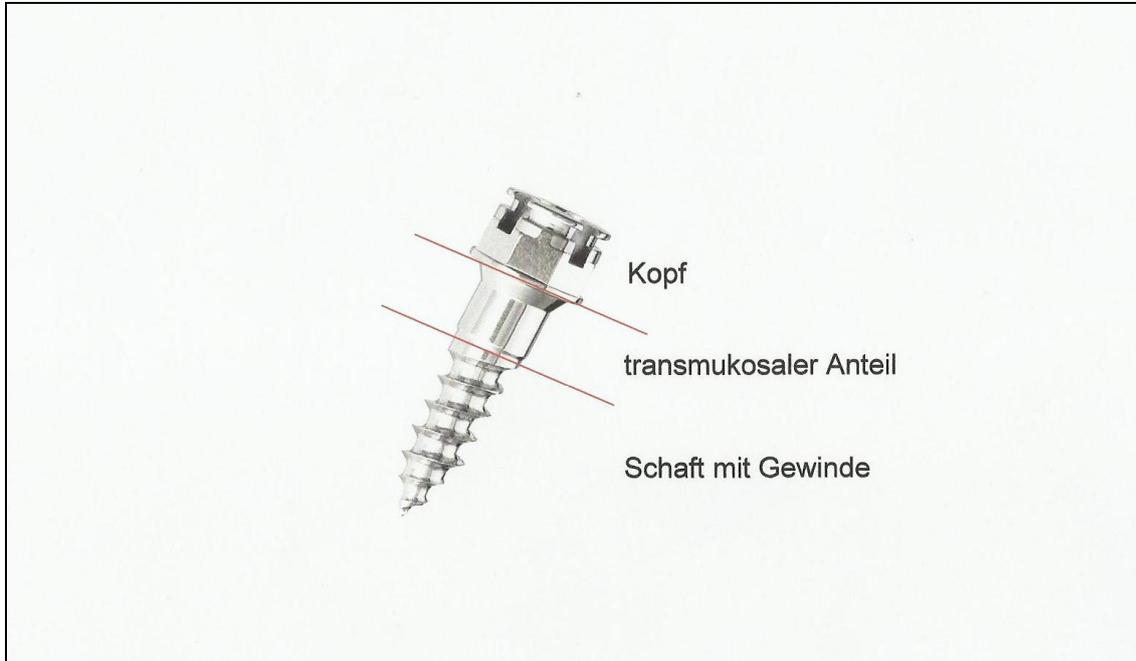


Abb. 4: Aufbau einer Minischraube ³⁵

Der Schraubenkopf dient zur Befestigung der Kopplungselemente, wie Federn, elastische Ketten, Runddrähte und Vierkantdrähte. Die Federn, elastischen Ketten und Runddrähte ermöglichen eine eindimensionale Zahnbewegung. Mithilfe von Vierkantdrähten kann hingegen eine dreidimensionale Zahnbewegung umgesetzt werden. Nur bei Schraubenköpfen mit Kreuzslot können Vierkantdrähte befestigt werden ⁴⁷.

Der transmukosale Anteil wird auch als Gingivahals bezeichnet. Er ist der sensibelste Teil des Implantates ³⁵. Der Gingivahals liegt in der Schicht der Mukosa und sollte möglichst dicht mit dem umliegenden Gewebe abschließen, um eine Infektionspforte zu vermeiden ⁴⁷.

Es gibt zwei Arten von Gewinden: zum einen das selbstbohrende Gewinde (self drilling) und zum anderen das selbstschneidende Gewinde (self-tapping) (Abb. 5 und 6). Die meisten Miniimplantate, die auf dem Markt erhältlich sind, sind selbstbohrend. Beim selbstschneidenden Gewinde ist eine Vorbohrung notwendig ⁴⁷.



Abb. 5: selbstschneidendes Gewinde am
Beispiel von MIS Seven Dental
Implants



Abb. 6: selbstbohrendes Gewinde am
Beispiel von M.A.S. Implants

Die nachfolgende Abbildung 7 zeigt anhand eines Fernröntgenseitenbildes eine Minischraube mit solch einem selbstbohrenden Gewinde:

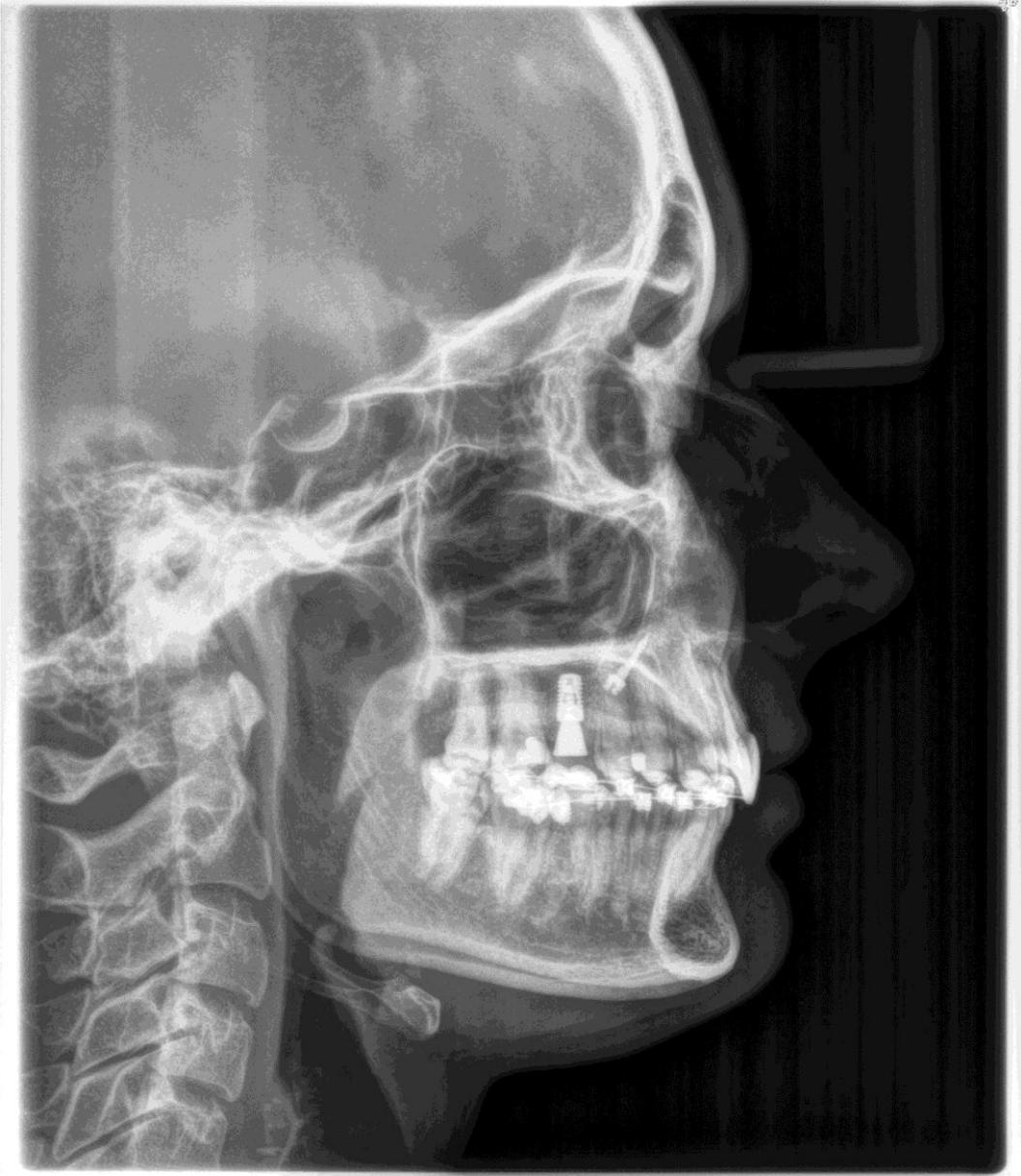


Abb.7: Fernröntgenseitenaufnahme mit Minischraube (selbstbohrendes Gewinde) im anterioren Gaumen

2.3 DVT als dreidimensionale Messmethode

Schnelle et al.⁴⁶ evaluierten interradikulären Knochen an Hand von Panoramaschichtaufnahmen. Jedoch konnte die Tiefe der Compacta nicht an Hand von diesen Aufnahmen oder periapikalen Röntgenaufnahmen vermessen werden¹¹. Zahlreiche Studien haben DVT-Aufnahmen zur Vermessung des Knochens im Oberkiefer und Unterkiefer herangezogen^{3, 4, 11, 13, 16, 17, 23, 31, 39, 40, 50}.

Die nachfolgende Abbildung 8 zeigt ein Schnittbild einer solchen DVT-Aufnahme des Oberkiefers und Unterkiefers:



Abb.8: coronales Schnittbild einer DVT-Aufnahme des Ober- und Unterkiefers

3. Material und Methode

3.1 Patientenkollektiv und Einschlusskriterien

Aus einer Vorauswahl von 1007 DVT-Aufnahmen, die in einer kieferorthopädischen Praxis in Halle/Saale aufgenommen wurden, wurden schließlich 125 DVT-Aufnahmen in diese Studie aufgenommen. Alle DVT-Bilder wurden bereits vor dieser Studie angefertigt, da bei allen Patienten kieferorthopädische Behandlungen geplant waren.

Die Genehmigung zur Untersuchung dieser DVT-Aufnahmen wurde von der lokalen Ethik-Kommission gewährt (Saarbrücken Ethik-Komitee, Nr. 221/14).

Die DVT-Bilder wurden mit dem Veraviews Pocs 3D-Gerät angefertigt (J. Morita Corp., Osaka, Japan). Die Aufnahmen wurden immer in den Grundeinstellungen gemacht: der Röhrenstrom betrug 5 mA, die Röhrenspannung 80 kV, die Pixel-Größe lag bei 0,125 mm³ x 0,125 mm und die isotrope Voxelgröße lag bei 0,125 mm. Folgende Kriterien mussten erfüllt sein, damit die DVT-Bilder der Patienten in diese Studie aufgenommen wurden:

- die Patienten durften bisher keine kieferorthopädische Behandlung aufweisen
- die Patienten wiesen eine vollständige Bezahnung des Oberkiefers auf (ausgenommen die Weisheitszähne, welche nicht zwingend vorhanden sein mussten)
- es wurden nur DVT-Bilder von Patienten mit kaukasischer Herkunft ausgewählt, um möglichst vergleichbare anatomische Verhältnisse vorzufinden
- bei der Aufnahme wurde der Kopf des Patienten fixiert, um Bewegungsartefakte auszuschließen
- bei der Aufnahme war die okklusale Ebene parallel zur sagittalen und transversalen Ebene
- bei der Aufnahme wurde ein Aufbissblock verwendet, um die korrekte Position der Kiefer während der Aufnahme zu garantieren.

Ausgeschlossen aus der Studie wurden

- Patienten, die Knochendefekte aufwiesen
- Patienten mit ausgedehnten kariösen Läsionen
- DVT-Bilder mit Artefakten, die zu Verzerrungen des Bildes führten.

Die Auswahl und Vermessung aller DVT-Bilder erfolgte durch eine Person, so dass eine Interobservervarianz ausgeschlossen wurde.

Es wurden alle Belange des Datenschutzes eingehalten.

Es erfolgte eine pseudonomisierte Auswertung der Patienten, so dass keine Rückschlüsse auf die Patienten möglich sind.

3.2 Erhobene Parameter

An 12 definierten Messpunkten des Oberkiefers, jeweils auf der rechten und linken Seite (siehe 3.3), wurde zum einen die vertikale Knochentiefe und die vertikale Compactatiefe des palatinalen Oberkieferknochens gemessen.

Von insgesamt 1007 DVT-Bildern im Archiv einer kieferorthopädischen Praxis wurde zunächst eine Vorauswahl getroffen, die aus 189 DVT-Bildern bestand. Diese Bilder erfüllten die o.g. Kriterien. Schließlich wurden aus diesen Bildern 125 ausgewählt, die in diese Studie aufgenommen wurden.

Bei den 125 ausgewählten DVT-Bildern wurden die rechte und die linke Seite des Oberkiefers als eigenständig angesehen, so dass die Daten gepoolt wurden und sich so eine Fallzahl von 250 ergab.

3.3 Vermessung der DVT-Bilder mit OsiriX®

Zur Vermessung der vertikalen Knochentiefe und der Compactatiefe des palatinalen Knochens des Oberkiefers wurde ein Raster auf den Gaumen und die Zähne des Oberkiefers projiziert.

Es wurden jeweils für die rechte und linke Seite des Oberkiefers 12 definierte Messpunkte festgelegt, die mit alphanumerischen Symbolen benannt wurden: A0, A1, A2, B0, B1, B2, C0, C1, C2, D0, D1, D2.

Die aufgeführten Messpunkte ergaben sich durch die Schnittpunkte der sagittalen Linien (Kontaktpunkt der mittleren Schneidezähne, Kontaktpunkt des mittleren und des seitlichen Schneidezahnes, Kontaktpunkt des seitlichen Schneidezahnes und des Eckzahnes) und der transversalen Linien (Kontaktpunkt des Eckzahnes und des 1. Prämolaren, Kontaktpunkt des 2. Prämolaren und des 1. Molaren, Kontaktpunkt des 1. und 2. Molaren).

Die nachfolgende Abbildung 9 veranschaulicht diese Messpunkte:

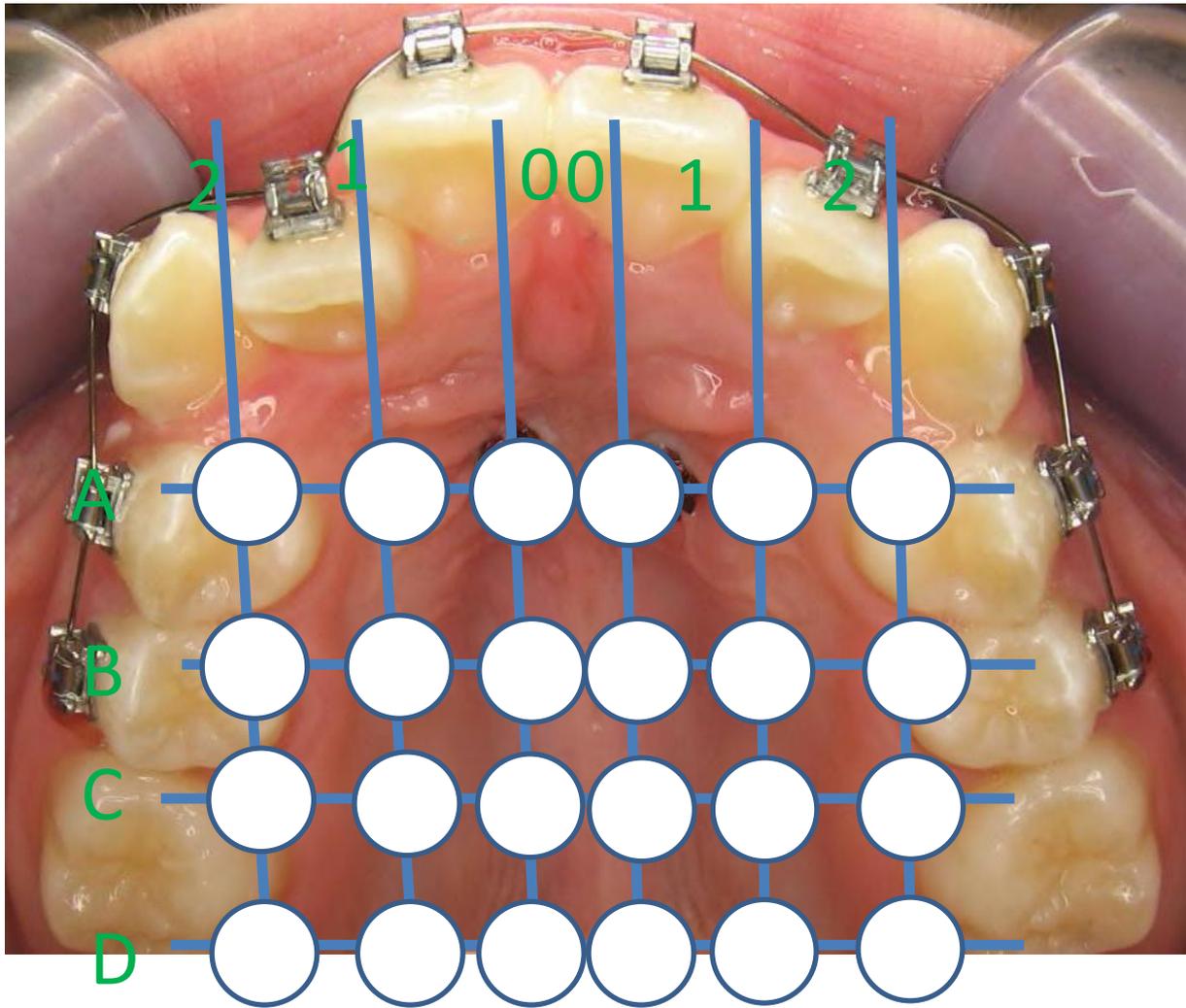


Abb.9: Festgelegte Messpunkte des Oberkiefers. Es wurde ein Raster auf den Gaumen des Oberkiefers projiziert definiert durch die Kontaktpunkte der Zähne. Es ergeben sich die Koordinaten A0, A1, A2, B0, B1, B2, C0, C1, C2, D0, D1, D2.

Die Großbuchstaben „ A “ bis „ D “ benennen die transversalen Linien in anteriorer-posteriorer Richtung. Die sagittalen Referenz-Linien, sind jeweils von der Mittellinie nach lateral von „ 0 “ bis „ 2 “ benannt.

Zur Durchführbarkeit der Vermessung der definierten Punkte wurden die DVT-Bilder mit Hilfe der Software OsiriX® (Version 2.0.1, 64 Bit, Pixmeo, Bemex, Switzerland), welche unter dem Betriebssystem Mac OS (Apple, Cupertino, Ca, USA) läuft, dargestellt.

Die DVT-Bilder wurden in der Schnittbildgebung MPR 3D (multiplanare Reformatierung) wiedergegeben, so dass sich pro DVT-Bild 3 Ebenen darstellten: Zum einen wurde links oben die Sagittalebene angezeigt, links unten die Transversalebene und zum anderen auf der rechten Seite die Coronalebene.

Zur Einstellung des Oberkiefers wurde in der Transversalebene so lange mit der Maus gescrollt, bis sich alle Zähne des Oberkiefers mit ihren Kontaktpunkten deutlich darstellten.

Um die oben genannten Messpunkte einzustellen, als Beispiel A0, musste in der Coronalebene so weit gescrollt werden, bis sich in der Transversalebene die senkrechte Linie zwischen dem Kontaktpunkt der mittleren Schneidezähne darstellte, also die Linie 0. Zur Einstellung der Linie A wurde in der Sagittalebene so lange gescrollt, bis sich in der Transversalebene die transversale Linie zwischen dem Kontaktpunkt des Eckzahnes und des 1. Prämolaren ergab.

Anschließend konnte am Schnittpunkt der Linien A und 0 die Gesamtknochentiefe und die Compactatiefe in der Coronalebene gemessen werden (Abb.10).

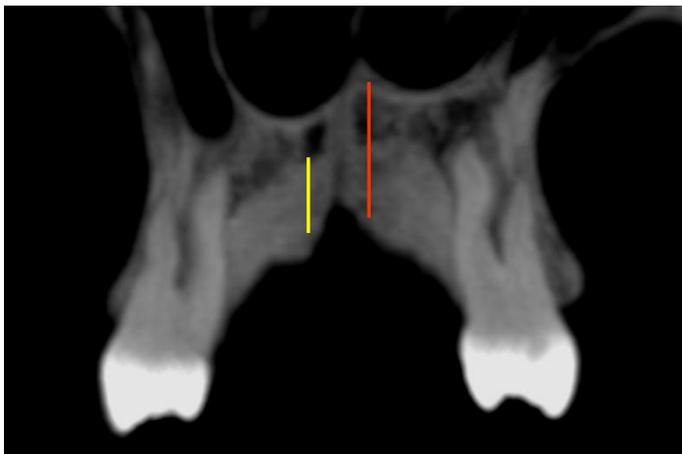


Abb.10: Messung der Knochentiefe (rot) und der Compactatiefe (gelb) in der Coronalebene.

Hierbei ist zu erwähnen, dass am Punkt 0 immer paramedial auf der rechten und linken Seite gemessen wurde, da die anatomische Lage der Sutura Palatina variieren kann.

Eine über den Schnittbildern vorhandene Werkzeugleiste enthielt das benötigte Werkzeug zur Längenmessung (Abb.11). Auch konnte man mit Hilfe dieser Leiste die Bilder zur deutlicheren Erkennbarkeit der Knochengrenzen heller bzw. dunkler einstellen und auch vergrößern.

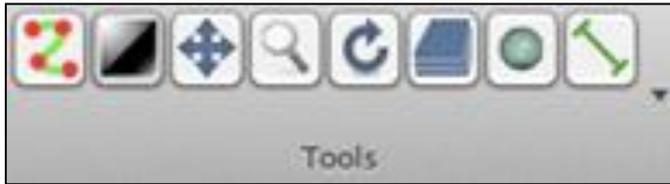


Abb.11: Werkzeugleiste OsiriX

Die Compacta stellte sich als opake Struktur dar, der restliche Knochen als wolkige Struktur, dieser wurden oben und unten von der Compacta begrenzt (Abb.10).

Die Werte wurden in μm bzw. in mm angezeigt.

Zur Vermessung aller übrigen festgelegten Punkte wurden diese nach dem oben genannten Prinzip eingestellt.

Alle Messungen erfolgten durch einen Untersucher und wurden doppelt durchgeführt. Eine dritte Vermessung erfolgte bei Extremausreißern, also alle die Messpunkte, die durch ein besonders großes oder auch geringes Knochenangebot auffielen. Die Erstmessungen und die erneuten Messungen waren hierbei annähernd identisch.

3.4 DVT - rechtfertigende Indikationen -

Die einzige Möglichkeit aussagekräftige Informationen über die anatomische Beschaffenheit des Oberkiefers zu bekommen, ist das 3-dimensionale bildgebende Verfahren⁴.

Im Vergleich zur herkömmlichen Computertomographie hat die digitale Volumentomographie eine deutlich geringere Strahlenbelastung⁹. Dennoch muss die medizinische Strahlenexposition einen hinreichenden Nutzen erbringen.

Alle DVT-Bilder, die in dieser Studie untersucht wurden, wurden bereits vor dieser Studie angefertigt. Bei allen Patienten war eine kieferorthopädische Behandlung indiziert, mithilfe der DVT-Aufnahmen wurde diese geplant und umgesetzt.

3.5 Datenvollständigkeit

Hinsichtlich aller erhobener Parameter bestand 100%ige Datenvollständigkeit.

3.6 Statistische Auswertung

Die statistischen Auswertungen erfolgten mit Hilfe von SPSS für Windows, Version 22.0 (SPSS Inc. U.S.A.). Die kontinuierlichen Variablen wurden als Mittelwerte \pm Standardabweichung und Mediane mit den Quartilen dargestellt.

Mittels des Kolmogorov-Smirnov-Tests wurden die kontinuierlichen Variablen hinsichtlich ihrer Normalverteilung überprüft, wobei diese überwiegend keine Normalverteilung aufwiesen (Kolmogorov-Smirnov-Test: $p < 0,05$).

Aus diesem Grund wurden bei den Vergleichen der Stichproben durchgehend nichtparametrische Tests für nicht normalverteilte Stichproben herangezogen.

Der Friedman-Test wurde als nichtparametrisches Verfahren zur Testung von mehr als zwei verbundenen Stichproben verwendet.

Eine zweiseitige Signifikanzüberprüfung erfolgte bei allen durchgeführten Tests, wobei für alle statistischen Tests ein p-Wert $< 0,05$ als statistisch signifikant angenommen wurde.

Die grafischen Darstellungen wurden ebenfalls mit SPSS erstellt. Zur Veranschaulichung der Mediane und Quartilsabstände wurden Boxplots verwendet. In den Boxen ist der Median und die 25. – 75. Perzentile aufgetragen und die T-Balken entsprechen dem größten und dem kleinsten Wert, sofern diese keine Ausreißer bzw. Extremwerte sind. Die Ausreißer sind dabei Werte, die zwischen $1\frac{1}{2}$ - 3 Boxlängen außerhalb der Box liegen; diese sind in den Grafiken als Kreise dargestellt. Währenddessen wurden Extremwerte mehr als 3 Boxlängen außerhalb der Box gemessen; diese sind als Kreuze aufgetragen.

Die Verläufe der Knochentiefen von anterior nach posterior und von medial nach lateral wurden in Flächendiagrammen dargestellt.

Der Methodenfehler nach Dahlberg ¹⁰ ($ME = \sqrt{\sum d^2 / 2n}$) wurde berechnet. Die Werte variierten von 0,01 bis 0,23 mm. Es wurden 20 Fälle jeweils links und rechts vermessen, so dass 40 Fälle vermessen wurden und in die Dahlberg-Formel eingingen.

Für die Dahlberg-Formel wird eine Fallzahl von 25 angestrebt.

Der Methodenfehler sollte < 1 betragen – dies war in allen Messungen ganz deutlich gegeben.

4. Ergebnisse

Die Darstellung der Vermessungsergebnisse erfolgte sowohl verbal, als auch grafisch, als auch tabellarisch. Die Tabellen sind zum größten Teil im Anhang dargestellt.

4.1 Basisdaten

4.1.1 Alter

In Abbildung 12 ist die Altersverteilung der Patienten dargestellt. Das Alter reichte von 11 bis 63 Jahren (Mittelwert: $24,8 \pm 11,3$ mm; Median: 21,86 mm).

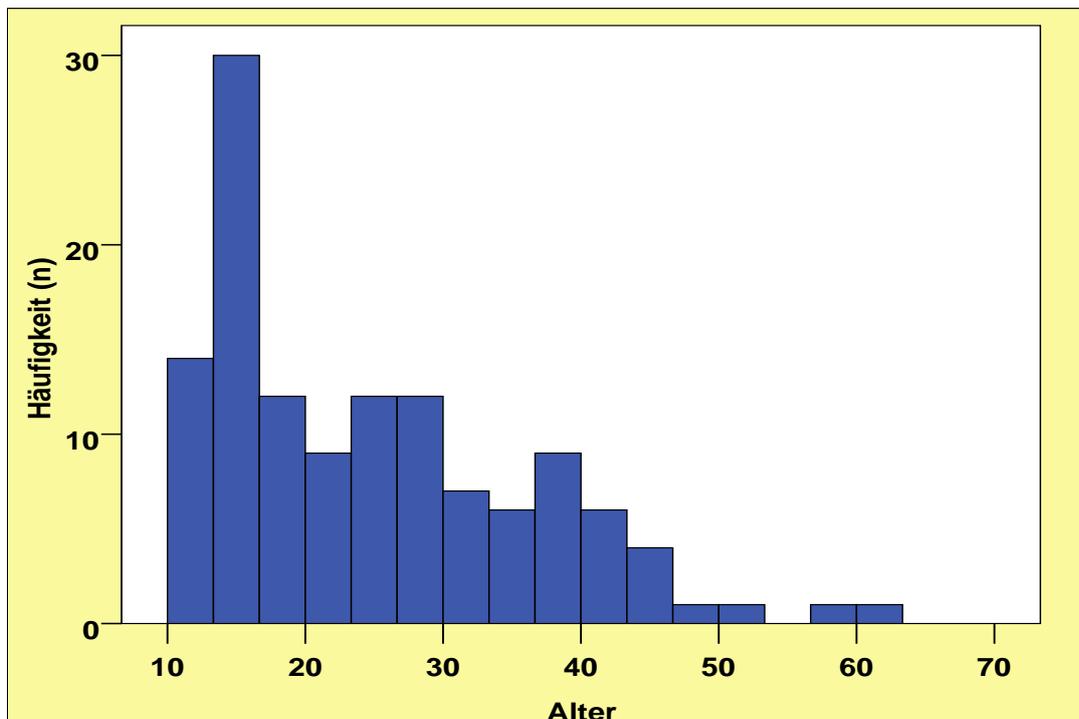


Abb. 12 : Altersverteilung in Jahren in Bezug auf die Häufigkeit (n) des Vorkommens. Es ist ein deutlicher Häufigkeitsgipfel um das 15. Lebensjahr erkennbar.

4.1.2 Geschlecht

Von 125 Patienten waren 68,8% (n= 86) weiblichen Geschlechts.

4.2 Vergleiche der Knochentiefe von anterior nach posterior

4.2.1. Gesamttiefe

4.2.1.1 Position 0

Bei Analyse der Knochentiefe von anterior nach posterior in paramedialer Messposition wurden sehr verschiedene Messgrößen dokumentiert (Abb. 13).

Die größten Messwerte lagen in Position A0 (MW:9,81± 3,24 mm; Median:2,89 mm), wobei C0 (MW:3,13 mm±1,44 mm; Median:2,89 mm) bzw. D0 (MW:3,22±1,33 mm; Median:3,10 mm) sehr geringe Messwerte aufwiesen.

Die Unterschiede waren höchst signifikant.

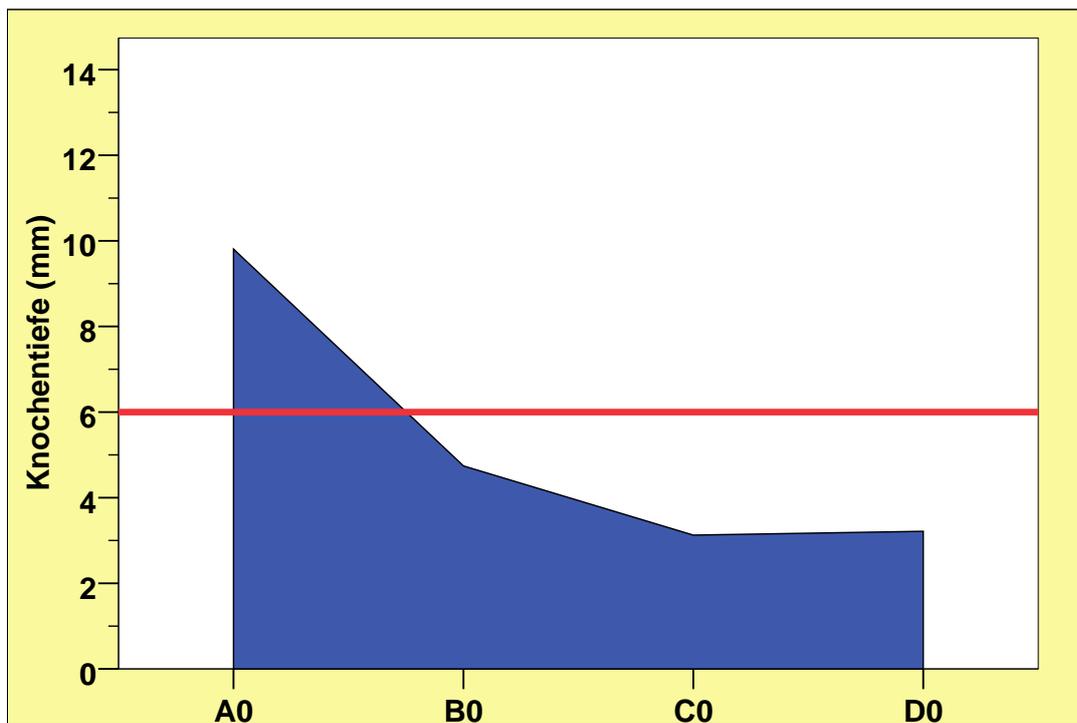


Abb. 13: Knochentiefe anteriorer bis posteriorer Messposition paramedial in mm in den Positionen A0, B0, C0 und D0. Die Waagerechte (rot) markiert die durchschnittliche Knochentiefe von 6 mm, die optimaler Weise vorhanden sein sollte für Miniimplantatinsertion. Position A0 weist die höchste Knochentiefe auf.

4.2.1.2 Position 1

Die Analyse der Knochentiefe von anterior bis posterior in Messposition 1 - also von den Zähnen 11 bis 12 bzw. von den Zähnen 21 bis 22- zeigte stark variierende Messgrößen (Abb. 14).

Sehr geringe Werte fielen in Position C1 auf (MW:2,55±1,36 mm; Median:2,39 mm), noch geringere Werte ergaben sich in Messposition D1 (MW:1,80±1,01mm;Median: 1,51 mm).

Deutlich höhere Messwerte waren in Position A1 zu erheben (MW:11,35±3,75 mm; Median:11,72 mm).

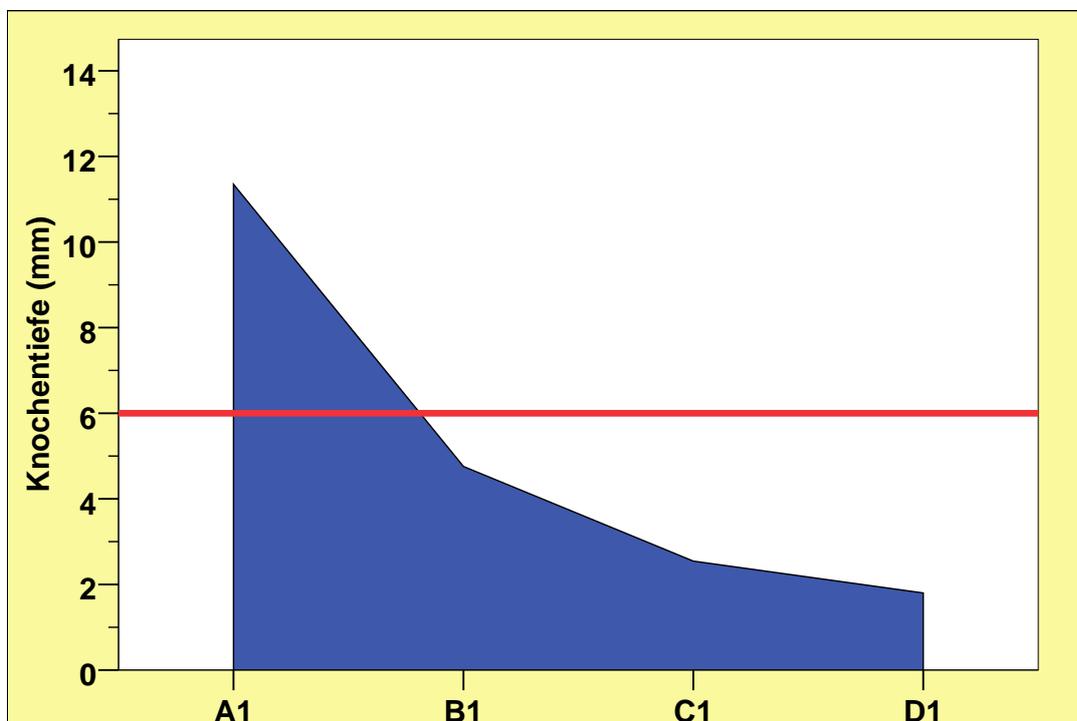


Abb. 14: Knochentiefe von anterior nach posterior in mm in den Positionen A1, B1, C1 und D1. Die höchsten Werte weist Position A1 auf (teilweise von mehr als 10 mm).

4.2.1.3 Position 2

Bei der Analyse der Messpunkte in Position 2 - also von den Zähnen 12 bis 13 bzw. von 22 bis 23 - haben sich deutliche Varianzen herausgestellt (Abb. 15).

Hierbei wies die Position A2 sehr hohe Messwerte auf (MW:13,34±3,88 mm; Median: 13,86 mm).

Wesentlich geringere Messwerte zeigten sich in Position C2 (MW:4,24±2,11 mm; Median:4,09 mm) und in Position D2 (MW:2,77±1,29 mm; Median:2,72 mm).

Deutliche Streuungen waren bei allen Messpositionen der Position 2 zu vermerken und eine hochsignifikante Abnahme der Knochentiefe von anterior nach posterior.

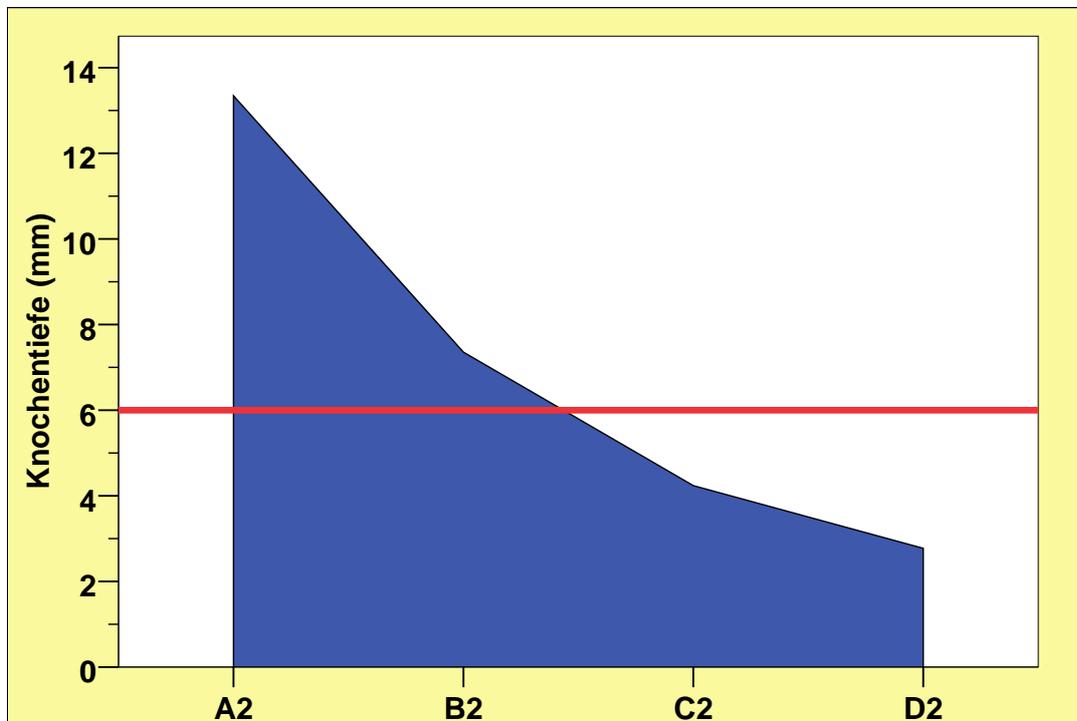


Abb. 15: Knochentiefe von anterior nach posterior in mm in den Positionen A2, B2, C2 und D2. Ein deutliches Maximum weist Position A2 auf.

4.2.2 Tiefe der Compacta

4.2.2.1 Position 0

Die größten Messwerte der Compactatiefe lagen wie bei der Gesamttiefe in Position A0 (Tabelle 5) (MW:1,46±0,71 mm; Median:1,40 mm).

Deutlich geringere Messwerte ergaben sich in Position C0 (MW:0,61±0,49mm; Median:0,58 mm) und in D0 (MW:0,66±0,57 mm; Median:0,58 mm).

Die Unterschiede waren hochsignifikant.

		A0 Compacta	B0 Compacta	C0 Compacta	D0 Compacta
N		250	250	250	250
MW±SD		1,46 ± 0,71	0,88 ± 0,76	0,61±0,49	0,66 ± 0,57
Median		1,40	0,83	0,58	0,58
Minimum		0,12	0,10	0,16	0,17
Maximum		9,11	9,07	7,42	5,78
Perzentile	25	1,16	0,66	0,41	0,41
	50	1,40	0,83	0,58	0,58
	75	1,65	0,99	0,74	0,74

Tabelle 5: Tiefe der Compacta anterior bis posterior in mm in den Messpositionen A0, B0, C0 und D0 (paramedial)

4.2.2.2 Position 1

Bei Analyse der Compactatiefe in Position 1 (Tabelle 6) lag der höchste gemessene Wert in A1 (MW:1,59±0,97 mm; Median:1,49 mm) und der geringste Wert in D1 (MW: 0,41±0,62 mm; Median:0,33 mm); die Werte von B1 und C1 lagen zwischen den Werten von A1 und D1.

Es war eine hochsignifikante Abnahme der Compactatiefe von anterior nach posterior zu verzeichnen.

		A1 Compacta	B1 Compacta	C1 Compacta	D1 Compacta
N		250	250	250	250
MW±SD		1,59 ± 0,97	0,8 ± 0,32	0,54±0,54	0,41±0,62
Median		1,49	0,78	0,5	0,33
Minimum		0,41	0,17	0,16	0,04
Maximum		11,41	1,73	7,42	9,32
Perzentile	25	1,24	0,58	0,33	0,25
	50	1,49	0,75	0,50	0,33
	75	1,74	0,99	0,66	0,45

Tabelle 6: Tiefe der Compacta anterior bis posterior in mm in den Messpositionen A1, B1, C1 und D1

4.2.2.3 Position 2

Es ergaben sich deutliche Varianzen bei der Analyse der Compactatiefe in Position 2 (Tabelle 7).

Position A2 wies noch sehr hohe Messwerte auf (MW:1,66±0,46 mm; Median:1,65 mm). Die Messwerte nahmen von B2 über C2 zu D2 immer weiter ab; in Position B2 war noch eine hohe Compactatiefe zu erkennen (MW:1,21±0,78 mm; Median:1,08 mm), die Messwerte in D2 waren nur noch sehr gering (MW:0,53±0,59 mm; Median: 0,41mm).

Die Unterschiede waren hochsignifikant.

	A2 Compacta	B2 Compacta	C2 Compacta	D2 Compacta
N	250	250	250	249
MW±SD	1,66 ± 0,46	1,21 ± 0,78	0,77 ± 0,68	0,53 ± 0,59
Median	1,65	1,08	0,68	0,41
Minimum	0,50	0,25	0,08	0,14
Maximum	2,89	7,42	5,83	8,25
Perzentile				
25	1,32	0,83	0,48	0,33
50	1,65	1,08	0,68	0,41
75	1,90	1,40	0,99	0,58

Tabelle 7: Tiefe der Compacta anterior bis posterior in mm in den Messpositionen A2, B2, C2 und D2.

4.3 Vergleiche der Knochentiefe von medial nach lateral

4.3.1. Gesamttiefe

4.3.1.1 A-Linie

Die Abbildungen 16 und 17 veranschaulichen die Knochentiefe von medial nach lateral im Bereich der Positionen A2, A1 und A0.

Der größte Messwert war im Bereich der Position A2 zu verzeichnen (MW:13,34±3,88 mm; Median:13,86 mm), während die niedrigsten Werte in Position A0 (MW:9,81±3,24 mm; Median:9,74 mm) lag. Die Messungen in Position A1 lagen zwischen den Werten von A2 und A0 (MW:11,35±3,75 mm; Median:11,72 mm).

Die Unterschiede waren höchst signifikant.

In Position A2, also lateral, war ca. 30% mehr Knochentiefe vorhanden als in den medialen Positionen.

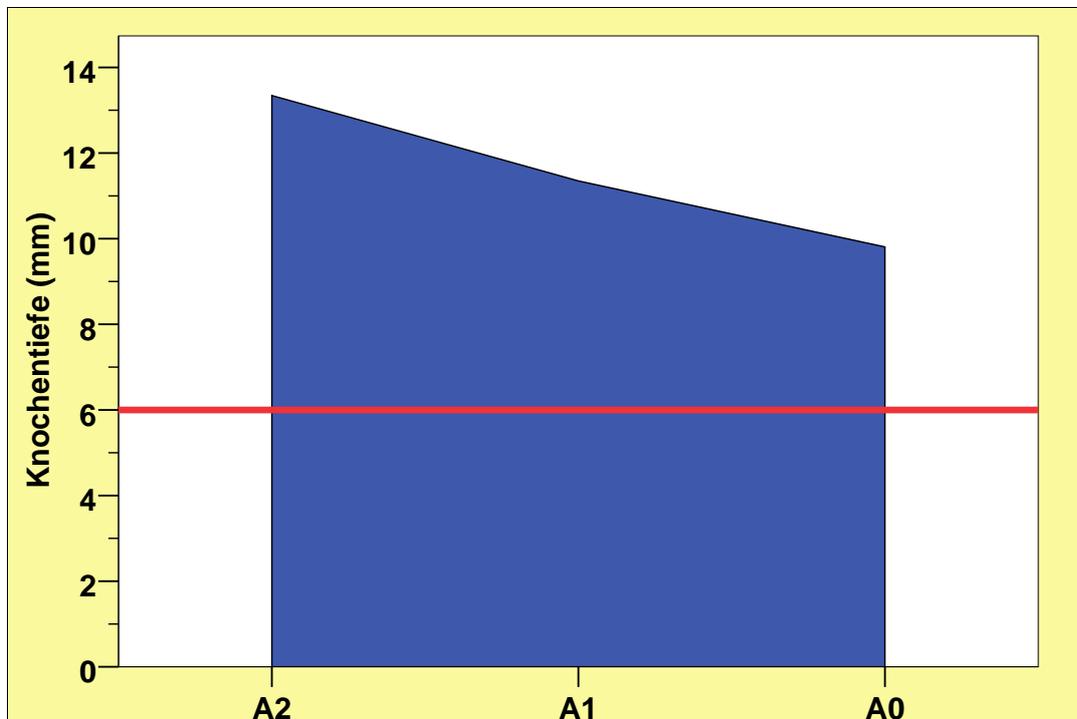


Abb.16: Knochentiefe von medial nach lateral in mm in den Positionen A2, A1 und A0 als Flächen-darstellung. In allen gemessenen Positionen liegen die Werte über der durchschnittlichen Knochentiefe von 6 mm (rote Linie). Position A2 weist die höchsten Werte auf.

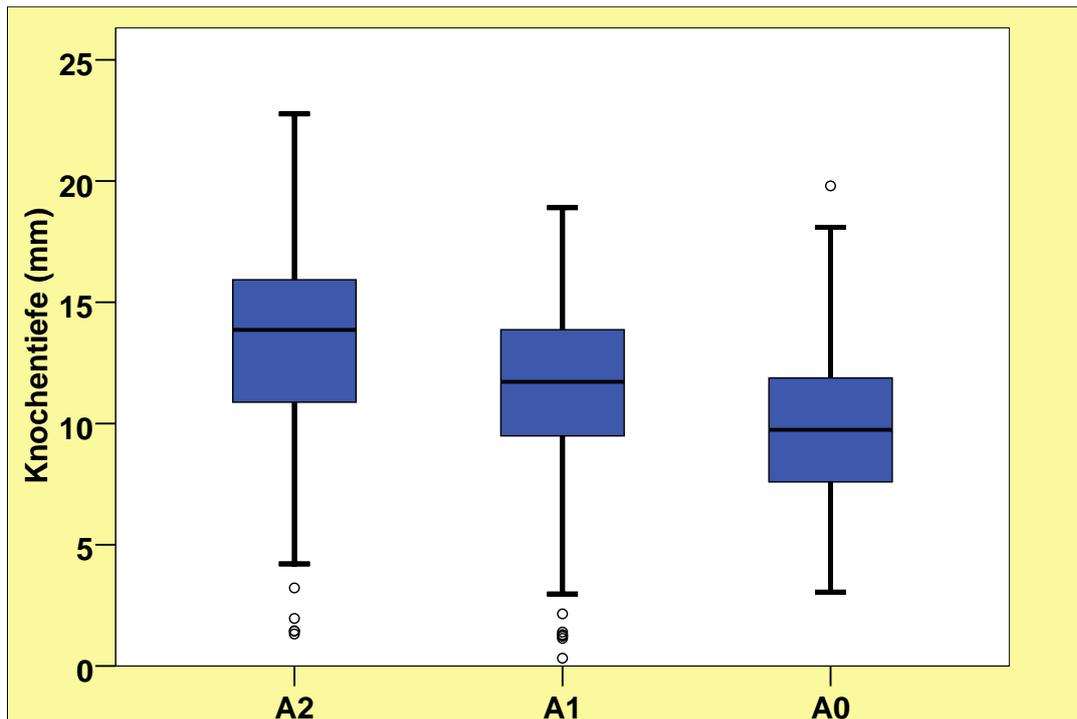


Abb.17: Knochtiefe von medial nach lateral in den Positionen A2, A1 und A0 als Boxplot-Darstellung. Der Querstrich in den Boxen markiert den Median. Der obere Längsstrich markiert die größten gemessenen Werte (in Position A2); der untere Längsstrich markiert die kleinsten gemessenen Werte (in Position A0). Die Punkte definieren die Ausreißer, sowohl nach oben als auch nach unten. Die Position A0 weist die wenigsten Ausreißer auf.

4.3.1.2 B-Linie

Die Abbildungen 18 und 19 veranschaulichen die Knochtiefe von medial nach lateral im Bereich der Position B2, B1 und B0.

Eine noch relativ große Knochtiefe zeigte die Position B2 (MW:7,36±3,48 mm; Median:6,65mm). Im Bereich der Position B1 nahm diese Knochtiefe ab (MW: 4,74±2,37 mm; Median:4,50 mm). Die Knochtiefe wies in Position B0 annähernd identische Werte auf (MW:4,74 ±1,90 mm; Median:4,62 mm).

Es lag höchste Signifikanz vor.

Die Knochtiefe lag in Position B2, also lateral, noch über 6 mm lag und ist dann weiter nach medial deutlich unter 6 mm abgesunken.

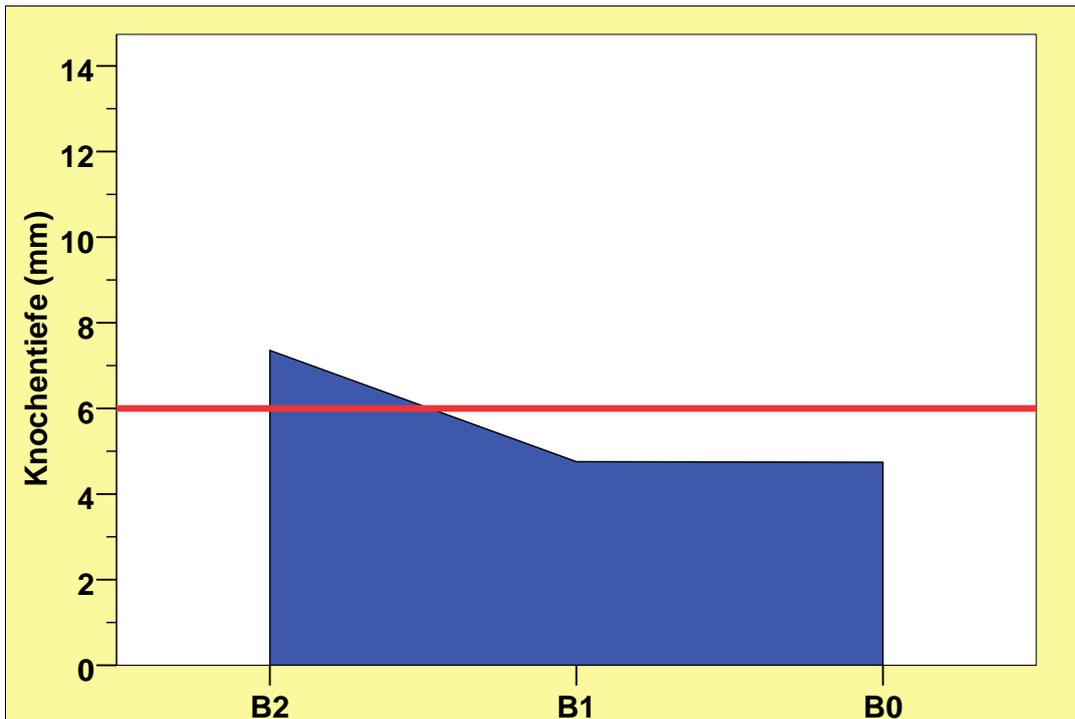


Abb. 18: Knochentiefe von medial nach lateral in den Positionen B2, B1 und B0 in mm als Flächendarstellung. Die höchste Knochentiefe liegt in Position B2 mit über 6 mm.

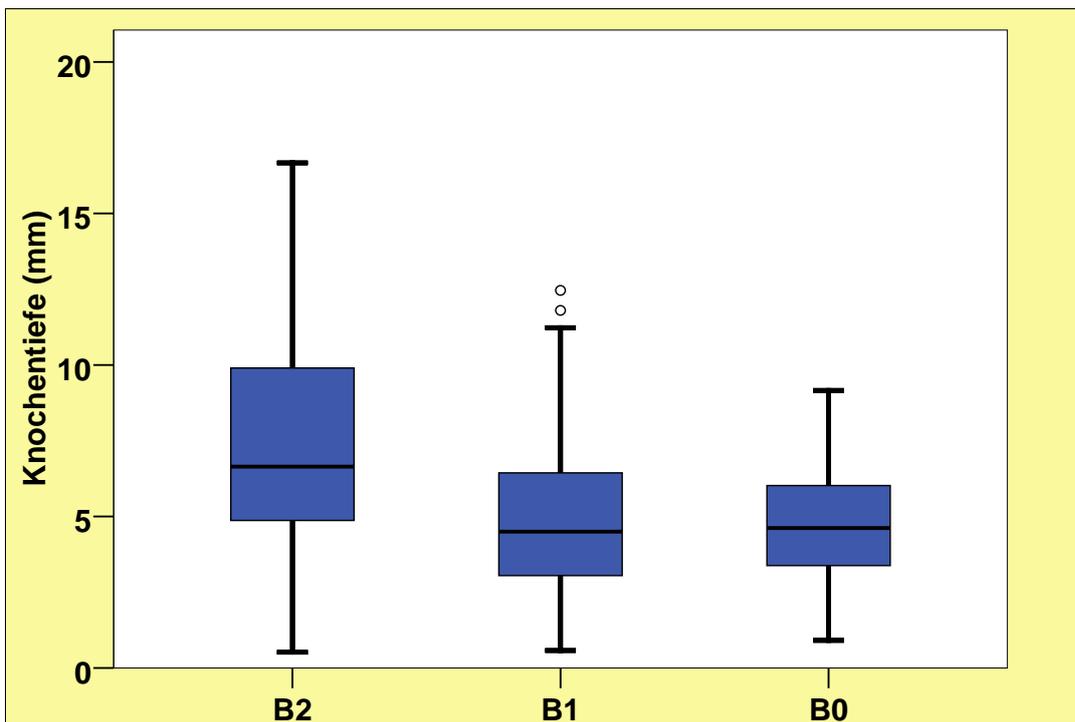


Abb. 19: Knochentiefe von medial nach lateral in B2, B1 und B0 in mm als Box-Plot-Darstellung. Lediglich in der Position B1 sind Ausreißer nach oben hin zu erkennen. Die größte Knochentiefe ist in Position B2 zu erkennen.

4.3.1.3 C-Linie

In den Abbildungen 20 und 21 ist die Knochentiefe von medial nach lateral im Bereich C2, C1, C0 dargestellt.

Die Messpositionen zeigten nur noch ein sehr geringes Knochenangebot, wobei in Position C2 noch das größte Knochenangebot vorhanden war (MW:4,24±2,11 mm; Median:4,09 mm), dann in C1 gesunken ist (MW:2,55±1,36 mm; Median:2,39 mm) und anschließend in C0 wieder etwas angestiegen ist (MW:3,13±1,44 mm; Median: 2,89 mm).

Die Unterschiede waren höchst signifikant.

Somit war bei insgesamt geringer Knochentiefe im Bereich C2, C1, C0 die größte Knochentiefe in Messposition C2, also lateral, vorzufinden, wobei die Messposition C0 annähernd gleiche Messwerte ergab.

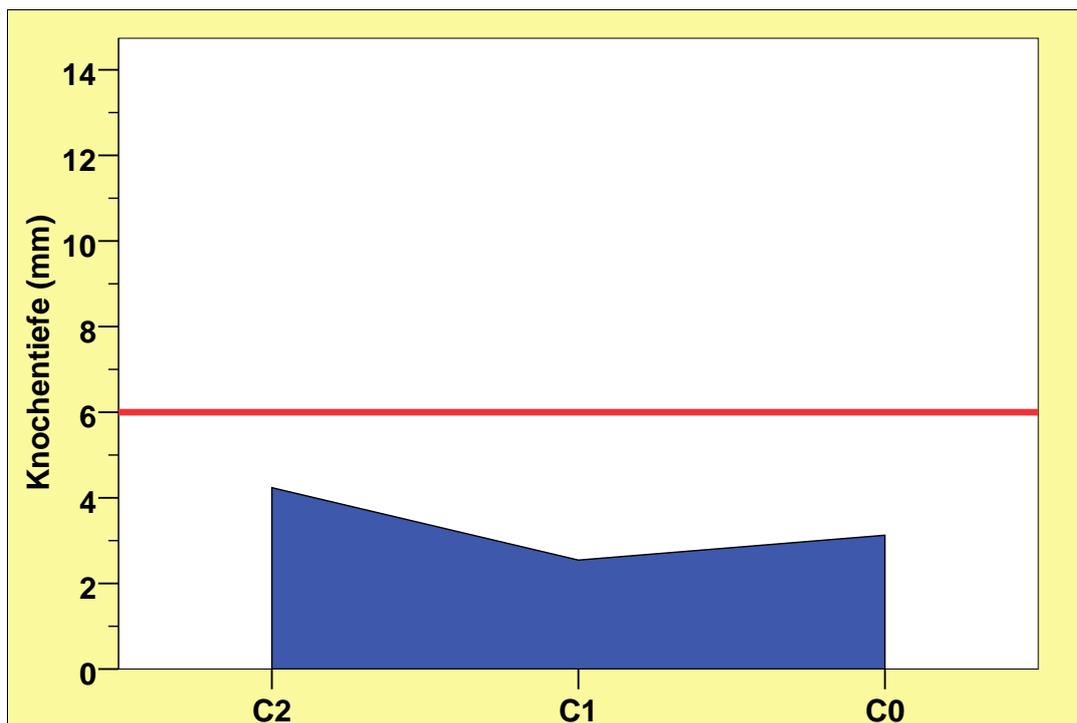


Abb. 20: Knochentiefe von medial nach lateral in mm in den Positionen C2, C1 und C0 als Flächendarstellung. Die höchste Knochentiefe liegt in Position C2 und die geringste in Position C1. Die Knochentiefe liegt jedoch insgesamt deutlich unter der durchschnittlichen Knochentiefe von 6 mm für optimale Insertionsstellen.

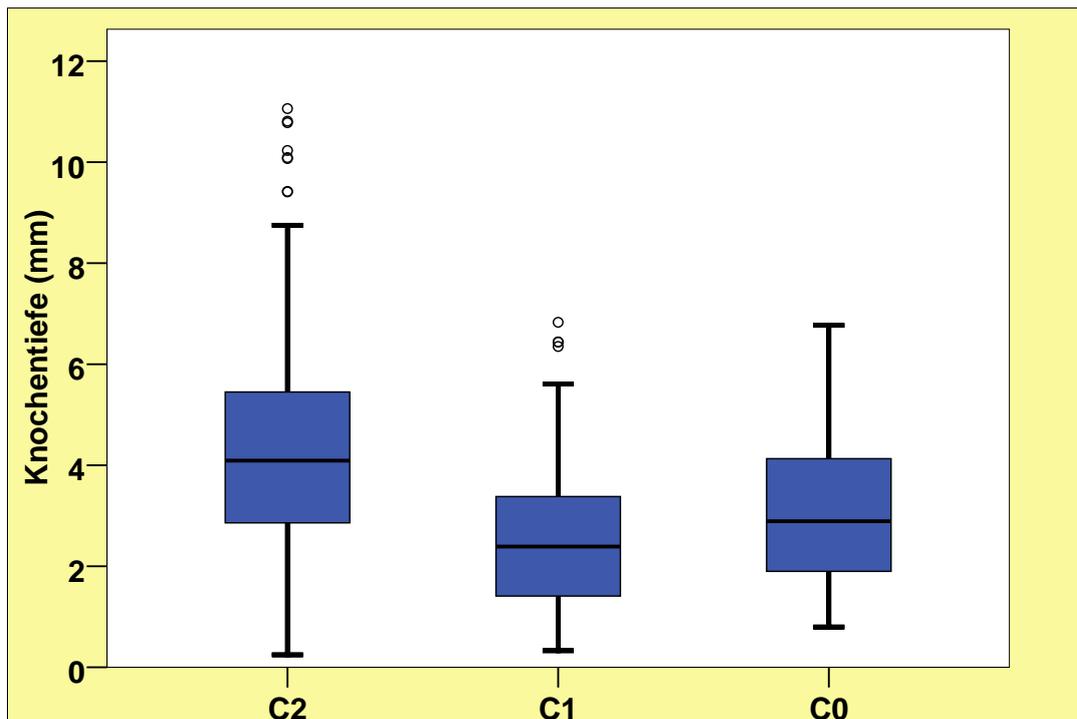


Abb. 21: Knochtiefe von medial nach lateral in den Positionen C2, C1 und C0 als Box-Plot-Darstellung. Ausreißer nach oben hin sind in den Positionen C2 und C1 zu erkennen.

4.3.1.4 D-Linie

Der Verlauf der Knochtiefe von medial nach lateral in D2, D1, D0 zeigten sehr geringe Knochtiefen (Abb. 22; 23), wobei D0 noch die höchsten Werte aufwies (MW:3,22±1,33 mm; Median:3,10 mm). In Messposition D2 war die Knochtiefe etwas geringer (MW:2,77±1,29 mm; Median:2,72 mm).

Die Messungen in Position D1 (MW:1,80±1,01 mm; Median:1,51 mm) lagen zwischen den Werten von D2 und D0.

Es ließ sich höchste statistische Signifikanz berechnen.

Bei insgesamt sehr geringem Knochenangebot von medial nach lateral in D0, D1, D2 lag das größte Knochenangebot in Position D0, also medial.

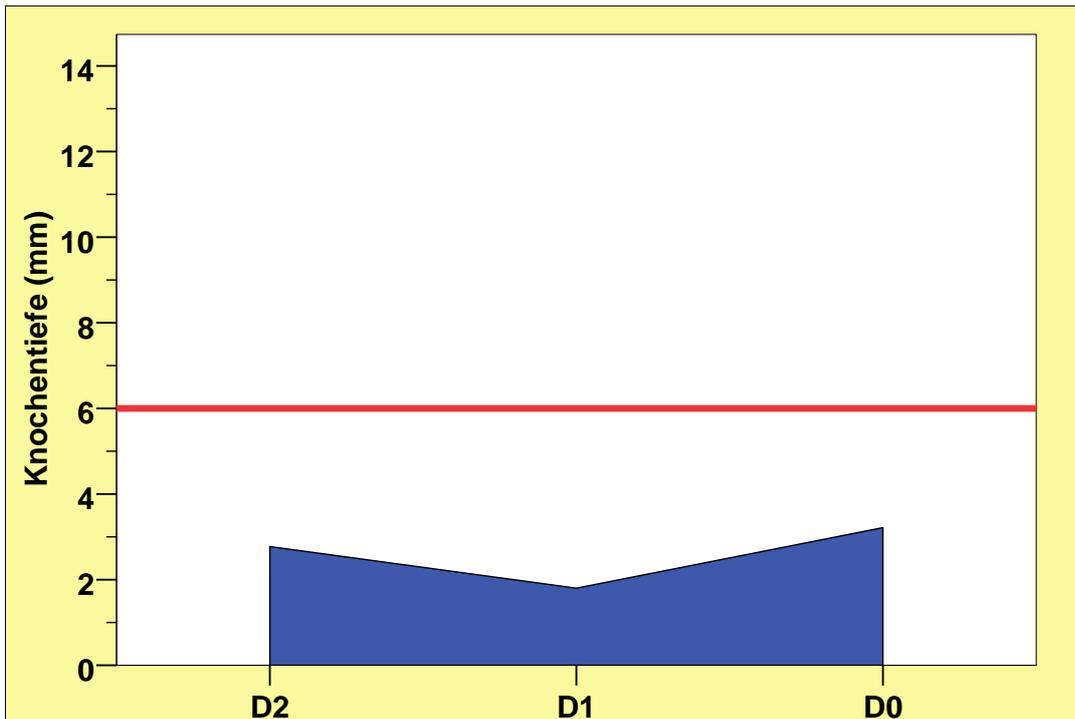


Abb. 22: Knochtiefe von medial nach lateral in D2, D1 und D0 in mm als Flächendarstellung. Insgesamt liegt die Knochtiefe deutlich unter der durchschnittlichen Knochtiefe von 6 mm.

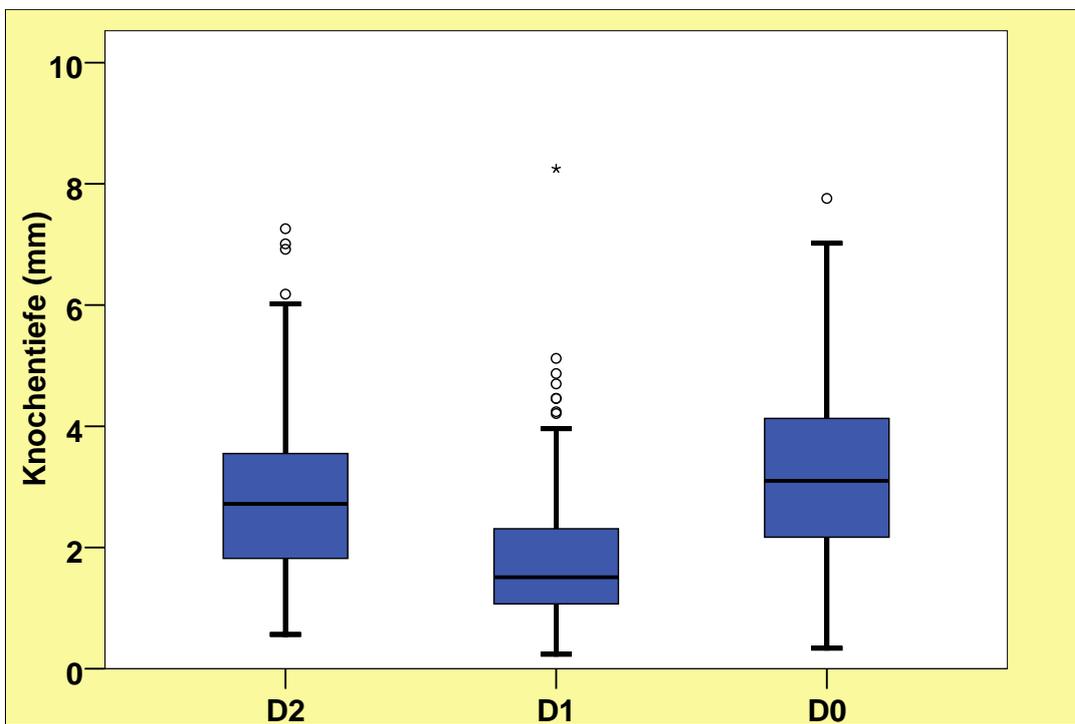


Abb. 23: Knochtiefe von medial nach lateral in den Positionen D2, D1 und D0 in mm als Boxplot-Darstellung. Alle Positionen zeigen Ausreißer nach oben hin, wobei Position D1 die meisten Ausreißer aufweist.

4.3.2 Tiefe der Compacta

4.3.2.1 A-Linie

Die Abbildungen 24, 25 und 26 beschreiben die Tiefe der Compacta in den Positionen A2, A1 und A0.

Die am häufigsten gemessenen Werte in dieser Position lagen zwischen 1,8 mm und 2,0 mm (MW:1,66±0,45 mm; Median:1,65 mm). Im Gegensatz dazu ließen sich in der Messposition A1 vereinzelt höhere Werte zwischen 7 mm und 12 mm feststellen, wobei die am häufigsten gemessenen Werte zwischen 1 mm und 2 mm lagen (MW:1,59±0,97 mm; Median:1,49 mm). Auch in Position A0 ließen sich vereinzelt höhere Werte messen; sie lagen zwischen 6 mm und 9 mm. Wie auch in Position A1 lagen auch in Position A0 die am häufigsten gemessenen Werte zwischen 1 mm und 2 mm (MW:1,46±0,71 mm; Median:1,40 mm).

In den Messpositionen A2, A1 und A0 lagen die am häufigsten gemessenen Werte zwischen 1 mm und 2 mm lagen, wobei sich in A1 und A0 noch vereinzelt sehr viel höhere Werte herausstellten.

Der höchste Wert war in Position A1 vorzufinden, er lag bei 11,41 mm.

Beim Vergleich der Compactatiefe in den Positionen A2, A1 und A0 ließ sich allenfalls eine diskret stärkere Compacta in Position A2 nachweisen, wobei diesbezüglich eine statistische Signifikanz nachweisbar war.

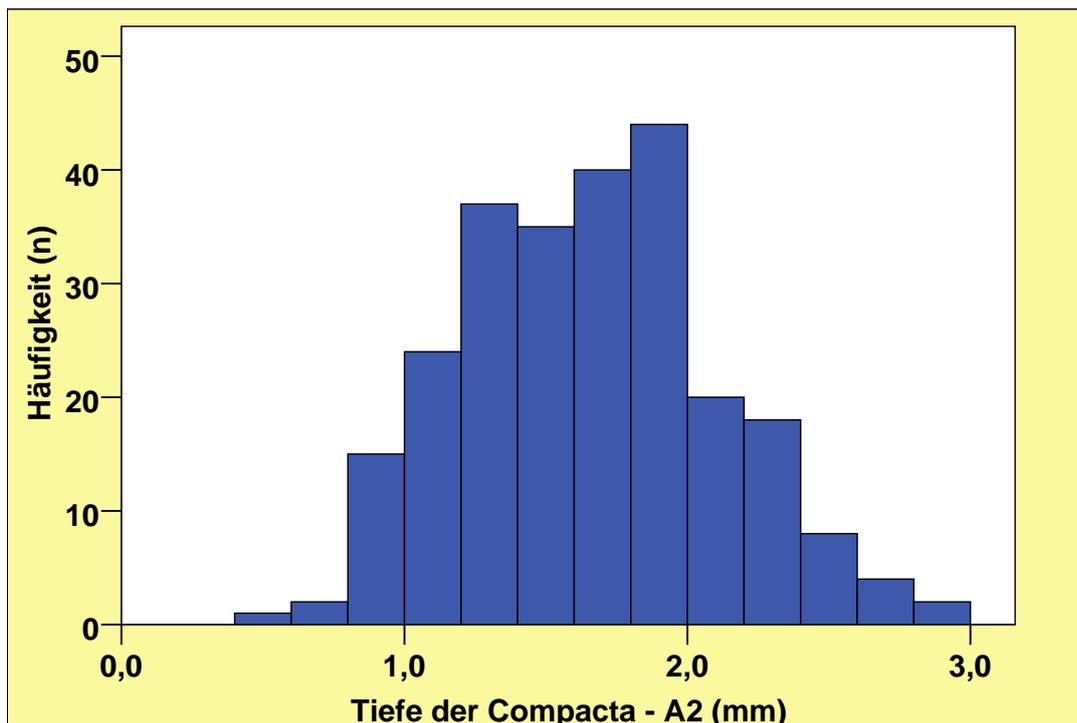


Abb. 24: Tiefe der Compacta von medial nach lateral in mm am Messpunkt A2 in Bezug auf die Häufigkeit (n) ihres Vorkommens. Die am häufigsten gemessenen Werte liegen zwischen 1,8 mm und 2,0 mm. Die Messwerte gehen nicht über 3,0 mm hinaus.

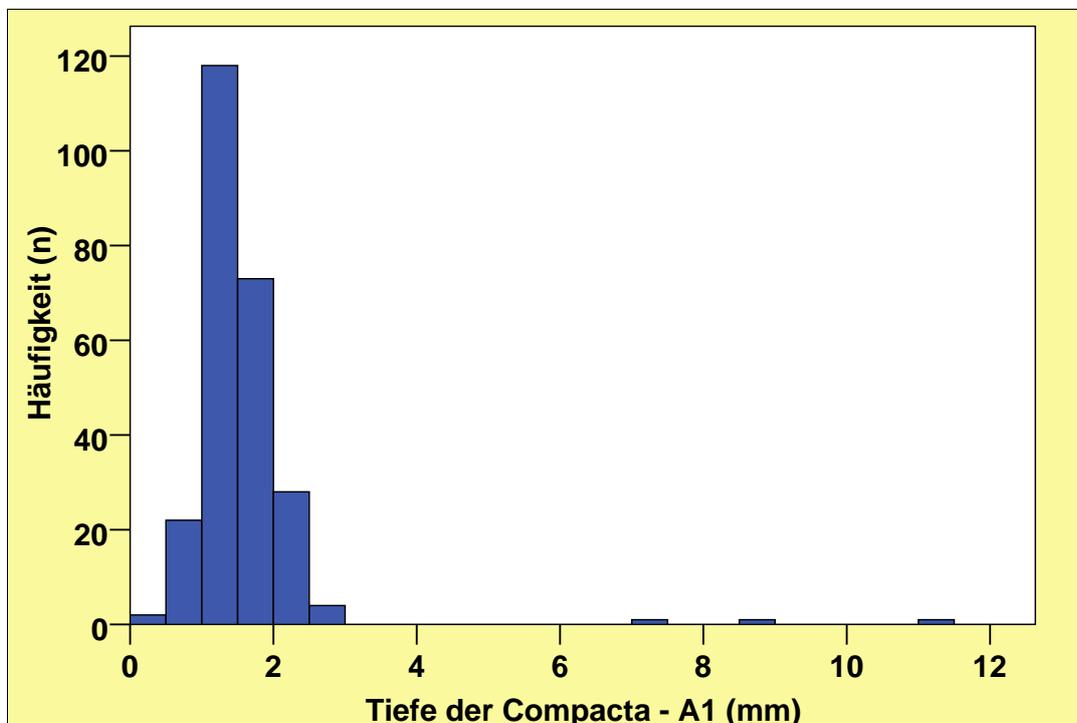


Abb. 25: Tiefe der Compacta von medial nach lateral am Messpunkt A1 in mm in Bezug auf die Häufigkeit (n) ihres Vorkommens. Die am häufigsten gemessenen Werte liegen zwischen 1 mm und 2 mm. Vereinzelte Werte bewegen sich zwischen 7 mm und 12 mm.

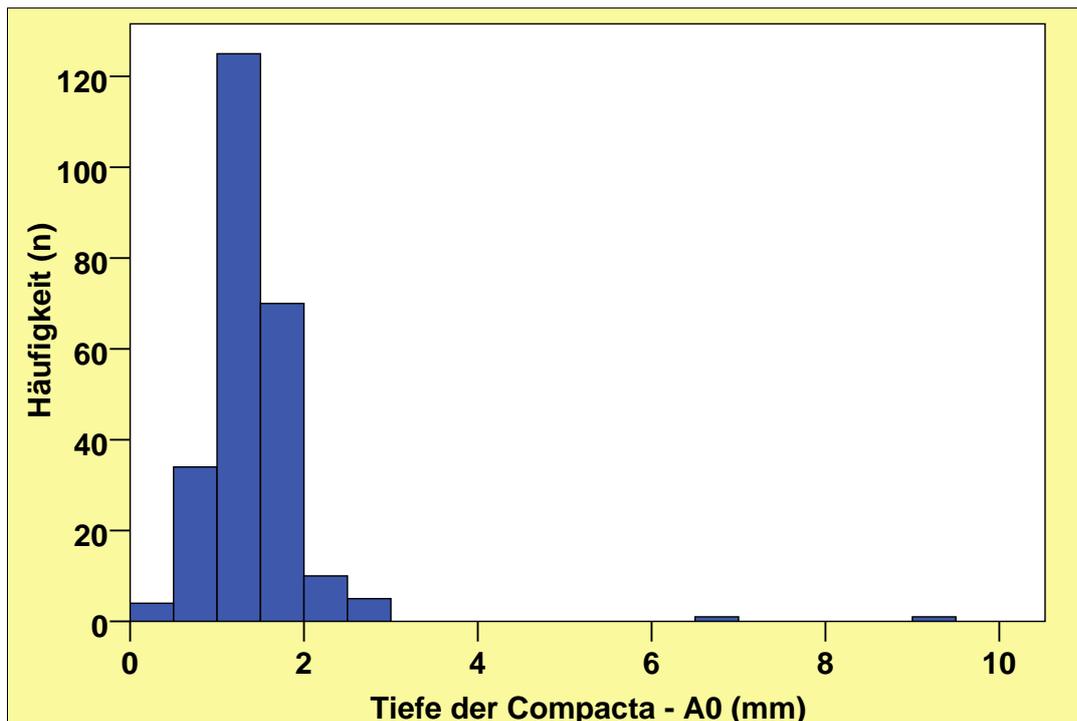


Abb. 26: Tiefe der Compacta von medial nach lateral am Messpunkt A0 in mm in Bezug auf die Häufigkeit (n) ihres Vorkommens. Eine Häufigkeit der gemessenen Werte ist zwischen 1 mm und 2 mm erkennbar. Vereinzelt liegen Werte zwischen 6 mm und 9 mm.

4.3.2.2 B-Linie

Die Tiefe der Compacta in den Positionen B2, B1 und B0 ist in den Abbildungen 27, 28 und 29 dargestellt.

Die Position B2 zeigte einen deutlichen Häufigkeitsgipfel zwischen 0,5 mm und 1 mm (MW:1,21±0,78 mm; Median:1,08 mm).

In Position B1 lagen die am häufigsten gemessenen Werte zwischen 0,4 mm und 1,2 mm (MW:0,8±0,31 mm) und in Position B0 lagen die Werte zwischen 0,5 mm und 1 mm (MW:0,88±0,76 mm).

Bei Vergleich der Compactatiefe in den verschiedenen Messpositionen wurden die größten Werte in Position B2 und sehr ähnliche in B1 und B0 nachgewiesen, wobei hierfür eine statistische Signifikanz erhoben wurde.

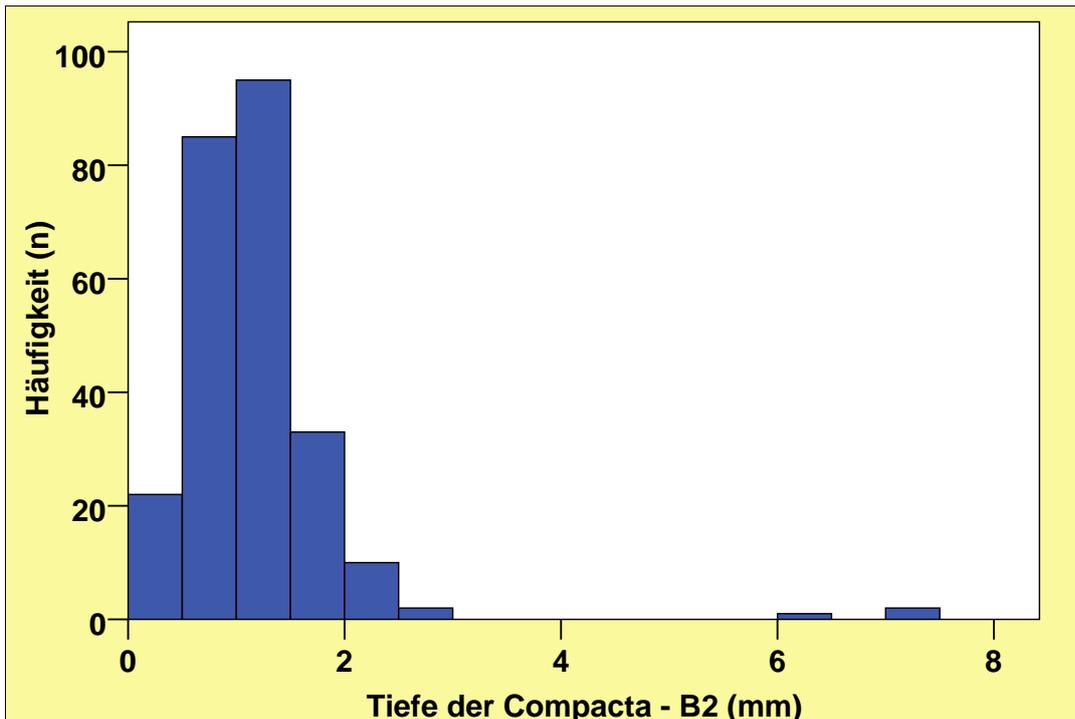


Abb. 27: Tiefe der Compacta von medial nach lateral am Messpunkt B2 in mm in Bezug auf die Häufigkeit (n) ihres Vorkommens. Die am häufigsten gemessenen Werte liegen zwischen 0,5 mm und 1 mm. Zwischen 6 mm und 8 mm sind nur noch vereinzelte Werte zu erkennen.

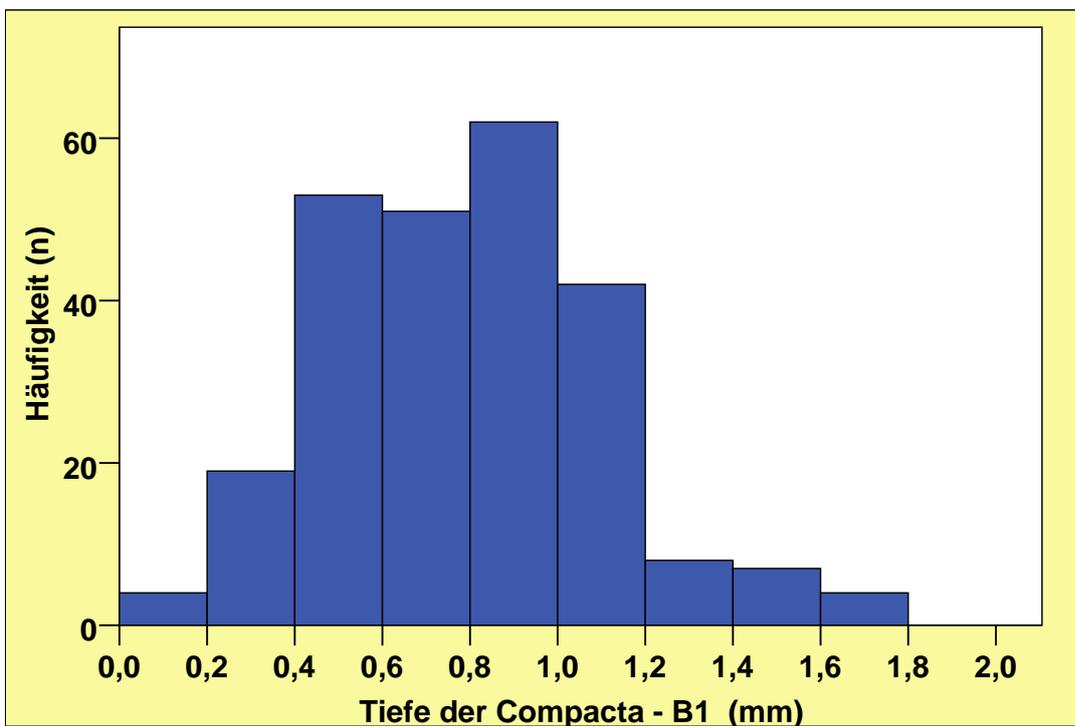


Abb. 28: Tiefe der Compacta von medial nach lateral am Messpunkt B1 in mm in Bezug auf die Häufigkeit (n) ihres Vorkommens. Zwischen 0,4 mm und 1,2 mm liegen die am häufigsten gemessenen Werte.

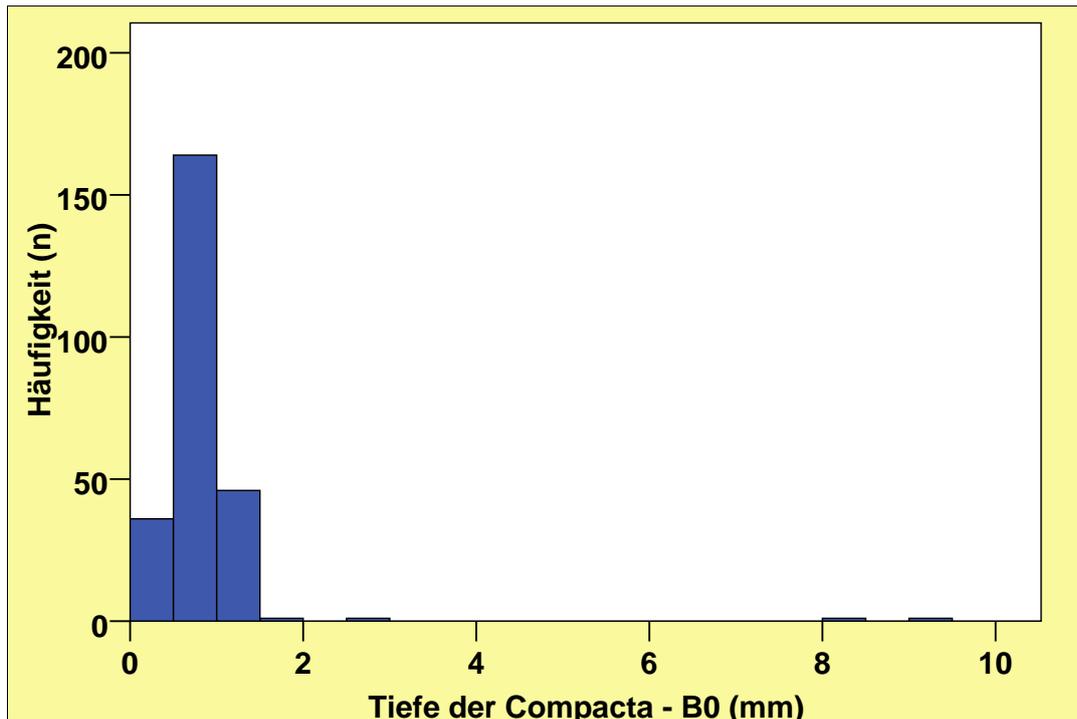


Abb. 29: Tiefe der Compacta von medial nach lateral am Messpunkt B0 in Bezug auf die Häufigkeit (n) ihres Vorkommens. Zwischen 0,5 mm und 1 mm liegen die am häufigsten gemessenen Werte.

4.3.2.3 C-Linie

Den Abbildungen 30, 31 und 32 ist die Tiefe der Compacta in den Positionen C2, C1 und C0 zu entnehmen.

In Messposition C2 bewegten sich die meisten Werte zwischen 0,5 mm und 1 mm, wobei auch viele Werte in dieser Position unter 0,5 mm lagen (MW:0,77±0,51 mm; Median:0,68 mm).

In Position C1 verhielt es sich sehr ähnlich, wobei die am häufigsten vorkommenden Werte unter 0,5 mm lagen (MW:0,54±0,54 mm; Median:0,5 mm).

Die erhobenen Werte in C0 verzeichneten einen Häufigkeitsgipfel zwischen 0,5 mm und 1 mm, aber auch Werte unter 0,5 mm waren sehr häufig vertreten (MW:0,61 mm ±0,49 mm; Median:0,58 mm).

In allen drei Positionen waren sehr vereinzelt höhere Werte zu erkennen, die über 5 mm gingen.

Deutlich viele Messwerte lagen in allen drei Positionen unter 1 mm. Der höchste Wert lag in Position C1 und C2 lag mit 7,42 mm.

Auch in Position C wurden die größten Compactatiefen bei C2 gemessen – diesbezüglich konnte eine statistische Signifikanz ermittelt werden.

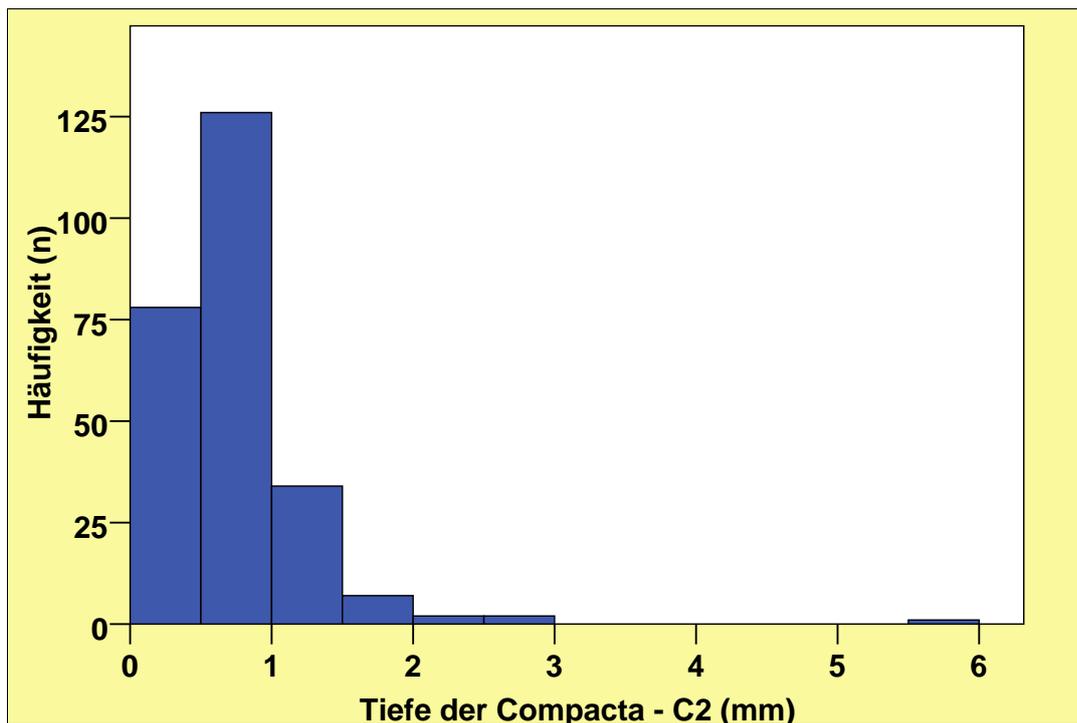


Abb. 30: Tiefe der Compacta von medial nach lateral in mm am Messpunkt C2 in Bezug auf die Häufigkeit (n) ihres Vorkommens. Die am häufigsten gemessenen Werte liegen zwischen 0,5 mm und 1 mm, gefolgt von Werten unter 0,5 mm.

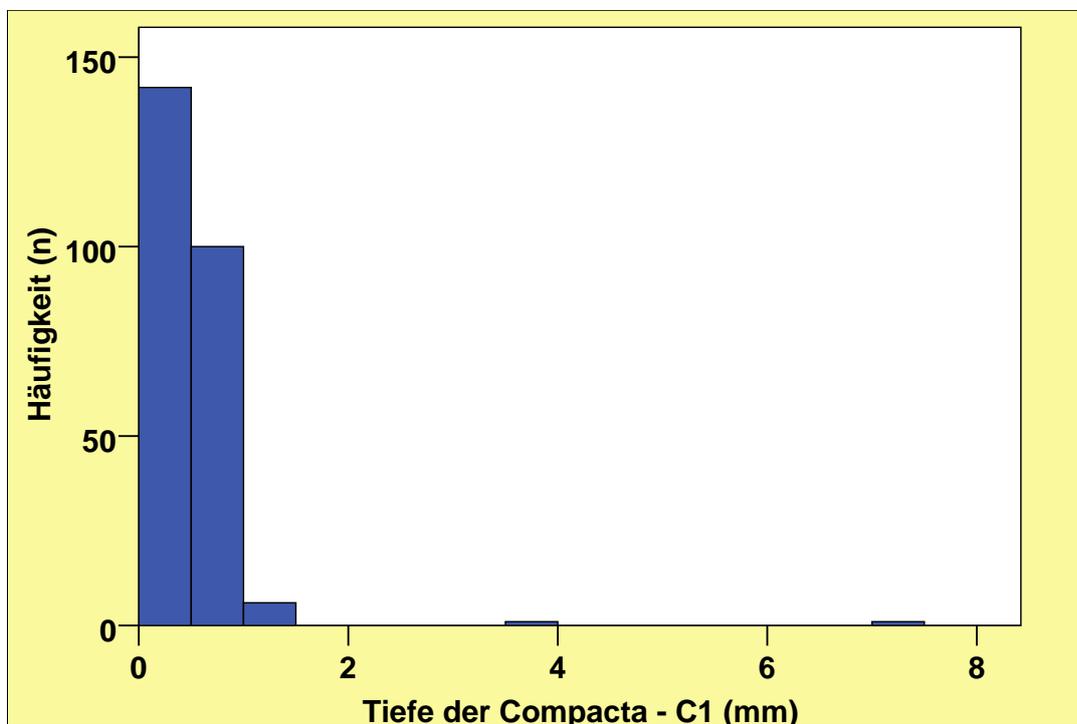


Abb. 31: Tiefe der Compacta von medial nach lateral in mm am Messpunkt C1 in Bezug auf die Häufigkeit (n) Ihres Vorkommens. Die am häufigsten gemessenen Werte liegen unter 0,5 mm.

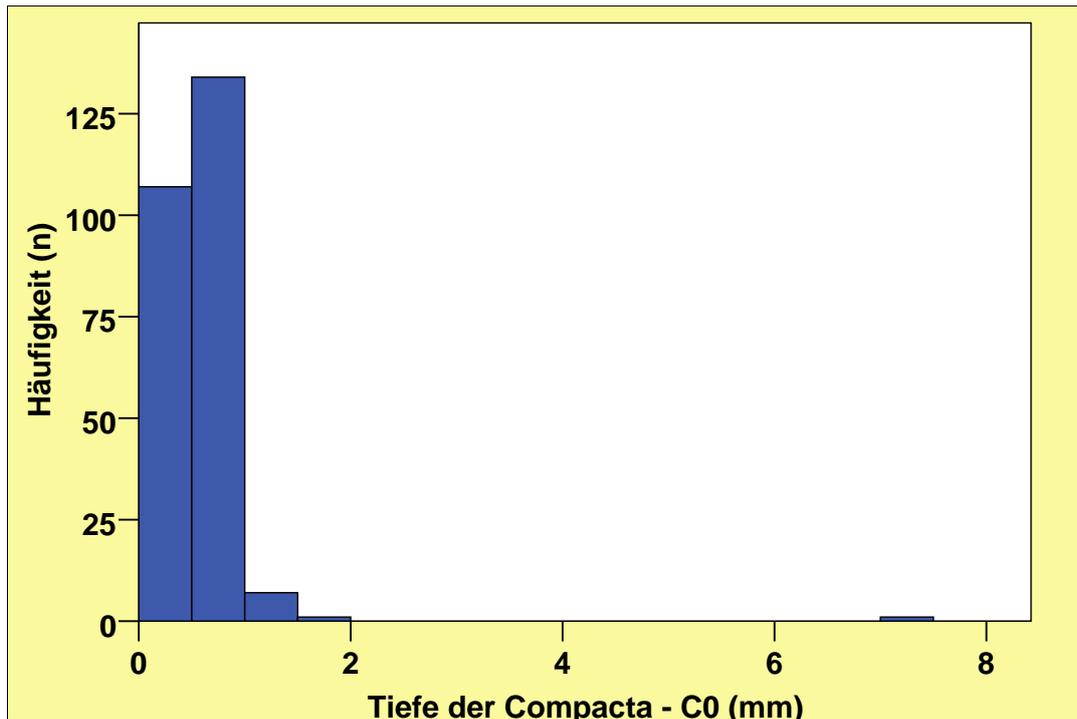


Abb. 32: Tiefe der Compacta am Messpunkt C0. Die am häufigsten gemessenen Werte liegen zwischen 0,5 mm und 1 mm. Auch Werte unter 0,5 mm kommen häufig vor.

4.3.4.2 D-Linie

Die grafischen Darstellungen der Compactatiefe in den Positionen D2, D1 und D0 zeigen die Abbildungen 33, 34 und 35.

Zwischen 0,14 mm und 0,5 mm lag der Häufigkeitsgipfel der gemessenen Werte in Position D2 (MW:0,53 mm±0,59 mm; Median:0,41 mm).

Auch in Position D1 sind die häufigsten Werte sehr niedrig, sie lagen zwischen 0,04 mm und 0,5 mm (MW:0,41±0,62 mm; Median:0,33 mm).

In Position D0 verhielt es sich etwas anders, denn hier gingen die meisten Werte bis zu einer Tiefe von 1 mm (MW:0,66±0,57 mm; Median:0,58 mm).

Somit lagen die meisten Messwerte in den Positionen D2, D1 und D0 in sehr niedrigen Bereichen, wobei in Position D0 noch viele Werte zwischen 0,5 mm und 1 mm lagen, in Position D2 und D1 gingen nur noch wenige Werte über 0,5 mm hinaus. Der höchste Wert lag in D1 mit 9,32 mm. Im statistischen Vergleich wurde für die Positionen höchste Signifikanz berechnet.

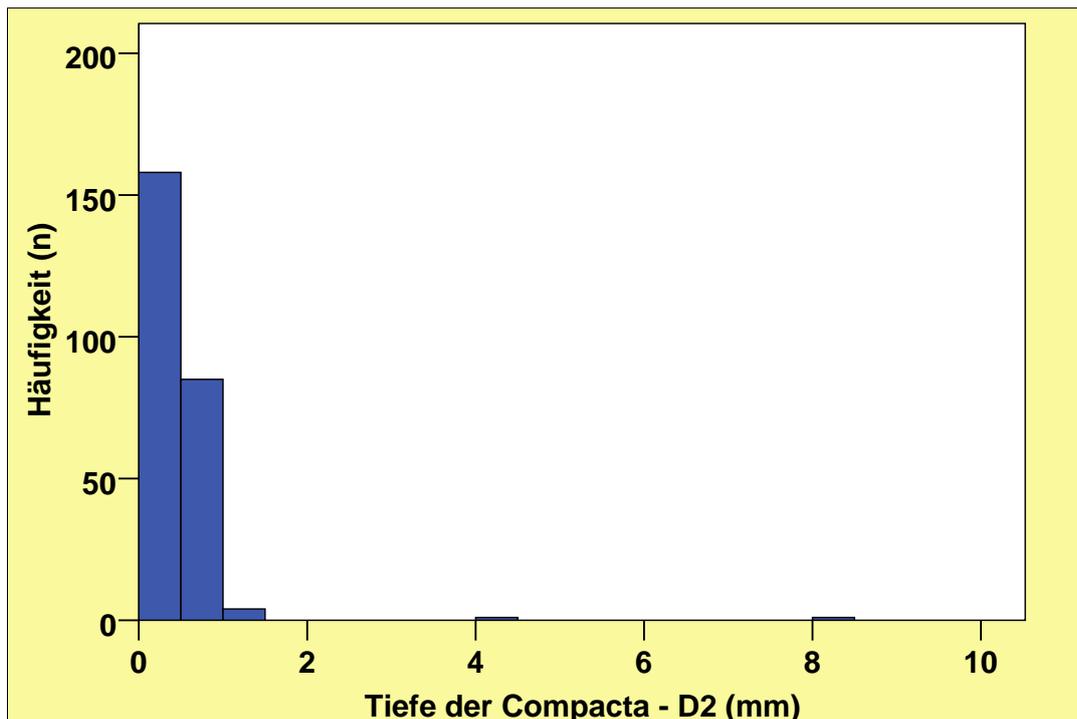


Abb. 33: Tiefe der Compacta von medial nach lateral am Messpunkt D2 in Bezug auf die Häufigkeit (n) ihres Vorkommens am Messpunkt D2. Die am häufigsten gemessenen Werte liegen bei bis zu 0,5 mm.

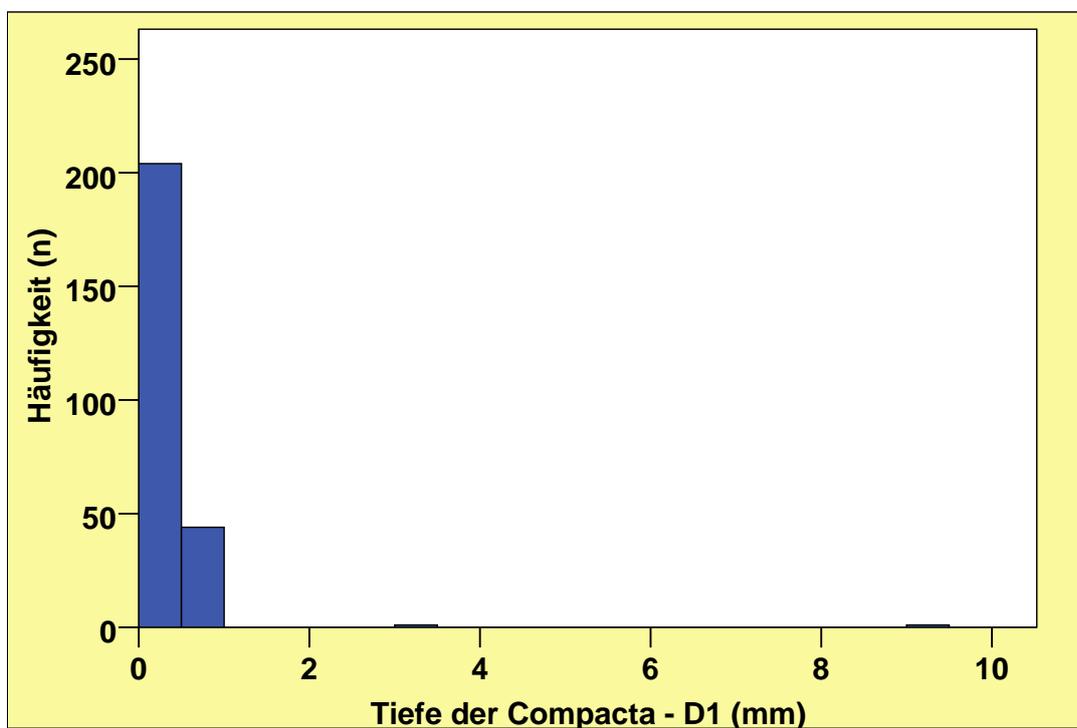


Abb. 34: Tiefe der Compacta am Messpunkt D1 in mm in Bezug auf die Häufigkeit (n) ihres Vorkommens. Die am häufigsten gemessenen Werte liegen bei bis zu 0,5 mm.

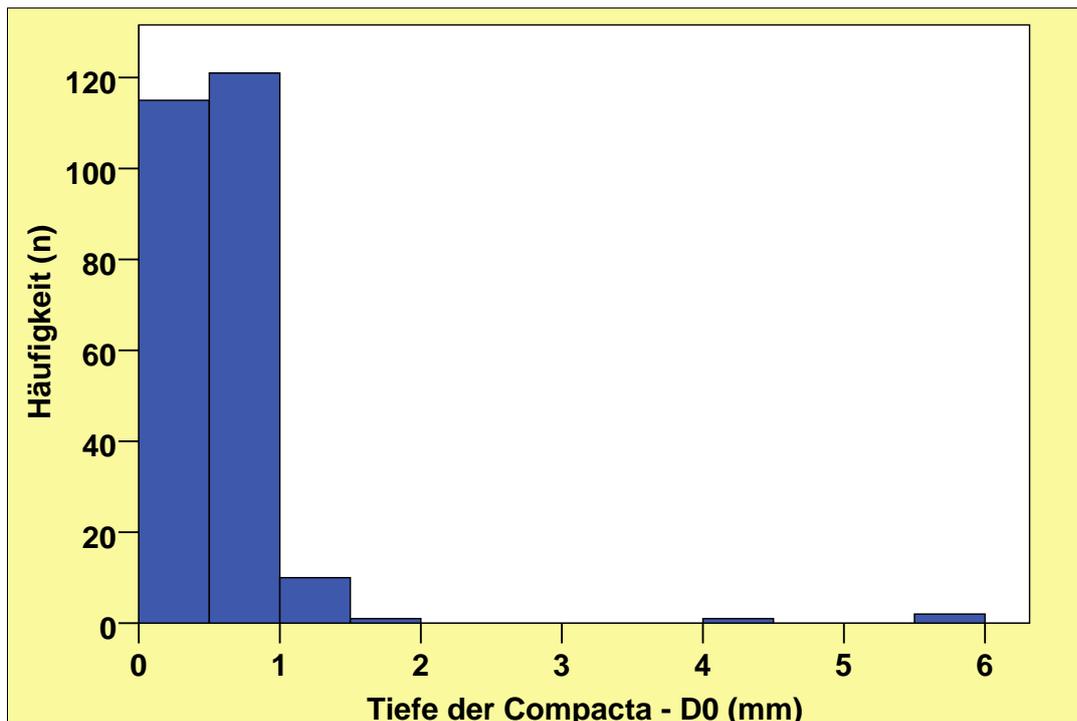


Abb. 35: Tiefe der Compacta von medial nach lateral am Messpunkt D0 in mm in Bezug auf die Häufigkeit (n) ihres Vorkommens. Viele Werte liegen zwischen 0,5 mm und 1 mm.

4.4 Knochenmaterial < 6 mm in den verschiedenen Gaumenregionen

Die Häufigkeit des Vorhandenseins von Knochentiefe unter 6 mm in den verschiedenen Positionen macht Abbildung 36 deutlich. Die Position A enthielt die größte Knochentiefe, denn hier lag die Knochentiefe unter 6 mm in A0 bei 12,4 %, in A1 bei 10,0% und in A2 sogar nur bei 3,2 %.

In Position D gab es fast ausschließlich Knochentiefe unter 6 mm, nur noch 2 % lagen in D2 über 6 mm Knochentiefe, in Messposition D1 waren es 0,4 % über 6 mm und in D0 schließlich 3,2 %.

In Messposition B1 und B0 wiesen nur noch ca. ¼ der Patienten Knochentiefe über 6 mm auf (B1 = 26,8 %, B0 = 25,2 %), in B2 dagegen noch mehr als die Hälfte der Patienten (57,6 %).

In der Position C2 konnten nur noch knapp 1/5 der Patienten eine Knochentiefe von mehr als 6 mm (19,2 %) erreichen, im Gegensatz dazu fand in C1 und C0 eine starke Abnahme des Anteils an Knochentiefe über 6 mm statt (C1 = 1,6 %, C0 = 4,0 %).

Somit war die Knochentiefe in Position A noch deutlich am größten, in Position B nahm sie merklich ab und ist schließlich in Position C und D stark abgesunken, so dass eine deutliche Abnahme der Knochentiefe von anterior nach posterior zu verzeichnen war.

Gleichzeitig war auch eine Abnahme der Knochentiefe von medial nach lateral zu beobachten.

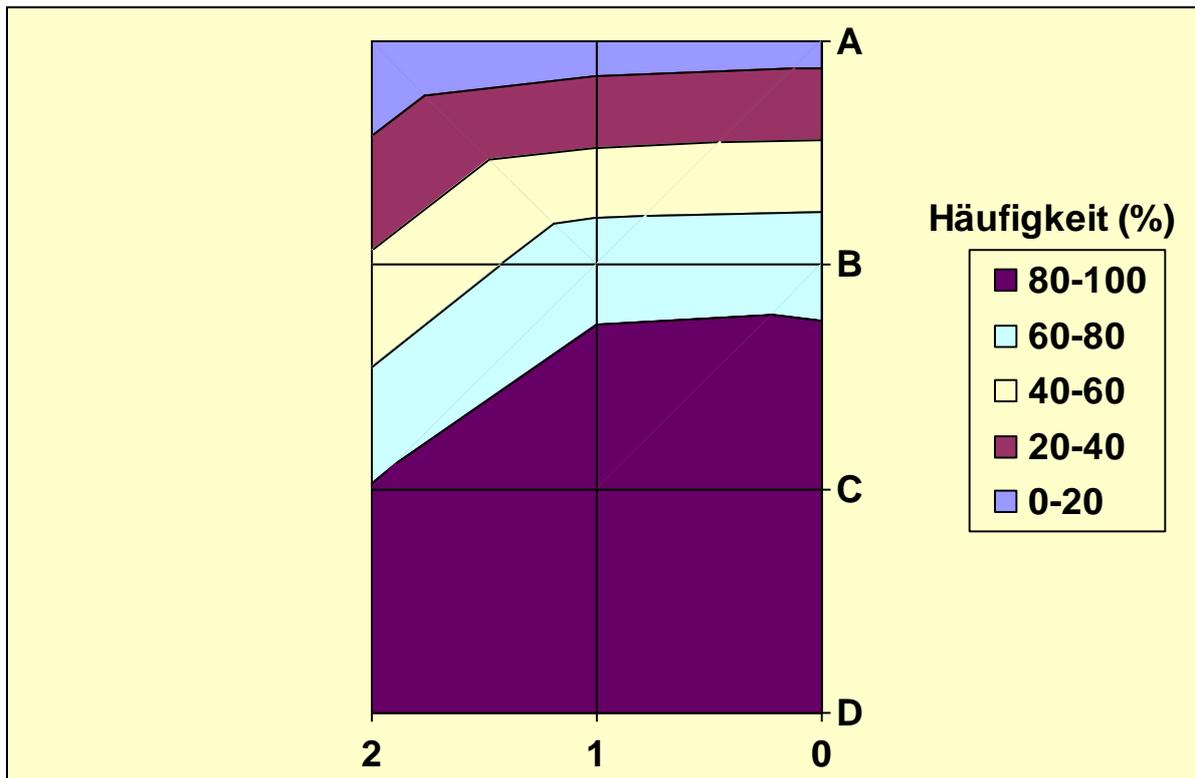


Abb. 36: Anteil an Knochentiefe unter 6 mm in Prozent in allen Messpositionen. In Messposition A ist der Anteil an Knochentiefe unter 6 mm am geringsten, wohingegen in Position D fast ausschließlich Knochentiefe unter 6 mm vorhanden ist.

5. Diskussion

5.1 Untersuchung des Oberkiefers mittels DVT

Die Region am Gaumen ist bekannt dafür, dass hier eine erfolgreiche Insertion von Minischrauben mit geringem Durchmesser erfolgen kann, so dass in den letzten Jahren zahlreiche Studien mit DVT-Aufnahmen durchgeführt wurden, die den Knochen am Gaumen untersuchten^{6, 12, 15, 17, 18, 23, 28, 29, 44, 55}.

Baumgaertel et al.⁴ arbeiteten im Jahre 2008 die Gesamtknochentiefe und die Compactatiefe am Gaumen systematisch auf. Sie untersuchten diese an DVT-Aufnahmen von 30 Schädeln post mortem an 34 definierten Messpunkten.

Gracco et al.¹⁷ analysierten im Jahre 2006 lediglich die Gesamtknochentiefe am Gaumen anhand von 52 DVT-Aufnahmen an 20 definierten Messpunkten.

5.2 Mess- und Referenzpunkte

Der Vergleich dieser Studie mit anderen Studien, die ebenfalls die Knochentiefe am Gaumen untersuchten ist nicht immer möglich, aufgrund der unterschiedlichen Mess/Referenzpunkte, die verwendet wurden¹⁹. Während Baumgaertel et al.⁴ in ihrer Studie reproduzierbare Koordinaten gewählt haben, wie die Kontaktpunkte der Zähne, wurden in anderen Studien anatomischen Strukturen als Referenz gewählt, wie z.B. das Foramen incisivum, so z.B. in der Studie von Gracco et al. im Jahre 2008^{16, 18, 23, 29, 44}. Beide Referenzen bieten sowohl Vorteile als auch Nachteile. Das Foramen incisivum ist zwar eine „feste“ anatomische Struktur, aber es ist schwierig dieses Foramen eindeutig zu bestimmen³⁴.

Die Kontaktpunkte der Zähne sind klinisch einfach reproduzierbare Koordinaten, jedoch dürfen hier die Aspekte der Zahnwanderung oder ausgeprägten Zahnfehlstellungen nicht außer Acht gelassen werden¹⁹. Grünberg et al.² haben „Rekonstruktion“ vorgeschlagen, um das Problem der Mesialwanderung bedingt durch Frontengstand oder mesial rotierten Molaren zu lösen. Hat solch eine Mesialwanderung stattgefunden, sollte dies der Kliniker stets im Hinterkopf behalten. Christou et al.⁸ und Kim et al.²⁶ haben vorgeschlagen die Rugae palatinae als Bezugspunkt zu nehmen, da sie mit der Zeit „stabil“ bleibt und klinisch einfach identifiziert werden kann. In Position A und in der Position B2 ist eine adäquate

Knochtiefe und Compactatiefe vorhanden, um Primärstabilität zu gewährleisten, so dass auch davon ausgegangen werden kann, dass die Region um die 3. Ruga palatina ausreichende Knochtiefe für Miniimplantatinsertion aufweist¹⁹.

In dieser Studie wurden die rechte und linke Seite des Oberkiefers als eigenständig angesehen. Die Knochtiefe wurde bilateral zu der Sutura palatina gemessen. Gracco et al.¹⁶ und Jayakumar et al.²¹ postulieren, dass es keine Unterschiede zwischen der rechten und der linken Seite gibt. In dieser Studie kann jedoch von überdurchschnittlich korrekten Messungen ausgegangen werden, denn mit zunehmender Erfahrung wächst die Genauigkeit der Befundung. Dies erklärt auch den geringen berechneten Dahlberg-Fehler¹⁰, welcher in allen 40 Messungen geringer als 1 war.

5.3 Ergebnisse

Nach übereinstimmenden Studienergebnissen stellen sowohl die Knochenqualität als auch die Knochenquantität ausschlaggebende Faktoren für die Stabilität und somit für eine hohe Überlebensrate einer Minischraube dar^{9, 23, 29, 48, 51}.

Das höchste Knochenangebot war in der Position A vorzufinden. Die durchschnittliche Gesamtknochtiefe in den Positionen A0, A1 und A2 lag zwischen 9,81 mm und 13,34 mm. Baumgaertel et al.⁴ haben ebenfalls festgestellt, dass die Knochtiefe in anterioren Bereichen des Gaumens höher war als in anderen Bereichen des Gaumens.

Die Compacta trägt zu der wichtigen Primärstabilität eines Implantates bei. Um eine ausreichende Primärstabilität zu gewährleisten, sollte die Compactatiefe mehr als einen mm betragen³⁹. In dieser Studie lag die durchschnittliche Compactatiefe zwischen 1,46 mm und 1,66 mm in der Position A. In der Position B2 lag die durchschnittliche Compactatiefe noch bei 1,21 mm. In den weiter posterior liegenden Bereichen lag die Compactatiefe unter einem mm.

Poggio et al.⁴² haben vorgeschlagen, dass die palatinalen Bereiche zwischen dem 1. und 2. Prämolaren und zwischen dem 2. Prämolaren und 1. Molaren „sichere“ Zonen für die Insertion von Minischrauben seien, so lange der Abstand zum Alveolarkamm eingehalten würde. Werden diese Zonen auf das in dieser Studie dargestellte Raster übertragen, so werden diese als die Positionen C1, C2, D1 und D2 dargestellt. In

diesen Punkten betrug die Compactatiefe signifikant weniger als einen mm im Mittel. Somit sollte in diesen Bereichen die Insertion vermieden werden, denn hier kann keine ausreichende Primärstabilität gewährleistet werden.

Die systematische Untersuchung der Compactatiefe von anterior nach posterior in dieser Studie verdeutlicht die hochsignifikante Abnahme von anterior nach posterior, so dass in den posterioren Bereichen keine ausreichende Compactatiefe vorzufinden war, um Primärstabilität zu gewährleisten.

Kim et al.²⁷ untersuchten im Jahre 2004 die Dicke des Weichgewebes und des kortikalen Knochens im Oberkiefer. Sie betonten, dass die maximale Stabilität einer Minischraube bei Insertion im Bereich des dünnsten Weichgewebes und des dicksten Knochens erreicht wird. In der Nähe der Sutura palatina mediana im Bereich des anterioren Gaumens ist die Schleimhautdicke sehr gering. Hier besteht sie nur aus befestigter Gingiva³⁵. In den lateralen Regionen des Gaumens ist die Schleimhaut wiederum sehr dick³⁵. Die geringe Schleimhautdicke um den Implantatkopf ist mechanisch und hygienisch vorteilhaft. Hier kann es i.d.R. nicht zu Entzündungen, mechanischen Irritationen und Überwucherungen des umliegenden Gewebes kommen⁴⁷. Dies würde nämlich zur Folge haben, dass der Schraubenkopf nur unzureichend genutzt werden könnte.

5.4 Vermessung mit Osirix®

Die Messungen in dieser Studie wurden mit Osirix® durchgeführt. Durch vorangegangene Studien wurden die Gültigkeit und Abbildung von Messungen mit Osirix® demonstriert^{1, 14, 20, 36, 49, 53}.

Kim et al.²⁵ evaluierten die Abbildung und Präzision von Osirix® für lineare Messungen von 3D-Aufnahmen. Es wurden keine signifikanten Unterschiede gefunden verglichen mit digitalen Messschiebern. Auch Yamauchi et al.⁵⁴ bestätigten diese Aussage, die in ihrer Studie Osirix® mit anderer kommerzieller Software verglichen.

Diese Studie gibt einen strukturierten Überblick über die anatomische Beschaffenheit des Knochens am Gaumen. Darüber hinaus gibt diese Studie mit den Kontaktpunkten der Zähne als festgelegte Messpunkte/Referenzpunkte dem Kliniker eine jederzeit reproduzierbare Empfehlung für optimale Insertionsstellen für

Minischrauben am Gaumen, um so auch die Strahlenbelastung Heranwachsender zu reduzieren ⁴⁴.

5.5 Schlussfolgerung

1. Knochentiefe und Compactatiefe am Gaumen sind im anterioren Bereich am höchsten.
2. Die Compactatiefe im anterioren Bereich des Gaumens beträgt mehr als einen mm, so dass ausreichende Primärstabilität gewährleistet werden kann.
3. Knochentiefe und Compactatiefe nehmen von anterior nach posterior signifikant ab.

6. Literaturverzeichnis

1. Albert S, Cristofari JP, Cox A, Bensimon JL, Guedon C, Barry B (2011) Mandibular reconstruction with fibula free flap. Experience of virtual reconstruction using Osirix(R), a free and open source software for medical imagery. *Ann Chir Plast Esthet* 56:494-503
2. Angle EH. *Treatment of malocclusion of teeth*. Vol 2th ed. in german; translated by Grünberg. Berlin: H. Meusser; 1913.
3. Baumgaertel S (2011) Cortical bone thickness and bone depth of the posterior palatal alveolar process for mini-implant insertion in adults. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 140:806-11
4. Baumgaertel S (2009) Quantitative investigation of palatal bone depth and cortical bone thickness for mini-implant placement in adults. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 136:104-8
5. Baumgaertel S, Razavi MR, Hans MG (2008) Mini-implant anchorage for the orthodontic practitioner. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 133:621-7
6. Bernhart T, Vollgruber A, Gahleitner A, Dörtbudak O, Haas R (2000) Alternative to the median region of the palate for placement of an orthodontic implant. *Clinical Oral Implants Research* 11:595-601
7. Chen YH, Chang HH, Chen YJ, Lee D, Chiang HH, Yao CC (2008) Root contact during insertion of miniscrews for orthodontic anchorage increases the failure rate: an animal study. *Clin Oral Implants Res* 19:99-106
8. Christou P, Kiliaridis S (2008) Vertical growth-related changes in the positions of palatal rugae and maxillary incisors. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 133:81-6
9. Chun YS, Lim WH (2009) Bone density at interradicular sites: implications for orthodontic mini-implant placement. *Orthod Craniofac Res* 12:25-32
10. Dahlberg G. *Statistical methods for medical and biological students* New York; 1940.
11. Deguchi T, Nasu M, Murakami K, Yabuuchi T, Kamioka H, Takano-Yamamoto T (2006) Quantitative evaluation of cortical bone thickness with computed tomographic scanning for orthodontic implants. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 129:721 e7-12
12. Farnsworth D, Rossouw P, Ceen R, Buschang P (2011) Cortical bone thickness at common miniscrew implant placement sites. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 139:495-503
13. Fayed MM, Pazera P, Katsaros C (2010) Optimal sites for orthodontic mini-implant placement assessed by cone beam computed tomography. *Angle Orthod* 80:939-51
14. Fortin M, Battie MC (2012) Quantitative Paraspinal Muscle Measurements: Inter-Software Reliability and Agreement Using Osirix and Image. *Phys Ther*
15. Gahleitner A, Podessor B, Schick S, Watzek G, Imhof H (2004) Dental CT and orthodontic implants: imaging technique and assessment of available bone volume in the hard palate. *Eur J Radiol* 51:257-62
16. Gracco A, Lombardo L, Cozzani M, Siciliani G (2008) Quantitative cone-beam computed tomography evaluation of palatal bone thickness for orthodontic miniscrew placement. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 134:361-9
17. Gracco A, Lombardo L, Cozzani M, Siciliani G (2006) Quantitative evaluation with CBCT of palatal bone thickness in growing patients. *Prog Orthod* 7:164-74

18. Gracco A, Luca L, Cozzani M, Siciliani G (2007) Assessment of palatal bone thickness in adults with cone beam computerised tomography. *Aust Orthod J* 23:109-13
19. Hourfar J, Georgios K, Bister D, Schätzle M, Awad L, Nienkemper M, Goldbecher C, Ludwig B (2015) Three dimensional anatomical exploration of the anterior hard palate at the level of the third ruga for the placement of mini-implants - A cone-beam CT study. *European Journal of Orthodontics Advance Access* 1-7
20. Jalbert F, Paoli JR (2008) Osirix: free and open-source software for medical imagery. *Rev Stomatol Chir Maxillofac* 109:53-5
21. Jayakumar G, Rajkumar BT, George MA, Krishnaswamy NR (2012) Quantitative assesment of palatal bone thickness in an ethnic Indian population: A computed tomography study. *Indian J Dent Res* 23:49-52
22. Kang S, Kim JY, Chung KR, Park YG (2009) Stability of mini-screws invading the dental roots and their impact on the paradental tissues in beagles. *Angle Orthod* 79:248-55
23. Kang S, Lee SJ, Ahn SJ, Heo MS, Kim TW (2007) Bone thickness of the palate for orthodontic mini-implant anchorage in adults. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 131:74-81
24. Karagkiolidou A, Ludwig B, Pazera P, Gkantidis N, Pandis N, Katsaros C (2013) Survival of palatal miniscrews used for orthodontic appliance anchorage: A retrospective cohort study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 143:767-72
25. Kim G, Jung HJ, Lee HJ, Lee JS, Koo S, Chang SH (2012) Accuracy and Reliability of Length Measurments on Three-Dimensional Computed Tomography Using Open-Source Osirix Software. *J Digit Imaging*
26. Kim HK, Moon SC, Lee SJ, Park YS (2012) Three-dimensional biometric study of palatine rugae in children with a mixed-model analysis: a 9-year longitudinal study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 141:590-7
27. Kim YJ, Yang SM, Kim S, Lee JY, Kim KE, Gianelly A, Kyung SH (2010) Midpalal miniscrews for orthodontic anchorage: Factors affecting clinical sucess. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1:66-72
28. King KS, Lam EW, Faulkner MG, Heo G, Major PW (2006) Predictive factors of vertical bone depth in the paramedian palate of adolescents. *Angle Orthod* 76:745-51
29. King KS, Lam EW, Faulkner MG, Heo G, Major PW (2007) Vertical bone volume in the paramedian palate of adolescents: a computed tomography study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 132:783-8
30. Kravitz ND, Kusnoto B (2007) Risks and complications of orthodontic miniscrews. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 131:43-51
31. Lemieux G, Hart A, al e (2011) Computed tomographic characterization of mini-implant placement pattern and maximum anchorage force in human cadavers. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 140:356-65
32. Lippert H, Herbold D, Lippert-Burmeister W. *Anatomie Text und Atlas*. Vol 7. Auflage. München, Jena: Urban & Fischer; 2002.
33. Ludwig B, Glasl B, Bowman JS, Wilmes B, Kinzinger G, Lisson J (2011) Anatomical guidelines for miniscrew insertion: palatal sites. *J Clin Orthod* 45:433-41
34. Ludwig B, Glasl B, Kinzinger GS, Lietz T, Lisson JA (2011) Anatomical guidelines for miniscrew insertion: Vestibular interradicular sites. *J Clin Orthod* 45:165-73

35. Ludwig B, Glasl B, Lietz T (2007) Kleiner Aufwand - großer Nutzen. Zahnärztliche Mitteilungen 5:36-42
36. Melissano G, Bertoglio L, Civelli V, Amato AC, Coppi G, Civolini E, al e (2009) Demonstration of the Adamkiewicz artery by multidetector computed tomography angiography analysed with the open-source software OsiriX. Eur J Endovasc Surg 37:395-400
37. Motoyoshi M, Hirabayashi M, Uemura M, Shimizu N (2006) Recommended placement torque when tightening an orthodontic mini-implant. Clin Oral Implants Res 17:109-14
38. Motoyoshi M, Inaba M, Ono A, Ueno S, Shimizu N (2009) The effect of cortical bone thickness on the stability of orthodontic mini-implants and on the stress distribution in surrounding bone. Int J Oral Maxillofac Surg 38:13-8
39. Motoyoshi M, Yoshida T, Ono A, Shimizu N (2007) Effect of cortical bone thickness and implant placement torque on stability of orthodontic mini-implants. Int J Oral Maxillofac Implants 22:779-84
40. Nakahara K, Matsunaga S, al e (2012) Evaluation of the palatal bone for placement of orthodontic mini-implants in Japanese adults. Cranio 30:72-9
41. Papadopoulos MA, Papageorgiou SN, Zogakis IP (2011) Clinical effectiveness of orthodontic miniscrew implants: a meta-analysis. J Dent Res 90:969-76
42. Poggio PM, Incorvati C, Velo S, Carano A (2006) "Safe zones": a guide for miniscrew positioning in the maxillary and mandibular arch. Angle Orthod 76:191-7
43. Putz R, Pabst R. *Sobotta Atlas der Anatomie des Menschen:Band 1 Kopf, Hals, obere Extremität*. Vol 21. Auflage. München, Jena; 2000.
44. Ryu JH, Park JH, Vu Thi Thu T, Bayome M, Kim Y, Kook YA (2012) Palatal bone thickness compared with cone-beam computed tomography in adolescents and adults for mini-implant placement. Am J Orthod Dentofacial Orthop 142:207-12
45. Sandler J, Benson PE, Doyle P, Majumder A, O'Dwyer J, Speight P, Thiruvengkatachari B, Tinsley D (2008) Palatal implants are a good alternative to headgear: a randomized trial. Am J Orthod Dentofacial Orthop 133:51-7
46. Schnelle MA, Beck FM, Jaynes RM, Huja SS (2004) A radiographic evaluation of the availability of bone for placement of mini-screws. Angle Orthod 74:832-7
47. Schopf P. *Curriculum Kieferorthopädie Band II*. Vol 4. Auflage. Berlin; 2008.
48. Shah AH, Behrents RG, Kim KB, Kyung Hm, Buschang PH (2012) Effects of screw and host factors on insertion torque and pullout strength. Angle Orthod 82:603-10
49. Sierra-Martinez E., Cienfuegos-Monroy R, Fernandez-Sobrinho G (2009) [OsiriX, a useful tool for processing tomographic images in patients with facial fracture]. Cir Cir 77:95-9
50. Silvestrini Biavati A, Tecco S (2011) Three-dimensional tomographic mapping related to primary stability and structural miniscrew characteristics. Orthod Craniofac Res 14:88-99
51. Stahl E, Keilig L, Abdelgader I, Jager A, Bourauel C (2009) Numerical analyses of biomechanical behavior of various orthodontic anchorage implants. J Orofac Orthop 70:115-27
52. Tosun T, Keles A, Erverdi N (2002) Method for the placement of palatal implants. Int J Oral Maxillofac Implants 17:95-100
53. Wang YC, Liu YC, Hsieh TC, Lee ST, Li ML (2010) Aneurysmal subarachnoid hemorrhage diagnosis with computed tomographic angiography and OsiriX. Acta Neurochir (Wien) 152:263-9

54. Yamauchi T, Yamazaki M, Okawa A, Furuya T, Hayashi K, Sakuma T, Yanagawa N, Koda M (2010) Efficacy and reliability of highly functional open source DICOM software (OsriX) in spine surgery. *J Clin Neurosci* 17:756-9
55. Zhao H, Gu XM, Liu HC, Wang ZW, Xun CL (2011) Evaluation of palatal bone thickness in adults with normal occlusion for orthodontic miniscrews placement. *Zhonghua Kou Qiang Yi Xue Za Zhi* 46:177-81

7. Publikation

In Zusammenarbeit mit Herrn Dr. Hourfar, Herrn Dr. Ludwig und Herrn Dr. Kanavakis wurde das Manuskript „ Three dimensional anatomical exploration of the anterior hard palate at the level of the third ruga for the placement of mini-implants - A cone-beam study “ beim «European Journal of Orthodontics» eingereicht und am 6.Januar 2015 veröffentlicht ¹⁹ .

8. Anhang

n		125
MW±SD		24,8±11,3
Median		21,86
Minimum		11
Maximum		63
Perzentile	25	14,45
	50	21,86
	75	32,66

Tabelle 1: Alter des Kollektivs in Jahren

	A0	B0	C0	D0
n	250	250	250	250
MW±SD	9,81±3,24	4,74±1,90	3,13±1,44	3,22 ±1,33
Median	9,74	4,62	2,89	3,10
Minimum	3,05	0,91	0,80	0,34
Maximum	19,80	9,16	6,77	7,76
Perzentile	25	7,59	3,38	2,17
	50	9,74	4,62	3,10
	75	11,88	6,02	4,15

Tabelle 2: Knochentiefe anterior bis posterior in mm in den Messpositionen A0, B0, C0 und D0

	A1	B1	C1	D1
n	250	250	250	250
MW±SD	11,35±3,75	4,76±2,37	2,55±1,36	1,80±1,01
Median	11,72	4,50	2,39	1,51
Minimum	0,32	0,58	0,33	0,24
Maximum	18,90	12,46	6,83	8,25
Perzentile	25	9,43	3,05	1,07
	50	11,72	4,50	1,51
	75	13,87	6,44	2,31

Tabelle 3: Knochentiefe anterior bis posterior in mm in den Messpositionen A1, B1, C1 und D1

		A2	B2	C2	D2
n		250	250	250	250
MW±SD		13,34±3,88	7,36±3,48	4,24±2,11	2,77±1,29
Median		13,86	6,65	4,09	2,72
Minimum		1,32	0,52	0,25	0,57
Maximum		22,77	16,67	11,06	7,26
Perzentile	25	10,87	4,86	2,85	1,82
	50	13,86	6,65	4,09	2,72
	75	15,93	9,90	5,49	3,55

Tabelle 4: Knochentiefe anterior bis posterior in mm in den Messpositionen A2, B2, C2 und D2

		A2 Compacta	A1 Compacta	A0 Compacta
n		250	250	250
MW±SD		1,66 ± 0,45	1,59 ± 0,97	1,46 ± 0,71
Median		1,65	1,49	1,40
Minimum		0,50	0,41	0,12
Maximum		2,89	11,41	9,11
Perzentile	25	1,32	1,24	1,16
	50	1,65	1,49	1,40
	75	1,90	1,74	1,65

Tabelle 8: Tiefe der Compacta in mm an den Messpunkten A2, A1 und A0

		B2 Compacta	B1 Compacta	B0 Compacta
n		250	250	250
MW±SD		1,21±0,78	0,80±0,31	0,88±0,76
Median		1,08	0,75	0,83
Minimum		0,25	0,17	0,10
Maximum		7,42	1,73	9,07
Perzentile	25	0,83	0,58	0,66
	50	1,08	0,75	0,83
	75	1,40	0,99	0,99

Tabelle 9: Tiefe der Compacta in mm an den Messpunkten B2, B1 und B0

		C2 Compacta	C1 Compacta	C0 Compacta
n		250	250	250
MW±SD		0,77 ± 0,51	0,54 ± 0,54	0,61 ± 0,49
Median		0,68	0,50	0,58
Minimum		0,08	0,16	0,16
Maximum		5,83	7,42	7,42
Perzentile	25	0,48	0,33	0,41
	50	0,68	0,50	0,58
	75	0,99	0,66	0,74

Tabelle 10: Tiefe der Compacta an den Messpunkten C2, C1 und C0 in mm

		D2 Compacta	D1 Compacta	D0 Compacta
n		249	250	250
MW±SD		0,53±0,59	0,41±0,62	0,66±0,57
Standardfehler des Mittelwertes		0,04	0,04	0,04
Median		0,41	0,33	0,58
Minimum		0,14	0,04	0,17
Maximum		8,25	9,32	5,78
Perzentile	25	0,33	0,25	0,41
	50	0,41	0,33	0,58
	75	0,58	0,45	0,74

Tabelle 11: Tiefe der Compacta an den Messpunkten D2, D1 und D0 in mm

9. Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich zunächst bei meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. Jörg Lisson bedanken. Ich bedanke mich herzlich für die Überlassung dieses Promotionsthemas.

Ein herzliches Dankeschön geht außerdem an Herrn Dr. Björn Ludwig für seine freundliche, engagierte und geduldige Betreuung, die maßgeblich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen hat.

Danke an das gesamte Praxisteam in Traben-Trarbach von Herrn Dr. Ludwig für die sehr hilfsbereite und freundliche Unterstützung bei meinen Besuchen in der Praxis.

Dankbar anerkennen möchte ich an dieser Stelle auch die Unterstützung bei der statistischen Auswertung der Ergebnisse von Fr. Dr. Kottmann. Vielen Dank für die zahlreichen kompetenten Ratschläge, die mir vor allem bei den statistischen Auswertungen sehr zugute kamen. Ich bedanke mich herzlich für die gute Zusammenarbeit.

Ein herzliches Dankeschön geht auch an Herrn Dr. Jan Hourfar, der mir jederzeit und unterstützend die benötigten Materialien vorbereitet und zur Verfügung gestellt hat. Dies erleichterte mir das Arbeiten an dieser Dissertation sehr. Herzlichen Dank, dass Sie bei der Erstellung des Artikels mitgewirkt haben.

Mein besonderer Dank geht an meine Eltern und Geschwister für die Unterstützung und ohne die das Studium und somit auch diese Dissertation nicht möglich gewesen wären.

Ein ganz herzliches Dankeschön geht an meinen Ehemann, der mich während der Dissertation mit viel Motivation und sehr viel Geduld begleitet hat, um diese Arbeit zum Ende zu bringen.