

Aus dem Institut für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Medizinischen Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin
Abteilung für Kieferorthopädie, Orthodontie und Kinderzahnmedizin

DISSERTATION

**Knochenangebot für kieferorthopädische Minischrauben im
vorderen Gaumen**

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

vorgelegt der Medizinischen Fakultät
Charité - Universitätsmedizin Berlin

von

Maïke Holm, geb. Bornhäußer
aus Stuttgart

Gutachter/in: 1. Prof. Dr. P.-G. Jost-Brinkmann

2. Prof. Dr. A. Bumann

3. Prof. Dr. rer. nat. U. Wolf

Datum der Promotion: 01.02.2013



Für meine Eltern

INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG	1
2	LITERATURÜBERSICHT	2
2.1	Gaumen.....	2
2.1.1	Anatomie	2
2.1.2	Wachstum	5
2.2	Skelettale Verankerung in der Kieferorthopädie	8
2.2.1	Gaumenimplantate	9
2.2.2	Orthodontische Verankerungspins	12
2.3	Bisheriger Kenntnisstand zum Insertionsort für kiefer-orthopädische Minischrauben	18
2.4	Digitale Volumentomografie	19
3	FRAGESTELLUNG	27
4	MATERIAL UND METHODEN	29
4.1	Allgemeine Methoden.....	29
4.1.1	Patienten	29
4.1.2	Röntgenologische Untersuchung.....	29
4.1.3	Datenerhebung.....	30
4.1.4	Datenverarbeitung	32
4.1.5	Allgemeine Statistik	33
4.2	Spezielle Statistik	35
4.2.1	Knochenangebot in Abhängigkeit von der Patientengruppe.....	35
4.2.2	Knochenangebot in Abhängigkeit vom Geschlecht	37

4.2.3	Knochenangebot in Abhängigkeit vom Alter	38
4.2.4	Knochenangebot in Abhängigkeit von der Körperhälfte	38
5	ERGEBNISSE.....	39
5.1	Allgemeine Statistik	39
5.1.1	Fehlerberechnung	39
5.1.2	Test auf Normalverteilung	39
5.2	Knochenangebot in Abhängigkeit von der Patientengruppe.....	39
5.3	Knochenangebot in Abhängigkeit vom Geschlecht	52
5.4	Knochenangebot in Abhängigkeit vom Alter.....	56
5.5	Knochenangebot in Abhängigkeit von der Körperhälfte	63
6	DISKUSSION	64
6.1	Diskussion der Fragestellung	64
6.2	Diskussion des untersuchten Datenmaterials.....	64
6.3	Diskussion der Methode	67
6.4	Diskussion der Ergebnisse	69
6.4.1	Allgemeine Statistik	69
6.4.2	Knochenangebot in Abhängigkeit von der Patientengruppe.....	71
6.4.3	Knochenangebot in Abhängigkeit vom Geschlecht	74
6.4.4	Knochenangebot in Abhängigkeit vom Alter.....	76
6.4.5	Knochenangebot in Abhängigkeit von der Körperhälfte	78
7	SCHLUSSFOLGERUNGEN.....	79
8	ZUSAMMENFASSUNGEN.....	81
8.1	Zusammenfassung.....	81

8.2	Summary	83
9	LITERATURVERZEICHNIS.....	84
10	ANHANG.....	96
10.1	Ergebnisse der statistischen Tests	96
10.2	Tabellenverzeichnis	102
10.3	Abbildungsverzeichnis	108
10.4	Danksagung	110
10.5	Lebenslauf	111
10.6	Eidesstattliche Erklärung	112

1 EINLEITUNG

Die Kieferorthopädie beschäftigt sich mit der Erforschung, Verhütung und Behandlung von Zahnfehlstellungen, Kieferanomalien und damit in Zusammenhang stehenden funktionellen Störungen [Maschinski et al. 2000]. Um dentale und skelettale Dysgnathien behandeln zu können, ist der Kieferorthopäde häufig auf eine maximale Verankerung angewiesen. Von einer maximalen Verankerung spricht man, wenn die als Verankerung gedachten Zähne sich nicht oder kaum bewegen [Maschinski et al. 2000]. Gerade dies stellt allerdings ein grundlegendes Problem dar, da jeder Kraft eine gleich große entgegengesetzte Kraft gegenüber steht, die zu unerwünschten Nebenwirkungen führen kann. Aus diesem Grund ist in vielen Fällen der Einsatz von zusätzlichen extra- oder intraoralen Verankerungshilfen erforderlich [Lietz & Müller-Hartwich 2006]. Der Erfolg beim Einsatz extraoraler Geräte ist stark von der Mitarbeit des Patienten abhängig [Gray et al. 1983]. Allerdings konnte mehrfach nachgewiesen werden, dass die Compliance der Patienten oftmals gering ist [Cole 2002, Bos et al. 2007, Brandão et al. 2006]. Daher werden zunehmend intraorale und complianceunabhängige Verankerungshilfen in Form von Miniimplantaten oder Minischrauben eingesetzt. Die Bezeichnung Minischraube bzw. Miniimplantat wird teilweise synonym verwendet [Kanomi 1997]. Eine sinnvolle Differenzierung ist, alloplastische Materialien, die osseointegrieren als Miniimplantate zu bezeichnen, während es bei Minischrauben nur zu einer Anlagerung des Knochens kommt [Bumann 2006]. Diese Differenzierung findet auch in dieser Arbeit Berücksichtigung.

Vielfach empfohlener Insertionsort im Oberkiefer ist der harte Gaumen [Carano et al. 2005, Melsen 2005, Park et al. 2008, Wilmes et al. 2008, 2009]. Die Empfehlungen zum genauen Insertionsort am Gaumen sind nicht einheitlich. Während sich einige für die Insertion in der Mediansagittalebene aussprechen [Henriksen et al. 2003, Kyung et al. 2003a, Wehrbein 2008, Wehrbein et al. 1996b, 1999b, Wilmes 2008], empfehlen andere eine paramediane Insertion [Asscherickx et al. 2005a, King et al. 2007] beziehungsweise eine Insertion sowohl im anterioren als auch im posterioren Bereich des Gaumens [Gracco et al. 2006, 2007, 2008].

Der Einsatz kieferorthopädischer Minischrauben ermöglicht eine maximale Verankerung [Büchter et al. 2005] aber vor allem bei der Insertion der Schraube kann es zu Komplikationen kommen [Hembree et al. 2009, Kravitz & Kusnoto 2007,

Kuroda et al. 2007].

Voraussetzung für das erfolgreiche Setzen einer Minischraube ist die genaue Kenntnis des Knochenangebotes am Insertionsort. Ziel dieser Studie ist es, das Knochenangebot für kieferorthopädische Minischrauben im vorderen Gaumen zu bestimmen und dem Kliniker eine Empfehlung zu geben, welche Regionen des Gaumens zur Aufnahme einer kieferorthopädischen Minischraube geeignet sind. Weiterhin soll eine Abhängigkeit des Knochenangebotes vom Alter und Geschlecht des Patienten und der Gaumenseite überprüft werden.

2 LITERATURÜBERSICHT

2.1 GAUMEN

2.1.1 ANATOMIE

Der Gaumen als Dach der Mundhöhle gliedert sich in zwei Teile. Die anterioren zwei Drittel bildet der harte Gaumen (*Palatum durum*), bestehend aus den Gaumenfortsätzen des Oberkiefers (*Processus palatinus maxillae dexter et sinister*) und den horizontalen Platten der Gaumenbeine (*Lamina horizontalis ossis palatini dexter et sinister*) (Abb. 1 und 2). Die vier Knochenplatten sind durch eine mediane und eine transversale Knochennaht (*Sutura palatina mediana et transversa*) miteinander verbunden. Die beiden Nähte treffen im rechten Winkel aufeinander. Das unpaarige Foramen inzisivum im anterioren Bereich des harten Gaumens ist der gemeinsame Ausgang der Canales inzisivi und stellt eine Verbindung zur Nasenhöhle dar. Hier treten die *Arteriae nasopalatinae* und der *Nervus nasopalatinus* hindurch. Im lateralen Bereich der *Lamina horizontalis ossis palatini* befinden sich pro Seite das *Foramen palatinum majus* und *posterior* davon meist zwei weitere *Foramina palatina minora*. Das *Foramen palatinum majus* ist die Mündung des *Canalis palatinus major* und dient als Durchtrittsstelle für die *Arteria palatina major* und den *Nervus palatina major*, die *Foramina palatina minora* dienen als Durchtrittsstelle für die *Arteriae palatinae minores* und die *Nervi palatini minores*. Der harte Gaumen bildet den knöchernen Boden der Nasenhöhle und grenzt nach kranial an die Kieferhöhle (Abb. 1 und 2).

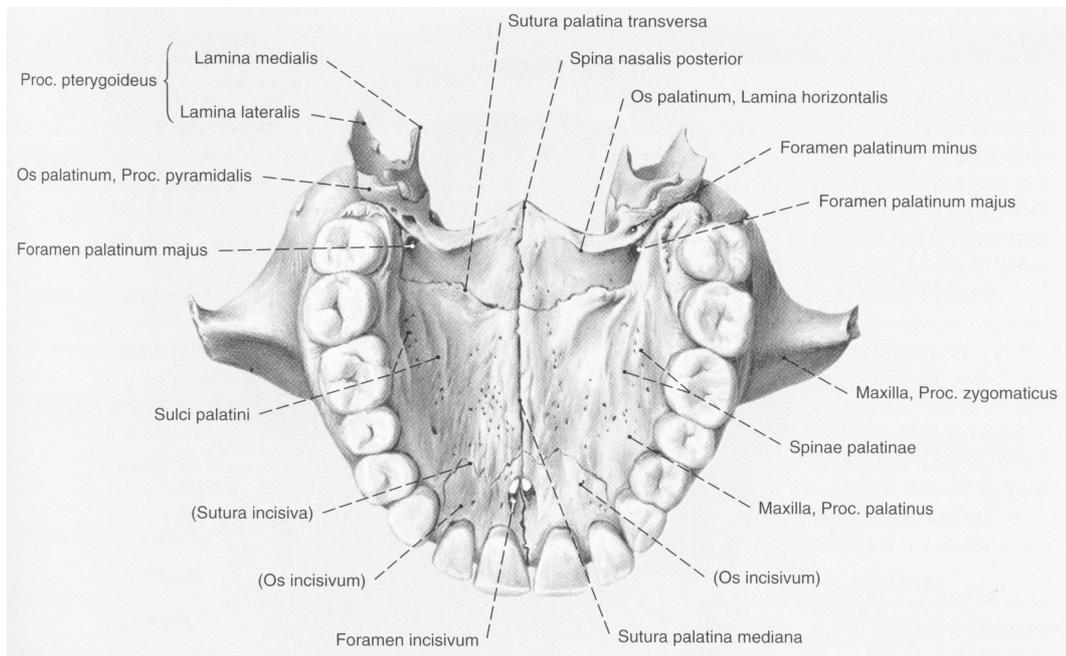


Abb. 1: Ansicht des knöchernen harten Gaumens von oral [Gutwald et al. 2010]. Abdruck mit freundlicher Genehmigung des Deutschen Ärzte-Verlages GmbH, Köln.

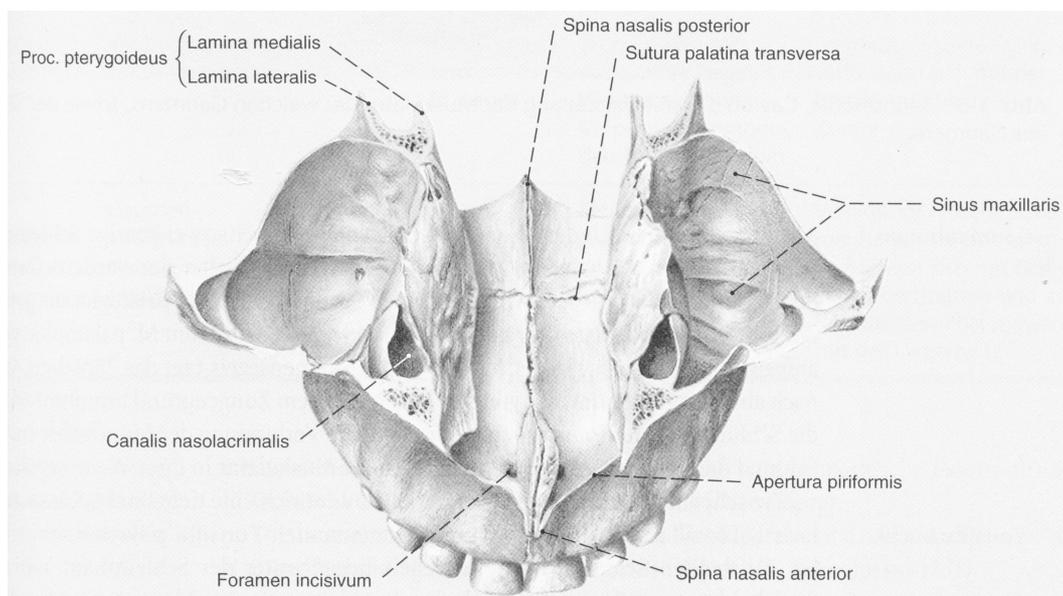
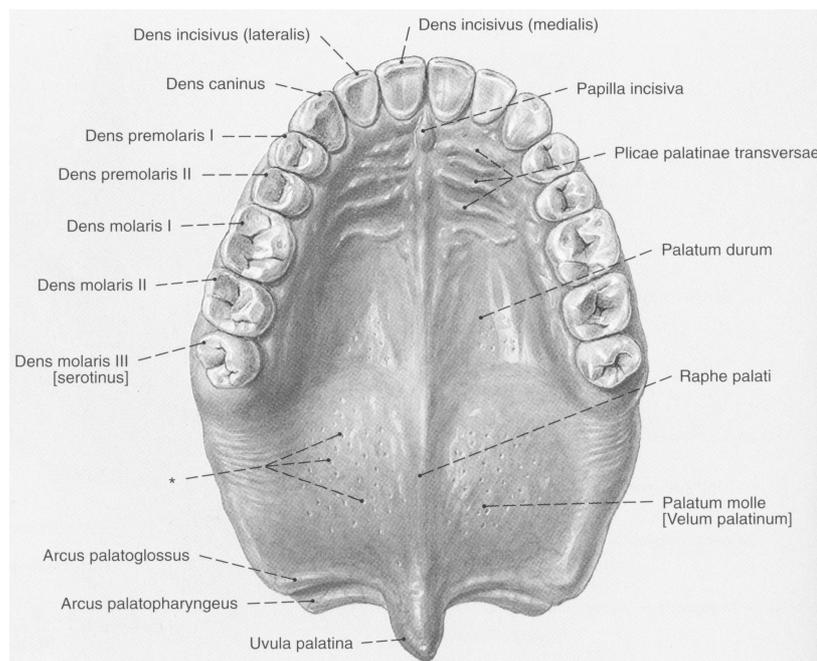


Abb. 2: Ansicht des knöchernen harten Gaumens von nasal [Gutwald et al. 2010]. Abdruck mit freundlicher Genehmigung des Deutschen Ärzte-Verlages GmbH, Köln.

Der harte Gaumen wird von einer mastikatorischen Schleimhaut bedeckt, die unverschieblich mit dem Periost verwachsen ist (Abb. 3). Im Bereich des Foramen incisivum erhebt sich ein kleiner Schleimhautwulst, die Papilla incisiva [Lippert 2003]. Ausgehend von der Papilla incisiva erstreckt sich nach posterior entlang der Sutura palatina mediana eine leichte Schleimhautleiste, die Raphe palati. Von dieser gehen im anterioren Bereich drei bis vier quere Schleimhautfalten ab, die Plicae palatinae transversae [Lippert 2003, Schiebler et al. 1997].



**Abb. 3: Ansicht des harten und weichen Gaumens von oral [Gutwald et al. 2010]. Abdruck mit freundlicher Genehmigung des Deutschen Ärzte-Verlages GmbH, Köln.
*Öffnungen der Gaumendrüsen, Glandulae palatinae**

Der harte Gaumen lässt sich in Zonen einteilen (Abb. 4). Die fibröse Medianzone befindet sich im Bereich der Medianlinie, die Fettgewebszone befindet sich im anterioren Bereich des harten Gaumens, posterior schließt sich die Drüsenzzone mit den seromukösen Glandulae palatinae an. Die Fettgewebszone und die Drüsenzzone sind resilienter als die fibröse Medianzone [Lehmann & Hellwig 2002].

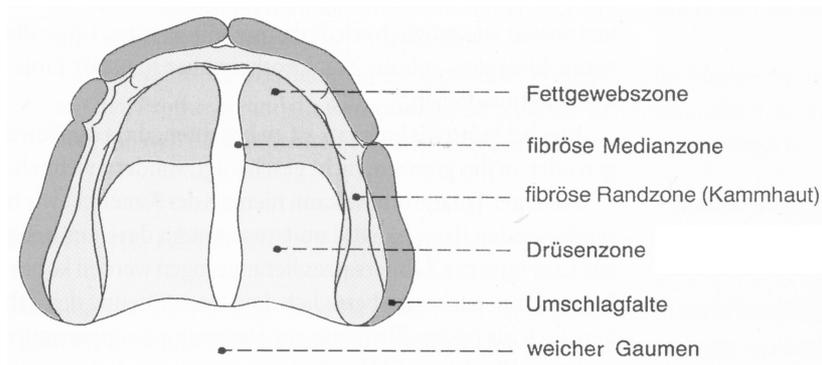


Abb. 4: Schleimhautzonen am Beispiel eines zahnlosen Oberkiefers [Lehmann et al. 2012]. Abdruck mit freundlicher Genehmigung des Deutschen Ärzte-Verlages GmbH, Köln.

Nach posterior schließt sich an den harten Gaumen der bewegliche, weiche Gaumen (Palatum molle) an, der auch Gaumensegel (Velum palatinum) genannt wird. Der weiche Gaumen hat kein knöchernes Grundgerüst und ist demnach zur Aufnahme von kieferorthopädischen Minischrauben nicht geeignet. Er wird durch eine derbe Bindegewebeplatte (Aponeurosis palatina) gebildet, die sich vom hinteren Rand des harten Gaumens zu den Hamuli pterygoidei erstreckt. Nach posterior endet der weiche Gaumen in Form des Gaumenzäpfchens (Uvula). In die Aponeurosis palatina strahlen die Sehnen des unpaarigen Zäpfchenmuskels (Musculus uvulae), sowie die Sehnen vier weiterer paariger Muskeln ein: die Gaumensegelspanner (Musculus tensor veli palatini), die Gaumensegelheber (Musculus levator veli palatini), die Gaumen-Zungen-Muskeln (Musculus palatoglossus) und die Gaumen-Rachen-Muskeln (Musculus palatopharyngeus). Der weiche Gaumen ist von oral von einem mehrschichtigen unverhornten Plattenepithel bedeckt, von pharyngeal von einem mehrschichtigen Flimmerepithel, dem so genannten respiratorischen Epithel [Lippert 2003, Schiebler et al. 1997].

2.1.2 WACHSTUM

Das Gesichtswachstum wird geprägt durch eine Kombination aus Wachstum, Fusion und Expansion von Schwellungen und Erhebungen einer zu Beginn einfachen Gesichtsgometrie. Es bilden sich sieben Erhebungen aus welchen sich das Gesicht

entwickelt: eine mediane Frontalwulst und drei paarige Strukturen, die lateralen nasalen, maxillären und mandibulären Wülste [Helms et al. 2005, Radlanski 2011, Tapadia et al. 2005]. Die frontonasale Erhebung beteiligt sich an der Ausbildung der Stirn, des Nasenrückens, des Philtrums der Oberlippe und des primären Gaumens. Aus den paarig angelegten lateralen nasalen Erhebungen entstehen die Nasenflügel. Die maxillomandibulären Erhebungen entwickeln sich zum Unterkiefer und dem sekundären Gaumen, beteiligen sich an der Ausbildung des Mittel- und Untergesichts und bilden die laterale Begrenzung der Lippen [Helms et al. 2005, Tapadia et al. 2005]. Die sekundären Gaumenfortsätze liegen zunächst seitlich und teilweise unterhalb der Zunge. Durch das Aufrichten des Embryos wird der Unterkiefer zusammen mit der Zunge nach kaudal gezogen. Dadurch haben die Gaumenfortsätze die Möglichkeit nach kranial in die Horizontalebene zu klappen und sich im Bereich der Mittellinie zu vereinigen. Die Verbindung der Gaumenanteile beginnt anterior mit dem primären Gaumenfortsatz und schreitet nach posterior bis zum vollständigen Verschluss der Uvula fort. Das Foramen inzisivum entspricht nicht der Nahtstelle der drei Gaumenfortsätze, es entsteht schon vorher im Bereich des primären Gaumens [Radlanski 2011].

Die postnatale Entwicklung des Gaumens wurde in zahlreichen Studien untersucht. Dabei wurde das Wachstum des Gaumens in allen drei Richtungen, sowie der Verschluss der Gaumennähte gesondert betrachtet. Die Untersuchungen des Gaumenwachstums in vertikaler Richtung ergaben, dass es durch eine Knochenresorption an der nasalen Seite des harten Gaumens und durch appositionelles Knochenwachstum oral zu einer Absenkung der Maxilla kommt [Björk 1955, 1964, 1968, Melsen 1975]. Die nasale Resorption findet vor allem posterior der transversalen Gaumennaht statt und kann bis zu einem Alter von 14 bis 15 Lebensjahren festgestellt werden. Das appositionelle Knochenwachstum kann bis zu einem Lebensalter von 13 bis 14 Jahren beobachtet werden [Melsen 1975].

Das Längenwachstum des Gaumens ergibt sich zum einen durch ein suturales Wachstum in der transversalen Gaumennaht und zum anderen durch eine Knochenapposition am posterioren Gaumenrand [Björk 1955, 1964, 1968, Melsen 1975]. Während in der transversalen Gaumennaht im Alter von 13 bis 15 Jahren in den meisten Fällen kein Wachstum mehr festgestellt werden kann, dauert die Knochenapposition am posterioren Gaumenrand noch bis zum 18. Lebensjahr an [Melsen 1975]. Auch andere Studien sind zu dem Ergebnis gekommen, dass das

Längenwachstum des Gaumens bis ins Erwachsenenalter anhält [Bambha 1961, Melsen 1967].

Das Wachstum des Gaumens in transversaler Richtung erfolgt durch orale Knochenresorption und vestibuläre periostale Knochenformation. Eine Beteiligung der sagittalen Gaumennaht wurde zunächst nur vermutet [Björk 1955]. Eine spätere Untersuchung kam zu dem Ergebnis, dass das suturale Wachstum bei Männern mit dem 17. Lebensjahr endet [Björk 1964] (Abb. 5). Melsen konnte feststellen, dass bei weiblichen Personen das suturale Wachstum bereits zwei Jahre früher endet. Danach können in der Sutura nur noch inaktive Osteoblasten festgestellt werden [Melsen 1975]. Für den Zeitpunkt des Verschlusses der Gaumennähte sind keine genauen Aussagen zu treffen, da es sehr große Unterschiede zwischen den Individuen und auch innerhalb einer Sutura gibt. Demnach eignet sich das Lebensalter nicht als zuverlässiger Indikator für den Gaumennahtverschluss [Knaup et al. 2004, Persson & Thilander 1977, Wehrbein & Yildizhan 2001]. Die Wachstumskurve für die Gaumennähte weist ebenso wie die Wachstumskurve für das Körperwachstum charakteristische Minima und Maxima auf, erreicht diese aber etwas später. Das präpuberale Minimum für die Sutura wird mit durchschnittlich 11,5 Jahren bei männlichen Personen erreicht, das puberale Maximum etwa mit dem 14. Lebensjahr. Weibliche Personen sind in ihrer Entwicklung gegenüber den männlichen 1,5 Jahre voraus [Björk 1964].

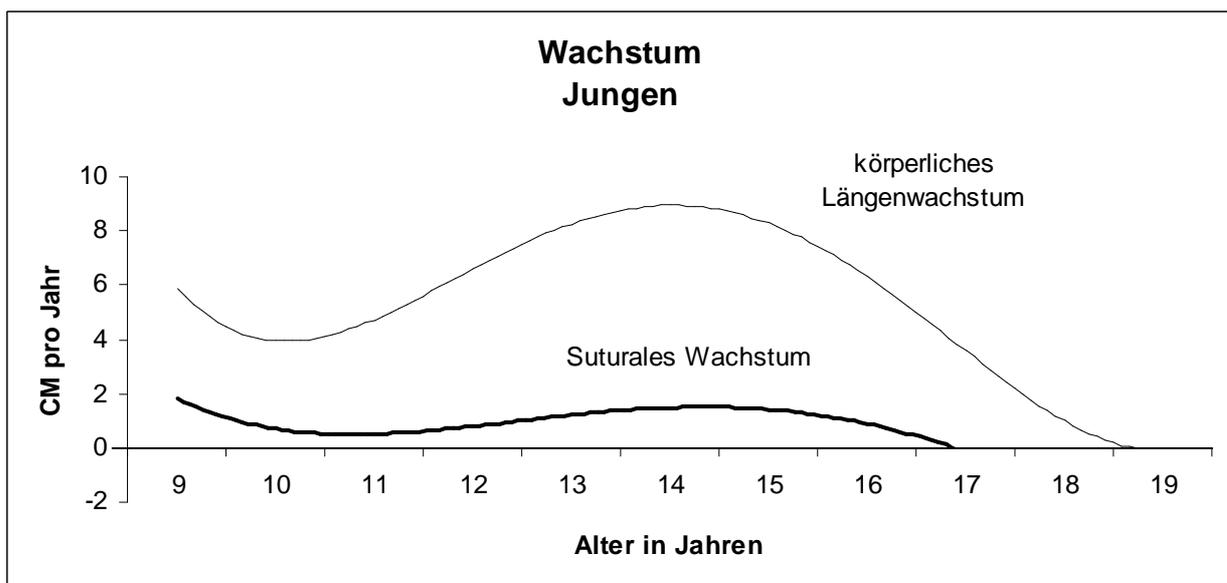


Abb. 5: Durchschnittliches präpuberales Wachstumsminimum, puberales Wachstumsmaximum und Vollendung des körperlichen Längenwachstums und des suturalen Wachstums des oberen Gesichts in der sagittalen Ebene [nach Björk 1964]. CM=Zentimeter

2.2 SKELETTALE VERANKERUNG IN DER KIEFERORTHOPÄDIE

Für das Bewegen von Zähnen ist eine Verankerung der kieferorthopädischen Apparatur an einem Zahn, einer Zahngruppe oder einer anderen anatomischen Struktur notwendig, die als Widerlager für die Bewegungskraft dient [Maschinski et al. 2000]. Angestrebt wird oftmals eine maximale Verankerung. Allerdings kommt es oft zu einem Verankerungsverlust, da gemäß des dritten Newtonsche Axioms einer Kraft F die auf einen Körper wirkt, immer eine gleich große entgegengesetzt gerichtete Kraft ($-F$) gegenüber steht [Vogel 1982]. Sofern die Gegenkraft ($-F$) nicht erwünscht ist, können verschiedene Maßnahmen ergriffen werden, um deren Effekte zu vermeiden:

Verankerung im Gegenkiefer (z. B. Einbisse, intermaxilläre Gummizüge)

Verankerung an der Schleimhaut (z.B. durch Apparaturen mit Nance-Button)

Verankerung in der Kortikalis (z. B. durch Miniimplantate, Minischrauben)

Kraftübertragung von den Weichteilen auf die Zähne (Lipbumper)

Verankerungsbiegungen (z. B. Tipback, Tipforward)

Extraorale Verankerung (z. B. Headgear, Delaire-Maske)

Allerdings ist auch dann ein Verankerungsverlust möglich [Lietz & Müller-Hartwich 2006]. Beim Einsatz extraoraler Geräte, wie dem Headgear oder der Delaire-Maske, liegt eine relativ stabile Verankerung vor. Der Erfolg beim Einsatz dieser Geräte ist allerdings stark von der Mitarbeit des Patienten abhängig [Gray et al. 1983]. Cole stellte fest, dass ungefähr ein Drittel seiner Patienten nach eigenen Angaben ihren Headgear nur 58 % oder weniger der täglich empfohlenen Tragedauer tragen [Cole 2002]. In anderen Studien konnte sogar nachgewiesen werden, dass die tatsächliche Tragedauer mehr als 50 % unter den Patientenangaben liegt [Bos et al. 2007, Brandão et al. 2006]. Ein weiterer Nachteil des Headgears war vor der Einführung von Sicherheitsmodulen die Verletzungsgefahr bei falscher Handhabung. So berichteten Holland et al. bereits 1986 von Patienten mit schweren Augenverletzungen durch falsches Abnehmen des Headgears [Holland et al. 1986]. Jost-Brinkmann und Kollegen berichteten von einem Patienten, der aufgrund seines Headgears unter einer reversiblen Alopezia areata litt [Jost-Brinkmann et al. 1990]. Rebholz und Rakosi untersuchten die Belastung der zervikalen Wirbelsäule durch den Headgear-Zug und konnten eine Beeinflussung der Bandapparate, Gelenke,

Nerven und Gefäße durch das Tragen eines Headgears nicht ausschließen [Rebholz & Rakosi 1977]. Der Wunsch nach einer verlässlichen und complianceunabhängigen Verankerung mit möglichst wenig Nebenwirkungen entstand schon früh [Gainsforth & Higley 1945, Sherman 1978].

2.2.1 GAUMENIMPLANTATE

1969 konnten Brånemark und Mitarbeiter einen Langzeiterfolg osseointegrierter Titanimplantate nachweisen, die in den folgenden Jahren zunächst vor allem in der Prothetik zum Einsatz kamen [Brånemark et al. 1969]. 1978 stellte Sherman fest, dass sich ein Implantat durch kieferorthopädische Kräfte nicht bewegen lässt und sich somit zur Verankerung eignet [Sherman 1978]. Turley et al. nutzten bilaterale Implantate um eine maxilläre Expansion zu erreichen [Turley et al. 1980]. 1984 befassten sich Roberts et al. mit der Belastung von osseointegrierten Titanimplantaten im Oberschenkelknochen von Hasen. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass es nach einer Einheilphase von sechs Wochen zu einer festen Verbindung zwischen Implantat und umgebendem Knochen kommt. Diese Verbindung blieb auch nach kontinuierlicher Belastung des Implantates bestehen. Damit bestätigten die Autoren die Erkenntnis von Sherman [Sherman 1978] bezüglich eines möglichen Einsatzes von Implantaten zur kieferorthopädischen Verankerung [Roberts et al. 1984]. Smalley et al. konnten im Tierversuch mit Affen feststellen, dass sich osseointegrierte Titanimplantate als Verankerung zur maxillären Protraktion eignen [Smalley et al. 1988]. Turley et al. bestätigten 1988, dass sich enossale Titanimplantate zur Verankerung eignen, da es in einem Versuch mit Hunden zwar zu einer Bewegung der Zähne kam, aber die zur Verankerung genutzten Implantate ortsstabil und fest blieben. Die Erfolgsrate war hier bei Implantaten, die in den Bereich nicht keratinisierter Gingiva gesetzt wurden, geringer [Turley et al. 1988]. Zwei Jahre später haben Roberts et al. einen Patienten vorgestellt, bei dem sie durch Verankerung an osseointegrierten Implantaten in der retromolaren Region zwei Molaren mesialisiert hatten [Roberts et al. 1990].

Zunächst wurden zur Verankerung konventionelle Zahnimplantate eingesetzt, die aber nur retromolar und in zahnlosen Alveolarabschnitten platziert werden können [Roberts et al. 1990]. Daher wurden alternative Verankerungsmöglichkeiten vorgestellt.

Bei den für die Kieferorthopädie entwickelten Gaumenimplantaten handelt es sich

um enossale, von der Prothetik abgeleitete Titanimplantate, die den Bedürfnissen der Kieferorthopädie angepasst wurden [Lietz & Müller-Hartwich 2006]. Zu diesen Implantaten gehört das 1996 von Wehrbein et al. vorgestellte Orthoimplantat [Straumann, Basel, Schweiz]. Bei dem Orthoimplantat handelt es sich um ein Titanimplantat mit einem verkürzten enossalen Schraubenanteil (4,0 mm oder 6,0 mm) und einer SLA-Oberfläche (sandblasted, large grid, acid-etched) zur Oberflächenvergrößerung, einem transmukosalen Halsteil und einem Stahlabutment. Durch den Einsatz dieser Orthoimplantate konnten sechs Patienten mit einer Angle-Klasse II erfolgreich behandelt werden, ohne den zusätzlichen Einsatz complianceabhängiger extraoraler Geräte [Wehrbein et al. 1996a,b]. 2004 kamen Gaumenimplantate der zweiten Generation auf den Markt. Das Orthoimplantat der zweiten Generation [Straumann, Basel, Schweiz] ist ein enossales Titanimplantat mit einer SLA-Oberfläche, sowie einem selbstschneidenden Gewinde. Im Vergleich zu den Implantaten der ersten Generation hat das Gewinde des Orthoimplantates der zweiten Generation eine größere Tragtiefe (= Differenz zwischen dem Gewindeaußendurchmesser und dem Durchmesser des Kernabschnittes) und der transmukosale Halsteil ist leicht konkav mit einem tulpenförmigen, konischen Design. Wie beim Orthoimplantat der ersten Generation, wird das Implantat mit einer rotationsgesicherten Stahlkappe versehen, an der im Laserschweißverfahren kieferorthopädische Drähte angebracht werden können [Jung et al. 2009].

1995 stellten Block und Hoffman das Onplant vor. Dabei handelt es sich um ein subperiostales Verankerungselement mit einer hydroxylapatitbeschichteten Unterseite und einem zentralen Gewinde. Das Onplant wird am Gaumen angebracht [Block & Hoffman 1995].

Der Einsatz palatinaler Implantate ermöglicht eine kontinuierliche und stabile Verankerung auch bei Patienten mit einem parodontal vorgeschädigten Gebiss. Da es sich um eine complianceunabhängige Verankerungsmöglichkeit handelt, die mit bis zu 900 cN/mm^2 belastet werden kann [Büchter et al. 2005], verspricht diese Behandlungsmethode auch in Zukunft eingesetzt zu werden [Wehrbein & Merz 1998].

Celenza und Hochmann haben den Nutzen von Implantaten in der Kieferorthopädie untersucht und sind zu dem Ergebnis gekommen, dass sich die kieferorthopädische Therapie durch den Einsatz von Implantaten deutlich vereinfacht. Grund dafür ist, dass es zu keinem Verankerungsverlust kommen kann und der Therapieerfolg

weitgehend unabhängig von der Mitarbeit des Patienten ist. Das führt zu einer Verkürzung der Behandlungszeit [Celenza & Hochman 2000].

Die Angaben bezüglich der Einheilphase bis zur Osseointegration bei kieferorthopädischen Implantaten sind nicht ganz einheitlich. In früheren Jahren differierten die Empfehlungen zwischen sechs Wochen [Roberts et al. 1984] und neun Monaten [Roberts et al. 1990]. Etliche Autoren empfehlen eine Einheilzeit von drei Monaten [Celenza & Hochman 2000, Jung et al. 2009, Lietz & Müller-Hartwich 2006, Tinsley et al. 2004, Wehrbein et al. 1999a], während Bernhart und Mitarbeiter vier Monate Einheilzeit empfehlen [Bernhart et al. 2001]. Inzwischen werden Gaumenimplantate jedoch bereits in der ersten Woche nach Insertion belastet [Crismani et al. 2010, Holst et al. 2010, Wehrbein et al. 2008].

Beim Einsatz eines Onplants zur skelettalen Verankerung muss vier Monate bis zur Freilegung gewartet werden [Celenza & Hochman 2000].

Aufgrund der Größe der kieferorthopädischen Mini-Implantate werden diese überwiegend im Bereich des harten Gaumens oder in zahnlosen Abschnitten des Alveolarkammes eingesetzt [Bernhart et al. 2001, Celenza & Hochman 2000, Jung et al. 2009, Lietz & Müller-Hartwich 2006, Tinsley et al. 2004, Wehrbein et al. 1998]. Einige Autoren empfehlen den Einsatz der Implantate im retromolaren Bereich [Roberts et al. 1990, Wehrbein et al. 1998]. Beim Einsatz des Onplants kommt allerdings nur der mediane Gaumen als Insertionsort in Frage [Celenza & Hochman 2000].

Wie bei jedem anderen chirurgischen Eingriff kann es auch bei der Insertion von kieferorthopädischen Gaumenimplantaten zur Schädigung umliegender anatomischer Strukturen kommen. Eine Verletzung von Zahnwurzeln, Nerven und Blutgefäßen, sowie eine Perforation des Nasen- bzw. Kieferhöhlenbodens kommt sehr selten vor. Postoperativ kann es zu Schmerzen, Schwellungen oder Nachblutungen kommen [Wehrbein et al. 2008]. Auch eine Wundinfektion mit nachfolgend ausbleibender Osseointegration und Implantatverlust ist möglich. Die Überlebensrate für kieferorthopädische Miniimplantate liegt bei über 80 % [Bernhart et al. 2001, Jung et al. 2009], teilweise reichen die Angaben sogar bis 100 % [Janssen et al. 2008]. Jung et al. fanden bei allen Gaumenimplantaten eine leichte periimplantäre Mukositis mit geringer Gingivahyperplasie. Beides konnte erfolgreich mit einer Chlorhexidin-Diglukonat-Spülung therapiert werden. Keiner der von ihnen untersuchten 30 Patienten hatte Schmerzen [Jung et al. 2009].

2.2.2 ORTHODONTISCHE VERANKERUNGSPINS

Trotz der Behandlungserfolge mit kieferorthopädischen Implantaten, gibt es doch einige Nachteile. So handelt es sich bei der Insertion um einen invasiven Eingriff mit allen Risiken eines chirurgischen Eingriffs. Vielfach wird eine Einheilzeit von mehreren Monate empfohlen bevor das Implantat belastet werden kann [Bernhart et al. 2001, Celenza & Hochman 2000, Jung et al. 2009, Lietz & Müller-Hartwich 2006, Roberts et al. 1990, Tinsley et al. 2004, Wehrbein et al. 1999a]. Dadurch verlängert sich die Behandlungszeit. Nach Ende der Therapie muss das osseointegrierte Implantat unter Umständen wieder operativ entfernt werden. Eine Alternative zu den Gaumenimplantaten stellen die orthodontischen Verankerungspins dar, auch Minischrauben genannt.

Bereits 1945 wurde in einer Studie mit Hunden nach einer complianceunabhängigen Alternative zur kieferorthopädischen Verankerung gesucht. Eingesetzt wurden dafür Vitalliumschrauben, die in den Knochen eingeschraubt wurden. Der Halt erfolgte rein makroretentiv. Allerdings war dieser Versuch noch ohne Erfolg, da alle eingesetzten Vitalliumschrauben verloren gingen. Gainsforth und Higley machten für diesen Misserfolg hauptsächlich die Kommunikation der Schrauben mit den Mikroorganismen der Mundhöhle verantwortlich [Gainsforth & Higley 1945]. 1983 griffen Creekmore und Eklund die Idee von Gainsforth und Higley wieder auf und setzten bei einer Patientin zur Intrusion der maxillären Frontzähne eine Vitalliumschraube unter die Spina nasalis anterior. Nach einer Einheilzeit von zehn Tagen wurde die Schraube belastet. Nach einer Behandlungszeit von einem Jahr konnte die Schraube wieder entfernt werden. Während dieser Zeit kam es nicht zu Komplikationen, wie Entzündungen, Schmerzen, Schraubenlockerung oder Veränderung der Schraubenposition [Creekmore & Eklund 1983].

Bei den orthodontischen Verankerungspins handelt es sich um eine Abwandlung der bereits aus der Kieferchirurgie bekannten Kortikalisschrauben. Minischrauben bestehen aus einem Gewindeteil, einem Halsteil und einem variablen Kopfteil, an dem die kieferorthopädische Apparatur befestigt wird. Inzwischen gibt es eine Vielzahl an Anbietern für Minischrauben. Die Hauptunterschiede liegen im Material, der Größe (Durchmesser und Länge) sowie der Gewinde- und Kopfgestaltung. Die meisten Minischrauben sind aus einer Titanlegierung mit einer glatten Oberfläche gefertigt, nur wenige Ausnahmen bestehen aus Edelstahl [Papadopoulos & Tarawneh 2007]. Die Gestaltung einer glatten Oberfläche ist wichtig, um eine

Osseointegration zu verhindern und ein leichtes Entfernen zu ermöglichen [Mah et al. 2005]. Der Gewindeteil ist entweder konisch oder zylindrisch.

Es gibt selbstbohrende und selbstschneidende Gewinde. Während selbstbohrende Minischrauben ohne Vorbohrung direkt in den Knochen und nur in Bereiche mit dünner Kortikalis und aufgelockerter Knochenstruktur eingebracht werden können, ist bei selbstschneidenden Verankerungspins eine Pilotbohrung notwendig. Selbstschneidende Verankerungspins können auch in Regionen dicker Kortikalis und fester Knochenstruktur eingesetzt werden. Der Nachteil selbstbohrender Gewinde ist, dass beim Eindrehen der Schraube Spannungen im Knochen entstehen, die Risse im periimplantären Knochen verursachen können. Auch die Schraube selbst ist großen Belastungen ausgesetzt und kann bei kleineren Durchmessern ($\leq 1,4$ mm) frakturieren [Ludwig et al. 2008]. Andere Autoren sehen eine erhöhte Frakturgefahr ab einem Durchmesser $\leq 1,2$ mm [Mah et al. 2005]. Die Durchmesser der Schraubensysteme variieren meist zwischen 1,2 mm und 2,0 mm, die Länge zwischen 4,0 mm und 14,0 mm.

Dem transmukosalen Halsteil kommt eine besondere Bedeutung zu, da in diesem Bereich eine mögliche Eintrittsstelle für Mikroorganismen mit nachfolgender Periimplantitis entsteht. Der Halsteil sollte demnach glatt, poliert und konisch gestaltet sein, um die Mukosairritation und Bakterienanlagerung möglichst gering zu halten [Ludwig et al. 2008, Mah et al. 2005].

Die größten Unterschiede zwischen den einzelnen Systemen findet man in der Gestaltung des Kopfteiles (Tab. 1). Während einige Anbieter je nach Indikation unterschiedliche Kopfvarianten im Sortiment haben, gibt es inzwischen auch universell anwendbare Kopfdesigns [Papadopoulos & Tarawneh 2007]. Zu den universell anwendbaren Schrauben gehört unter anderem der seit 2004 auf dem Markt befindliche tomas-pin (temporary orthodontic micro anchorage system) [Dentaurum, Ispringen, Deutschland] [Bumann & Lietz 2008]. Häufig werden Schrauben in den Längen 6,0 mm und 8,0 mm angeboten.

Tab. 1: Eigenschaften einiger gängiger Minischrauben

Produkt	tomas-Pin	LOMAS-Schraube	Dual-Top Anchor System	Spider Screw System	Aarhus Anchorage System
Hersteller	DENTAURUM, Ispringen, Deutschland	Mondeal, Tuttlingen, Deutschland	Jeil Medical Corporation, Seoul, Korea	HDC S. r. l. - Health Development Company, Sarcedo, Italien	MEDICON eG, Tuttlingen, Deutschland
Form	zylindrisch	zylindrisch	zylindrisch	K1, K2: konisch C1, C2: zylindrisch	zylindrisch
Gewindeform	selbstschneidend selbstbohrend	selbstbohrend	selbstschneidend selbstbohrend	K1, K2: selbstbohrend C1, C2: selbstschneidend	selbstbohrend
Gewinde- durchmesser [mm]	1,6	1,5 2,0	1,4 1,6 2,0	K1, C1: 1,5 K2: 1,9 C2: 2,0	1,3 1,6 2,0
Länge [mm]	6 8 10	7 9 11 13 15	6 8 10	K1, C1: 6,5, 8, 10 K2: 5, 6, 7, 9, 11 C2: 7, 9, 11	9,6 6,0, 8,0 6,4, 8,4
Material	Titanlegierung	Titanlegierung	Titanlegierung	Titanlegierung	Titanlegierung
Kopfgestaltung	0,022" Kreuzschlitz mit gebrochenen Kanten am Kreuzungspunkt der Slots	Kreuzschlitz Haken Schlitz und Röhrchen 0,022" x 0,028" bzw. 0,018" x 0,025"	JA: Hexagonal, JB: Knopf, JD: Schlitz, G1: Kreuzschlitz, G2: Kreuzschlitz mit rundem Röhrchen	Kreuzschlitz 0,022", Röhrchen 0,022" x 0,025" zwei Röhrchen 0,027" Knopf	Kreuzschlitz Knopf
Quelle	www.dentaurum.de	www.mondeal.de	www.jeilmed.co.kr	www.hdc-italy.com	www.mondeal.de

Da der Halt der orthodontischen Verankerungspins vorwiegend durch Makroretention entsteht, kann eine Belastung der Schrauben auch unmittelbar nach ihrer Insertion erfolgen [Costa et al. 1998, Favero et al. 2002, Freudenthaler et al. 2001]. Es gibt allerdings auch Stimmen, die trotz der Primärstabilität eine Einheilphase von zwei bis sechs Wochen empfehlen [Liou et al. 2004, Ohmae et al. 2001].

Da Minischrauben ihren Halt durch Makroretention gewinnen, ist die Primärstabilität nach der Insertion essentiell. Um eine ausreichende Primärstabilität erreichen zu können, muss der Knochen am Insertionsort eine geeignete Knochenqualität und -quantität aufweisen. Der für Minischrauben am besten geeignete Knochen hat eine Qualität der Klasse D1 oder D2 [Ludwig et al. 2008]. Motoyoshi et al. empfehlen eine Mindestdicke der Kortikalis von einem Millimeter [Motoyoshi et al. 2009].

Ebenfalls berücksichtigt werden muss bei der Auswahl des Insertionsortes, dass zwischen der Schraube und den angrenzenden anatomischen Strukturen ein gewisser Sicherheitsabstand vorhanden sein muss. Während Ludwig und Mitarbeiter einen Sicherheitsabstand von 0,5 mm zum Parodont empfehlen [Ludwig et al. 2008], sprechen sich Maino et al. für einen Abstand von 2,5 mm aus [Maino et al. 2003]. Verschiedene Autoren raten einen Abstand von mindestens 1,0 mm zum Parodontalspalt einzuhalten [Poggio et al. 2006, Schnelle et al. 2004].

Während Büchter et al. keine Bewegung von Schrauben durch Kraftapplikation beobachten konnten [Büchter et al. 2005], wurde in einigen Studien zwar eine klinische, aber keine absolute Stabilität der Schrauben festgestellt [Baumgaertel et al. 2008, Liou et al. 2004]. Liou und Mitarbeiter beobachteten eine Migration der Schrauben unter kieferorthopädischer Belastung von bis zu 1,5 mm und empfehlen aus diesem Grund einen Abstand von 2,0 mm zwischen Schraube und Zahnwurzeln einzuhalten bzw. nicht in Regionen mit Foramina, Nerven und größeren Blutgefäßen zu inserieren [Liou et al. 2004]. Laut Baumgaertel et al. sollte bei der Wahl des Insertionsortes darauf geachtet werden, dass der Schraubenkopf im Bereich der angewachsenen Gingiva liegt. Das sei für den Patienten angenehmer und beuge Schleimhautwucherungen und einem Verlust der Primärstabilität durch ständige Bewegung der angrenzenden Schleimhaut vor [Baumgaertel et al. 2008].

Durch den Einsatz orthodontischer Verankerungspins können Zahnbewegungen unter Kontrolle der Verankerung in allen drei Ebenen durchgeführt werden – sagittal, transversal und vertikal. Der Einsatz kieferorthopädischer Minischrauben ist vielfältig und vermutlich sind etliche Einsatzmöglichkeiten von Minischrauben noch

unentdeckt [Bumann 2006]. Beispielhaft seien hier die wichtigsten Einsatzmöglichkeiten genannt. Zu den sagittalen Bewegungen gehört die Rebeziehungweise Protraktion einzelner Zähne, Zahngruppen oder der ganzen Dentition [Leung et al. 2008]. So können durch eine maximale Verankerung Lücken kieferorthopädisch geschlossen werden oder Patienten mit einer Angle-Klasse II oder III durch Distalisation beziehungsweise Mesialisation behandelt werden [Baumgaertel et al. 2008, Ludwig et al. 2008]. Bei Patienten mit skelettalen Fehlbildungen wie einer maxillären Hypoplasie können Minischrauben als Verankerung für eine Delairemaske eingesetzt werden. So stellten Enacar et al. 2003 eine 10-jährige Patientin mit einer skelettalen Angle-Klasse III und maxillärer Hypoplasie vor, bei der durch die Insertion einer Minischraube in den Processus pterygoideus der Maxilla und anschließenden Einsatz einer Delairemaske eine Protrusion der Maxilla um 7 mm erreicht werden konnte [Enacar et al. 2003]. Bei erwachsenen Patienten mit einer Angle-Klasse II und Einsatz festsitzender Klasse-II-Apparaturen kann das Problem ungewollter Molarendistalisation im Oberkiefer beziehungsweise der Protrusion der Unterkieferfrontzähne durch den Einsatz stabilisierender Minischrauben behoben werden.

Eine weitere häufige Indikation für Minischrauben ist die Aufrichtung eines gekippten Molaren. Dies kann aus parodontologischen, präprothetischen oder kieferorthopädischen Gesichtspunkten erforderlich sein [Ludwig et al. 2008]. Auch zur anterioren Torquekontrolle vor allem beim Einsatz der Lingualtechnik eignet sich der Einsatz von Minischrauben [Hong et al. 2004]. Für den transversalen Platzgewinn wird häufig die forcierte Gaumennahterweiterung (GNE) angewandt. Regelmäßige Nebenwirkung einer GNE-Apparatur ist die Kippung der Ankerzähne nach vestibulär. Durch den Einsatz einer „Hybrid-GNE“, bei der die anteriore Verankerung nicht wie sonst an den Prämolaren, sondern über zwei Minischrauben erfolgt, lässt sich dieses Problem lösen [Ludwig et al. 2008].

Zu den Bewegungen in vertikaler Richtung gehören die Intrusion und Extrusion einzelner Zähne oder Zahngruppen. Durch den Einsatz von Minischrauben können Patienten mit einem offenen oder tiefen Biss oder einer ausgeprägten Speekurve behandelt werden. Ebenso kann die gesamte Okklusionsebene rotiert, sowie einzelne Zahnbewegungen wie die Extrusion retinierter Zähne beziehungsweise die Intrusion antagonistenloser elongierter Zähne durchgeführt werden [Baumgaertel et al. 2008, Creekmore & Eklund 1983, Ludwig et al. 2008].

Man kann eine direkte von einer indirekten Kraftapplikation beim Einsatz von orthodontischen Minischrauben unterscheiden. Bei der indirekten Verankerung wird der Pin zur Stabilisierung eines Zahnes oder einer Zahngruppe genutzt, auf den/die dann die eigentliche Kraftapplikation erfolgt, während bei der direkten Verankerung die Kraft direkt auf die Schraube einwirkt [Celenza & Hochman 2000].

Allgemein sind Minischrauben immer dann indiziert, wenn keine ausreichende dentale Verankerung möglich ist. Dies ist insbesondere bei parodontal geschädigten Gebissen oder einer verminderten Zahnzahl der Fall [Leung et al. 2008].

Bei einer Insertion in die bukkale Kortikalis liegt die Erfolgsrate bei 83 % bis 94 % [Berens et al. 2005, Chen et al. 2007, Wiechmann et al. 2007]. Aufgrund der Dicke der Schleimhaut im palatinal posterioren Bereich des Oberkiefers entsteht ein relativ großer Hebelarm [Büchter et al. 2005, Melsen 2005], der die Verlustrate auf 12 % bis 41 % ansteigen lässt [Berens et al. 2005, Wiechmann et al. 2007]. Ludwig et al. weisen darauf hin, dass der Vergleich solcher Angaben sehr schwierig sei, da es sich immer um unterschiedliche Studienaufbauten mit verschiedenen biomechanischen Konzepten, Insertionsorten und unterschiedlich erfahrenen Behandlern handle. Zudem können durch den Einsatz von Minischrauben zwar kieferorthopädische Kräfte complianceunabhängig wirken, bezüglich der Einheilung der Schrauben, sei das Patientenverhalten aber nicht unwesentlich [Ludwig et al. 2008].

Komplikationen können während der Insertion, während der kieferorthopädischen Behandlungszeit oder aber beim Entfernen der Schraube auftreten. Eines der häufigsten Probleme während der chirurgischen Insertion ist die Verletzung umliegender Parodontien oder Zahnwurzeln. Kuroda et al. konnten ein erhöhtes Verlustrisiko bei einer Insertion direkt in den Parodontalspalt feststellen [Kuroda et al. 2007]. Andere beobachteten bei einer oberflächlichen Verletzung der Zahnwurzel eine vollständige Ausheilung nach Entfernen der Schraube [Asscherickx et al. 2005b, Brisceno et al. 2009, Hembree et al. 2009]. Kommt es allerdings zu einer Verletzung der Pulpa oder zu einer Wurzelfraktur ist der Schaden irreversibel [Hembree et al. 2009]. Weitere anatomische Strukturen, die bei der Insertion verletzt werden können, sind Nerven (Nervus alveolaris inferior, Nervus inzisivus, Nervus palatina major) und Gefäße (Arteria palatina). Auch eine Perforation der Kiefer- oder Nasenhöhle ist möglich [Kravitz & Kusnoto 2007].

Ein weiteres Problem ist eine mögliche Schraubenfraktur während der Insertion oder

der Entfernung. Verhindert werden kann dies durch die Wahl eines ausreichend großen Durchmessers der Schraube. Die Empfehlungen zur Wahl des Minstdurchmessers schwanken zwischen 1,2 mm und 1,4 mm [Mah et al. 2005, Ludwig et al. 2008]. Da die größte Kraft im Bereich des Schraubenhalses wirkt, empfehlen Melsen et al. die Verwendung einer konischen Schraube [Melsen et al. 2005].

Während der Applikation orthodontischer Kräfte kann es zu einer Lockerung und zum frühzeitigen Verlust der Schraube kommen. Ursache hierfür ist häufig eine nicht ausreichende Knochenqualität oder eine unzureichende Primärstabilität durch zu starkes Anziehen (Überdrehen) der Schraube bei der Insertion.

Häufig werden Reaktionen des umliegenden Weichgewebes beobachtet. So kann es durch Weichgewebswucherungen zu einem Überwachsen des Schraubenkopfes kommen. Das Auftreten einer Perimukositis oder Periimplantitis führt zu einer Erhöhung der Verlustrate um 30 % [Kravitz & Kusnoto 2007]. Ludwig et al. empfehlen deshalb Kontrolltermine und Mundhygieneinstruktionen [Ludwig et al. 2008]. Beim Entfernen der Schraube besteht die Gefahr der Fraktur, sofern die Schraube doch teilweise osseointegriert und daher schwer zu entfernen ist [Kravitz & Kusnoto 2007].

Minischrauben bieten demnach sehr vielseitig einsetzbare Verankerungsmöglichkeiten im Rahmen einer kieferorthopädischen Behandlung. Durch ihre sofortige Belastbarkeit wird die Gesamtbehandlungszeit verkürzt und die Behandlungskosten werden gesenkt.

2.3 BISHERIGER KENNTNISSTAND ZUM INSERTIONSORT FÜR KIEFER-ORTHOPÄDISCHE MINISCHRAUBEN

Es wird vielfach empfohlen, Minischrauben im Bereich der bukkalen und palatinalen interradikulären Septen, zahnloser Kieferkammabschnitte oder unterhalb der Spina nasalis anterior einzusetzen. Weitere mögliche Insertionsorte sind der maxilläre Tuber, das Kinn sowie die retromolare Region. Der Gaumen bietet sich ebenfalls zur Insertion von Minischrauben an [Carano et al. 2005, Melsen 2005, Park et al. 2008]. Bezüglich des genauen Insertionsortes am Gaumen gibt es unterschiedliche Erkenntnisse und Empfehlungen. Einige Autoren empfehlen aufgrund der hohen Knochenqualität in der Mediansagittalebene zu inserieren [Henriksen et al. 2003, Kyung et al. 2003a, Wehrbein 2008, Wehrbein et al. 1996b, 1999b, Wilmes et al.

2008, 2009]. Kang et al. haben in diesem Bereich beim Vermessen der maxillären Knochendicke die höchsten Werte festgestellt [Kang et al. 2007]. Asscherickx et al. geben zu bedenken, dass eine Insertion in die Sutur zu einer Wachstumsstörung führen könnte und empfehlen deshalb die Schrauben bei Kindern und Jugendlichen paramedian zu setzen [Asscherickx et al. 2005a]. Auch King und Mitarbeiter sprechen sich für eine Insertion im paramedianen Bereich aus [King et al. 2007]. Gahleitner et al. halten sowohl die mediane als auch die paramediane Region für geeignet [Gahleitner et al. 2004].

Gracco et al. kamen zu dem Ergebnis, dass es im Bereich des harten Gaumens mehrere geeignete Regionen gibt. Der anteriore Teil des Gaumens weist die größte Knochendicke auf, aber auch der posteriore Gaumen eignet sich zur Insertion [Gracco et al. 2006, 2007, 2008]. Laut Bernhart und Mitarbeiter befindet sich die ideale Insertionsstelle 6 mm bis 9 mm hinter dem Foramen incisivum und 3 mm bis 6 mm paramedian [Bernhart et al. 2000].

Während Carano et al. auch eine Insertion lingual empfehlen [Carano et al. 2005], konnten Berens et al. nur eine sehr geringe Erfolgsrate bei lingualen Insertionen feststellen [Berens et al. 2005].

Chen und Mitarbeiter fanden generell eine höhere Verlustrate bei Insertion im Unterkiefer im Vergleich zum Oberkiefer [Chen et al. 2007]. Dagegen publizierten Kravitz und Kusnoto ein erhöhtes Verlustrisiko bei einer Insertion in der Maxilla, mit Ausnahme der midpalatinalen Region, und begründen dies mit der geringeren Knochendichte [Kravitz & Kusnoto 2007].

2.4 DIGITALE VOLUMENTOMOGRAFIE

Um die Komplikationen und Probleme, die beim Inserieren einer Schraube auftreten können, möglichst gering zu halten, ist eine vorangehende bildgebende Diagnostik des Insertionsortes unerlässlich. Grundsätzlich gibt es zwei Möglichkeiten dazu. Die zweidimensionale Darstellung im Rahmen einer konventionellen Röntgenaufnahme oder eine dreidimensionale Darstellung der anatomischen Verhältnisse durch eine Computertomografie oder durch die Aufnahme eines so genannten digitalen Volumentomogramms.

Während Wehrbein et al. allein das Fernröntgenseitenbild zur präoperativen Diagnostik am mediansagittalen Gaumen empfehlen [Wehrbein et al. 1996b, 1999b], raten andere Autoren zum zusätzlichen Einsatz von radioopaken Markern in Form

von Kupfer- oder Edelstahldrähten. Diese Marker sollen eine dreidimensionale Information liefern [Bae et al. 2002, Kyung et al. 2003b]. Tatsächlich kann aber das Risiko einer Verletzung anatomischer Strukturen nicht ausgeschlossen werden. Zudem ist die Anfertigung und Anbringung solcher Marker sehr zeitaufwendig [Suzuki et al. 2008]. Ein grundsätzlicher Nachteil zweidimensionaler Röntgenbilder ist, dass es aufgrund der Dreidimensionalität des Schädels zu Projektionsfehlern und Fehlinterpretationen kommen kann [Huang et al. 2005].

Eine Möglichkeit zur dreidimensionalen Darstellung ist die Computertomografie (CT). Dabei umkreist eine Röntgenröhre den Patienten und sendet ein zweidimensionales fächerförmiges Strahlenbündel aus, das nach dem Durchdringen des Patienten auf eine eindimensionale Detektorzeile trifft (Abb. 6). Hier wird die Intensität des durch Absorption mehr oder weniger stark geschwächten Strahls gemessen und in ein elektronisches Signal umgewandelt. Während der Umrundung des Patienten werden 2 bis 4 Messungen pro Winkelgrad durchgeführt. Die elektronischen Signale einer Umrundung werden durch einen mathematischen Prozess in ein zweidimensionales Schichtbild umgewandelt. Durch das Übereinanderlegen mehrerer solcher Schichtbilder entsteht ein dreidimensionaler Datensatz [Schulze 2006]. Bereits 1998 stellten Haßfeld et al. die so genannte Low-Dose CT vor. Dabei wurde die Röhrenleistung reduziert. Die Strahlenbelastung kann so um 76 % vermindert werden, ohne Verlust an diagnostischer Information. Allerdings war die Energiedosis trotzdem 10-fach höher als bei einer Panoramaschichtaufnahme [Haßfeld 1998].

Die Computertomografie hat gegenüber dem konventionellen Röntgenbild nicht nur die dreidimensionale Darstellung zum Vorteil, auch die Messwerte sind zuverlässiger und genauer [Lindh et al. 1995]. Freudenthaler et al. empfehlen zur Insertion einer kieferorthopädischen Minischraube im Unterkiefer das Anfertigen einer Bohrschablone anhand von zweidimensionalen Röntgenbildern und eine anschließende Computertomografie, um die Position der Schablone zu überprüfen [Freudenthaler et al. 2001]. Andere Autoren sprechen sich für die alleinige Aufnahme eines Computertomogramms zur präoperativen Diagnostik aus [Gahleitner et al. 2004].

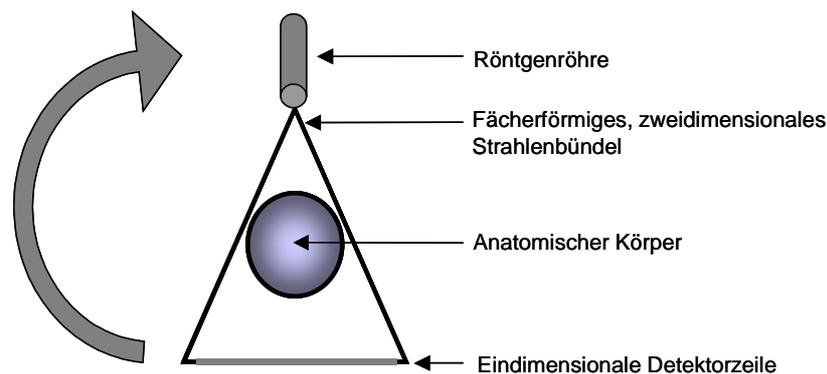


Abb. 6: Schematische Zeichnung des Aufbaus eines computertomografischen Gerätes und des Strahlengangs

Im Vergleich zur Computertomografie wird bei der digitalen Volumentomografie (DVT) ein kegelförmiges dreidimensionales Strahlenbündel eingesetzt, das auf einen zweidimensionalen Flächendetektor trifft (Abb. 7). Dadurch kann ein anatomisches Volumen bereits nach einem Umlauf vollständig erfasst werden. Auch hier rotieren Röntgenröhre und Detektor um den Patienten. Es werden pro Winkelgrad Strahlenbündel gesendet und durch den Detektor in elektronische Signale umgewandelt, woraus zweidimensionale Schnittbilder in axialer Ebene errechnet werden. Aus dieser Primärrekonstruktion werden Sekundärrekonstruktionen in beliebigen Ebenen oder als dreidimensionale Darstellungen gebildet. Limitierender Faktor für die Anwendung der digitalen Volumentomografie ist das durch Geräte- und Volumengröße eingeschränkte Sichtfeld (field of view = FOV), was für den zahnmedizinischen Gebrauch allerdings ausreicht [Schulze 2006]. Entwickelt wurde die DVT unabhängig voneinander durch Arai et al. in Japan [Arai et al. 1999] und von Mozzo et al. in Italien [Mozzo et al. 1998]. Beide waren auf der Suche nach einer strahlenärmeren, anwenderfreundlicheren und kostengünstigeren Alternative zur CT.

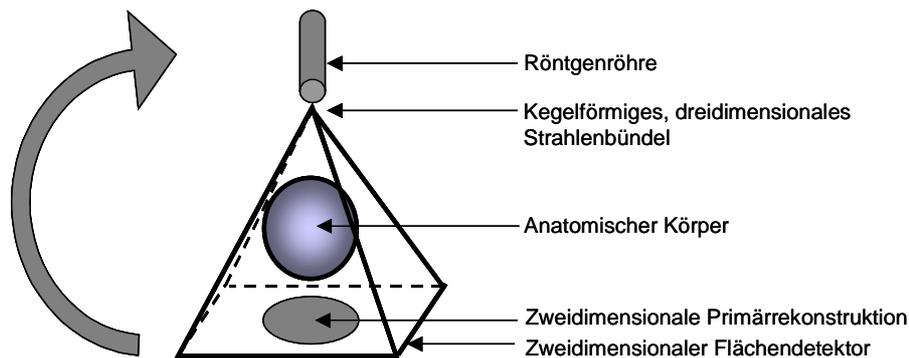


Abb. 7: Schematische Zeichnung des Aufbaus eines digitalen Volumentomografen und des Strahlenganges

Laut einer Stellungnahme der Deutschen Gesellschaft für Kieferorthopädie gehört zu den Indikationen für die DVT in der Kieferorthopädie die Diagnostik von Anomalien des Zahnbestandes und der Zahnwurzeln, die differenzialdiagnostische Bewertung von Zahndurchbruchsstörungen, die Ermittlung der Topografie retinierter und verlagertes Zahnkeime, die Beurteilung pathologischer Knochenstrukturen, die 3D-Differenzialdiagnostik von komplexen angeborenen oder erworbenen kraniofazialen Fehlbildungen, die dreidimensionale Differenzialdiagnostik zur Spaltdiagnostik und die Darstellung des peridental Knochenangebots zur prognostischen Bewertung geplanter Zahnbewegungen [Hirschfelder 2008]. Diese Stellungnahme stimmt mit der Indikationsstellung anderer Autoren überein [Hashimoto et al. 2007, Müssig et al. 2005]. Bumann et al. betonen, dass die DVT nicht nur zur Beurteilung des peridental Knochenangebots eingesetzt werden kann, sondern auch zur Planung von orthodontischen Verankerungspins, da eine exakte Kenntnis der dreidimensionalen anatomischen Verhältnisse eine Schädigung anatomischer Strukturen unwahrscheinlich macht [Bumann et al. 2009].

Die DVT wurde vielfach in Bezug auf Bildqualität und Strahlenbelastung untersucht und mit der CT verglichen. Bereits Mozzo et al. beschrieben die geometrische Genauigkeit mit einer Abweichung von 0,8-1,0 % in der Breite und 2,2 % in der Höhe von den mittleren Messwerten zu den tatsächlichen Werten als ausreichende Genauigkeit [Mozzo et al. 1998]. Arai und Mitarbeiter sprachen von einer sehr hohen Bildqualität bei einer Auflösung von 2 lp mm^{-1} (lp=Liniennpaar) [Arai et al. 1999].

Auch die Arbeitsgruppen von Pinsky und Draenert beschrieben die DVT als ein präzises Darstellungsverfahren [Draenert et al. 2008, Pinsky et al. 2006]. Allerdings kamen Draenert et al. zu der subjektiven Einschätzung, dass die Aussagekraft im Bereich der Spongiosa etwas eingeschränkt sei, während die Kontraste im Bereich der Kortikalis gut seien [Draenert et al. 2008]. Pinsky ermittelten anhand einer mit definierten Bohrlöchern versehenen Mandibula bzw. Acrylplatte eine Reliabilität von 96 % [Pinsky et al. 2006]. Hashimoto und Mitarbeiter kamen durch eine subjektive Einschätzung zu der Feststellung, dass die Validität der DVT höher sei als die der CT [Hashimoto et al. 2007]. Periago et al. konnten einen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den tatsächlichen Messgrößen und den DVT-Messungen feststellen, hielten eine Messgenauigkeit mit einer Fehlerquote von $2,31 \% \pm 2,11 \%$ für den klinischen Gebrauch ausreichend [Periago et al. 2008]. Swennen & Schutyser konnten bei der DVT im Bereich der Okklusionsebene weniger Artefakte durch metallische Restaurationen feststellen als bei der CT und befanden die Darstellung der Weichgewebe für gut [Swennen & Schutyser 2006].

Die am häufigsten gestellte Frage ist die nach der Strahlenbelastung bei der DVT im Vergleich zur CT. Dabei variieren die Studienergebnisse beträchtlich. Bereits Mozzo et al. beschrieben die Strahlenbelastung bei der DVT als signifikant geringer als bei der CT [Mozzo et al. 1998]. Auch Arai et al. gaben an, dass die Einfallsdosis bei der DVT um einige Dutzendmal kleiner ist als bei der CT [Arai et al. 1999]. Mah et al. verglichen die effektive Dosis einer Panoramaschichtaufnahme mit der DVT und der CT. Dabei liegt die effektive Dosis einer DVT (NewTom 9000) mit $50,3 \mu\text{Sv}$ deutlich unter der einer CT (bis zu $656,9 \mu\text{Sv}$, Elscint Excel 2400 CT) und über der einer Panoramaschichtaufnahme ($3,9 \mu\text{Sv}$, Planmeca PM 2002 CC Proline) [Mah et al. 2003]. Auch Schulze et al. stellten fest, dass die Strahlenbelastung bei der DVT ($5,4 \text{ mGy}$ bei NewTom 9000 bzw. $1,14 \text{ mGy}$ bei Siremobil Iso-C^{3D}) zwischen oder unter der einer CT ($10,22 \text{ mGy}$ bei Somatom VolumeZoom bzw. $8,75 \text{ mGy}$ bei Somatom Sensation 16) und einer Panoramaschichtaufnahme ($1,86 \text{ mGy}$ Orthophos) liegt und deutlich geringer ist, als bei der konventionellen CT [Schulze et al. 2004]. Laut Hamada et al. beträgt die Strahlenbelastung bei der DVT nur 1/15 von der CT [Hamada et al. 2005]. Hashimoto und Mitarbeiter geben sogar eine Strahlenbelastung für die DVT (3DX multi-image micro CT) an, die mit einer effektiven Dosis von $1,19 \text{ mSv}$ 400-mal kleiner sein soll als bei der CT (Asteion Super 4 edition). Allerdings wurde hier bei der DVT ein FOV von nur $30 \times 40 \text{ mm}$

gewählt [Hashimoto et al. 2006, 2007]. Kim et al. beschrieben eine Strahlenbelastung bei der DVT, die der eines Einzelbildstatus mit 14 Aufnahmen sehr ähnlich sei und unter der einer CT liegen solle [Kim et al. 2007].

Periago und Mitarbeiter bemerkten, dass bei der DVT eine gute Weichgewebsrekonstruktion möglich sei [Periago et al. 2008]. Cohnen et al. jedoch bemängelten die Weichgewebsrekonstruktion bei der DVT (NewTom 9000) und stellten fest, dass die Strahlenbelastung einer Low-Dose-CT (Somatom Plus 4) nur 35 % über der einer DVT (0,11 mSv bei NewTom 9000) liege. Aus diesem Grund empfahlen Cohnen et al. 2002 standardmäßig weiterhin konventionelle Röntgenaufnahmen einzusetzen und bei Bedarf einer dreidimensionalen Darstellung die Low-Dose-CT der DVT vorzuziehen [Cohnen et al. 2002].

Bumann wies 2009 darauf hin, dass das Studiendesign bei Dosis-Studien unbedingt mit den aktuellen Richtlinien der internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP – International Commission on Radiological Protection) übereinstimmen müsse, damit es zu aussagekräftigen Ergebnissen kommen könne [Bumann et al. 2009]. Die ICRP-Richtlinien geben, entsprechend den neuesten wissenschaftlichen Erkenntnissen, Messpunkte und Wichtungsfaktoren für die strahlensensitiven Gewebe zur Berechnung der effektiven Dosis vor. Diese Richtlinien gibt es in Versionen aus den Jahren 1990, 2005 und 2007 [Valentin 2007]. Nur wenige Studien orientieren sich an den ICRP-Richtlinien, so dass bei Vergleichen zwischen verschiedenen Studien die Untersuchungsbedingungen genau beachtet werden müssen.

Die Studie von Ludlow et al. aus dem Jahr 2003 ist mit der ICRP-Richtlinie aus dem Jahr 1990 konform. Dabei kamen die Autoren zu dem Ergebnis, dass die effektive Dosis einer DVT (NewTom 9000) mit 36,9 μ Sv ungefähr sechsmal höher ist, als die einer Panoramaschichtaufnahme (6,2 μ Sv, Orthophos Plus DS) [Ludlow et al. 2003]. Tsiklakis et al. verglichen die effektive Dosis bei einer DVT einmal mit und einmal ohne zusätzlichen Strahlenschutz für die Schilddrüse und die Halswirbelsäule. Dabei ergab sich bei Berücksichtigung der ICRP-Richtlinien aus dem Jahr 1990 eine effektive Dosis von 0,035 mSv ohne und 0,023 mSv mit zusätzlichem Strahlenschutz [Tsiklakis et al. 2005]. Im Jahr 2006 verglichen Ludlow et al. die Strahlenbelastung einer digitalen Panoramaschichtaufnahme (Orthophos Plus DS) mit drei unterschiedlichen DVT-Geräten. Dabei wurden die ICRP-Richtlinien aus dem Jahr 1990 bzw. 2005 berücksichtigt. Die Strahlenbelastung beim NewTom 3G ist

demnach 4,5- bzw. 2-mal so hoch wie bei einer Panoramiaschichtaufnahme. Beim i-CAT ist die Strahlenbelastung 3- bzw. 3,3-mal so hoch wie beim NewTom 3G, während beim Mercuray die Strahlenbelastung 10,7- bzw. 9,5-mal höher ist. Dabei wurde bei allen drei DVT-Geräten ein FOV (FOV = Field of View) von 12" eingestellt [Ludlow et al. 2006]. Die von Ludlow & Ivanovic 2008 vorgestellte Studie ist mit den aktuellen ICRP-Richtlinien aus dem Jahr 2007 konform. Hier liegt die effektive Dosis bei einer CT um das 1,5- bis 12,3-fache über der einer DVT [Ludlow & Ivanovic 2008].

Eine ebenfalls von Ludlow et al. aus dem Jahr 2008 stammende Studie verglich die effektiven Dosen von Einzelbildaufnahmen (Intra, 18-Bilder-Status und Bissflügel), Orthopantomogrammen (OPG) und Fernröntgenseitenbildern (FRS) unter Berücksichtigung der ICRP-Richtlinien aus dem Jahr 2007. Für einen 18-Bilder-Status ergab sich eine effektive Dosis von 34,9 μSv (F-Film mit rechteckiger Kollimation), 170,7 μSv (F-Film mit runder Blende) und 388 μSv (D-Film mit runder Kollimation), für vier posteriore Bissflügelaufnahmen eine effektive Dosis von 5,0 μSv (F-Film mit rechteckiger Blende). Die Messung der effektiven Dosis bei OPGs ergab einen Wert von 14,2 μSv (Panoramic Orthophos XG) bzw. 24,3 μSv (ProMax) und für ein FRS 5,6 μSv (Interay) [Ludlow et al. 2008]. Unter Berücksichtigung der aktuellen ICRP-Richtlinien aus dem Jahr 2007 verursacht das i-CAT-Gerät mit einem FOV von 13 cm eine effektive Strahlendosis von 61,1 μSv [Silva et al. 2008]. Hirsch et al. publizierten, dass durch den Einsatz eines Schilddrüsenstrahlenschutzes während der Aufnahme die effektive Dosis beim i-CAT-Gerät auf 49 μSv und durch den zusätzlichen Einsatz des Low-Dose-Modus sogar auf 34 μSv reduziert werden könne [Hirsch et al. 2010]. Tabelle 2 fasst die Ergebnisse aus den oben genannten Studien zusammen.

Im weiteren Vergleich der DVT mit der CT werden die Kosteneffizienz [Hamada et al. 2005, Mozzo et al. 1998, Swennen et al. 2006] und die leichte Handhabung der DVT-Geräte gelobt [Mozzo et al. 1998, Periago et al., Swennen & Schutyser 2006].

Tab. 2: Vergleich einiger effektiver Dosen D_{eff} in μSv aus den oben genannten Studien von DVT, CT, OPG und Sonstigem mit Angabe des zu Grunde gelegten ICRP-Standards

Studie	Gerät	ICRP	D_{eff} [μSv]
DVT			
Cohnen et al. 2002	New Tom 9000 (New Tom, Marburg, Deutschland)	-	110,0
Mah et al. 2003	NewTom 9000 (Apeiro Inc, Sarasota, Fla, USA)	-	50,3
Ludlow et al. 2003	New Tom 9000 (NIM s.r.l., Verona, Italien)	1990	36,0
Tsiklakis et al. 2005	New Tom 9000 (QR, Verona, Italien)	1990	23,0
Ludlow et al. 2006	New Tom 3G (QR, Verona, Italien) nach ICRP 1990 und 2005	1990 2005	44,7 58,9
	i-CAT (Imaging Sciences International, Hatfield, PA, USA) nach ICRP 1990 und 2005	1990 2005	134,8 193,4
	CB Mercuray (Hitachi Med. Sys. America, Twinsburg, OH, USA) nach ICRP 1990 u. 2005	1990 2005	476,6 557,6
	Ludlow et al. 2008	Classic i-CAT (Imaging Sciences International, Hatfield, PA, USA) Next Generation i-CAT (Imaging Sciences International, Hatfield, PA, USA) Galileos (Sirona, Charlotte, NC, USA)	2007
Silva et al. 2009	i-CAT (Imaging Sciences International, Hatfield, PA, USA)	2007	61,1
Hirsch et al. 2010	i-CAT (Imaging Sciences International, Hatfield, PA, USA) mit zusätzlichem Strahlenschutzschild	2007	49,0
	i-CAT (Imaging Sciences International, Hatfield, PA, USA) im Low-Dose-Modus		34,0
CT			
Cohnen et al. 2002	Somatom Plus 4 (Siemens, Erlangen, Deutschland)	-	610,0
	Somatom Plus 4 Volume Zoom (Siemens, Erlangen, Deutschland)		740,0
Ludlow et al. 2008	Somatom Sensation (Siemens, Malvern, PA, USA)	2007	860,0
OPG			
Cohnen et al. 2002	Orthophos C (Sirona, Bensheim, Deutschland)	-	10,0
Ludlow et al. 2003	Orthophos Plus DS (Sirona, Bensheim, Deutschland)	1990	6,2
Ludlow et al. 2008	Panoramic Orthophos XG (Sirona, Bensheim, Deutschland)	2007	14,2
	ProMax (Planmeca, Helsinki, Finnland)		24,3
Sonstiges			
Bottollier-Depois et al. 2003	Flug von Paris nach Tokio über Sibirien (11,5 h)	-	6,6 / Flugstd.
Bottollier-Depois et al. 2004	Flug Paris-Tokio-Paris über USA	-	129,0 \pm 10
Kiefer et al. 2004	14-Bilder-Status - analog	-	78,0
	14-Bilder-Status - digital		41,0
Ludlow et al. 2008	FRS (Inetray, Varian Medical Systems, North Charleston, S.C., USA)	2007	5,6
	18-Bilder-Status (Intra, Planmeca, Helsinki, Finnland) mit F-Film und rechteckiger Blende		34,9
	18-Bilder-Status (Intra, Planmeca, Helsinki, Finnland) mit F-Film und runder Blende		170,7
	18-Bilder-Status (Intra, Planmeca, Helsinki, Finnland) mit D-Film und runder Blende		388,0
	4 Bissflügelaufnahmen (Intra, Planmeca, Helsinki, Finnland) mit F-Film und rechteckiger Blende		5,0

ICRP=International Commission on Radiological Protection; DVT=Digitale Volumentomografie; CT=Computertomografie; OPG=Orthopantomogramm; FRS=Fernröntgenseitenbild

3 FRAGESTELLUNG

Gaumenimplantate zur skelettalen Verankerung haben das kieferorthopädische Behandlungsspektrum grundlegend erweitert. Aufgrund des variierenden Knochenangebots an verschiedenen Punkten im Bereich des harten Gaumens und der Limitationen durch den Canalis incisivus, empfehlen verschiedene Autoren eine genaue präoperative Studie der anatomischen Gegebenheiten. Es gilt, die für eine Insertion eines Verankerungspins in Frage kommenden Regionen in allen drei Ebenen des Raumes zu erfassen. Hohe Aufnahmequalität [Arai et al. 1999, Draenert et al. 2008, Hashimoto et al. 2007, Kim et al. 2007, Mozzo et al. 1998, Periago et al. 2008, Pinsky et al. 2006, Swennen & Schutyser 2006] bei relativ niedriger effektiver Strahlendosis werden heutzutage mittels DVT-Geräten erreicht [Ludlow et al. 2003, Ludlow et al. 2006, Ludlow & Ivanovic 2008, Tsiklakis et al. 2005]. Daher liegt es nahe, die dreidimensionalen Knochenverhältnisse am Gaumen mittels DVT zu untersuchen.

Ziel dieser Studie ist es, anhand digitaler Volumentomogramme und einer speziellen Software (InVivoDental 4.0 [Anatomage, San Jose, Kalifornien, USA]), die paramediane und mediane Knochendicke des harten Gaumens bei Kindern, Jugendlichen und Erwachsenen zu bestimmen. Dabei sollen verschiedene Patientengruppen miteinander verglichen werden. Folgende Hypothesen sollen mit dieser Arbeit überprüft werden:

Das Knochenangebot im vorderen Gaumen unterscheidet sich in Abhängigkeit vom Alter zwischen 9-13 Jährigen, 14-18 Jährigen und 19-30 Jährigen.

Das Knochenangebot im vorderen Gaumen ist bei männlichen Patienten größer als bei weiblichen.

Das Knochenangebot im vorderen Gaumen nimmt mit zunehmendem Alter der Patienten zu.

Das Knochenangebot im vorderen Gaumen unterscheidet sich nicht zwischen der rechten und der linken Gaumenseite.

Außerdem soll durch deskriptive Statistik dargestellt werden an welchen Punkten wie viel Prozent der Patienten einer Gruppe ausreichend Knochen zur Verfügung haben.

Damit soll dem Kliniker eine Empfehlung gegeben werden, in welcher Entfernung von der Schmelz-Zement-Grenze palatinal der mittleren Inzisivi und der Medianebene Minischrauben im Rahmen kieferorthopädischer Behandlungen gesetzt werden können.

4 MATERIAL UND METHODEN

4.1 ALLGEMEINE METHODEN

4.1.1 PATIENTEN

In diese Studie wurden 431 aufgenommene digitale Volumentomogramme (DVTs) von Patienten in kieferorthopädischer Behandlung einbezogen. Die digitalen Volumen-tomogramme wurden durch das Röntgeninstitut MESANTIS Berlin angefertigt und stammen von Patienten unterschiedlicher Behandler. Die DVTs wurden in Abhängigkeit von Patientenalter und Geschlecht in 6 Gruppen unterteilt. Von dieser Studie ausgeschlossen wurden Patienten mit dentalen Fehlbildungen im Oberkiefer. Dazu gehören Nicht- und Doppelanlagen, persistierende und verlagerte Zähne sowie Transpositionen, Mikrodontie und Zysten. Ebenfalls ausgeschlossen wurden digitale Volumentomogramme von Patienten in der Zeit nach einem Frontzahntrauma oder einer Wurzelspitzenresektion und mit nicht eindeutiger Schmelz-Zement-Grenze an den oberen mittleren Schneidezähnen verursacht durch Überkronungen oder starke Hypomineralisationen. Auch Daten von Patienten mit skelettalen Fehlbildungen wie einer Lippen-Kiefer-Gaumenspalte oder einer Gesichtsasymmetrie sowie einer Dentitio tarda wurden nicht ausgewertet. Es wurden ausschließlich digitale Volumentomogramme ausgewählt, die eine subjektiv hohe Aufnahmequalität aufwiesen. Aus 496 verfügbaren DVTs von Patienten in kieferorthopädischer Behandlung im Alter zwischen 9 Jahren und 30 Jahren, mussten 65 aus oben genannten Gründen ausgeschlossen werden.

4.1.2 RÖNTGENOLOGISCHE UNTERSUCHUNG

Mit der digitalen Volumentomografie können dreidimensionale Röntgenaufnahmen, so genannte digitale Volumentomogramme, angefertigt werden.

Für die Anfertigung der 431 digitalen Volumentomogramme wurden das i-CAT (Imaging Sciences International, Hatfield, Pennsylvania, USA) und das MESANTIS *line* (Imaging Sciences International, Hatfield, Pennsylvania, USA) - eine Sonderedition für das MESANTIS-Netzwerk - eingesetzt. Für beide Geräte gibt es ein standardisiertes Aufnahmeverfahren. Dabei wird der Patient sitzend positioniert,

in allen drei Raumebenen ausgerichtet und fixiert. Die Ausrichtung in der Horizontalen erfolgt nach der Okklusionsebene, in der Sagittalen nach der Medianebene und in der Transversalen nach der Scharnierachse der Kiefergelenke. Die technischen Daten der beiden Geräte zeigt Tabelle 3. Die hier ausgewerteten DVTs wurden mit einer Voxeleinstellung von 0,25 mm aufgenommen.

Tab. 3: Technische Daten der verwendeten Geräte: i-CAT und MESANTIS line

	i-CAT®	MESANTIS line
Röhrenspannung	120 kVp	90-120 kVp
Stromstärke	3-8 mA	3-8 mA
Voxel	0,125 - 0,4 mm	0,125 - 0,4 mm
Scanzeit	40 s	8,5 s
Patientenpositionierung	sitzend	sitzend

kVp=Röhrenspitzenspannung

4.1.3 DATENERHEBUNG

4.1.3.1 VERMESSUNG

Für die Vermessung des Knochenangebotes im vorderen Gaumen wurden die digitalen Volumentomogramme als DICOM-Dateien mit der InVivoDental 4.0 Software bearbeitet. Dabei wurde eine 2D-Darstellung gewählt. Für die Vermessung dieser Untersuchung von Bedeutung war die Darstellung in der Transversal- und Sagittalebene (Abb. 8, 9, 10 und 11).

Als Referenzpunkte dienten der Schnittpunkt der Mediansagittalen mit der posterioren knöchernen Wand des Foramen incisivum sowie der tiefste Punkt der palatinalen Schmelz-Zement-Grenze des mittleren oberen Schneidezahnes der jeweiligen Seite. Ausgehend von diesen Referenzpunkten wurde ein fiktives Messgitter auf den vorderen Gaumen gelegt. Die Gitterkreuzpunkte befanden sich in 10,0 mm, 12,0 mm, 14,0 mm, 16,0 mm, 18,0 mm und 20,0 mm Entfernung vom Referenzpunkt an der Schmelz-Zement-Grenze entlang des Knochenverlaufes nach posterior sowie in 0,0 mm, 2,0 mm, 4,0 mm, 6,0 mm und 8,0 mm Entfernung von der posterioren knöchernen Wand des Foramen incisivum nach lateral. Dadurch ergaben sich für die rechte und linke Seite jeweils 30 Messpunkte, also insgesamt 60 Messpunkte pro Patient. Die einzelnen Punkte werden im Folgenden als R/L_X_Y abgekürzt dargestellt. R/L bezeichnet dabei die rechte bzw. linke Gaumenseite, X entspricht dem Abstand in mm von der posterioren Wand des Foramen incisivum

nach lateral und Y entspricht dem Abstand in mm von der Schmelz-Zement-Grenze des mittleren Schneidezahnes nach posterior. Nach Ermittlung der Gitterkreuzpunkte wird die verfügbare Knochendicke in der Sagittalebene senkrecht zur Knochenoberfläche gemessen und in 1/100 mm genau festgehalten. Die Knochendicke wird dabei durch Zahnwurzeln, den Nasenboden, die Kieferhöhle oder den Canalis inzisivus limitiert.

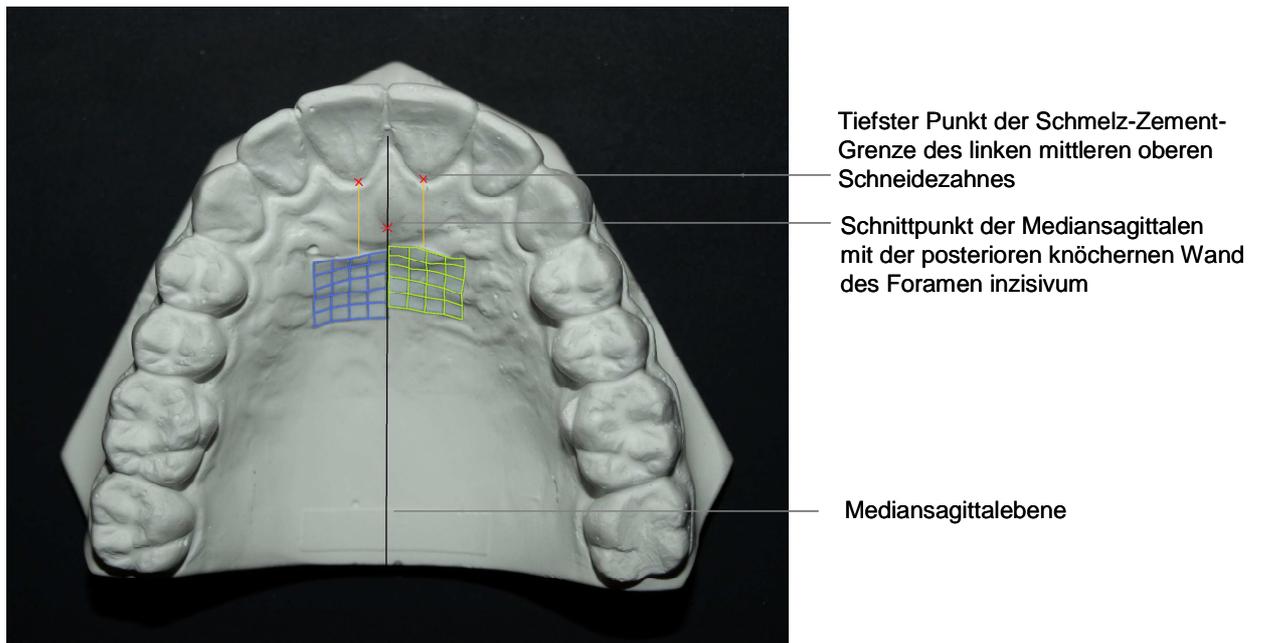


Abb. 8: Schematische Darstellung der auf dem Gaumen befindlichen Referenz- und Messpunkte



Abb. 9: Screenshot eines DVT-Schnittbildes in der Horizontalebene zur Festlegung der Mediansagittalen zur Bestimmung des Referenzpunktes an der knöchernen Wand des Foramen inzisivum

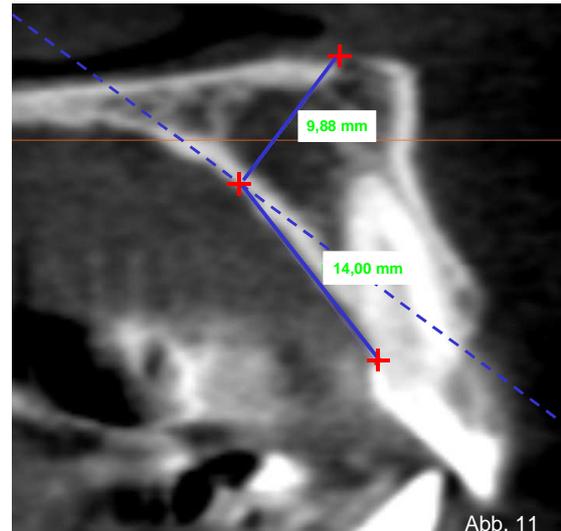


Abb. 10: Screenshot eines DVT-Schnittbildes in der Mediansagittalebene zur Festlegung des Referenzpunktes an der posterioren knöchernen Wand des Foramen incisivum

Abb. 11: Screenshot in der Sagittalebene mit Referenzpunkt an der Schmelz-Zement-Grenze des mittleren oberen Schneidezahnes und einer beispielhaften Knochendickenmessung 14,0 mm posterior-kränial dieses Referenzpunktes, senkrecht zur Knochenoberfläche

4.1.3.2 DATENERFASSUNG

Die gemessenen Knochendicken wurden für jeden Punkt in einer Tabelle festgehalten. Als weitere Informationen wurden die Patientenummer, die Patientengruppe, die Altersgruppe und das Geschlecht des Patienten festgehalten.

4.1.4 DATENVERARBEITUNG

Die Patientendaten (DVT mit Patientennamen, Alter und Geschlecht) wurden als DICOM-Dateien abgespeichert, mit der InVivoDental 4.0 Software (Anatomage, Inc., San José, Kalifornien, USA) vermessen und mit dem Statistikprogramm SPSS 16.0 (SPSS 16.0; SPSS, Inc., Chicago, Illinois, USA) zur statistischen Auswertung sowie mit dem Tabellenkalkulationsprogramm Excel 2000 (Excel 2000; Microsoft, Redmond, Washington, USA) zur Fehlerberechnung ausgewertet.

4.1.4.1 DICOM

Mit dem 1993 entwickelten DICOM-Standard (Digital Imaging and Communications in Medicine) ist eine digitale Archivierung und eine elektronische Bildverteilung möglich. Eine DICOM-Datei enthält nicht nur reine Bildinformationen, sondern auch bildbegleitende Informationen zu dem entsprechenden Patienten (Name, Geburtsdatum, Patientenummer), zu Modalität und Aufnahme (Geräteparameter und Strahlendosis) und zum Bild selbst (Auflösung und Fensterung). Seit 1995 ist DICOM auch in Europa als formaler Standard akzeptiert [Thoben 2009].

4.1.4.2 INVIVO DENTAL 4.0

Die InVivoDental 4.0 (Anatomage, San José, Kalifornien, USA) ist eine Software, die speziell für die Anwendung in der Zahnmedizin entwickelt wurde, mit der 3D-Modelle aus DICOM-Dateien erstellt werden können. Die 3D-Modelle können unter anderem durch eine Zusatzfunktion in beliebigen Ebenen als 2D-Ansichten dargestellt werden, wodurch lineare Vermessungen am Knochen möglich sind [Anatomage, Inc 2008].

4.1.4.3 SPSS 16.0

SPSS 16.0 ist eine plattformunabhängige Statistik- und Analyse-Software, die häufig an Universitäten zum Datenmanagement und für statistische Datenanalysen eingesetzt wird [Augustin 2009].

4.1.4.4 EXCEL 2000

Excel ist ein Tabellenkalkulationsprogramm, mit dem man durch Formeln und Funktionen statistische Berechnungen durchführen kann. Ergebnisse können anhand von Filter- und Sortierfunktionen ausgewertet und grafisch dargestellt werden. Die Fehlerberechnung dieser Untersuchung wurde mit Excel 2000 durchgeführt.

4.1.5 ALLGEMEINE STATISTIK

Bevor die einzelnen Hypothesen überprüft werden können, muss zunächst die Messgenauigkeit ermittelt sowie ein Test auf Normalverteilung der gemessenen Werte durchgeführt werden.

Da es grundsätzlich nicht möglich ist fehlerfrei zu messen, ist es notwendig eine Fehlerberechnung durchzuführen, um die Messgenauigkeit und damit auch die Aussagekraft der Messungen abzuschätzen. Der Methodenfehler gehört zu den zufälligen Fehlern und kann durch fehlerhafte Positionierung des Patienten im Kephalostat aber vor allem auch durch die manuelle Bestimmung der Messpunkte sowie durch Ablesefehler verursacht werden. Der Methodenfehler δ wurde mit der Formel nach Dahlberg berechnet und ist ein Maß für die Fehlervarianz [Dahlberg 1940].

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum d^2}{2n}}$$

d = Standardabweichung aus der Differenz der Ursprungsmessung und der Messwiederholung

n = Anzahl der Messwiederholungen

Mit dem Zuverlässigkeitskoeffizient nach Houston η kann das Verhältnis zwischen der Gesamtvarianz v der Messungen und dem Methodenfehler nach Dahlberg δ beurteilt werden. Hierfür wird folgende Formel benutzt:

$$\eta = 1 - \frac{\delta^2}{v}$$

δ = Methodenfehler nach Dahlberg

v = Gesamtvarianz der Messungen

Liegt kein zufälliger Fehler vor, so ist der Methodenfehler nach Dahlberg gleich 0 und der Zuverlässigkeitskoeffizient nach Houston beträgt 1 [Houston 1983]. Nach Mitdgård et al. sollte die Fehlervarianz unter 3 % sein, also der Zuverlässigkeitskoeffizient größer oder gleich 97 % betragen. Nur dann liegt eine ausreichende Zuverlässigkeit und Reliabilität vor [Mitdgård et al. 1974]. Für die Fehlerberechnung wurden 3 zufällig ausgewählte DVTs jeweils 15-mal vermessen. Die Messwiederholungen wurden innerhalb von 3 Wochen durchgeführt. Der zeitliche Abstand zur Ursprungsmessung betrug mindestens 3 Monate.

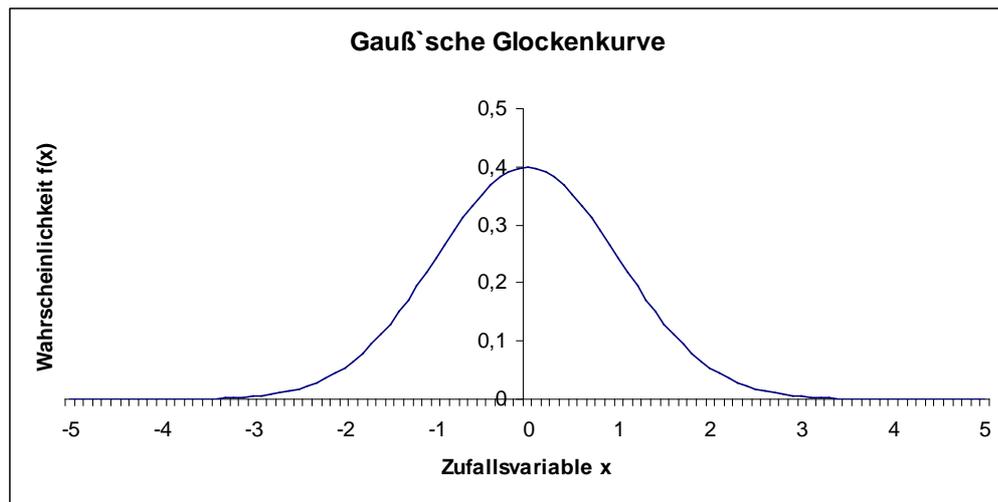


Abb. 12: Beispielhafte Darstellung einer Gauß'schen Glockenkurve anhand einer Standardnormalverteilung

Für den weiteren Verlauf der statistischen Auswertung ist es von Bedeutung zu wissen, ob es sich bei den Messergebnissen um eine Normalverteilung handelt oder nicht. Eine Normalverteilung liegt dann vor, wenn die Wahrscheinlichkeitsverteilung kontinuierlich ist [Wernecke 2004]. Grafisch lässt sich dies in Form einer Gauß'schen Glockenkurve darstellen (Abb. 13). Durch den Kolmogorov-Smirnov-Test kann eine Überprüfung auf Normalverteilung durchgeführt werden. Eine signifikante Abweichung von der Normalverteilung liegt vor, wenn der p-Wert $< 0,05$ ist.

4.2 SPEZIELLE STATISTIK

4.2.1 KNOCHENANGEBOT IN ABHÄNGIGKEIT VON DER PATIENTENGRUPPE

Die insgesamt 431 Patienten wurden nach Alter und Geschlecht in 6 Patientengruppen unterteilt (Tab. 4).

Tab. 4: Einteilung der Gruppen 1 bis 6 nach Alter in Jahren und Geschlecht mit Anzahl der ausgewerteten digitalen Volumentomogramme

Gruppe	Anzahl	Geschlecht	Alter
1	85	männlich	9-13
2	85	weiblich	9-13
3	66	männlich	14-18
4	68	weiblich	14-18
5	51	männlich	19-30
6	76	weiblich	19-30

Jedes digitale Volumentomogramm wurde wie unter 4.1.3.1 beschrieben vermessen. Die Messwerte wurden in Tabellen festgehalten und wie unter 4.1.5 beschrieben auf Messgenauigkeit und Normalverteilung untersucht.

Liegt keine Normalverteilung vor, wird der H-Test nach Kruskal und Wallis durchgeführt. Dabei handelt es sich um einen nichtparametrischen Vergleich von mehr als zwei unabhängigen Stichproben. Es kann untersucht werden, ob es einen signifikanten Unterschied zwischen den Messpunkten der sechs Patientengruppen gibt. Es liegt ein signifikanter Unterschied vor, wenn $p < 0,05$. Ergibt sich durch den H-Test ein $p < 0,05$, so muss post-hoc ein nichtparametrischer Test für jeweils zwei unabhängige Stichproben durchgeführt werden. Mit dem U-Test nach Mann und Whitney können einzelne Patientengruppen auf signifikante Unterschiede verglichen werden [Bühl 2006, Sachs & Hedderich 2006].

Bei der deskriptiven Statistik werden pro Gruppe und Messpunkt der Mittel- und Medianwert, die Standardabweichung sowie die maximal und minimal gemessene Knochendicke dargestellt.

Der Mittelwert, oder auch arithmetisches Mittel, einer Menge von n Beobachtungen eines metrisch skalierten Merkmales x ist definiert als:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

x = Messwert

n = Anzahl der Messwerte

Der Mittelwert ist instabil gegenüber Extremwerten, so genannten Ausreißern, das heißt, dass Extremwerte den Mittelwert stark beeinflussen.

Beim Medianwert handelt es sich um eine Maßzahl, die auf nach Größe sortierten Daten beruht und damit gegenüber Ausreißern resistent ist. Der Medianwert Me teilt eine geordnete Reihe in zwei gleich große Teile, so dass ober- und unterhalb des Medianwertes 50 % der Beobachtungen liegen. Sowohl beim Mittel- als auch beim Medianwert handelt es sich um ein Maß für die Lage des Zentrums. Allerdings kann der Medianwert auch bei schiefen Verteilungen angewendet werden.

Die Standardabweichung σ dient der Beschreibung der Variabilität eines Merkmales um den Mittelwert. Große Werte stehen für eine große Variabilität und eine geringe Präzision, kleine Werte für eine geringe Variabilität und eine hohe Präzision.

$$\sigma = \sqrt{\frac{n \sum x^2 - (\sum x)^2}{n(n-1)}}$$

x = Messwerte

n = Anzahl der Messwerte

Bei einem Einsatz von Minischrauben mit einer Länge von 6,0 bzw. 8,0 mm und einem Sicherheitsabstand von 1,0 mm erfordert dies ein Mindestknochenangebot von 7,0 bzw. 9,0 mm. Anhand der prozentualen Auswertung wird gezeigt, wie viel Prozent der untersuchten Patienten pro Punkt ein ausreichendes Knochenangebot von $\geq 7,0$ bzw. $\geq 9,0$ mm haben. Diese Auswertung wurde für jede Gruppe einzeln durchgeführt.

4.2.2 KNOCHENANGEBOT IN ABHÄNGIGKEIT VOM GESCHLECHT

Die insgesamt 431 Patienten wurden nach Geschlecht in 2 Patientengruppen unterteilt (Tab. 5).

Tab. 5: Aufteilung der nach dem Geschlecht sortierten Gruppen und den nach Alter in Jahren sortierten Untergruppen

Geschlecht	Anzahl
männlich	202
weiblich	229

Jedes digitale Volumentomogramm wurde wie unter 4.1.3.1 beschrieben vermessen. Die Messwerte wurden in Tabellen festgehalten und wie unter 4.1.5 beschrieben auf Messgenauigkeit und Normalverteilung untersucht.

Auch für den Vergleich der Geschlechtsgruppen, wurde bei nicht vorhandener Normalverteilung der H-Test nach Kruskal und Wallis durchgeführt und bei vorhandener Signifikanz anschließend der U-Test nach Mann und Whitney (siehe 4.2.1).

Des Weiteren wurde die deskriptive Statistik und prozentuale Auswertung wie unter 4.2.1 beschrieben durchgeführt.

4.2.3 KNOCHENANGEBOT IN ABHÄNGIGKEIT VOM ALTER

Die insgesamt 431 Patienten wurden nach Alter, in dem die DVTs durchgeführt wurden, in 3 Patientengruppen unterteilt (Tab. 6).

Tab. 6: Aufteilung der nach dem DVT-Aufnahme-Alter in Jahren sortierten Gruppen

Alter	Anzahl
9-13	170
14-18	134
19-30	127

Die Auswertung erfolgte wie unter 4.1.3.1, 4.1.5 und 4.2.1 beschrieben.

4.2.4 KNOCHENANGEBOT IN ABHÄNGIGKEIT VON DER KÖRPERHÄLFTE

Bei den insgesamt 431 Patienten wurde die rechte mit der linken Gaumenhälfte verglichen. Jedes digitale Volumentomogramm wurde wie unter 4.1.3.1 beschrieben vermessen. Die Messwerte wurden in Tabellen festgehalten und wie unter 4.1.5 beschrieben auf Messgenauigkeit und Normalverteilung untersucht.

Lag keine Normalverteilung vor, so wurde beim Vergleich der rechten mit der linken Gaumenseite der Wilcoxon-Test durchgeführt, da es sich um den Vergleich zweier abhängiger Stichproben handelte. Das Signifikanzniveau wurde mit $p < 0,05$ festgelegt.

5 ERGEBNISSE

5.1 ALLGEMEINE STATISTIK

5.1.1 FEHLERBERECHNUNG

Der Methodenfehler δ wurde mit der Formel nach Dahlberg berechnet [Dahlberg 1940]. Dabei ergab sich für den Methodenfehler ein Wert von 0,38 mm. Im Anschluss daran erfolgte die Berechnung des Zuverlässigkeitskoeffizienten η nach der Formel von Houston [Houston 1983]. Dieser lag bei 98,53 % und damit deutlich über den von Mitdgård geforderten 97 % [Mitdgård 1974].

5.1.2 TEST AUF NORMALVERTEILUNG

Durch den Kolmogorov-Smirnov-Test kann eine Überprüfung auf Normalverteilung durchgeführt werden. Eine signifikante Abweichung zur Normalverteilung liegt dann vor, wenn der p-Wert $< 0,05$. Die p-Werte lagen zwischen 0,000 und 0,690. An 39 von insgesamt 60 Messstellen lag ein p-Wert unter 0,05 vor (Tab. 43, Anhang). Es konnte demnach von keiner Normalverteilung ausgegangen werden.

5.2 KNOCHENANGEBOT IN ABHÄNGIGKEIT VON DER PATIENTENGRUPPE

Da keine Normalverteilung vorlag, wurde der H-Test nach Kruskal und Wallis zum Vergleich der 6 Patientengruppen durchgeführt. Da der p-Wert an 55 von 60 Messpunkten $< 0,05$ war, konnte von einem signifikanten Unterschied zwischen den einzelnen Patientengruppen ausgegangen werden (Tab. 44, Anhang). Daher wurde post-hoc der nichtparametrische U-Test nach Mann und Whitney durchgeführt. Hierbei werden zwei unabhängige Gruppen auf einen signifikanten Unterschied untersucht. Dieser Test wurde mit allen 6 Patientengruppen durchgeführt. Bei den meisten Vergleichspaaren konnte ein signifikanter Unterschied festgestellt werden (Tab. 7; Tab. 45, Anhang).

Tab. 7: Ergebnisse der U-Tests nach Mann und Whitney zum Vergleich der sechs Patientengruppen

Patientengruppen	Ergebnis des Tests nach Mann und Whitney
1 vs. 2	signifikanter Unterschied
1 vs. 3	signifikanter Unterschied
1 vs. 4	kein signifikanter Unterschied
1 vs. 5	signifikanter Unterschied
1 vs. 6	kein signifikanter Unterschied
2 vs. 3	signifikanter Unterschied
2 vs. 4	signifikanter Unterschied
2 vs. 5	signifikanter Unterschied
2 vs. 6	signifikanter Unterschied
3 vs. 4	signifikanter Unterschied
3 vs. 5	kein signifikanter Unterschied
3 vs. 6	signifikanter Unterschied
4 vs. 5	signifikanter Unterschied
4 vs. 6	kein signifikanter Unterschied
5 vs. 6	signifikanter Unterschied

Patientengruppe 1 = männlich, 9-13 Jahre; Patientengruppe 2 = weiblich, 9-13 Jahre

Patientengruppe 3 = männlich, 14-18 Jahre; Patientengruppe 4 = weiblich, 14-18 Jahre

Patientengruppe 5 = männlich, 19-30 Jahre; Patientengruppe 6 = weiblich, 19-30 Jahre

Keinen signifikanten Unterschied in Bezug auf die Knochendicke am Gaumen schien es zwischen den männlichen 9- bis 13-jährigen Patienten und den weiblichen Patienten im Alter von 14 bis 18 Jahren bzw. 19 bis 30 Jahren zu geben. Auch kein signifikanter Unterschied ließ sich sowohl bei den weiblichen als auch den männlichen Patienten zwischen den Gruppen der 14- bis 18-Jährigen und 19- bis 30-Jährigen feststellen.

Die Ergebnisse der deskriptiven Statistik zeigen die Tabellen 8 bis 13 sowie die Abbildung 13.

Tab. 8: Deskriptive Statistik der Gruppe 1 (männlich/9-13 Jahre) mit dem Mittel-, Medianwert, der Standardabweichung SD und dem Minimum/Maximum pro Messpunkt

Messpunkt	Mittelwert	Median	SD	Minimum	Maximum
R_0_10	2,29	1,96	2,87	0,00	14,38
R_0_12	4,09	3,75	3,35	0,00	17,26
R_0_14	5,48	4,98	3,08	1,20	20,66
R_0_16	5,92	5,69	2,30	1,03	19,63
R_0_18	5,74	5,64	1,72	2,01	12,20
R_0_20	5,27	5,25	1,68	2,05	11,46
R_2_10	10,67	11,97	4,43	0,00	16,99
R_2_12	10,06	10,77	3,89	2,76	17,71
R_2_14	8,44	7,25	3,57	3,37	21,49
R_2_16	6,45	5,95	2,86	2,68	20,65
R_2_18	5,32	5,42	2,18	2,54	20,48
R_2_20	4,64	4,60	2,05	2,06	19,13
R_4_10	8,00	7,19	3,49	2,22	15,21
R_4_12	10,29	10,73	3,11	3,09	16,03
R_4_14	9,13	9,61	3,09	3,18	16,66
R_4_16	6,87	6,39	2,90	2,00	16,39
R_4_18	5,24	4,93	2,70	1,38	18,01
R_4_20	3,99	3,99	2,03	0,82	15,75
R_6_10	7,11	5,10	4,12	1,29	15,79
R_6_12	8,80	10,07	3,78	2,02	15,38
R_6_14	9,76	10,44	3,11	2,48	15,47
R_6_16	8,16	8,17	3,26	2,13	16,35
R_6_18	5,94	5,59	3,12	1,35	15,89
R_6_20	4,24	3,65	2,31	1,00	16,08
R_8_10	6,18	5,03	3,86	0,00	17,61
R_8_12	10,22	11,31	4,16	0,58	17,98
R_8_14	11,10	11,50	3,42	1,36	16,56
R_8_16	9,85	10,04	3,41	2,85	16,73
R_8_18	7,36	7,03	3,27	1,69	15,75
R_8_20	5,37	5,18	2,77	0,95	16,03
L_0_10	2,25	1,74	2,90	0,00	15,03
L_0_12	4,00	3,65	3,07	0,00	16,57
L_0_14	5,29	5,00	2,74	0,52	17,98
L_0_16	5,82	5,69	2,28	1,43	19,03
L_0_18	5,62	5,76	1,61	1,55	10,43
L_0_20	5,20	5,29	1,74	1,25	11,58
L_2_10	10,86	12,35	4,40	0,00	17,44
L_2_12	9,74	10,26	3,81	0,98	16,95
L_2_14	8,09	6,89	3,60	2,31	21,53
L_2_16	6,44	5,85	2,71	2,57	16,94
L_2_18	5,29	5,00	2,22	2,25	19,21
L_2_20	4,45	4,29	1,88	2,01	17,93
L_4_10	8,20	7,06	3,44	1,71	14,95
L_4_12	10,51	11,09	3,29	2,71	16,54
L_4_14	9,18	9,12	3,20	2,67	15,97
L_4_16	6,95	6,35	3,20	1,93	20,15
L_4_18	5,19	4,72	2,52	1,75	17,09
L_4_20	3,89	3,68	1,90	0,96	13,58
L_6_10	7,51	7,27	4,04	1,39	15,25
L_6_12	9,82	10,78	3,61	1,85	15,21
L_6_14	9,96	10,39	3,00	2,55	15,95
L_6_16	8,02	7,66	3,20	2,07	17,78
L_6_18	5,75	5,19	2,96	1,33	16,17
L_6_20	4,12	3,79	2,19	1,15	13,51
L_8_10	5,93	4,83	3,56	0,71	15,65
L_8_12	9,66	10,79	4,25	0,00	19,39
L_8_14	11,47	12,33	3,32	1,76	17,54
L_8_16	9,81	10,25	3,41	1,68	18,30
L_8_18	7,39	6,96	3,86	1,52	22,71
L_8_20	5,28	5,09	2,73	1,32	14,83

R/L_X_Y: R/L bezeichnet die rechte/linke Gaumenseite, X ist der Abstand in mm von der posterioren Wand des Foramen inzisivum nach lateral, Y entspricht dem Abstand in mm von der Schmelz-Zement-Grenze des mittleren Schneidezahnes nach posterior; SD = Standardabweichung;
rot = < 7,00 mm; grün = ≥ 7,00 mm und < 9,00 mm; schwarz = ≥ 9,00 mm

Tab. 9: Deskriptive Statistik der Gruppe 2 (weiblich/9-13 Jahre) mit dem Mittel-, Medianwert, der Standardabweichung SD und dem Minimum/Maximum pro Messpunkt

Messpunkt	Mittelwert	Median	SD	Minimum	Maximum
R_0_10	1,93	1,49	2,60	0,00	13,68
R_0_12	3,18	3,03	2,40	0,00	11,84
R_0_14	4,27	4,34	2,12	0,00	11,48
R_0_16	4,67	4,67	1,94	0,00	14,08
R_0_18	4,31	4,26	1,59	0,92	9,05
R_0_20	3,80	3,63	1,54	0,75	8,13
R_2_10	9,49	10,71	4,32	0,00	18,59
R_2_12	8,56	8,51	3,55	1,94	17,76
R_2_14	7,35	6,02	3,87	2,20	18,37
R_2_16	5,09	4,41	2,51	1,38	14,26
R_2_18	3,98	3,70	1,84	1,15	12,09
R_2_20	3,28	3,04	1,66	1,14	13,36
R_4_10	7,89	7,51	3,24	2,91	15,55
R_4_12	9,48	9,83	2,87	3,42	18,79
R_4_14	7,75	7,66	3,19	1,97	14,84
R_4_16	5,41	4,62	3,10	0,95	15,10
R_4_18	3,63	3,05	2,16	0,80	10,95
R_4_20	2,70	2,47	1,47	0,59	8,17
R_6_10	6,54	5,93	3,55	1,08	13,89
R_6_12	8,74	9,36	3,21	2,11	14,13
R_6_14	8,68	8,81	3,05	1,60	15,64
R_6_16	6,31	5,54	3,51	0,99	14,58
R_6_18	4,18	3,28	2,97	0,00	12,82
R_6_20	2,79	2,55	1,80	0,00	9,50
R_8_10	5,84	4,77	3,54	0,00	14,87
R_8_12	7,97	7,73	3,83	1,41	14,54
R_8_14	9,90	10,33	3,07	1,44	15,48
R_8_16	8,14	8,12	3,81	0,00	17,44
R_8_18	5,56	4,52	3,52	0,00	15,68
R_8_20	3,69	3,14	2,25	0,00	11,87
L_0_10	1,97	1,41	2,65	0,00	14,50
L_0_12	3,20	2,86	2,51	0,00	12,78
L_0_14	4,23	4,23	2,05	0,00	11,11
L_0_16	4,70	4,60	1,92	1,04	14,18
L_0_18	4,28	4,00	1,53	1,07	9,16
L_0_20	3,83	3,79	1,62	0,78	8,47
L_2_10	9,79	10,68	4,32	0,00	20,83
L_2_12	9,07	9,12	4,40	1,41	19,24
L_2_14	7,33	5,68	4,05	1,68	16,75
L_2_16	5,23	4,32	3,22	1,08	17,65
L_2_18	3,90	3,38	1,86	0,78	10,75
L_2_20	3,12	2,81	1,38	0,95	7,82
L_4_10	7,77	6,99	3,23	2,28	15,08
L_4_12	9,07	9,29	2,82	3,35	15,95
L_4_14	7,73	7,39	3,41	1,75	15,89
L_4_16	5,68	4,55	3,44	1,02	15,36
L_4_18	3,72	3,01	2,34	0,71	11,71
L_4_20	2,68	2,39	1,52	0,60	8,12
L_6_10	6,13	5,44	3,14	0,60	12,20
L_6_12	8,24	8,76	3,25	1,66	13,73
L_6_14	8,32	8,45	2,96	1,58	13,99
L_6_16	6,37	5,17	3,68	0,99	14,65
L_6_18	4,11	3,13	2,84	0,57	12,27
L_6_20	2,88	2,40	1,84	0,55	9,46
L_8_10	5,78	4,86	3,45	0,00	14,80
L_8_12	8,59	9,46	3,59	0,00	16,25
L_8_14	9,36	9,93	3,23	0,00	15,09
L_8_16	8,02	7,93	3,65	1,72	15,62
L_8_18	5,45	4,03	3,51	1,07	13,49
L_8_20	3,77	3,23	2,26	0,79	9,84

R/L_X_Y: R/L bezeichnet die rechte/linke Gaumenseite, X ist der Abstand in mm von der posterioren Wand des Foramen incisivum nach lateral, Y entspricht dem Abstand in mm von der Schmelz-Zement-Grenze des mittleren Schneidezahnes nach posterior; SD = Standardabweichung;
rot = < 7,00 mm; grün = ≥ 7,00 mm und < 9,00 mm; schwarz = ≥ 9,00 mm

Tab. 10: Deskriptive Statistik der Gruppe 3 (männlich/14-18 Jahre) mit dem Mittel-, Medianwert, der Standardabweichung SD und dem Minimum/Maximum pro Messpunkt

Messpunkt	Mittelwert	Median	SD	Minimum	Maximum
R_0_10	1,01	0,00	1,60	0,00	6,23
R_0_12	2,20	2,00	1,93	0,00	7,88
R_0_14	3,74	3,72	2,54	0,00	12,39
R_0_16	4,94	4,84	2,59	0,00	12,26
R_0_18	5,57	5,21	2,46	0,00	12,25
R_0_20	5,61	5,50	2,25	1,23	13,13
R_2_10	9,01	9,18	4,97	0,00	17,68
R_2_12	11,32	12,35	4,83	1,25	19,76
R_2_14	9,99	10,37	4,53	1,25	18,52
R_2_16	8,62	7,69	4,30	3,03	18,45
R_2_18	6,72	6,30	3,30	2,28	18,14
R_2_20	5,68	5,52	3,06	1,45	19,56
R_4_10	7,45	6,75	3,41	1,78	14,30
R_4_12	10,05	10,56	3,51	3,31	17,43
R_4_14	10,43	10,92	3,13	3,79	15,95
R_4_16	9,18	9,77	3,60	2,33	19,35
R_4_18	7,13	7,24	3,33	1,55	17,74
R_4_20	5,35	5,10	2,70	1,11	13,47
R_6_10	7,25	7,91	3,43	1,45	14,33
R_6_12	9,17	9,51	3,47	2,11	16,42
R_6_14	10,37	10,77	2,99	4,05	16,69
R_6_16	9,70	9,96	3,33	2,37	18,77
R_6_18	7,85	8,35	3,71	1,40	15,99
R_6_20	5,91	6,14	3,20	0,80	13,23
R_8_10	5,02	3,91	2,97	1,20	13,42
R_8_12	7,35	7,00	3,39	1,80	14,39
R_8_14	9,86	10,45	3,62	2,47	18,13
R_8_16	10,60	11,04	3,96	0,97	21,61
R_8_18	8,89	9,60	4,01	0,31	16,57
R_8_20	6,93	6,95	3,83	0,72	14,13
L_0_10	1,01	0,00	1,55	0,00	5,90
L_0_12	2,09	1,74	1,86	0,00	8,00
L_0_14	3,66	3,72	2,52	0,00	12,54
L_0_16	5,00	4,67	2,56	0,00	12,37
L_0_18	5,66	5,49	2,41	0,00	12,29
L_0_20	5,62	5,52	2,32	1,16	14,40
L_2_10	9,56	10,25	5,39	0,00	19,54
L_2_12	11,05	12,57	4,64	0,00	18,78
L_2_14	10,67	11,77	4,35	1,63	18,58
L_2_16	8,83	8,49	4,29	2,01	17,67
L_2_18	7,01	6,39	3,85	1,55	18,82
L_2_20	5,62	5,60	2,77	1,31	19,29
L_4_10	7,27	6,30	3,74	0,00	15,56
L_4_12	10,20	10,45	3,83	0,00	17,29
L_4_14	10,80	11,67	3,47	2,60	17,29
L_4_16	9,28	10,13	3,35	1,79	15,23
L_4_18	7,10	7,30	3,26	1,36	14,89
L_4_20	5,40	5,18	2,93	1,04	16,35
L_6_10	7,02	7,28	3,45	0,00	12,67
L_6_12	8,89	9,40	3,77	0,00	14,97
L_6_14	10,43	10,83	3,20	1,87	16,21
L_6_16	9,98	10,67	3,31	1,95	17,33
L_6_18	7,95	8,38	3,27	1,17	16,38
L_6_20	5,70	5,03	3,03	0,69	15,27
L_8_10	5,12	4,14	2,76	1,02	13,30
L_8_12	7,64	8,09	3,28	2,11	13,59
L_8_14	10,00	10,34	3,61	2,53	16,68
L_8_16	10,99	11,62	3,44	2,57	20,89
L_8_18	9,02	9,66	3,61	1,19	16,00
L_8_20	6,83	6,58	3,70	0,79	19,02

R/L_X_Y: R/L bezeichnet die rechte/linke Gaumenseite, X ist der Abstand in mm von der posterioren Wand des Foramen incisivum nach lateral, Y entspricht dem Abstand in mm von der Schmelz-Zement-Grenze des mittleren Schneidezahnes nach posterior; SD = Standardabweichung;
rot = < 7,00 mm; grün = ≥ 7,00 mm und < 9,00 mm; schwarz = ≥ 9,00 mm

Tab. 11: Deskriptive Statistik der Gruppe 4 (weiblich/14-18 Jahre) mit dem Mittel-, Medianwert, der Standardabweichung SD und dem Minimum/Maximum pro Messpunkt

Messpunkt	Mittelwert	Median	SD	Minimum	Maximum
R_0_10	1,00	0,25	1,34	0,00	6,39
R_0_12	2,44	2,35	2,14	0,00	14,30
R_0_14	3,59	3,55	1,68	0,00	7,24
R_0_16	4,63	4,87	1,63	1,30	8,13
R_0_18	4,74	4,62	1,72	1,21	9,47
R_0_20	4,26	4,17	1,62	1,07	8,71
R_2_10	9,47	10,19	3,85	0,00	16,66
R_2_12	10,38	11,35	3,75	2,27	16,76
R_2_14	9,25	9,37	3,83	2,38	15,97
R_2_16	7,12	5,88	3,38	2,49	14,44
R_2_18	5,17	4,45	2,76	1,67	16,00
R_2_20	3,82	3,49	1,53	1,28	8,13
R_4_10	7,18	6,78	3,18	2,61	13,90
R_4_12	9,85	9,98	2,26	3,76	14,00
R_4_14	9,46	9,30	2,58	3,38	14,87
R_4_16	7,25	6,98	2,89	1,97	14,44
R_4_18	5,09	4,31	2,55	1,18	12,13
R_4_20	3,61	3,19	2,14	0,81	12,90
R_6_10	6,63	6,56	2,88	0,50	13,28
R_6_12	8,41	8,71	2,74	1,82	14,35
R_6_14	9,33	9,36	2,09	3,24	14,02
R_6_16	8,17	8,45	3,00	0,41	15,91
R_6_18	5,84	5,22	2,98	0,92	14,39
R_6_20	3,94	3,35	2,51	0,63	14,09
R_8_10	4,09	3,48	2,32	0,00	10,91
R_8_12	7,34	6,92	3,27	2,08	15,42
R_8_14	9,55	9,66	2,56	2,61	14,40
R_8_16	9,59	9,78	2,61	2,72	15,75
R_8_18	7,27	6,60	3,31	1,42	14,85
R_8_20	4,91	4,30	2,89	1,00	13,00
L_0_10	0,77	0,00	1,12	0,00	4,54
L_0_12	2,12	1,77	1,57	0,00	6,33
L_0_14	3,62	3,63	1,61	0,00	7,20
L_0_16	4,65	4,81	1,52	1,09	8,04
L_0_18	4,82	4,67	1,57	1,77	8,96
L_0_20	4,31	4,19	1,62	1,24	9,38
L_2_10	8,81	9,66	4,35	0,00	17,97
L_2_12	10,89	11,40	3,87	0,98	18,66
L_2_14	9,65	10,55	3,57	2,13	16,12
L_2_16	7,15	5,67	3,56	2,14	14,21
L_2_18	5,30	4,48	2,77	1,52	16,87
L_2_20	4,20	3,76	2,22	1,42	15,84
L_4_10	6,85	6,70	3,13	2,65	16,08
L_4_12	9,60	9,70	2,18	4,03	14,36
L_4_14	9,55	9,71	2,45	4,26	15,89
L_4_16	7,39	6,55	2,97	2,27	15,03
L_4_18	5,34	4,63	2,74	1,32	15,50
L_4_20	3,70	3,21	1,95	1,07	11,83
L_6_10	6,68	6,98	2,70	0,00	12,67
L_6_12	8,64	8,84	2,55	2,31	13,50
L_6_14	9,55	9,77	2,16	3,11	13,96
L_6_16	8,15	7,91	2,82	2,69	14,00
L_6_18	5,81	4,86	3,02	1,12	14,14
L_6_20	3,99	3,29	2,47	0,97	11,82
L_8_10	4,06	3,36	2,32	1,05	10,80
L_8_12	7,22	6,63	3,22	1,25	13,63
L_8_14	9,81	10,44	2,71	1,37	15,09
L_8_16	9,50	9,42	2,59	2,91	16,73
L_8_18	7,32	6,61	3,24	1,42	14,82
L_8_20	4,94	3,99	3,08	1,06	15,33

R/L_X_Y: R/L bezeichnet die rechte/linke Gaumenseite, X ist der Abstand in mm von der posterioren Wand des Foramen incisivum nach lateral, Y entspricht dem Abstand in mm von der Schmelz-Zement-Grenze des mittleren Schneidezahnes nach posterior; SD = Standardabweichung;
rot = < 7,00 mm; grün = ≥ 7,00 mm und < 9,00 mm; schwarz = ≥ 9,00 mm

Tab. 12: Deskriptive Statistik der Gruppe 5 (männlich/19-30 Jahre) mit dem Mittel-, Medianwert, der Standardabweichung SD und dem Minimum/Maximum pro Messpunkt

Messpunkt	Mittelwert	Median	SD	Minimum	Maximum
R_0_10	0,79	0,00	2,29	0,00	13,07
R_0_12	1,82	1,49	2,44	0,00	15,01
R_0_14	3,09	3,03	1,64	0,00	6,47
R_0_16	4,61	4,50	2,01	0,00	13,04
R_0_18	5,62	5,62	1,60	1,51	9,18
R_0_20	6,11	5,84	2,14	1,45	12,75

R_2_10	9,72	10,64	5,17	0,00	18,49
R_2_12	11,35	12,28	4,36	1,05	19,48
R_2_14	11,27	12,35	4,80	2,64	19,28
R_2_16	9,51	7,06	4,99	2,93	20,44
R_2_18	7,31	6,22	3,68	2,06	19,56
R_2_20	6,03	5,41	2,43	1,86	16,57

R_4_10	8,04	7,12	3,77	1,61	15,60
R_4_12	10,16	10,64	3,44	2,76	16,62
R_4_14	11,17	11,40	2,95	4,18	16,49
R_4_16	10,75	11,56	3,93	2,73	18,18
R_4_18	8,32	6,96	3,84	2,20	15,65
R_4_20	6,05	5,17	3,00	1,63	15,05

R_6_10	7,83	8,37	3,24	0,00	12,63
R_6_12	9,34	10,02	3,32	1,31	15,61
R_6_14	10,21	10,66	2,69	2,26	15,77
R_6_16	10,31	10,77	3,27	2,88	17,42
R_6_18	8,84	8,55	3,91	1,57	15,74
R_6_20	6,53	5,55	3,73	1,13	15,18

R_8_10	5,83	4,84	3,08	0,99	14,44
R_8_12	7,52	7,63	3,51	1,53	14,43
R_8_14	9,88	9,82	2,96	3,02	16,04
R_8_16	10,82	10,67	2,95	2,98	17,64
R_8_18	9,96	10,39	4,01	1,38	17,84
R_8_20	7,37	7,34	4,11	0,81	16,13

L_0_10	0,77	0,00	2,04	0,00	10,64
L_0_12	1,68	1,45	2,16	0,00	12,34
L_0_14	3,05	3,05	1,61	0,00	6,62
L_0_16	4,44	4,47	1,54	0,00	7,29
L_0_18	5,60	5,58	1,55	2,00	9,30
L_0_20	5,98	5,88	2,21	1,45	12,66

L_2_10	9,61	10,75	5,64	0,00	17,88
L_2_12	10,68	12,09	5,05	0,00	16,71
L_2_14	11,30	12,38	4,91	2,34	19,63
L_2_16	9,55	8,29	4,51	2,93	18,90
L_2_18	7,37	6,52	3,77	2,22	17,18
L_2_20	6,07	5,32	2,83	1,34	15,47

L_4_10	7,82	6,16	3,93	0,81	14,71
L_4_12	10,28	11,54	3,38	1,95	15,80
L_4_14	11,19	11,26	3,35	4,12	19,51
L_4_16	10,35	10,26	3,83	2,70	17,03
L_4_18	8,15	6,65	3,70	1,51	15,92
L_4_20	6,26	4,67	3,38	1,18	16,61

L_6_10	8,01	8,20	2,96	1,66	12,83
L_6_12	9,34	10,28	3,00	2,12	16,72
L_6_14	10,42	10,62	2,48	3,59	14,60
L_6_16	10,37	10,39	3,23	2,77	16,70
L_6_18	8,96	9,39	3,78	1,48	15,09
L_6_20	6,68	5,74	3,60	1,17	14,73

L_8_10	5,90	5,34	3,03	0,00	11,86
L_8_12	7,82	8,67	3,58	0,00	13,87
L_8_14	9,92	10,01	2,90	1,79	15,57
L_8_16	10,69	10,43	2,99	3,57	16,66
L_8_18	9,82	10,18	3,86	1,59	16,41
L_8_20	7,73	7,24	4,06	1,12	15,28

R/L_X_Y: R/L bezeichnet die rechte/linke Gaumenseite, X ist der Abstand in mm von der posterioren Wand des Foramen inzisivum nach lateral, Y entspricht dem Abstand in mm von der Schmelz-Zement-Grenze des mittleren Schneidezahnes nach posterior; SD = Standardabweichung;
rot = < 7,00 mm; grün = ≥ 7,00 mm und < 9,00 mm; schwarz = ≥ 9,00 mm

Tab. 13: Deskriptive Statistik der Gruppe 6 (weiblich/19-30 Jahre) mit dem Mittel-, Medianwert, der Standardabweichung SD und dem Minimum/Maximum pro Messpunkt

Messpunkt	Mittelwert	Median	SD	Minimum	Maximum
R_0_10	0,71	0,00	1,49	0,00	9,84
R_0_12	1,72	1,70	1,53	0,00	5,67
R_0_14	2,82	2,99	1,73	0,00	7,23
R_0_16	3,79	3,78	1,84	0,00	9,60
R_0_18	4,29	4,24	1,78	0,00	9,13
R_0_20	3,43	4,40	1,48	0,68	7,78

R_2_10	8,64	9,62	4,37	0,00	15,44
R_2_12	10,40	11,09	4,15	0,00	17,41
R_2_14	8,62	9,23	4,19	0,00	16,86
R_2_16	7,01	5,87	3,74	1,86	17,26
R_2_18	5,31	4,59	2,71	1,01	13,42
R_2_20	4,29	3,84	2,34	0,86	15,20

R_4_10	7,18	6,96	3,09	0,00	13,95
R_4_12	9,54	9,68	2,85	2,42	15,97
R_4_14	9,53	9,48	2,76	3,39	14,93
R_4_16	7,63	7,43	3,05	2,02	14,40
R_4_18	5,45	4,96	2,76	0,85	13,22
R_4_20	3,90	3,41	2,23	0,65	12,04

R_6_10	6,17	6,85	2,70	0,88	14,00
R_6_12	8,79	9,10	2,89	1,91	15,05
R_6_14	9,51	9,39	2,00	4,73	13,56
R_6_16	8,52	8,99	2,83	2,60	13,86
R_6_18	6,20	5,58	3,04	0,67	13,15
R_6_20	4,19	3,59	2,55	0,63	12,18

R_8_10	4,48	3,89	2,35	1,26	11,61
R_8_12	6,99	6,70	3,49	1,45	16,07
R_8_14	9,78	9,41	2,43	2,12	14,97
R_8_16	9,70	9,49	2,59	0,59	14,79
R_8_18	7,64	7,42	3,24	1,45	14,10
R_8_20	5,31	4,51	3,26	0,75	14,39

L_0_10	0,72	0,00	1,61	0,00	10,87
L_0_12	1,67	1,71	1,60	0,00	5,74
L_0_14	2,90	2,89	1,79	0,00	8,34
L_0_16	3,88	3,82	1,81	0,00	9,68
L_0_18	4,39	4,27	1,74	0,00	8,74
L_0_20	4,39	4,27	1,53	0,84	8,03

L_2_10	8,28	9,60	4,70	0,00	17,42
L_2_12	10,11	10,59	4,28	0,00	17,61
L_2_14	9,33	9,20	4,25	0,00	16,69
L_2_16	6,96	5,74	3,75	0,00	15,11
L_2_18	5,32	4,61	2,98	1,22	17,57
L_2_20	4,18	3,68	2,25	0,72	15,00

L_4_10	7,00	6,05	3,35	0,00	13,97
L_4_12	9,44	9,61	2,48	2,70	15,19
L_4_14	9,33	9,03	2,82	2,83	15,79
L_4_16	7,66	6,97	3,35	1,82	14,77
L_4_18	5,56	4,60	2,98	1,12	13,25
L_4_20	4,04	3,40	2,33	0,81	14,52

L_6_10	6,69	7,20	2,85	0,62	13,76
L_6_12	8,35	8,53	2,78	1,76	13,63
L_6_14	9,29	9,28	2,29	3,59	14,72
L_6_16	8,45	8,54	2,82	2,26	13,79
L_6_18	6,14	5,46	3,23	1,32	13,60
L_6_20	4,22	3,55	2,59	0,63	12,74

L_8_10	4,36	3,69	2,42	0,00	10,23
L_8_12	7,22	7,24	3,43	1,98	14,32
L_8_14	9,49	9,49	2,62	2,45	18,02
L_8_16	9,60	9,59	2,80	2,78	15,14
L_8_18	7,32	7,11	3,14	1,40	14,47
L_8_20	5,30	4,18	3,32	0,00	13,97

R/L_X_Y: R/L bezeichnet die rechte/linke Gaumenseite, X ist der Abstand in mm von der posterioren Wand des Foramen inzisivum nach lateral, Y entspricht dem Abstand in mm von der Schmelz-Zement-Grenze des mittleren Schneidezahnes nach posterior; SD = Standardabweichung;
rot = < 7,00 mm; grün = ≥ 7,00 mm und < 9,00 mm; schwarz = ≥ 9,00 mm

Gruppe 1 (männlich / 9-13 Jahre)

8	6	4	2	0		0	2	4	6	8
5,03	5,10	7,19	11,97	1,96	10	1,74	12,35	7,06	7,27	4,83
11,31	10,07	10,73	10,77	3,75	12	3,65	10,26	11,09	10,78	10,79
11,50	10,44	9,61	7,25	4,98	14	5,00	6,89	9,12	10,39	12,33
10,04	8,17	6,39	5,95	5,69	16	5,69	5,85	6,35	7,66	10,25
7,03	5,59	4,93	5,42	5,64	18	5,76	5,00	4,72	5,19	6,96
5,18	3,65	3,99	4,60	5,25	20	5,29	4,29	3,68	3,79	5,09

Gruppe 2 (weiblich / 9-13 Jahre)

8	6	4	2	0		0	2	4	6	8
4,77	5,93	7,51	10,71	1,49	10	1,41	10,68	6,99	5,44	4,86
7,73	9,36	9,83	8,51	3,03	12	2,86	9,12	9,29	8,76	9,46
10,33	8,81	7,66	6,02	4,34	14	4,23	5,68	7,39	8,45	9,93
8,12	5,54	4,62	4,41	4,67	16	4,60	4,32	4,55	5,17	7,93
4,52	3,28	3,05	3,70	4,26	18	4,00	3,38	3,01	3,13	4,03
3,14	2,55	2,47	3,04	3,63	20	3,79	2,81	2,39	2,40	3,23

Gruppe 3 (männlich / 14-18 Jahre)

8	6	4	2	0		0	2	4	6	8
3,91	7,91	6,75	9,18	0,00	10	0,00	10,25	6,30	7,28	4,14
7,00	9,51	10,56	12,35	2,00	12	1,74	12,57	10,45	9,40	8,09
10,45	10,77	10,92	10,37	3,72	14	3,72	11,77	11,67	10,83	10,34
11,04	9,96	9,77	7,69	4,84	16	4,67	8,49	10,13	10,67	11,62
9,60	8,35	7,24	6,30	5,21	18	5,49	6,39	7,30	8,38	9,66
6,95	6,14	5,10	5,52	5,50	20	5,52	5,60	5,18	5,03	6,58

Gruppe 4 (weiblich / 14-18 Jahre)

8	6	4	2	0		0	2	4	6	8
3,48	6,56	6,78	10,19	0,25	10	0,00	9,66	6,70	6,98	3,36
6,92	8,71	9,98	11,35	2,35	12	1,77	11,40	9,70	8,84	6,63
9,66	9,36	9,30	9,37	3,55	14	3,63	10,55	9,71	9,77	10,44
9,78	8,45	6,98	5,88	4,87	16	4,81	5,67	6,55	7,91	9,42
6,60	5,22	4,31	4,45	4,62	18	4,67	4,48	4,63	4,86	6,61
4,30	3,35	3,19	3,49	4,17	20	4,19	3,76	3,21	3,29	3,99

Gruppe 5 (männlich / 19-30 Jahre)

8	6	4	2	0		0	2	4	6	8
4,84	8,37	7,12	10,64	0,00	10	0,00	10,75	6,16	8,20	5,34
7,63	10,02	10,64	12,28	1,49	12	1,45	12,09	11,54	10,28	8,67
9,82	10,66	11,40	12,35	3,03	14	3,05	12,38	11,26	10,62	10,01
10,67	10,77	11,56	7,06	4,50	16	4,47	8,29	10,26	10,39	10,43
10,39	8,55	6,96	6,22	5,62	18	5,58	6,52	6,65	9,39	10,18
7,34	5,55	5,17	5,41	5,84	20	5,88	5,32	4,67	5,74	7,24

Gruppe 6 (weiblich / 19-30 Jahre)

8	6	4	2	0		0	2	4	6	8
3,89	6,85	6,96	9,62	0,00	10	0,00	9,60	6,05	7,20	3,69
6,70	9,10	9,68	11,09	1,70	12	1,71	10,59	9,61	8,53	7,24
9,41	9,39	9,48	9,23	2,99	14	2,89	9,20	9,03	9,28	9,49
9,49	8,99	7,43	5,87	3,78	16	3,82	5,74	6,97	8,54	9,59
7,42	5,58	4,96	4,59	4,24	18	4,27	4,61	4,60	5,46	7,11
4,51	3,59	3,41	3,84	4,40	20	4,27	3,68	3,40	3,55	4,18

rot = < 7,00 mm; grün = ≥ 7,00 mm und < 9,00 mm; weiß = ≥ 9,00 mm

Abb. 13: Farbcodierung des Knochenangebotes in mm 10-20 mm posterior der Schmelz-Zement-Grenze der mittleren Schneidezähne und 0-8 mm lateral des Foramen incisivum der Patientengruppen 1 bis 6 anhand des Medianwertes

Durch die prozentuale Auswertung wird gezeigt, wie viel Prozent der untersuchten Patienten pro Punkt ein Knochenangebot von $\geq 7,0$ bzw. $\geq 9,0$ mm haben, was für 6,0 mm bzw. 8,0 mm lange Minischrauben ausreicht. Diese Auswertung wurde für jede Gruppe einzeln durchgeführt. Die Ergebnisse werden in Kreuztabellen dargestellt. Zur besseren Übersicht wurden jeweils die fünf größten bzw. kleinsten prozentualen Werte in Grün bzw. Rot markiert.

8	6	4	2	0		0	2	4	6	8
24,7	42,4	50,6	70,6	4,7	10	4,7	75,3	52,9	51,8	24,7
71,8	62,4	81,2	69,4	11,8	12	9,4	71,8	83,5	74,1	68,2
87,1	80,0	71,8	51,8	14,1	14	12,9	49,4	76,5	84,7	88,2
78,8	61,2	41,2	24,7	18,8	16	18,8	28,2	41,2	60,0	77,6
50,6	29,4	14,1	9,4	18,8	18	12,9	9,4	11,8	32,9	49,4
24,7	7,1	3,5	1,2	14,1	20	12,9	1,2	4,7	7,1	20,0

Tab. 14: Angabe des Anteils der DVTs der Gruppe 1 (♂ / 9-13 Jahre), bei denen an den verschiedenen Messpunkten (10-20 mm post. der Schmelz-Zement-Grenze der mittleren Schneidezähne und 0-8 mm lateral des For. inzisivum) $\geq 7,0$ mm Knochendicke gemessen wurde.

Tab. 15: Angabe des Anteils der DVTs der Gruppe 1 (♂ / 9-13 Jahre), bei denen an den verschiedenen Messpunkten (10-20 mm post. der Schmelz-Zement-Grenze der mittleren Schneidezähne und 0-8 mm lateral des For. inzisivum) $\geq 9,0$ mm Knochendicke gemessen wurde.

8	6	4	2	0		0	2	4	6	8
21,2	41,2	36,5	65,9	4,7	10	4,7	69,4	37,6	41,2	21,2
65,9	54,1	65,9	58,8	5,9	12	5,9	58,8	67,1	64,7	63,5
70,6	60,0	55,3	37,6	7,1	14	7,1	36,5	52,9	67,1	77,6
65,9	42,4	18,8	12,9	4,7	16	4,7	15,3	23,5	37,6	64,7
25,9	15,3	8,2	2,4	3,5	18	3,5	3,5	8,2	11,8	27,1
8,2	3,5	2,4	1,2	4,7	20	3,5	1,2	2,4	3,5	9,4

8	6	4	2	0		0	2	4	6	8
27,1	43,5	54,1	68,2	3,5	10	3,5	68,2	49,4	36,5	28,2
56,5	68,2	80,0	63,5	5,9	12	5,9	61,2	77,6	65,9	64,7
85,9	75,3	58,8	41,2	7,1	14	7,1	37,6	58,8	67,1	75,3
57,6	35,3	23,5	12,9	9,4	16	9,4	14,1	27,1	35,3	55,3
30,6	14,1	7,1	7,1	7,1	18	4,7	7,1	9,4	18,8	28,2
8,2	3,5	2,4	2,4	5,9	20	5,9	2,4	1,2	2,4	14,1

Tab. 16: Angabe des Anteils der DVTs der Gruppe 2 (♀ / 9-13 Jahre), bei denen an den verschiedenen Messpunkten (10-20 mm post. der Schmelz-Zement-Grenze der mittleren Schneidezähne und 0-8 mm lateral des For. inzisivum) $\geq 7,0$ mm Knochendicke gemessen wurde.

Tab. 17: Angabe des Anteils der DVTs der Gruppe 2 (♀ / 9-13 Jahre), bei denen an den verschiedenen Messpunkten (10-20 mm post. der Schmelz-Zement-Grenze der mittleren Schneidezähne und 0-8 mm lateral des For. inzisivum) $\geq 9,0$ mm Knochendicke gemessen wurde.

8	6	4	2	0		0	2	4	6	8
23,5	31,8	37,6	58,8	3,5	10	3,5	61,2	35,3	23,5	20,0
41,2	54,1	62,4	45,9	3,5	12	3,5	50,6	54,1	47,1	54,1
70,6	45,9	34,1	29,4	2,4	14	2,4	28,2	31,8	43,5	61,2
41,2	25,9	14,1	9,4	1,2	16	1,2	11,8	17,6	24,7	40,0
15,3	9,4	3,5	2,4	1,2	18	1,2	2,4	3,5	8,2	21,2
3,5	2,4	0,0	1,2	0,0	20	0,0	0,0	0,0	1,2	2,4

8	6	4	2	0		0	2	4	6	8
19,7	60,6	47,0	65,2	0,0	10	0,0	68,2	42,4	53,0	19,7
50,0	72,7	78,8	77,3	3,0	12	3,0	77,3	78,8	71,2	56,1
75,8	86,4	80,3	65,2	7,6	14	6,1	75,8	84,8	87,9	75,8
81,8	80,3	69,7	56,1	16,7	16	15,2	56,1	72,7	80,3	87,9
66,7	60,6	54,5	37,9	27,3	18	24,2	39,4	53,0	65,2	71,2
50,0	36,4	24,2	19,7	25,8	20	24,2	24,2	21,2	28,8	45,5

Tab. 18: Angabe des Anteils der DVTs der Gruppe 3 (♂ / 14-18 Jahre), bei denen an den verschiedenen Messpunkten (10-20 mm post. der Schmelz-Zement-Grenze der mittleren Schneidezähne und 0-8 mm lateral des For. inzisivum) $\geq 7,0$ mm Knochendicke gemessen wurde.

Tab. 19: Angabe des Anteils der DVTs der Gruppe 3 (♂ / 14-18 Jahre), bei denen an den verschiedenen Messpunkten (10-20 mm post. der Schmelz-Zement-Grenze der mittleren Schneidezähne und 0-8 mm lateral des For. inzisivum) $\geq 9,0$ mm Knochendicke gemessen wurde.

8	6	4	2	0		0	2	4	6	8
15,2	36,4	36,4	51,5	0,0	10	0,0	57,6	31,8	31,8	13,6
34,8	53,0	62,1	69,7	0,0	12	0,0	71,2	68,2	51,5	40,9
65,2	66,7	69,7	56,1	3,0	14	3,0	66,7	69,7	65,2	65,2
66,7	60,6	62,1	39,4	6,1	16	6,1	45,5	63,6	65,2	72,7
53,0	39,4	22,7	13,6	9,1	18	10,6	18,2	22,7	45,5	57,6
31,8	15,2	10,6	6,1	6,1	20	4,5	4,5	10,6	13,6	25,8

8	6	4	2	0		0	2	4	6	8
17,6	42,6	47,1	77,9	0,0	10	0,0	77,9	45,6	48,5	14,7
48,5	72,1	92,6	79,4	1,5	12	1,5	85,3	88,2	79,4	47,1
85,3	88,2	80,9	70,6	2,9	14	2,9	75,0	80,9	89,7	85,3
85,3	66,2	50,0	38,2	5,9	16	8,8	41,2	41,2	61,8	83,8
45,6	29,4	19,1	19,1	8,8	18	8,8	17,6	22,1	29,4	44,1
17,6	13,2	5,9	1,5	5,9	20	5,9	5,9	8,8	14,7	17,6

Tab. 20: Angabe des Anteils der DVTs der Gruppe 4 (♀ / 14-18 Jahre), bei denen an den verschiedenen Messpunkten (10-20 mm post. der Schmelz-Zement-Grenze der mittleren Schneidezähne und 0-8 mm lateral des For. inzisivum) $\geq 7,0$ mm Knochendicke gemessen wurde.

Tab. 21: Angabe des Anteils der DVTs der Gruppe 4 (♀ / 14-18 Jahre), bei denen an den verschiedenen Messpunkten (10-20 mm post. der Schmelz-Zement-Grenze der mittleren Schneidezähne und 0-8 mm lateral des For. inzisivum) $\geq 9,0$ mm Knochendicke gemessen wurde.

8	6	4	2	0		0	2	4	6	8
4,4	17,6	33,8	64,7	0,0	10	0,0	58,8	27,9	14,7	5,9
32,4	44,1	70,6	73,5	1,5	12	0,0	79,4	63,2	45,6	32,4
60,3	54,4	57,4	51,5	0,0	14	1,5	60,3	61,8	64,7	66,2
64,7	41,2	25,0	30,9	0,0	16	0,0	27,9	14,7	36,8	57,4
33,8	17,6	10,3	7,4	1,5	18	0,0	10,3	11,8	14,7	30,9
11,8	4,4	2,9	0,0	0,0	20	1,5	2,9	2,9	4,4	8,8

8	6	4	2	0		0	2	4	6	8
39,2	64,7	51,0	70,6	3,9	10	3,9	68,6	49,0	64,7	41,2
54,9	80,4	80,4	76,5	2,0	12	2,0	70,6	78,4	80,4	64,7
86,3	88,2	90,2	72,5	0,0	14	0,0	72,5	92,2	90,2	90,2
92,2	80,4	82,4	51,0	9,8	16	5,9	58,8	76,5	86,3	90,2
70,6	62,7	49,0	33,3	11,8	18	15,7	41,2	49,0	64,7	70,6
51,0	45,1	41,2	31,4	29,4	20	33,3	25,5	33,3	41,2	51,0

Tab. 22: Angabe des Anteils der DVTs der Gruppe 5 (♂ / 19-30 Jahre), bei denen an den verschiedenen Messpunkten (10-20 mm post. der Schmelz-Zement-Grenze der mittleren Schneidezähne und 0-8 mm lateral des For. inzisivum) $\geq 7,0$ mm Knochendicke gemessen wurde.

Tab. 23: Angabe des Anteils der DVTs der Gruppe 5 (♂ / 19-30 Jahre), bei denen an den verschiedenen Messpunkten (10-20 mm post. der Schmelz-Zement-Grenze der mittleren Schneidezähne und 0-8 mm lateral des For. inzisivum) $\geq 9,0$ mm Knochendicke gemessen wurde.

8	6	4	2	0		0	2	4	6	8
13,7	41,2	39,2	60,8	2,0	10	2,0	64,7	37,3	43,1	19,6
31,4	62,7	62,7	76,5	2,0	12	2,0	70,6	68,6	58,8	43,1
62,7	72,5	82,4	66,7	0,0	14	0,0	68,6	78,4	68,6	58,8
70,6	68,6	62,7	39,2	2,0	16	0,0	47,1	58,8	66,7	76,5
60,8	49,0	41,2	21,6	3,9	18	2,0	19,6	35,3	51,0	62,7
31,4	31,4	15,7	5,9	7,8	20	7,8	13,7	21,6	31,4	43,1

8	6	4	2	0		0	2	4	6	8
18,4	40,8	48,7	69,7	1,3	10	1,3	63,2	47,4	52,6	19,7
44,7	76,3	77,6	80,3	0,0	12	0,0	80,3	85,5	75,0	53,9
93,4	90,8	81,6	57,9	2,6	14	1,3	67,1	77,6	85,5	86,8
89,5	69,7	55,3	40,8	3,9	16	2,6	35,5	48,7	68,4	81,6
52,6	40,8	26,3	18,4	9,2	18	7,9	22,4	28,9	32,9	52,6
23,7	14,5	6,6	5,3	6,6	20	6,6	7,9	6,6	13,2	27,6

Tab. 24: Angabe des Anteils der DVTs der Gruppe 6 (♀ / 19-30 Jahre), bei denen an den verschiedenen Messpunkten (10-20 mm post. der Schmelz-Zement-Grenze der mittleren Schneidezähne und 0-8 mm lateral des For. inzisivum) $\geq 7,0$ mm Knochendicke gemessen wurde.

Tab. 25: Angabe des Anteils der DVTs der Gruppe 6 (♀ / 19-30 Jahre), bei denen an den verschiedenen Messpunkten (10-20 mm post. der Schmelz-Zement-Grenze der mittleren Schneidezähne und 0-8 mm lateral des For. inzisivum) $\geq 9,0$ mm Knochendicke gemessen wurde.

8	6	4	2	0		0	2	4	6	8
5,3	10,5	35,5	56,6	1,3	10	1,3	52,6	31,6	22,4	5,3
27,6	51,3	60,5	69,7	0,0	12	0,0	69,7	57,9	47,4	28,9
57,9	55,3	59,2	51,3	0,0	14	0,0	50,0	51,3	55,3	56,6
64,5	50,0	36,8	27,6	1,3	16	1,3	26,3	32,9	44,7	64,5
39,5	18,4	10,5	11,8	1,3	18	0,0	10,5	15,8	22,4	36,8
15,8	7,9	3,9	5,3	0,0	20	0,0	2,6	5,3	5,3	18,4

5.3 KNOCHENANGEBOT IN ABHÄNGIGKEIT VOM GESCHLECHT

Da, wie bereits unter 5.1.2 beschrieben, von keiner Normalverteilung ausgegangen werden konnte und signifikante Unterschiede zwischen den Patientengruppen bestanden, wurde der Mann-Whitney-Test angewendet. Da der p-Wert an 52 von 60 Messpunkten $< 0,05$ war, konnte von einem signifikanten Unterschied zwischen den weiblichen und männlichen Patientengruppen ausgegangen werden (Tab. 46, Anhang).

Bei der deskriptiven Statistik wurden pro Gruppe und Messpunkt der Mittel- und Medianwert, die Standardabweichung sowie die maximal und minimal gemessene Knochendicke ermittelt. Die Ergebnisse sind pro Geschlechtsgruppe in Abbildung 14 und den Tabellen 26 und 27 dargestellt.

weibliche Patienten / 9-30 Jahre										
8	6	4	2	0		0	2	4	6	8
4,00	6,54	7,02	10,14	0,00	10	0,00	9,79	6,79	6,83	3,94
7,03	9,00	9,82	10,49	2,32	12	2,18	10,54	9,58	8,69	7,99
9,82	9,19	8,89	8,21	3,57	14	3,60	8,60	8,90	9,15	9,88
9,32	7,52	6,20	5,17	4,22	16	4,42	5,17	6,07	7,45	9,21
6,18	4,60	4,12	4,17	4,32	18	4,38	4,20	4,18	4,45	6,05
3,99	3,07	2,99	3,38	3,97	20	4,04	3,51	3,00	3,09	3,86

männliche Patienten / 9-30 Jahre										
8	6	4	2	0		0	2	4	6	8
4,62	7,59	6,90	10,91	0,00	10	0,00	11,26	6,93	7,52	4,65
8,68	9,73	10,62	11,88	2,65	12	2,46	11,38	11,08	10,23	9,07
10,78	10,65	10,33	9,21	4,19	14	4,09	10,45	10,36	10,62	11,07
10,58	9,31	8,29	6,43	5,15	16	5,10	6,64	8,35	9,50	10,60
8,42	6,75	6,04	5,71	5,53	18	5,61	5,63	6,01	7,17	8,61
6,01	4,70	4,50	5,00	5,40	20	5,42	4,85	4,32	4,69	5,82

rot = $< 7,00$ mm; grün = $\geq 7,00$ mm und $< 9,00$ mm; weiß = $\geq 9,00$ mm

Abb. 14: Farbcodierung des Knochenangebotes in mm, 10-20 mm posterior der Schmelz-Zement-Grenze der mittleren Schneidezähne und 0-8 mm lateral des Foramen inzisivum der männlichen und weiblichen Patienten anhand der Medianwerte

Tab. 26: Deskriptive Statistik der männlichen Patienten mit dem Mittel-, Medianwert, der Standardabweichung SD und dem Minimum/Maximum pro Messpunkt

Messpunkt	Mittelwert	Median	SD	Minimum	Maximum
R_0_10	1,49	0,00	2,46	0,00	14,38
R_0_12	2,90	2,65	2,90	0,00	17,26
R_0_14	4,31	4,19	2,79	0,00	20,66
R_0_16	5,27	5,15	2,39	0,00	19,63
R_0_18	5,65	5,53	1,96	0,00	12,25
R_0_20	5,59	5,40	2,02	1,23	13,13
R_2_10	9,89	10,91	4,83	0,00	18,49
R_2_12	10,80	11,88	4,36	1,05	19,76
R_2_14	9,66	9,21	4,36	1,25	21,49
R_2_16	7,93	6,43	4,16	2,68	20,65
R_2_18	6,28	5,71	3,10	2,06	20,48
R_2_20	5,33	5,00	2,57	1,45	19,56
R_4_10	7,83	6,90	3,53	1,61	15,60
R_4_12	10,18	10,62	3,31	2,76	17,43
R_4_14	10,07	10,33	3,17	3,18	16,66
R_4_16	8,61	8,29	3,75	2,00	19,35
R_4_18	6,64	6,04	3,45	1,38	18,01
R_4_20	4,95	4,50	2,66	0,82	15,75
R_6_10	7,34	7,59	3,69	0,00	15,79
R_6_12	9,06	9,73	3,56	1,31	16,42
R_6_14	10,07	10,65	2,96	2,26	16,69
R_6_16	9,21	9,31	3,39	2,13	18,77
R_6_18	7,29	6,75	3,72	1,35	15,99
R_6_20	5,36	4,70	3,16	0,80	16,08
R_8_10	5,71	4,62	3,42	0,00	17,61
R_8_12	8,60	8,68	3,99	0,58	17,98
R_8_14	10,39	10,78	3,42	1,36	18,13
R_8_16	10,34	10,58	3,51	0,97	21,61
R_8_18	8,52	8,42	3,85	0,31	17,84
R_8_20	6,38	6,01	3,60	0,72	16,13
L_0_10	1,47	0,00	2,40	0,00	15,03
L_0_12	2,79	2,46	2,70	0,00	16,57
L_0_14	4,19	4,09	2,60	0,00	17,98
L_0_16	5,20	5,10	2,28	0,00	19,03
L_0_18	5,62	5,61	1,89	0,00	12,29
L_0_20	5,53	5,42	2,08	1,16	14,40
L_2_10	10,12	11,26	5,08	0,00	19,54
L_2_12	10,41	11,38	4,44	0,00	18,78
L_2_14	9,74	10,45	4,43	1,63	21,53
L_2_16	8,00	6,64	4,00	2,01	18,90
L_2_18	6,38	5,63	3,36	1,55	19,21
L_2_20	5,24	4,85	2,54	1,31	19,29
L_4_10	7,80	6,93	3,67	0,00	15,56
L_4_12	10,35	11,08	3,48	0,00	17,29
L_4_14	10,21	10,36	3,43	2,60	19,51
L_4_16	8,57	8,35	3,69	1,79	20,15
L_4_18	6,56	6,01	3,32	1,36	17,09
L_4_20	4,98	4,32	2,85	0,96	16,61
L_6_10	7,48	7,52	3,61	0,00	15,25
L_6_12	9,40	10,23	3,53	0,00	16,72
L_6_14	10,23	10,62	2,94	1,87	16,21
L_6_16	9,26	9,50	3,40	1,95	17,78
L_6_18	7,28	7,17	3,54	1,17	16,38
L_6_20	5,28	4,69	3,06	0,69	15,27
L_8_10	5,66	4,65	3,19	0,00	15,65
L_8_12	8,54	9,07	3,89	0,00	19,39
L_8_14	10,60	11,07	3,38	1,76	17,54
L_8_16	10,42	10,60	3,35	1,68	20,89
L_8_18	8,54	8,61	3,90	1,19	22,71
L_8_20	6,41	5,82	3,57	0,79	19,02

R/L_X_Y: R/L bezeichnet die rechte/linke Gaumenseite, X ist der Abstand in mm von der posterioren Wand des Foramen incisivum nach lateral, Y entspricht dem Abstand in mm von der Schmelz-Zement-Grenze des mittleren Schneidezahnes nach posterior; SD = Standardabweichung;
rot = < 7,00 mm; grün = ≥ 7,00 mm und < 9,00 mm; schwarz = ≥ 9,00 mm

Tab. 27: Deskriptive Statistik der weiblichen Patienten mit dem Mittel-, Medianwert, der Standardabweichung SD und dem Minimum/Maximum pro Messpunkt

Messpunkt	Mittelwert	Median	SD	Minimum	Maximum
R_0_10	1,25	0,00	2,01	0,00	13,68
R_0_12	2,48	2,32	2,15	0,00	14,30
R_0_14	3,58	3,57	1,96	0,00	11,48
R_0_16	4,36	4,22	1,86	0,00	14,08
R_0_18	4,43	4,32	1,70	0,00	9,47
R_0_20	4,11	3,97	1,56	0,68	8,71
R_2_10	9,20	10,14	4,20	0,00	18,59
R_2_12	9,71	10,49	3,90	0,00	17,76
R_2_14	8,34	8,21	4,03	0,00	18,37
R_2_16	6,33	5,17	3,35	1,38	17,26
R_2_18	4,77	4,17	2,50	1,01	16,00
R_2_20	3,78	3,38	1,92	0,86	15,20
R_4_10	7,44	7,02	3,18	0,00	15,55
R_4_12	9,61	9,82	2,69	2,42	18,79
R_4_14	8,85	8,89	2,99	1,97	14,93
R_4_16	6,69	6,20	3,17	0,95	15,10
R_4_18	4,67	4,12	2,61	0,80	13,22
R_4_20	3,37	2,99	2,01	0,59	12,90
R_6_10	6,44	6,54	3,09	0,50	14,00
R_6_12	8,66	9,00	2,96	1,82	15,05
R_6_14	9,15	9,19	2,48	1,60	15,64
R_6_16	7,59	7,52	3,29	0,41	15,91
R_6_18	5,35	4,60	3,12	0,00	14,39
R_6_20	3,60	3,07	2,36	0,00	14,09
R_8_10	4,87	4,00	2,93	0,00	14,87
R_8_12	7,46	7,03	3,57	1,41	16,07
R_8_14	9,76	9,82	2,71	1,44	15,48
R_8_16	9,09	9,32	3,18	0,00	17,44
R_8_18	6,76	6,18	3,48	0,00	15,68
R_8_20	4,59	3,99	2,89	0,00	14,39
L_0_10	1,20	0,00	2,04	0,00	14,50
L_0_12	2,37	2,18	2,08	0,00	12,78
L_0_14	3,61	3,60	1,92	0,00	11,11
L_0_16	4,41	4,42	1,80	0,00	14,18
L_0_18	4,47	4,38	1,62	0,00	9,16
L_0_20	4,16	4,04	1,60	0,78	9,38
L_2_10	9,00	9,79	4,48	0,00	20,83
L_2_12	9,95	10,54	4,26	0,00	19,24
L_2_14	8,68	8,60	4,10	0,00	16,75
L_2_16	6,38	5,17	3,60	0,00	17,65
L_2_18	4,79	4,20	2,63	0,78	17,57
L_2_20	3,79	3,51	2,02	0,72	15,84
L_4_10	7,24	6,79	3,25	0,00	16,08
L_4_12	9,35	9,58	2,53	2,70	15,95
L_4_14	8,80	8,90	3,06	1,75	15,89
L_4_16	6,84	6,07	3,38	1,02	15,36
L_4_18	4,81	4,18	2,80	0,71	15,50
L_4_20	3,43	3,00	2,03	0,60	14,52
L_6_10	6,48	6,83	2,92	0,00	13,76
L_6_12	8,39	8,69	2,89	1,66	13,73
L_6_14	9,01	9,15	2,57	1,58	14,72
L_6_16	7,59	7,45	3,29	0,99	14,65
L_6_18	5,29	4,45	3,15	0,57	14,14
L_6_20	3,66	3,09	2,37	0,55	12,74
L_8_10	4,80	3,94	2,91	0,00	14,80
L_8_12	7,73	7,99	3,48	0,00	16,25
L_8_14	9,54	9,88	2,88	0,00	18,02
L_8_16	8,99	9,21	3,16	1,72	16,73
L_8_18	6,63	6,05	3,42	1,07	14,82
L_8_20	4,62	3,86	2,96	0,00	15,33

R/L_X_Y: R/L bezeichnet die rechte/linke Gaumenseite, X ist der Abstand in mm von der posterioren Wand und des Foramen incisivum nach lateral, Y entspricht dem Abstand in mm von der Schmelz-Zement-Grenze des mittleren Schneidezahnes nach posterior; SD = Standardabweichung;
rot = < 7,00 mm; grün = ≥ 7,00 mm und < 9,00 mm; schwarz = ≥ 9,00 mm

Durch die prozentuale Auswertung wird gezeigt, wie viel Prozent der untersuchten Patienten pro Punkt ein Knochenangebot von $\geq 7,0$ bzw. $\geq 9,0$ mm haben, was für 6,0 mm bzw. 8,0 mm lange Minischrauben ausreicht. Diese Auswertung wurde für jede Gruppe einzeln durchgeführt. Die Ergebnisse werden in Kreuztabellen dargestellt. Zur besseren Übersicht wurden jeweils die fünf größten bzw. kleinsten prozentualen Werte in Grün bzw. Rot markiert.

8	6	4	2	0		0	2	4	6	8
26,7	54,0	49,5	68,8	3,0	10	3,0	71,3	48,5	55,4	27,2
60,4	70,3	80,2	73,8	6,4	12	5,4	73,3	80,7	74,8	63,4
83,2	84,2	79,2	61,4	8,4	14	7,4	63,9	83,2	87,1	84,7
83,2	72,3	60,9	41,6	15,8	16	14,4	45,0	60,4	73,3	84,2
60,9	48,0	36,1	24,8	19,8	18	17,3	27,2	34,7	51,5	61,9
39,6	26,2	19,8	14,9	21,8	20	21,8	14,9	17,3	22,8	36,1

Tab. 28: Angabe des Anteils der DVTs der männlichen Patienten, bei denen an den verschiedenen Messpunkten (10-20 mm post. der Schmelz-Zement-Grenze der mittleren Schneidezähne und 0-8 mm lateral des For. inzisivum) $\geq 7,0$ mm Knochendicke gemessen wurde.

Tab. 29: Angabe des Anteils der DVTs der männlichen Patienten, bei denen an den verschiedenen Messpunkten (10-20 mm post. der Schmelz-Zement-Grenze der mittleren Schneidezähne und 0-8 mm lateral des For. inzisivum) $\geq 9,0$ mm Knochendicke gemessen wurde.

8	6	4	2	0		0	2	4	6	8
17,3	39,6	37,1	59,9	2,5	10	2,5	64,4	35,6	38,6	18,3
47,0	55,9	63,9	66,8	3,0	12	3,0	65,8	67,8	58,9	51,0
66,8	65,3	66,8	51,0	4,0	14	4,0	54,5	64,9	66,8	68,8
67,3	55,0	44,1	28,2	4,5	16	4,0	33,2	45,5	54,0	70,3
43,6	31,7	21,3	10,9	5,4	18	5,4	12,4	19,8	32,7	46,0
21,8	14,4	8,4	4,0	5,9	20	5,0	5,4	9,9	13,9	23,3

8	6	4	2	0		0	2	4	6	8
21,4	42,4	50,2	71,6	1,7	10	1,7	69,4	47,6	45,4	21,4
50,2	72,1	83,0	73,8	2,6	12	2,6	74,7	83,4	72,9	55,9
88,2	84,3	72,9	55,5	4,4	14	3,9	58,5	71,6	79,9	82,1
76,4	55,9	41,9	29,7	6,6	16	7,0	29,3	38,4	54,1	72,5
42,4	27,5	17,0	14,4	8,3	18	7,0	15,3	19,7	26,6	41,0
16,2	10,0	4,8	3,1	6,1	20	6,1	5,2	5,2	9,6	19,7

Tab. 30: Angabe des Anteils der DVTs der weiblichen Patienten, bei denen an den verschiedenen Messpunkten (10-20 mm post. der Schmelz-Zement-Grenze der mittleren Schneidezähne und 0-8 mm lateral des For. inzisivum) $\geq 7,0$ mm Knochendicke gemessen wurde.

Tab. 31: Angabe des Anteils der DVTs der weiblichen Patienten, bei denen an den verschiedenen Messpunkten (10-20 mm post. der Schmelz-Zement-Grenze der mittleren Schneidezähne und 0-8 mm lateral des For. inzisivum) $\geq 9,0$ mm Knochendicke gemessen wurde.

	8	6	4	2	0		0	2	4	6	8
	11,8	20,5	35,8	59,8	1,7	10	1,7	57,6	31,9	20,5	10,9
	34,1	50,2	64,2	62,0	1,7	12	1,3	65,5	58,1	46,7	39,3
	63,3	51,5	49,3	43,2	0,9	14	1,3	45,0	47,2	53,7	61,1
	55,9	38,4	24,9	21,8	0,9	16	0,9	21,4	21,8	34,9	53,3
	28,8	14,8	7,9	7,0	1,3	18	0,4	7,4	10,0	14,8	29,3
	10,0	4,8	2,2	2,2	0,0	20	0,4	1,7	2,6	3,5	9,6

5.4 KNOCHENANGEBOT IN ABHÄNGIGKEIT VOM ALTER

Da, wie bereits unter 5.1.2 beschrieben, von keiner Normalverteilung ausgegangen werden konnte, wurde zum Vergleich der drei Altersgruppen der H-Test nach Kruskal und Wallis durchgeführt. Da der p-Wert an 46 von 60 Messstellen $< 0,05$ war, konnte von einem signifikanten Unterschied zwischen den Altersgruppen ausgegangen werden (Tab. 47, Anhang). Es war demnach erforderlich, post-hoc den Mann-Whitney-Test durchzuführen. Nur bei den Altersgruppen der 14- bis 18-Jährigen und 19- bis 30-Jährigen konnte von keinem signifikanten Unterschied ausgegangen werden, da die p-Werte sich nur bei 8 von 60 Messpunkten signifikant unterschieden ($p < 0,05$) (Tab. 32; Tab. 48, Anhang).

Tab. 32: Zusammenfassung der Ergebnisse des U-Tests nach Mann und Whitney zum Vergleich der 3 Altersgruppen

Altersgruppen	Ergebnis des Tests nach Mann und Whitney
1 vs 2	signifikanter Unterschied
1 vs 3	signifikanter Unterschied
2 vs 3	kein signifikanter Unterschied

Altersgruppe 1 = 9-13 Jahre; Altersgruppe 2 = 14-18 Jahre; Altersgruppe 3 = 19-30 Jahre

Bei der deskriptiven Statistik wurden pro Gruppe und Messpunkt der Mittel- und Medianwert, die Standardabweichung sowie die maximal und minimal gemessene Knochendicke ermittelt. Die Ergebnisse sind in den Tabellen 33 bis 35 und Abbildung 15 dargestellt.

Tab. 33: Deskriptive Statistik der Altersgruppe 1 (9-13 Jahre) mit dem Mittel-, Medianwert, der Standardabweichung SD und dem Minimum/Maximum pro Messpunkt

Messpunkt	Mittelwert	Median	SD	Minimum	Maximum
R_0_10	2,11	1,70	2,74	0,00	14,38
R_0_12	3,63	3,40	2,94	0,00	17,26
R_0_14	4,87	4,67	2,71	0,00	20,66
R_0_16	5,30	5,21	2,21	0,00	19,63
R_0_18	5,02	4,94	1,80	0,92	12,20
R_0_20	4,53	4,34	1,77	0,75	11,46
R_2_10	10,08	11,06	4,40	0,00	18,59
R_2_12	9,31	9,64	3,79	1,94	17,76
R_2_14	7,89	6,79	3,75	2,20	21,49
R_2_16	5,77	5,13	2,77	1,38	20,65
R_2_18	4,65	4,23	2,12	1,15	20,48
R_2_20	3,96	3,61	1,98	1,14	19,13
R_4_10	7,94	7,26	3,36	2,22	15,55
R_4_12	9,88	10,07	3,01	3,09	18,79
R_4_14	8,44	8,25	3,21	1,97	16,66
R_4_16	6,14	5,57	3,08	0,95	16,39
R_4_18	4,44	3,99	2,57	0,80	18,01
R_4_20	3,35	2,96	1,88	0,59	15,75
R_6_10	6,83	5,51	3,85	1,08	15,79
R_6_12	8,77	9,46	3,50	2,02	15,38
R_6_14	9,22	9,57	3,12	1,60	15,64
R_6_16	7,24	6,69	3,50	0,99	16,35
R_6_18	5,06	4,25	3,16	0,00	15,89
R_6_20	3,52	3,09	2,19	0,00	16,08
R_8_10	6,01	4,94	3,70	0,00	17,61
R_8_12	9,10	9,56	4,14	0,58	17,98
R_8_14	10,50	10,88	3,29	1,36	16,56
R_8_16	8,99	9,41	3,71	0,00	17,44
R_8_18	6,46	6,12	3,50	0,00	15,75
R_8_20	4,53	4,04	2,66	0,00	16,03
L_0_10	2,11	1,65	2,77	0,00	15,03
L_0_12	3,60	3,38	2,82	0,00	16,57
L_0_14	4,76	4,61	2,47	0,00	17,98
L_0_16	5,26	5,13	2,18	1,04	19,03
L_0_18	4,95	4,93	1,70	1,07	10,43
L_0_20	4,51	4,36	1,81	0,78	11,58
L_2_10	10,33	11,51	4,38	0,00	20,83
L_2_12	9,41	9,74	4,12	0,98	19,24
L_2_14	7,71	6,46	3,84	1,68	21,53
L_2_16	5,83	5,15	3,03	1,08	17,65
L_2_18	4,60	4,44	2,16	0,78	19,21
L_2_20	3,79	3,71	1,77	0,95	17,93
L_4_10	7,98	7,03	3,33	1,71	15,08
L_4_12	9,79	10,03	3,14	2,71	16,54
L_4_14	8,45	8,47	3,38	1,75	15,97
L_4_16	6,31	5,52	3,37	1,02	20,15
L_4_18	4,46	4,03	2,53	0,71	17,09
L_4_20	3,28	3,01	1,82	0,60	13,58
L_6_10	6,82	6,50	3,68	0,60	15,25
L_6_12	9,03	9,82	3,51	1,66	15,21
L_6_14	9,14	9,34	3,09	1,58	15,95
L_6_16	7,19	6,60	3,54	0,99	17,78
L_6_18	4,93	4,10	3,00	0,57	16,17
L_6_20	3,50	3,07	2,11	0,55	13,51
L_8_10	5,85	4,85	3,50	0,00	15,65
L_8_12	9,13	9,67	3,96	0,00	19,39
L_8_14	10,42	10,99	3,43	0,00	17,54
L_8_16	8,92	9,09	3,64	1,68	18,30
L_8_18	6,42	5,46	3,81	1,07	22,71
L_8_20	4,53	3,86	2,61	0,79	14,83

R/L_X_Y: R/L bezeichnet die rechte/linke Gaumenseite, X ist der Abstand in mm von der posterioren Wand des Foramen incisivum nach lateral, Y entspricht dem Abstand in mm von der Schmelz-Zement-Grenze des mittleren Schneidezahnes nach posterior; SD = Standardabweichung;
rot = < 7,00 mm; grün = ≥ 7,00 mm und < 9,00 mm; schwarz = ≥ 9,00 mm

Tab. 34: Deskriptive Statistik der Altersgruppe 2 (14-18 Jahre) mit dem Mittel-, Medianwert, der Standardabweichung SD und dem Minimum/Maximum pro Messpunkt

Messpunkt	Mittelwert	Median	SD	Minimum	Maximum
R_0_10	1,01	0,00	1,47	0,00	6,39
R_0_12	2,32	2,24	2,03	0,00	14,30
R_0_14	3,66	3,66	2,14	0,00	12,39
R_0_16	4,78	4,87	2,15	0,00	12,26
R_0_18	5,15	4,96	2,15	0,00	12,25
R_0_20	4,93	4,59	2,06	1,07	13,13
R_2_10	9,24	10,08	4,43	0,00	17,68
R_2_12	10,84	11,58	4,33	1,25	19,76
R_2_14	9,62	9,44	4,19	1,25	18,52
R_2_16	7,86	6,57	3,92	2,49	18,45
R_2_18	5,93	5,14	3,12	1,67	18,14
R_2_20	4,74	4,45	2,58	1,28	19,56
R_4_10	7,31	6,78	3,28	1,78	14,30
R_4_12	9,95	10,15	2,94	3,31	17,43
R_4_14	9,94	10,22	2,90	3,38	15,95
R_4_16	8,20	8,25	3,39	1,97	19,35
R_4_18	6,10	5,39	3,12	1,18	17,74
R_4_20	4,47	3,87	2,57	0,81	13,47
R_6_10	6,93	7,22	3,16	0,50	14,33
R_6_12	8,78	8,98	3,13	1,82	16,42
R_6_14	9,84	10,13	2,61	3,24	16,69
R_6_16	8,92	9,18	3,25	0,41	18,77
R_6_18	6,83	6,32	3,50	0,92	15,99
R_6_20	4,91	4,25	3,02	0,63	14,09
R_8_10	4,55	3,65	2,69	0,00	13,42
R_8_12	7,35	6,92	3,32	1,80	15,42
R_8_14	9,70	9,96	3,12	2,47	18,13
R_8_16	10,09	10,11	3,37	0,97	21,61
R_8_18	8,07	8,17	3,75	0,31	16,57
R_8_20	5,91	5,09	3,52	0,72	14,13
L_0_10	0,89	0,00	1,35	0,00	5,90
L_0_12	2,10	1,77	1,71	0,00	8,00
L_0_14	3,64	3,72	2,10	0,00	12,54
L_0_16	4,82	4,71	2,10	0,00	12,37
L_0_18	5,23	4,89	2,07	0,00	12,29
L_0_20	4,96	4,65	2,10	1,16	14,40
L_2_10	9,18	9,93	4,88	0,00	19,54
L_2_12	10,97	11,63	4,25	0,00	18,78
L_2_14	10,15	10,97	3,99	1,63	18,58
L_2_16	7,97	6,55	4,01	2,01	17,67
L_2_18	6,14	5,20	3,44	1,52	18,82
L_2_20	4,90	4,28	2,60	1,31	19,29
L_4_10	7,06	6,42	3,44	0,00	16,08
L_4_12	9,89	9,98	3,11	0,00	17,29
L_4_14	10,17	10,20	3,05	2,60	17,29
L_4_16	8,32	8,36	3,29	1,79	15,23
L_4_18	6,20	5,63	3,13	1,32	15,50
L_4_20	4,53	3,91	2,61	1,04	16,35
L_6_10	6,85	7,16	3,09	0,00	12,67
L_6_12	8,77	8,89	3,20	0,00	14,97
L_6_14	9,99	10,23	2,75	1,87	16,21
L_6_16	9,05	9,21	3,19	1,95	17,33
L_6_18	6,86	6,44	3,32	1,12	16,38
L_6_20	4,83	4,26	2,88	0,69	15,27
L_8_10	4,58	3,84	2,59	1,02	13,30
L_8_12	7,43	7,26	3,24	1,25	13,63
L_8_14	9,90	10,36	3,17	1,37	16,68
L_8_16	10,23	10,40	3,12	2,57	20,89
L_8_18	8,16	8,45	3,52	1,19	16,00
L_8_20	5,87	5,07	3,52	0,79	19,02

R/L_X_Y: R/L bezeichnet die rechte/linke Gaumenseite, X ist der Abstand in mm von der posterioren Wand des Foramen incisivum nach lateral, Y entspricht dem Abstand in mm von der Schmelz-Zement-Grenze des mittleren Schneidezahnes nach posterior; SD = Standardabweichung;
rot = < 7,00 mm; grün = ≥ 7,00 mm und < 9,00 mm; schwarz = ≥ 9,00 mm

Tab. 35: Deskriptive Statistik der Altersgruppe 3 (19-30 Jahre) mit dem Mittel-, Medianwert, der Standardabweichung SD und dem Minimum/Maximum pro Messpunkt

Messpunkt	Mittelwert	Median	SD	Minimum	Maximum
R_0_10	0,74	0,00	1,84	0,00	13,07
R_0_12	1,76	1,63	1,94	0,00	15,01
R_0_14	2,92	3,03	1,70	0,00	7,23
R_0_16	4,12	3,99	1,95	0,00	13,04
R_0_18	4,83	4,75	1,82	0,00	9,18
R_0_20	5,04	4,81	1,97	0,68	12,75

R_2_10	9,07	10,16	4,72	0,00	18,49
R_2_12	10,78	11,36	4,24	0,00	19,48
R_2_14	9,69	10,47	4,61	0,00	19,28
R_2_16	8,02	6,38	4,44	1,86	20,44
R_2_18	6,11	5,33	3,27	1,01	19,56
R_2_20	4,99	4,57	2,52	0,86	16,57

R_4_10	7,52	6,99	3,39	0,00	15,60
R_4_12	9,79	9,88	3,10	2,42	16,62
R_4_14	10,19	10,34	2,94	3,39	16,49
R_4_16	8,88	8,57	3,74	2,02	18,18
R_4_18	6,61	5,72	3,52	0,85	15,65
R_4_20	4,77	3,96	2,76	0,65	15,05

R_6_10	6,84	7,01	3,03	0,00	14,00
R_6_12	9,01	9,50	3,07	1,31	15,61
R_6_14	9,79	9,75	2,31	2,26	15,77
R_6_16	9,24	9,49	3,13	2,60	17,42
R_6_18	7,26	6,90	3,64	0,67	15,74
R_6_20	5,13	3,88	3,27	0,63	15,18

R_8_10	5,02	4,35	2,74	0,99	14,44
R_8_12	7,20	6,91	3,50	1,45	16,07
R_8_14	9,82	9,73	2,65	2,12	16,04
R_8_16	10,15	9,94	2,78	0,59	17,64
R_8_18	8,58	8,71	3,73	1,38	17,84
R_8_20	6,14	4,84	3,75	0,75	16,13

L_0_10	0,74	0,00	1,79	0,00	10,87
L_0_12	1,68	1,62	1,84	0,00	12,34
L_0_14	2,96	2,92	1,72	0,00	8,34
L_0_16	4,11	4,17	1,72	0,00	9,68
L_0_18	4,88	4,88	1,76	0,00	9,30
L_0_20	5,03	4,91	1,99	0,84	12,66

L_2_10	8,81	10,06	5,12	0,00	17,88
L_2_12	10,34	10,97	4,59	0,00	17,61
L_2_14	10,12	10,50	4,61	0,00	19,63
L_2_16	8,00	6,58	4,25	0,00	18,90
L_2_18	6,14	4,98	3,46	1,22	17,57
L_2_20	4,94	4,35	2,66	0,72	15,47

L_4_10	7,33	6,07	3,61	0,00	14,71
L_4_12	9,77	10,15	2,89	1,95	15,80
L_4_14	10,08	9,90	3,16	2,83	19,51
L_4_16	8,74	8,20	3,77	1,82	17,03
L_4_18	6,60	5,56	3,52	1,12	15,92
L_4_20	4,93	4,12	2,99	0,81	16,61

L_6_10	7,22	7,52	2,96	0,62	13,76
L_6_12	8,74	9,19	2,90	1,76	16,72
L_6_14	9,75	9,72	2,43	3,59	14,72
L_6_16	9,22	9,46	3,12	2,26	16,70
L_6_18	7,27	6,29	3,72	1,32	15,09
L_6_20	5,21	4,15	3,26	0,63	14,73

L_8_10	4,98	4,19	2,78	0,00	11,86
L_8_12	7,46	7,89	3,48	0,00	14,32
L_8_14	9,66	9,88	2,73	1,79	18,02
L_8_16	10,04	9,90	2,91	2,78	16,66
L_8_18	8,33	8,12	3,65	1,40	16,41
L_8_20	6,28	5,02	3,82	0,00	15,28

R/L_X_Y: R/L bezeichnet die rechte/linke Gaumenseite, X ist der Abstand in mm von der posterioren Wand des Foramen incisivum nach lateral, Y entspricht dem Abstand in mm von der Schmelz-Zement-Grenze des mittleren Schneidezahnes nach posterior; SD = Standardabweichung;

rot = < 7,00 mm; grün = ≥ 7,00 mm und < 9,00 mm; schwarz = ≥ 9,00 mm

Altersgruppe 1 (9-13 Jahre)

8	6	4	2	0		0	2	4	6	8
4,94	5,51	7,26	11,06	1,70	10	1,65	11,51	7,03	6,50	4,85
9,56	9,46	10,07	9,64	3,40	12	3,38	9,74	10,03	9,82	9,67
10,88	9,57	8,25	6,79	4,67	14	4,61	6,46	8,47	9,34	10,99
9,41	6,69	5,57	5,13	5,21	16	5,13	5,15	5,52	6,60	9,09
6,12	4,25	3,99	4,23	4,94	18	4,93	4,44	4,03	4,10	5,46
4,04	3,09	2,96	3,61	4,34	20	4,36	3,71	3,01	3,07	3,86

Altersgruppe 2 (14-18 Jahre)

8	6	4	2	0		0	2	4	6	8
3,65	7,22	6,78	10,08	0,00	10	0,00	9,93	6,42	7,16	3,84
6,92	8,98	10,15	11,58	2,24	12	1,77	11,63	9,98	8,89	7,26
9,96	10,13	10,22	9,44	3,66	14	3,72	10,97	10,20	10,23	10,36
10,11	9,18	8,25	6,57	4,87	16	4,71	6,55	8,36	9,21	10,40
8,17	6,32	5,39	5,14	4,96	18	4,89	5,20	5,63	6,44	8,45
5,09	4,25	3,87	4,45	4,59	20	4,65	4,28	3,91	4,26	5,07

Altersgruppe 3 (19-30 Jahre)

8	6	4	2	0		0	2	4	6	8
4,35	7,01	6,99	10,16	0,00	10	0,00	10,06	6,07	7,52	4,19
6,91	9,50	9,88	11,36	1,63	12	1,62	10,97	10,15	9,19	7,89
9,73	9,75	10,34	10,47	3,03	14	2,92	10,50	9,90	9,72	9,88
9,94	9,49	8,57	6,38	3,99	16	4,17	6,58	8,20	9,46	9,90
8,71	6,90	5,72	5,33	4,75	18	4,88	4,98	5,56	6,29	8,12
4,84	3,88	3,96	4,57	4,81	20	4,91	4,35	4,12	4,15	5,02

rot = < 7,00 mm; grün = \geq 7,00 mm und < 9,00 mm; weiß = \geq 9,00 mm

Abb. 15: Farbcodierung des Knochenangebotes in mm 10-20 mm posterior der Schmelz-Zement-Grenze der mittleren Schneidezähne und 0-8 mm lateral des Foramen incisivum der Altersgruppen 1 bis 3 anhand der Medianwerte

Das mittlere Alter und die Standardabweichung der Altersgruppe 1 betragen 11,0 Jahre \pm 1,4 Jahre. Zum Zeitpunkt der DVT-Aufnahme war die zweite Gruppe 15,6 Jahre \pm 1,4 Jahre und die älteste Gruppe war 25,3 Jahre \pm 3,6 Jahre alt. Durch die prozentuale Auswertung (Tab. 36 bis 41) wird gezeigt, wie viel Prozent der untersuchten Patienten pro Punkt ein Knochenangebot von \geq 7,0 bzw. \geq 9,0 mm hatten, was für 6,0 mm bzw. 8,0 mm lange Minischrauben ausreicht. Diese Auswertung wurde für jede Gruppe einzeln durchgeführt. Die Ergebnisse werden in Kreuztabellen dargestellt. Zur besseren Übersicht wurden jeweils die fünf größten bzw. kleinsten prozentualen Werte in Grün bzw. Rot markiert.

8	6	4	2	0		0	2	4	6	8
25,9	42,9	52,4	69,4	4,1	10	4,1	71,8	51,2	44,1	26,5
64,1	65,3	80,6	66,5	8,8	12	7,6	66,5	80,6	70,0	66,5
86,5	77,6	65,3	46,5	10,6	14	10,0	43,5	67,6	75,9	81,8
68,2	48,2	32,4	18,8	14,1	16	14,1	21,2	34,1	47,6	66,5
40,6	21,8	10,6	8,2	12,9	18	8,8	8,2	10,6	25,9	38,8
16,5	5,3	2,9	1,8	10,0	20	9,4	1,8	2,9	4,7	17,1

Tab. 36: Angabe des Anteils der DVTs der Altersgruppe 1 (9-13 Jahre), bei denen an den verschiedenen Messpunkten (10-20 mm post. der Schmelz-Zement-Grenze der mittleren Schneidezähne und 0-8 mm lateral des For. inzisivum) $\geq 7,0$ mm Knochendicke gemessen wurde.

Tab. 37: Angabe des Anteils der DVTs der Altersgruppe 1 (9-13 Jahre), bei denen an den verschiedenen Messpunkten (10-20 mm post. der Schmelz-Zement-Grenze der mittleren Schneidezähne und 0-8 mm lateral des For. inzisivum) $\geq 9,0$ mm Knochendicke gemessen wurde.

8	6	4	2	0		0	2	4	6	8
22,4	36,5	37,1	62,4	4,1	10	4,1	65,3	36,5	32,4	20,6
53,5	54,1	64,1	52,4	4,7	12	4,7	54,7	60,6	55,9	58,8
70,6	52,9	44,7	33,5	4,7	14	4,7	32,4	42,4	55,3	69,4
53,5	34,1	16,5	11,2	2,9	16	2,9	13,5	20,6	31,2	52,4
20,6	12,4	5,9	2,4	2,4	18	2,4	2,9	5,9	10,0	24,1
5,9	2,9	1,2	1,2	2,4	20	1,8	0,6	1,2	2,4	5,9

8	6	4	2	0		0	2	4	6	8
18,7	51,5	47,0	71,6	0,0	10	0,0	73,1	44,0	50,7	17,2
49,3	72,4	85,8	78,4	2,2	12	2,2	81,3	83,6	75,4	51,5
80,6	87,3	80,6	67,9	5,2	14	4,5	75,4	82,8	88,8	80,6
83,6	73,1	59,7	47,0	11,2	16	11,9	48,5	56,7	70,9	85,8
56,0	44,8	36,6	28,4	17,9	18	16,4	28,4	37,3	47,0	57,5
33,6	24,6	14,9	10,4	15,7	20	14,9	14,9	14,9	21,6	31,3

Tab. 38: Angabe des Anteils der DVTs der Altersgruppe 2 (14-18 Jahre), bei denen an den verschiedenen Messpunkten (10-20 mm post. der Schmelz-Zement-Grenze der mittleren Schneidezähne und 0-8 mm lateral des For. inzisivum) $\geq 7,0$ mm Knochendicke gemessen wurde.

Tab. 39: Angabe des Anteils der DVTs der Altersgruppe 2 (14-18 Jahre), bei denen an den verschiedenen Messpunkten (10-20 mm post. der Schmelz-Zement-Grenze der mittleren Schneidezähne und 0-8 mm lateral des For. inzisivum) $\geq 9,0$ mm Knochendicke gemessen wurde.

	8	6	4	2	0		0	2	4	6	8
	9,7	26,9	35,1	58,2	0,0	10	0,0	58,2	29,9	23,1	9,7
	33,6	48,5	66,4	71,6	0,7	12	0,0	75,4	65,7	48,5	36,6
	62,7	60,4	63,4	53,7	1,5	14	2,2	63,4	65,7	64,9	65,7
	65,7	50,7	43,3	35,1	3,0	16	3,0	36,6	38,8	50,7	64,9
	43,3	28,4	16,4	10,4	5,2	18	5,2	14,2	17,2	29,9	44,0
	21,6	9,7	6,7	3,0	3,0	20	3,0	3,7	6,7	9,0	17,2

	8	6	4	2	0		0	2	4	6	8
	26,8	50,4	49,6	70,1	2,4	10	2,4	65,4	48,0	57,5	28,3
	48,8	78,0	78,7	78,7	0,8	12	0,8	76,4	82,7	77,2	58,3
	90,6	89,8	85,0	63,8	1,6	14	0,8	69,3	83,5	87,4	88,2
	90,6	74,0	66,1	44,9	6,3	16	3,9	44,9	59,8	75,6	85,0
	59,8	49,6	35,4	24,4	10,2	18	11,0	29,9	37,0	45,7	59,8
	34,6	26,8	20,5	15,7	15,7	20	17,3	15,0	17,3	24,4	37,0

Tab. 40: Angabe des Anteils der DVTs der Altersgruppe 3 (19-30 Jahre), bei denen an den verschiedenen Messpunkten (10-20 mm post. der Schmelz-Zement-Grenze der mittleren Schneidezähne und 0-8 mm lateral des For. inzisivum) $\geq 7,0$ mm Knochendicke gemessen wurde.

Tab. 41: Angabe des Anteils der DVTs der Altersgruppe 3 (19-30 Jahre), bei denen an den verschiedenen Messpunkten (10-20 mm post. der Schmelz-Zement-Grenze der mittleren Schneidezähne und 0-8 mm lateral des For. inzisivum) $\geq 9,0$ mm Knochendicke gemessen wurde.

	8	6	4	2	0		0	2	4	6	8
	8,7	22,8	37,0	58,3	1,6	10	1,6	57,5	33,9	30,7	11,0
	29,1	55,9	61,4	72,4	0,8	12	0,8	70,1	62,2	52,0	34,6
	59,8	62,2	68,5	57,5	0,0	14	0,0	57,5	62,2	60,6	57,5
	66,9	57,5	47,2	32,3	1,6	16	0,8	34,6	43,3	53,5	69,3
	48,0	30,7	22,8	15,7	2,4	18	0,8	14,2	23,6	33,9	47,2
	22,0	17,3	8,7	5,5	3,1	20	3,1	7,1	11,8	15,7	28,3

5.5 KNOCHENANGEBOT IN ABHÄNGIGKEIT VON DER KÖRPERHÄLFTE

Nachdem eine Normalverteilung nicht nachgewiesen werden konnte, musste beim Vergleich der rechten mit der linken Gaumenseite der Wilcoxon-Test durchgeführt werden, da es sich um den Vergleich zweier abhängiger Stichproben handelt. Da der Vergleich der einzelnen Gruppen durch den Mann-Whitney-Test keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den Patientengruppen 1, 4 und 6 sowie 3 und 5 ergab, musste der Vergleich der rechten und linken Gaumenseite nicht für jede Gruppe einzeln durchgeführt werden, sondern konnte zusammengefasst werden. Der Wilcoxon-Test wurde für die Gruppen 1, 4 und 6; 3 und 5 und 2 durchgeführt. Es konnte kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen der rechten und der linken Gaumenseite festgestellt werden (Tab. 42, Tab. 49, Anhang).

Tab. 42: Ergebnisse des Wilcoxon-Tests zum Vergleich der rechten und linken Gaumenseite

Patientengruppen	Ergebnis des Wilcoxon-Tests
1, 4 und 6	kein signifikanter Unterschied
3 und 5	kein signifikanter Unterschied
2	kein signifikanter Unterschied

Patientengruppe 1 = m/9-13 Jahre; Patientengruppe 2 = w/9-13 Jahre; Patientengruppe 3 = m/14-18 Jahre
 Patientengruppe 4 = w/14-18 Jahre; Patientengruppe 5 = m/19-30 Jahre; Patientengruppe 6 = w/19-30 Jahre

6 DISKUSSION

6.1 DISKUSSION DER FRAGESTELLUNG

Ziel dieser Studie war, die paramediane und mediane Knochendicke des anterioren Gaumens bei Kindern, Jugendlichen und Erwachsenen anhand von digitalen Volumentomogrammen zu erfassen und einzelne Patientengruppen miteinander zu vergleichen. Für die Bestimmung des idealen Insertionsortes einer kieferorthopädischen Minischraube zur maximalen Verankerung ist das Knochenangebot des anterioren Gaumens klinisch relevant.

Etlliche Studien haben sich ebenfalls mit der Untersuchung des maxillären Knochenangebotes für kieferorthopädische Minischrauben befasst [Bernhart et al. 2000, Gracco et al. 2006, 2007, 2008, Kang et al. 2007, King et al. 2007]. Allerdings wurde in den meisten Fällen weder eine alters- noch eine geschlechtsspezifische Untergliederung des Bildmaterials vorgenommen [Bernhart et al. 2000, Gracco et al. 2006, 2007, Kang et al. 2007, King et al. 2007]. Da Mädchen und Jungen in ihrer Entwicklung deutlich verschieden sind [Björk 1964], ist eine Unterteilung nach Alter und Geschlecht sinnvoll.

Die Referenzpunkte bzw. –linien aller Studien [Bernhart et al. 2000, Gracco et al. 2006, 2007, 2008, Kang et al. 2007, King et al. 2007] sind im DVT reproduzierbar, jedoch klinisch nicht eindeutig zu definieren. Sie sind alle knöchern und liegen somit unter der Schleimhaut. Daher ist eine Empfehlung für den Kliniker nur bedingt anwendbar.

Die für diese Studie gewählten Referenzpunkte (tiefster Punkt der Schmelz-Zement-Grenze des mittleren oberen Schneidezahnes) sind klinisch übertragbar.

Die hier vorgestellte Studie scheint geeignet, um dem Kliniker eine verlässliche Aussage darüber machen zu können, ob es alters- und geschlechtsabhängige Unterschiede im maxillären Knochenangebot gibt und welche Bereiche zur Insertion einer kieferorthopädischen Minischraube geeignet sind.

6.2 DISKUSSION DES UNTERSUCHTEN DATENMATERIALS

Im Folgenden wird das hier untersuchte Datenmaterial diskutiert. Bei der für diese Studie gewählten Darstellungsform der anatomischen Verhältnisse handelt es sich

um die digitale Volumentomografie (DVT). Einige Autoren vertreten die Auffassung, dass nur mit einer dreidimensionalen Darstellung oder mit Hilfe radioopaker Marker eine Verletzung anatomischer Strukturen bei der Insertion eines orthodontischen Verankerungspins nahezu ausgeschlossen werden kann [Bae et al. 2002, Freudenthaler et al. 2001, Gahleitner et al. 2004, Kyung et al. 2003b]. Neben der DVT ist die Computertomografie (CT) eine weitere Möglichkeit der dreidimensionalen Darstellung. Zahlreiche Autoren bevorzugen die DVT zur präoperativen Diagnostik gegenüber der CT aufgrund höherer Bildqualität [Arai et al. 1999, Draenert et al. 2008, Hashimoto et al. 2007, Kim et al. 2007, Mozzo et al. 1998, Periago et al. 2008, Pinsky et al. 2006, Swennen & Schutyser 2006]. Auch die Strahlenbelastung bei der DVT ist deutlich geringer als bei der CT. So entsteht bei der CT eine effektive Dosis von 860,0 μSv [Ludlow et al. 2008], während bei der DVT im Low-Dose-Modus eine effektive Dosis von 34,0 μSv erreicht werden kann [Hirsch et al. 2010]. Zur kieferorthopädischen Therapieplanung sind in der Regel ein Fernröntgenseitenbild (5,6 μSv [Ludlow et al. 2008]) und eine Panoramaschichtaufnahme (14,2 μSv [Ludlow et al. 2008]) notwendig und es empfiehlt sich vor einer Bebänderung Bissflügel (5,0 μSv [Ludlow et al. 2008]) anzufertigen. Somit wird bei einer effektiven Dosis von 34,0 μSv die Anwendung der DVT zur präoperativen Diagnostik für orthodontische Verankerungspins gerechtfertigt.

In dieser Studie wurden die digitalen Volumentomogramme von insgesamt 431 Patienten vermessen. Es wurde eine möglichst große Versuchsgruppe gewählt, um einen möglichst hohen Aussagewert der Ergebnisse zu erzielen. Durch eine große Grundgesamtheit, kann die Variabilität einzelner Messpunkte ausgeglichen werden. Die Größe dieser Versuchsgruppe übersteigt die ähnlicher Studien um ein Vielfaches.

Während einige Autoren weniger als 32 Computertomografien verglichen [Bernhart et al. 2000, Gahleitner et al. 2004, Kang et al. 2007], sind es in den Studien von Gracco et al. 52, 72 bzw. 162 digitale Volumentomogramme [Gracco et al. 2006, 2007, 2008]. Die Gruppengröße von King et al. umfasst 183 Computertomografien [King et al. 2007].

Im Gegensatz zu der vorliegenden Studie kamen Gracco et al. zu dem Ergebnis, dass es keinen alters- und geschlechtsabhängigen Unterschied bezüglich des palatinalen Knochenangebotes gibt [Gracco et al. 2008]. Vermutlich ist das in der deutlich kleineren Versuchsgruppe und damit einer stärkeren Gewichtung von

Ausreißern begründet.

Eine weitere Bedeutung kommt nicht nur der Größe der gesamten Versuchsgruppe zu, sondern auch deren Aufteilung in Untergruppen. Durch den natürlichen Größenunterschied zwischen Männern und Frauen erscheint es sinnvoll, eine weibliche und eine männliche Versuchsgruppe zu bilden. Diese Vorgehensweise deckt sich mit anderen Studien [Gracco et al. 2006, 2007, 2008, Kang. et al 2007, King et al. 2007].

Da sich sowohl Kinder als auch Erwachsene in kieferorthopädische Behandlung begeben, sollten Röntgenbilder verschiedener Altersklassen ausgewertet werden. Während Kang et al. sowie Gracco und Mitarbeiter lediglich die Aufnahmen von Patienten im Alter von 18-35 Jahren bzw. 20-44 Jahren berücksichtigten [Kang et al. 2007, Gracco et al. 2007], untersuchten andere Autoren ausschließlich dreidimensionale Röntgenaufnahmen von Patienten, die sich noch im Wachstum befanden [King et al. 2007, Gracco et al. 2006]. Dabei wurde in keiner der oben genannten Studien eine weitere Unterteilung in Altersgruppen vorgenommen. Um eine möglichst geringe Streuung und damit eine möglichst hohe Aussagekraft zu erreichen, ist die Bildung von Altersgruppen wichtig, da durch das puberale Wachstum unterschiedliche Knochendicken zu erwarten sind. Gracco et al. unterteilten ihre Untersuchungsgruppe in drei Altersklassen: 10-15 Jahre, 15-20 Jahre und 20-44 Jahre [Gracco et al. 2008]. In der vorliegenden Studie wurde die Versuchsgruppe sowohl in drei Altersklassen als auch in zwei Geschlechtsgruppen aufgeteilt, wobei digitale Volumentomogramme von Patienten im Alter zwischen 9 und 30 Jahren ausgewertet wurden. Da sich diese Studie auf Patienten bezieht, die sich in kieferorthopädischer Behandlung befanden und für die ein orthodontischer Verankerungspin zum Zeitpunkt der Aufnahme in Frage kommen soll, erschien die Vermessung von Patienten unter 9 Jahren nicht sinnvoll. Zur weiteren Festlegung der Altersstruktur dieser Studie diente die Wachstumskurve von Björk als Orientierung. Um eine möglichst hohe Aussagekraft zu erreichen, galt es Altersgruppen zu bilden, deren Individuen sich in ihrer Knochendicke so wenig wie möglich unterschieden. Das präpuberale Wachstumsminimum bei Jungen ist zwischen dem 11. und 12. Lebensjahr zu erwarten, während das puberale Maximum zwischen dem 14. und 15. Lebensjahr liegt [Björk 1964]. Mädchen sind in der Entwicklung den Jungen um bis zu 1,5 Jahre voraus [Björk 1964]. Bis zum Erreichen des 18. Lebensjahres ist das Wachstum meist abgeschlossen [Björk 1964]. Mit der

Aufteilung der Altersgruppen in der vorliegenden Studie liegen die Wachstumsminima beider Geschlechter in der Gruppe der 9- bis 13-Jährigen und die Maxima in der Gruppe der 14- bis 18-Jährigen, trotz der unterschiedlichen Entwicklungsgeschwindigkeiten. Alternativ hätte man für die Mädchen und Jungen entsprechend der unterschiedlichen Entwicklungsstufen unterschiedliche Altersgruppen bilden können. Eine Einbeziehung von Patienten über 30 Jahren ist schwierig, da sich in diesem Alter vergleichsweise wenig Patienten in kieferorthopädischer Behandlung befinden und Ausschlusskriterien wie fehlende Zähne, überkronte Zähne, Zähne nach Wurzelspitzenresektion vermehrt auftreten. Es gibt aber auch Studien, die keine Aufteilung in Untergruppen vorgenommen haben [Bernhart et al. 2000, Gahleitner et al. 2004]. Aus oben genannten Gründen erscheint dies wenig sinnvoll.

Die hier ausgewerteten digitalen Volumentomogramme wurden alle im Rahmen einer kieferorthopädischen Behandlung aufgenommen. Dazu gehören auch Aufnahmen die zur kieferorthopädischen Befunderhebung gemacht wurden. Nur solche Patienten kommen für die Behandlung mit Minischrauben in Frage. DVTs die aufgrund einer anderen Indikationsstellung (z.B. Hals-Nasen-Ohren-Beschwerden oder Kiefergelenksbeschwerden) gemacht wurden, fanden keine Berücksichtigung. Unter Umständen liegt bei diesen Patienten eine andere Knochendicke am Gaumen vor. Ebenso ausgeschlossen wurden Aufnahmen, bei denen keine eindeutige Messung durch fehlende oder unklare Referenzpunkte oder veränderte Knochenverhältnisse möglich war. Eine Einbeziehung solcher Aufnahmen führt zu Ergebnissen ohne allgemeine Aussagekraft. Auch die Autoren ähnlicher Studien wählten diese Ausschlusskriterien [Gracco. et al 2006, 2007, 2008, Kang. et al. 2007, King et al. 2007].

6.3 DISKUSSION DER METHODE

Die für diese Studie ausgewählten Referenzpunkte sind die posteriore knöcherne Wand des Foramen incisivum, sowie der tiefste Punkt der palatinalen Schmelz-Zement-Grenze des mittleren oberen Schneidezahnes der jeweiligen Seite. Ausgehend von diesen Referenzpunkten wurde ein fiktives Messgitter auf den vorderen Gaumen gelegt. Da es sich beim Foramen incisivum um eine konstante anatomische Struktur handelt, die durch eine Fehlstellung der Zähne in ihrer Position nicht beeinflusst wird, eignet sich diese sehr gut als Referenzpunkt. Auch Autoren

ähnlicher Studien haben diesen Referenzpunkt gewählt [Bernhart et al. 2000, Gracco et al. 2006, 2007, 2008, Kang et al. 2007, King et al. 2007]. Problematisch bei diesem Referenzpunkt ist die Übertragung aus dem digitalen Volumentomogramm auf den Patienten. Zur besseren klinischen Anwendung wurde in dieser Studie ein zweiter Referenzpunkt festgelegt. Die Schmelz-Zement-Grenze des mittleren oberen Schneidezahnes ist immer gut zu identifizieren, allerdings ist dieser Punkt stark von der Zahnstellung abhängig. Das fiktive Gitternetz entlang der Gaumenkurvatur hat einen Abstand der Gitterkreuzpunkte von 2,0 mm. Bei einem Schraubendurchmesser von 1,3-2,0 mm sollten die Gitterkreuzpunkte maximal 2,0 mm auseinanderliegen. Bei einem größeren Abstand von 3,0 mm, 4,0 mm oder sogar 8,0 mm, wie von einigen Autoren gewählt [Gracco et al. 2006, 2007, 2008, Kang et al. 2007, King et al. 2007], bleiben einige Bereiche des Gaumens unberücksichtigt.

Durch insgesamt 60 Gitterkreuzpunkte pro Patient und 431 vermessene digitale Volumentomogramme wurden in dieser Studie 25.860 Messpunkte in die Auswertung aufgenommen. Diese Datenmenge übersteigt die ähnlicher Studien sehr deutlich. Während Gracco et al. in ihren Studien 1.040, 1.440 bzw. 3.240 Messpunkte auswerteten [Gracco et al. 2006, 2007, 2008], vermaßen Bernhart et al. 616 Gitterkreuzpunkte [Bernhart et al. 2000], Kang et al. 1.440 Stellen [Kang et al.] und King et al. vermaßen 1.647 Punkte [King et al. 2007]. Mit 60 Messpunkten pro Patient wurden deutlich mehr Bereiche untersucht und es konnten genauere Aussagen zu möglichen Insertionsorten getroffen werden.

Die hier gemessenen Knochendicken wurden in der Sagittalebene gemessen. Andere Autoren entschieden sich ebenfalls für diese Ebene [Bernhart et al. 2000, Kang et al. 2007, King et al. 2007], während wieder andere ihre Vermessung in der Frontalebene durchführten [Gracco et al. 2006, 2007, 2008]. Die senkrecht auf den Knochen durchgeführte Vermessung in der Sagittalebene entspricht viel eher der tatsächlichen Insertionsrichtung als in der Frontalebene. Grund hierfür ist die in diesem Bereich viel stärker ausgeprägte Krümmung in sagittaler als in lateromedialer Richtung. Im medianen und paramedianen Bereich ist kaum eine Krümmung in der Frontalebene zu erwarten, so dass bei einer Messung in der Sagittalebene in einem Bereich von maximal 8,0 mm lateral der Medianebene von einer höheren Übereinstimmung der Messrichtung mit der tatsächlichen Insertionsrichtung ausgegangen werden kann, als bei einer Messung in der Frontalebene. Dennoch

entspricht diese Messung nicht der klinischen Realität. Durch die fehlende Berücksichtigung aller drei Raumebenen kann es bei der Vermessung zu falsch-positiven und –negativen Messwerten kommen. Eine mit der klinischen Realität übereinstimmende Vermessung kann lediglich durch eine für jeden Messpunkt individuell festgelegten Messebene erreicht werden.

6.4 DISKUSSION DER ERGEBNISSE

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass im Bereich der Gaumennaht sowie des hinteren Vermessungsdrittels tendenziell zu wenig Knochen zur Insertion von Minischrauben vorhanden ist, während sich die Gitterpunkte mit einer ausreichenden Knochendickenmessung eher im Bereich der vorderen beiden Vermessungsdritteln befinden.

6.4.1 ALLGEMEINE STATISTIK

Nur bei einer ausreichend hohen Messgenauigkeit können die gemessenen Werte als zuverlässig und damit aussagekräftig bewertet werden. Eine absolut fehlerfreie Messung ist nicht möglich. Gründe dafür können Fehler bei der Aufnahme sein, z. B. durch fehlerhafte Patientenpositionierung, ungeeignete technische Einstellungen oder durch Bewegungen des Patienten.

Als vermutlich größte Fehlerquelle ist die manuelle Bearbeitung der digitalen Volumentomogramme zu sehen. Dabei kann es zu einer fehlerhaften Referenzpunktbestimmung kommen und es können Ablese- und Übertragungsfehler entstehen. Diese durch menschliche Unzulänglichkeit verursachten Fehler ließen sich nur durch eine rein maschinelle Bearbeitung vermeiden. Dies ist zum jetzigen Zeitpunkt nicht möglich.

Gracco et al. ließen ihre Messwerte durch zwei Untersucher bestimmen. Anschließend wurde im Rahmen einer Varianzanalyse überprüft, ob die Varianz zwischen diesen beiden Gruppen größer als die Varianz innerhalb einer Gruppe ist. Da kein signifikanter Unterschied festgestellt werden konnte, wurde von einer ausreichend hohen Messgenauigkeit ausgegangen [Gracco et al. 2006]. Die Varianzanalyse lässt jedoch keine Aussage über die tatsächliche Messgenauigkeit zu. Es findet lediglich ein Vergleich der beiden Untersucher statt. Die meisten Autoren beurteilen die Messgenauigkeit mit der Berechnung des Methodenfehlers δ

anhand der Formel nach Dahlberg [Gracco et al. 2007, 2008, Kang et al. 2007, King et al. 2007]. King et al. erreichten in einer Pilotstudie einen Methodenfehler δ von 0,85-0,98 mm. Eine genauere Beschreibung, unter welchen Bedingungen dieser Wertebereich zustande gekommen ist, fehlt jedoch [King et al. 2007]. In zwei weiteren Studien von Gracco et al. wurden zur Berechnung des Methodenfehlers δ 27 Computertomogramme von einem zweiten Untersucher erneut vermessen. Diese Daten ergaben in beiden Studien einen Methodenfehler δ von 0,54 mm [Gracco et al. 2007, 2008]. Kang et al. haben 5 zufällig ausgewählte Computertomogramme drei Monate nach der ersten Vermessung erneut befundet. Anhand dieser Werte wurde ein Methodenfehler δ von 0,19 mm berechnet [Kang et al. 2007]. In der vorliegenden Studie wurden 3 zufällig ausgewählte digitale Volumetomogramme jeweils 15-mal vermessen. Die Messwiederholungen wurden innerhalb von 3 Wochen durchgeführt. Der zeitliche Abstand zur Ursprungsmessung betrug mindestens 3 Monate. Die Fehlerberechnung nach Dahlberg ergab einen Methodenfehler δ von 0,38 mm. Da es sich laut Björk bei einer Abweichung um 0,3 bis 1,4 mm lediglich um geringfügige Fehler handelt [aus Krogman 1948], ist die Fehlervarianz bei dieser Studie mit 0,38 mm Abweichung gering. Eine Steigerung der Aussagekraft könnte durch das Einbeziehen mehrerer Untersucher erreicht werden, wie das auch Gracco et al. durchführten [Gracco et al. 2006, 2007, 2008]. Dadurch verlieren gewohnheitsmäßige Messfehler eines Einzelnen an Bedeutung. Durch eine dreimonatige Vermessungspause kann jedoch auch davon ausgegangen werden, dass gewohnheitsmäßige Fehler bei der Fehlerberechnung und nur einem Untersucher keine Rolle spielen.

Durch den Zuverlässigkeitskoeffizient η nach Houston wird das Verhältnis zwischen der Gesamtvarianz v der Messungen und dem Methodenfehler nach Dahlberg δ beurteilt. Diese Berechnung wurde in keiner vergleichbaren Studie durchgeführt. Nach Mitdgård et al. solle der Zuverlässigkeitskoeffizient η größer oder gleich 97 % betragen. Nur dann liege eine ausreichende Zuverlässigkeit und Reliabilität vor [Mitdgård et al. 1974]. Der Zuverlässigkeitskoeffizient nach Houston η beträgt in der vorliegenden Studie 98,5 % und liegt damit deutlich über der Forderung von Mitdgård. Es liegt demnach eine hohe Messgenauigkeit und Zuverlässigkeit vor.

Für die nachfolgende statistische Auswertung musste überprüft werden, ob die Messergebnisse normal verteilt waren. Durch den Kolmogorov-Smirnov-Test kann eine Überprüfung auf Normalverteilung durchgeführt werden. Dieser Test wurde für

jeden Gitterkreuzpunkt durchgeführt. Eine signifikante Abweichung zur Normalverteilung liegt dann vor, wenn der p-Wert $< 0,05$ ist. Die p-Werte liegen zwischen 0,000 und 0,690. An 39 von insgesamt 60 Messstellen ist der p-Wert $< 0,05$. Durch die Vielzahl der statistischen Tests entsteht eine sehr hohe Irrtumswahrscheinlichkeit. Eine Senkung der Irrtumswahrscheinlichkeit könnte durch die Durchführung einer α -Adjustierung erreicht werden. Durch die Vielzahl an Tests wäre der dann geltende p-Wert jedoch so klein, dass die Ergebnisse auch nicht der Realität entsprechen. Deshalb wurde auf die α -Adjustierung verzichtet und die Ergebnisse sämtlicher statistischer Tests dieser Studie können nicht als statistischer Beweis gewertet werden, jedoch als statistische Interpretationshilfe herangezogen werden. Es kann demnach nicht von einer Normalverteilung aller Messwerte ausgegangen werden.

6.4.2 KNOCHENANGEBOT IN ABHÄNGIGKEIT VON DER PATIENTENGRUPPE

Hierbei wurden die nach Alter und Geschlecht aufgeteilten sechs Patientengruppen miteinander verglichen. Es sollte überprüft werden, ob es bezüglich des Knochenangebotes am Gaumen Unterschiede zwischen den einzelnen Patientengruppen gibt. Da von keiner Normalverteilung ausgegangen werden konnte, wurde der H-Test nach Kruskal und Wallis durchgeführt. Damit wurde einzeln für jeden Messpunkt untersucht, ob es einen signifikanten Unterschied zwischen den sechs Patientengruppen gibt. Ein signifikanter Unterschied liegt vor, wenn $p < 0,05$. Für 55 der insgesamt 60 Messpunkte wurde ein p-Wert unter 0,05 ermittelt. Auch diese Werte können als statistische Interpretationshilfe herangezogen werden. Es kann also davon ausgegangen werden, dass sich die Knochendicken der sechs Patientengruppen unterscheiden. Aufgrund des Geschlechts- und großen Altersunterschiedes war dies auch zu erwarten.

Im weiteren Verlauf wurden im Rahmen des U-Tests nach Mann und Whitney einzelne Patientengruppen miteinander verglichen. Dies hatte zum Ergebnis, dass es keinen Unterschied zwischen Gruppe 1 (männlich, 9-13 Jahre) und Gruppe 4 (weiblich, 14-18 Jahre), Gruppe 1 (männlich, 9-13 Jahre) und Gruppe 6 (weiblich, 19-30 Jahre), Gruppe 3 (männlich, 14-18 Jahre) und Gruppe 5 (männlich, 19-30 Jahre), Gruppe 4 (weiblich, 14-18 Jahre) und Gruppe 6 (weiblich, 19-30 Jahre) zu geben scheint. Die unter 3.0 formulierte Hypothese, dass sich das Knochenangebot im vorderen Gaumen zwischen den einzelnen Patientengruppen unterscheidet, kann

also nur teilweise bestätigt werden. Auffallend ist, dass es sowohl bei den männlichen als auch den weiblichen Patienten keinen Unterschied zwischen der Altersgruppe der 14- bis 18-Jährigen und den Erwachsenen zu geben scheint. Dies ist damit zu erklären, dass das maxilläre Dickenwachstum bereits mit dem 15. Lebensjahr abgeschlossen ist [Melsen 1975]. Die altersabhängige Knochendicke wird unter 6.4.4 ausführlich diskutiert.

Weiterhin fällt auf, dass die Knochendicke am Gaumen von männlichen 9- bis 13-jährigen Patienten bereits so dick ist, wie bei weiblichen Patienten im Alter von 14-30 Jahren. Es ist demnach anzunehmen, dass es einen deutlichen Unterschied zwischen männlichen und weiblichen Patienten gibt. Das Knochendickenverhältnis zwischen männlichen und weiblichen Patienten wird unter 6.4.3 ausführlich diskutiert.

Im Rahmen der deskriptiven Statistik wurden pro Gruppe und Messpunkt der Mittel- und Medianwert, die Standardabweichung sowie die maximal und minimal gemessene Knochendicke dargestellt. Während häufig der Mittelwert als alleiniges Ergebnis genannt wird, ist gerade dieser gegenüber Ausreißern instabil. Bei Betrachtung der Minimum- und Maximumwerte sowie der Standardabweichung SD wird deutlich, dass die Streuung und Variabilität um den Mittelwert sehr hoch ist. Eine höhere Aussagekraft erreicht man durch die Bestimmung des Medianwertes.

Um dem Kliniker einen schnellen und besseren Überblick über das Knochenangebot zu geben, wurde für jeden Punkt berechnet, in wie viel Prozent der Patienten ausreichend Knochen für einen 6,0 mm bzw. 8,0 mm langen Pin vorhanden ist. Diese Auswertung wurde für jede Gruppe einzeln und für die gesamte Versuchsgruppe durchgeführt. Die Ergebnisse wurden in Kreuztabellen festgehalten. An mehreren Messstellen reichte das Platzangebot bei keinem der untersuchten Patienten (0,0 %). Dieser Wert befindet sich entweder in der Medianebene oder am posterioren Rand des Vermessungsbereiches.

Die höchsten prozentualen Werte findet man für 6,0 mm lange Schrauben 14,0 mm bzw. 16,0 mm posterior der Schmelz-Zement-Grenze der mittleren oberen Schneidezähne und 6,0 bzw. 8,0 mm lateral der distalen Wand des Foramen incisivum.

Ein Knochenangebot von 9,0 mm und mehr findet man am häufigsten 12,0 mm bis 16,0 mm posterior der Schmelz-Zement-Grenze und 2,0 mm bzw. 8,0 mm lateral der Medianebene. Demnach ist in der Medianebene und im posterioren

Vermessungsdrittel nicht mit ausreichend Knochen zur Insertion von Minischrauben zu rechnen, während in den vorderen beiden Vermessungsdritteln in bis zu 93,4 % der Fälle ausreichend Knochen vorhanden ist. Dieses Ergebnis ist auf die anatomischen Gegebenheiten zurückzuführen. Im vorderen medianen Bereich befinden sich das Foramen incisivum sowie die Canales incisivi, die nach cranio-posterior verlaufen. Im posterioren Bereich wird der Gaumenknochen offenbar dünner und durch den Nasenboden limitiert. Allerdings lässt das Nasenseptum cranial der Sutura palatina eine erhöhte Knochendicke vermuten. Um eine genauere Aussage darüber treffen zu können, warum es gerade in diesen Bereichen nicht ausreichend Knochen gibt, wäre es notwendig gewesen, nicht nur die Knochendicke, sondern auch den limitierenden Faktor zu notieren und auszuwerten. Das wurde in dieser Studie nicht gemacht und war auch nicht Gegenstand der Fragestellung. Die Ergebnisse bezüglich geeigneter Insertionsorte decken sich nur teilweise mit den Aussagen anderer Studien. Henriksen et al., Kyung et al. und Wehrbein et al. sprechen sich für eine Insertion der Minischrauben bzw. -implantate in der Medianebene aus. Allerdings haben diese Autoren ihren Fokus auf die dafür am besten geeignete Knochenqualität gelegt [Henriksen et al. 2003, Kyung et al. 2003 a, Wehrbein 2008, Wehrbein et al. 1996b, 1999b]. Auch Wilmes et al. inserieren Minischrauben erfolgreich in der Mediansagittalen [Wilmes et al. 2008, 2009]. In der vorliegenden Studie wurde ausschließlich die Knochenquantität beurteilt. Auch Kang et al. untersuchten die Knochendicke und in der Medianebene die höchsten Werte gemessen [Kang et al. 2007]. Auch wenn Wilmes et al. keine Anzeichen von Wachstumshemmung im Bereich der Sutura palatina bei einer medianen Insertion feststellen konnten [Wilmes et al. 2009], sollte unabhängig von Knochenqualität und -quantität bei Kindern und Jugendlichen davon Abstand genommen werden im Bereich der Sutura zu inserieren, da Asscherickx et al. nicht ausschließen konnten, dass eine Insertion in der Medianebene das suturale Wachstum doch beeinflusst [Asscherickx et al. 2005a]. Allerdings ist das suturale Wachstum mit dem 17. Lebensjahr abgeschlossen, bei weiblichen Patienten sogar zwei Jahre früher [Björk 1964]. Wie in vorliegender Studie konnten auch Bernhart et al., King et al. und Gracco et al. paramedian das größte Knochenangebot messen [Bernhart et al. 2000, King et al. 2007, Gracco et al. 2006, 2007, 2008].

Um die umliegenden anatomischen Strukturen zu schützen, wird eine Mindestknochenschichtstärke von 1,0 mm um die Schraube empfohlen [Poggio et al.

2006, Schnelle et al. 2004]. Gegenstand dieser Untersuchung war nur das Knochenangebot in axialer Richtung. Wenn davon ausgegangen wird, dass standardmäßig 6,0 mm bzw. 8,0 mm lange Schrauben eingesetzt werden, dann ist ein vertikales Knochenangebot von 7,0 mm bzw. 9,0 mm notwendig. Da die interindividuellen Unterschiede bezüglich der maxillären Knochendicke erheblich sind, kann sich der Kliniker nicht auf die errechneten Mittel- bzw. Medianwerte verlassen. Die prozentuale Auswertung pro Patientengruppe zeigt jedoch deutliche Tendenzen auf, die dem Kliniker als Orientierungshilfe dienen können. Während es Punkte gibt, an denen mit 0,0 %-iger Wahrscheinlichkeit ausreichend Knochen vorhanden ist, gibt es keinen Insertionsort, an dem mit 100 %-iger Sicherheit ausreichend Knochen vorhanden ist. Die höchste errechnete Wahrscheinlichkeit für ein ausreichendes Knochenangebot von $\geq 7,00$ mm entspricht 93,4 % und wurde für den Punkt R_8_14 in der Gruppe der weiblichen 19- bis 30-Jährigen ermittelt. Demnach kann auf eine präoperative dreidimensionale Darstellung nicht verzichtet werden. Die Ergebnisse dieser Studie geben dem Kliniker jedoch einen Anhaltspunkt dafür, dass der laterale vordere Gaumen deutlich besser für die Insertion von Minischrauben geeignet ist, als der mediane posteriore. Dennoch gibt es Autoren, die auch in den hier nicht empfohlenen Regionen erfolgreich Minischrauben inserieren [Henriksen et al. 2003, Kyung et al. 2003 a, Wehrbein 2008, Wehrbein et al. 1996b, 1999b]. Dies könnte zum einen in dem unterschiedlichen Studiendesign liegen. Möglicherweise fällt beim Vermessen der DVT's im Sagittalschnitt die Knochendicke in der Mediansagittalen falsch-negativ aus. Um dies ausschließen zu können wäre eine Vermessung, die alle drei Raumebenen berücksichtigt notwendig. Zum anderen entschieden sich andere Autoren für einen geringeren Sicherheitsabstand [Ludwig et al. 2008] und benötigen dadurch auch weniger Knochendicke. Da jedoch nicht eindeutig geklärt ist, ob es während der Belastung einer Minischraube zu einer Migration dieser kommt [Liou et al. 2004] oder nicht [Büchter et al. 2005], sollte vorsichtshalber ein Sicherheitsabstand von 1,0 mm eingehalten werden.

6.4.3 KNOCHENANGEBOT IN ABHÄNGIGKEIT VOM GESCHLECHT

Zur Überprüfung der Aussage, dass Männer ein größeres Knochenangebot im vorderen Gaumen haben als Frauen, wurde das Datenmaterial in eine männliche und eine weibliche Untersuchungsgruppe aufgeteilt. Da von keiner Normalverteilung

ausgegangen werden konnte, wurde der U-Test nach Mann und Whitney durchgeführt. Dieser Test dient dem Vergleich von zwei unabhängigen Gruppen (männlich und weiblich). Ein signifikanter Unterschied liegt vor, wenn $p < 0,05$ ist. An 52 von insgesamt 60 Messpunkte lag der p-Wert unter 0,05. Auch diese Werte können als statistische Interpretationshilfe herangezogen werden. Es kann also davon ausgegangen werden, dass es einen signifikanten Unterschied zwischen dem Knochenangebot der weiblichen und männlichen Patienten gibt.

Im Rahmen der deskriptiven Statistik kann beim Vergleich der Medianwerte der männlichen und weiblichen Patienten eine Aussage darüber gemacht werden, ob die männlichen Patienten mehr oder weniger Knochen zur Verfügung haben. Die männlichen Patienten haben durchschnittlich ein 1,29 mm höheres Knochenangebot als die weiblichen Patienten. Nur an Punkt R_4_10 scheinen Frauen im Durchschnitt einen 0,13 mm dickeren Knochen zu haben. Damit kann die Hypothese, dass das Knochenangebot im vorderen Gaumen bei männlichen Patienten größer als bei Frauen ist, bestätigt werden.

Die Ergebnisse des Geschlechtervergleichs decken sich nur teilweise mit den Resultaten anderer Studien. Gracco et al. konnten in gleich drei Studien keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen der Gaumendicke männlicher und weiblicher Patienten feststellen. Ein Grund hierfür könnte sein, dass Gracco et al. in einer anderen Ebene gemessen haben [Gracco et al 2006, 2007, 2008]. King und Mitarbeiter haben die Knochendicke an neun Gitterkreuzpunkten pro Patient gemessen. Bei den männlichen Patienten war an fünf, bei den weiblichen Patienten an nur vier von neun Messstellen ausreichend Knochen zur Insertion von Miniimplanaten. Die Autoren gingen allerdings davon aus, dass ein vertikales Knochenangebot von mindestens 4,0 mm (3,0 mm langes Implantat mit 1,0 mm Sicherheitsabstand) ausreichend sei. Bei männlichen Patienten wurde das Knochenangebot 8,0 mm posterior des Foramen inzisivum und 6,0 mm bzw. 9,0 mm lateral davon signifikant häufiger durch Zahnwurzeln begrenzt als bei weiblichen Patienten. Kein signifikanter Unterschied konnte bezüglich der ungeeigneten Insertionsstellen, also bei einem Knochenangebot von weniger als 4,0 mm festgestellt werden [King et al. 2007].

Die eigenen Ergebnisse werden durch Kang et al. bestätigt, die ebenfalls einen signifikanten Unterschied zwischen dem Knochenangebot männlicher und weiblicher Patienten nachweisen konnten. Männliche Patienten hatten in den meisten

Bereichen ein höheres Knochenangebot als Frauen. Nur im paramedianen posterioren Bereich hatten weibliche Patienten gleich viel oder mehr Knochen zur Verfügung [Kang et al. 2007].

6.4.4 KNOCHENANGEBOT IN ABHÄNGIGKEIT VOM ALTER

Durch die Überprüfung der Hypothese, dass das maxilläre Knochenangebot mit zunehmendem Alter des Patienten zunimmt, kann von einem signifikanten Unterschied zwischen der Altersgruppe 1 (9-13 Jahre) und Altersgruppe 2 (14-18 Jahre), der Altersgruppe 1 (9-13 Jahre) und Altersgruppe 3 (19-30 Jahre) ausgegangen werden. Scheinbar keinen signifikanten Unterschied gibt es zwischen den Altersgruppen 2 und 3. Diese Aussage deckt sich auch mit den Ergebnissen aus dem Vergleich der einzelnen Patientengruppen und ist damit zu erklären, dass das maxilläre Dickenwachstum bereits mit dem 15. Lebensjahr abgeschlossen ist [Melsen 1975].

Beim Vergleich der Medianwerte der einzelnen Altersgruppen miteinander ist zu erkennen, dass die Patienten im Alter von 14-18 Jahren durchschnittlich 0,56 mm mehr Knochen zu Verfügung haben als diejenigen in der jüngsten Altersgruppe. Vergleicht man die 9- bis 13-Jährigen mit den erwachsenen Patienten, so haben diese ein um durchschnittlich 0,53 mm höheres Knochenangebot. Beim Vergleich der 14- bis 18-Jährigen mit den 19- bis 30-Jährigen, ist ein Unterschied von 0,04 mm zu erkennen. Unter Berücksichtigung des Methodenfehlers von 0,38 mm liegt zwischen der Altersgruppe 2 und 3 kein Unterschied vor. Eine Differenz von 0,56 mm bzw. 0,53 mm kann darüber entscheiden, ob an einer bestimmten Stelle eine Minischraube inseriert werden kann bzw. welche Schraubenlänge gewählt werden kann. Daher ist dieser Unterschied klinisch relevant. Bei genauem Betrachten der Medianwerte fällt jedoch auf, dass nicht alle Werte der 9- bis 13-Jährigen kleiner sind als die der anderen Altersgruppen. Im anterioren Vermessungsbereich und in der Medianebene liegt bei den 9- bis 13-Jährigen eine größere Knochendicke vor als bei den beiden anderen Altersgruppen. Dies ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass die Oberkiefer der Altersgruppe 1 insgesamt kleiner sind, die Gitterkreuzpunkte aber die gleichen Abstände haben. Somit liegen das Foramen incisivum und die Canales incisivi in der jüngsten Altersgruppe vermutlich oft vor dem Vermessungsbereich, während bei älteren Patienten mit größeren Gaumen diese anatomischen Strukturen direkt im Vermessungsbereich liegen. Eine mögliche

Erklärung für die unterschiedliche Knochendicke im anterolateralen Bereich sind die noch nicht vollständig ausgebildeten Wurzeln vor allem der Eckzähne und Prämolaren. Ein weiterer Grund dafür, dass der Gaumen bei der jüngsten Untersuchungsgruppe teilweise am dicksten ist, kann sein, dass das appositionelle Dickenwachstum bereits mit dem 14. Lebensjahr abgeschlossen ist, während die nasale Resorption noch weiter anhält [Melsen 1975]. Um diese Frage eindeutig klären zu können, müssen weitere Untersuchungen durchgeführt werden.

Bei der prozentualen Darstellung wurde für jeden einzelnen Gitterkreuzpunkt berechnet, in wie viel Prozent der ausgewerteten DVTs $\geq 7,0$ mm bzw. $\geq 9,0$ mm Knochen vorhanden ist. Diese Auswertung wurde für jede Altersgruppe einzeln durchgeführt. Die geringsten Prozentwerte wurden in der Medianebene und im posterioren Vermessungsbereich gemessen. Die höchsten Prozentwerte findet man im lateralen Bereich 12,0 mm bis 16,0 mm hinter der Schmelz-Zement-Grenze des mittleren oberen Schneidezahnes. Auffallend ist jedoch, dass in der Altersgruppe der 9- bis 13-Jährigen vor allem im posterioren Bereich sehr wenig Knochen zur Verfügung steht, während bei den Erwachsenen das Knochenangebot besonders in der Mediansagittalen gering ist. Im Alter von 14-18 Jahren ist dieses Verhältnis ausgeglichen. Ein Grund hierfür könnte sein, dass das Gitternetz im Verhältnis nicht der Größe des Gaumens angepasst wurde. Während der posteriore Vermessungsbereich bei den 9- bis 13-Jährigen vermutlich bereits in den Übergang zum weichen Gaumen reicht und damit nur sehr geringe Knochendicken gemessen wurden, ist dieser bei den Patienten im Alter von 19-30 Jahren noch weit entfernt. Im anterioren Bereich liegen das Foramen incisivum und die Canales incisivi bei den 9- bis 13-Jährigen unter Umständen bereits vor dem Vermessungsbereich. Lediglich Gracco et al. haben in ihrem Studiendesign verschiedene Altersgruppen berücksichtigt und miteinander verglichen. Sie konnten keinen signifikanten Unterschied zwischen der jüngsten Altersgruppe (10-15 Jahre) und den 15- bis 20-Jährigen feststellen. Ebenfalls keinen Unterschied gab es zwischen den 15-20 Jahre alten Patienten und den Patienten zwischen 20 und 44 Jahren. Ein signifikanter Unterschied konnte nur zwischen den 10- bis 15-Jährigen und 20- bis 44-Jährigen und zwar auch nur 6,0 mm lateral der Medianebene und 16,0 mm hinter dem Foramen incisivum festgestellt werden [Gracco et al. 2008].

6.4.5 KNOCHENANGEBOT IN ABHÄNGIGKEIT VON DER KÖRPERHÄLFTE

Zur Überprüfung der Hypothese, dass es keinen Unterschied zwischen der rechten und linken Gaumenhälfte gibt, wurde der Test nach Wilcoxon durchgeführt werden. Dieser dient zum Vergleich zweier abhängiger Stichproben. Es konnte kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen der rechten und der linken Gaumenseite festgestellt werden, da der p-Wert deutlich über 0,05 lag. Zu diesem Ergebnis kamen auch andere Autoren [Kang et al. 2007, King et al. 2007, Gracco et al. 2006, 2007, 2008]. Bernhart et al. gingen bei nicht vorhandener Gesichtsasymmetrie davon aus, dass es keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen der rechten und linken Gaumenseite bezüglich der Knochendicke gäbe [Bernhart et al. 2000]. In der vorliegenden Studie war diese Fragestellung von besonderer Bedeutung, da die Referenzpunkte für die rechte und linke Seite nicht die gleichen waren: für die rechte Seite diente die palatinale Schmelz-Zement-Grenze des Zahnes 11 und für die linke Seite des Zahnes 21 als Referenzpunkt. Diese Referenzpunkte sind von der Zahnstellung der oberen mittleren Schneidezähne abhängig.

Da die Untersuchungen anderer Autoren bei gleichen Referenzpunkten für die rechte und linke Gaumenseite keinen Unterschied zwischen den beiden Gaumenseiten ergaben und sich damit mit den Ergebnissen dieser Studie decken, kann man annehmen, dass die seitendifferenten zahnstellungsabhängigen Referenzpunkte keinen negativen Einfluss auf die Auswertung hatten.

Wenn kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen der rechten und linken Seite vorliegt, hätte man bei der Auswertung nicht unbedingt die beiden Gaumenseiten getrennt voneinander auswerten müssen. Es hätte die Möglichkeit bestanden die Messpunkte beider Seiten zusammenzufassen.

7 SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die in der Zielstellung formulierten Fragen können für das untersuchte Patientengut wie folgt beantwortet werden:

- 1) Das Knochenangebot im vorderen Gaumen unterscheidet sich grundsätzlich zwischen den einzelnen Patientengruppen. Allerdings scheint es keinen Unterschied in der Knochendicke zwischen den Patientengruppen 1 (männlich/9-13 Jahre) und 4 (weiblich/14-18 Jahre), 1 (männlich/9-13 Jahre) und 6 (weiblich/19-30 Jahre), 3 (männlich/14-18 Jahre) und 5 (männlich/19-30 Jahre) sowie 4 (weiblich/14-18 Jahre) und 6 (weiblich/19-30 Jahre) zu geben.
- 2) Das Knochenangebot bei den männlichen Patienten ist durchschnittlich 1,29 mm größer als bei den weiblichen Patienten.
- 3) Dass das Knochenangebot mit zunehmendem Alter zunimmt, kann nur teilweise bestätigt werden. Während es zwischen der mittleren und ältesten Altersgruppe keinen signifikanten Unterschied bezüglich der Knochendicke gibt, haben die 14- bis 18-Jährigen im Vergleich zur Altersgruppe der 9- bis 13-Jährigen 0,56 mm mehr Knochen zur Verfügung. Die 19-30 Jahre alten Patienten haben 0,53 mm mehr Knochen als die 9-13 Jahre alten Patienten.
- 4) Das Knochenangebot der rechten Gaumenseite unterscheidet sich nicht von dem der linken.
- 5) Als Ergebnis dieser Untersuchung kann dem Kliniker als Empfehlung gegeben werden, dass sich die Medianebene sowie der posteriore Vermessungsbereich nicht zur Insertion von kieferorthopädischen Verankerungspins eignet, die ein Knochenangebot von mindestens 7,0 mm bzw. 9,0 mm erfordern. Gut hingegen eignet sich der laterale anteriore Gaumen. Da allerdings für keinen der untersuchten Gitterkreuzpunkte eine 100%-ige Sicherheit für ein ausreichendes Knochenangebot festgestellt werden konnte, ist letztendlich eine präoperative dreidimensionale Aufnahme empfehlenswert. Nur so kann der optimale Insertionsort ermittelt werden.

Bei zukünftigen Untersuchungen sollte für jeden Messpunkt eine individuelle Messebene festgelegt werden. Nur so entspricht die Vermessung der klinischen Realität.

Von einer Aufteilung in drei Altersgruppen kann zukünftig abgesehen werden. Da es offenbar keinen Unterschied in der Gaumendicke zwischen den 14- bis 18-Jährigen und den erwachsenen Patienten gibt, können diese beiden Altersgruppen zusammengefasst werden.

Auf eine getrennte Untersuchung der rechten und linken Gaumenseite kann verzichtet werden, da es keinen Unterschied zwischen der rechten und linken Gaumenseite gibt.

Durch eine Zusammenfassung der Altersgruppen und der rechten und linken Seite, kann bei zukünftigen Untersuchungen eine kleinere Untersuchungsgruppe gewählt werden.

8 ZUSAMMENFASSUNGEN

8.1 ZUSAMMENFASSUNG

Problemstellung: Der Kieferorthopäde ist häufig auf eine maximale Verankerung angewiesen. Diese kann durch intraorale complianceunabhängige Verankerungshilfen, wie Minischrauben, erreicht werden. Die Empfehlungen bezüglich des genauen Insertionsortes am Gaumen sind allerdings uneinheitlich.

Zielsetzung: Ziel dieser Studie ist, das Knochenangebot im vorderen Gaumen zu bestimmen und zu überprüfen, ob eine Abhängigkeit der Knochendicke vom Alter und Geschlecht des Patienten sowie von der Gaumenseite besteht. Dem Kliniker soll eine Empfehlung gegeben werden können, welche Regionen des Gaumens zur Aufnahme einer kieferorthopädischen Minischraube geeignet sind.

Material und Methoden: Es wurden 431 digitale Volumentomogramme von Patienten im Alter von 9-30 Jahren (202 männlich, 229 weiblich) untersucht. Alle Patienten befanden sich in kieferorthopädischer Behandlung. Von der Untersuchung ausgeschlossen wurden Patienten mit skelettalen oder dentalen Fehlbildung im Oberkiefer. Die Untersuchungsgruppe wurde in mehrere Untergruppen aufgeteilt: Patientengruppen 1 bis 6 (1 = männlich/9-13 Jahre, 2 = weiblich/9-13 Jahre, 3 = männlich/14-18 Jahre, 4 = weiblich/14-18 Jahre, 5 = männlich/19-30 Jahre, 6 = weiblich/19-30 Jahre). In jedem DVT wurde das Knochenangebot im vorderen Gaumen jeweils median sowie 2, 4, 6 und 8 mm paramedian für jede Seite ermittelt. Dabei wird das Knochenangebot in 10, 12, 14, 16, 18 und 20 mm Entfernung von der Schmelz-Zement-Grenze der mittleren Schneidezähne in der Sagittalebene gemessen. Es wurden nicht-parametrische Tests und die deskriptive Statistik durchgeführt.

Ergebnisse: Am meisten Knochenangebot wurde im lateralen vorderen Gaumen gefunden. Die hier gewählte Methodik lässt zur Insertion einer Minischraube den medianen und posterioren Bereich des Untersuchungsgebietes als weniger geeignet erscheinen. Zwischen den Patientengruppen 1 und 4, 1 und 6, 3 und 5, 4 und 6 waren keine Unterschiede nachweisbar. Männliche Patienten haben einen durchschnittlich 1,29 mm dickeren Gaumen. Während es zwischen der jüngsten Altersgruppe und den beiden anderen Altersgruppen einen Unterschied gab, war zwischen den 14- bis 18-Jährigen und 19- bis 30-Jährigen kein signifikanter

Unterschied in der Knochendicke nachweisbar. Das Knochenangebot der rechten Gaumenseite unterschied sich nicht von der linken.

Schlussfolgerungen: Der laterale vordere Gaumen ist am besten zur Insertion von Minischrauben geeignet. Durch die großen interindividuellen Unterschiede ist es dennoch ratsam, eine präoperative dreidimensionale Diagnostik durchzuführen.

8.2 SUMMARY

Introduction: In many cases during an orthodontic treatment a maximum of anchorage is necessary. This can be achieved with an intraoral, compliance-free anchorage system, such as the orthodontic miniscrew. The recommendations regarding the best palatal location to place a miniscrew are inconsistent.

Objectives: The aim of this study was to determine the bone thickness in the anterior palate and to test whether there is any dependency between the bone thickness and the patients age or gender, and whether there is any difference between the left and right side of the palate. A recommendation should be given for the best location to place miniscrews.

Materials and methods: 431 CBCT's (202 male, 229 female) of healthy patients at the age of 9-30 years were selected. All patients have been under orthodontic treatment. The sample of selected CBCT's was divided into different groups: patient group 1 to 6 (1 = male/9-13 years, 2 = female/9-13 years, 3 = male/14-18 years, 4 = female/14-18 years, 5 = male/19-30 years, 6 = 19-30 years). In each CBCT the palatal bone was determined in the anterior palate median and 2, 4, 6 and 8 mm paramedian for each side. The bone height was measured in 10, 12, 14, 16, 18 and 20 mm distance from the cemento-enamel boundary of the upper central incisor in the sagittal plane. It was accomplished non-parametric tests and descriptive statistics.

Results: The major bone thickness was found in the lateral anterior palate. Unsuitable regions for the insertion of a miniscrew are the median and posterior palate. There was no difference between the patient group 1 and 4, 1 and 6, 3 and 5, 4 and 6. The bone thickness of male patients is on average 1.29 mm larger than for females. While there is a difference between the youngest and the other two groups of age, there is no difference between the 14-18 year-old patients and the adult patients regarding the bone height. No difference could be determined between the palatal left and right side.

Conclusions: The best location to place miniscrews is in the lateral anterior palate. Thus it is advisable to use CBCTs for an exact pre-operative diagnostic, since there are large inter-individual differences.

9 LITERATURVERZEICHNIS

1. Anatomage, Inc.: InVivoDental 4.0 - Reference Manual, San Jose, 2008.
2. Arai Y, Tammissalo E, Iwai K, Hashimoto K, Shinoda K. Development of a compact computed tomographic apparatus for dental use. *Dentomaxillofac Radiol* 1999;28:245-8.
3. Asscherickx K, Hanssens JL, Wehrbein H, Sabzevar MM. Orthodontic anchorage implants inserted in the median palatal suture and normal transverse maxillary growth in growing dogs: a biometric and radiographic study. *Angle Orthod* 2005a;75:826-31.
4. Asscherickx K, Vannet BV, Wehrbein H, Sabzevar MM. Root repair after injury from mini-screw. *Clin Oral Impl Res* 2005b;16:575-8.
5. Augustin D. Vorlesungsskript - SPSS (PASW) für Windows. Berlin: Charité, 2009;6, URL:<http://www.charite.de/biometrie/dwl/> (abgerufen am 16.06.2009)
6. Bae SM, Park HS, Kyung HM, Kwon OW, Sung JH. Clinical application of micro-implant anchorage. *J Clin Orthod* 2002;36:298-302.
7. Bambha J. Longitudinal cephalometric roentgenographic study of the face and cranium in relation to body weight. *J Am Dent Assoc* 1961;63:776-99.
8. Baumgaertel S, Razavi MR, Hans MG. Mini-implant anchorage for the orthodontic practitioner. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2008;133:621-7.
9. Berens A, Wiechmann D, Rüdiger J. Erfolgsraten von Mini- und Mikroschrauben zur skelettalen Verankerung in der Kieferorthopädie. *Inf Orthod Kieferorthop* 2005;37:283-7.
10. Bernhart T, Freudenthaler J, Dörtbudak O, Bantleon HP, Watzek G. Short epithetic implants for orthodontic anchorage in the paramedian region of the palate. *Clin Oral Impl Res* 2001;12:624-31.
11. Bernhart T, Vollgruber A, Gahleitner A, Doertbubak O, Haas R. Alternative to the median region of the palate for placement of an orthodontic implant. *Clin Oral Impl Res* 2000;11:595-601.

12. Björk A. Facial growth in man, studied with the aid of metallic implants. *Acta Ododntol Scand* 1955;13:9-34.
13. Björk A. Sutural growth of the upper face studied by the implant method. *Rep Congr Eur Orthod Soc* 1964;40:49-65.
14. Björk A. The use of metallic implants in the study of facial growth in children: method and application. *Am J Phys Anthropol* 1968;29:243-54.
15. Block MS, Hoffman DR. A new device for absolute anchorage for orthodontics. *Am J Orthod* 1995;107:251-8.
16. Bos A, Kleverlaan CJ, Hoogstraten J, PrahI-Andersen B, Kuitert R. Comparing subjective and objective measures of headgear compliance. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2007;132:801-5.
17. Bottollier-Depois JF, Chau Q, Bouisset P, Kerlau G, Plawinski L, Lebaron-Jacobs L. Assessing exposure to cosmic radiation on board aircraft. *Adv Space Res* 2003;32:59-66.
18. Bottollier-Depois JF, Trompier F, Clairand I et al. Exposure of aircraft crew to cosmic radiation: on-board intercomparison of various dosimeters. *Radiat Prot Dosimetry* 2004;110:411-5.
19. Brandão M, Pinho HS, Urias D. Clinical and quantitative assessment of headgear compliance: a pilot study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2006;129:239-44.
20. Brånemark PI, Adell R, Breine U, Hansson BO, Lindstrom J, Ohlsson A. Intraosseous anchorage of dental prostheses: I. Experimental studies. *Scand J Plast Reconstr Surg* 1969;3:81-100.
21. Brisceno CE, Rossouw PE, Carrillo R, Spears R, Buschang P. Healing of the roots and surrounding structures after intentional damage with miniscrew implants. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2009;135:292-301.
22. Büchter A, Wiechmann D, Koerdt S, Wiesmann HP, Piffko J, Meyer U. Load-related implant reaction of mini-implants used for orthodontic anchorage. *Clin Oral Impl Res* 2005;16:473-9.

-
23. Bühl A. SPSS 14. Einführung in die moderne Datenanalyse. München: Pearson Studium, 2006.
 24. Bumann A. Vielzahl der Möglichkeiten von Minischrauben noch unentdeckt. KN 2006;3:6.
 25. Bumann A. DVT - Für & Wider aus Sicht des Anwenders (3). KN 2009;4:8.
 26. Bumann A, Lietz T. tomas - ein System aus der Praxis für die Praxis. KN 2008;Kompodium:40-42.
 27. Bumann A, Richter V, Nitka M, Mah J. DVT - Für & Wider aus Sicht des Anwenders (5). KN 2009;9:6-9.
 28. Carano A, Velo S, Leone P, Siciliani G. Clinical applications of the miniscrew anchorage system. J Clin Orthod 2005;39:9-24.
 29. Celenza F, Hochman M. Absolute anchorage in orthodontics: direct and indirect implant-assisted modalities. J Clin Orthod 2000;7:397-402.
 30. Chen YJ, Chang HH, Huang CY, Hung HC, Lai EHH, Yao CCJ. A retrospective analysis of the failure rate of three different orthodontic skeletal anchorage systems. Clin Oral Impl Res 2007;18:768-75.
 31. Cohnen M, Kemper J, Möbes O, Pawelzik J, Mödder U. Radiation dose in dental radiology. Eur J Radiol 2002;12:634-7.
 32. Cole WA. Accuracy of patient reporting as an indication of headgear compliance. Am J Orthod Dentofacial Orthop 2002;121:419-23.
 33. Costa A, Raffaini M, Melsen B. Miniscrews as orthodontic anchorage: a preliminary report. Int J Adult Orthodon Orthognath Surg 1998;13:201-9.
 34. Creekmore TD, Eklund MK: The possibility of skeletal anchorage. J Clin Orthod 1983;4:266-9.
 35. Crismani AG, Bertl MH, Celar AG, Bantleon HP, Burstone CJ. Miniscrews in orthodontic treatment: review and analysis of published clinical trials. Am J Orthod Dentofacial Orthop 2010;137:108-13.
 36. Dahlberg G. Statistical methods for medical and biological students. New York: Interscience Publications, 1940:122-32.

37. Draenert FG, Gebhart F, Neugebauer C, Coppenrath E, Mueller-Lisse U. Imaging of bone transplants in the maxillofacial area by NewTom 9000 cone-beam computed tomography: a quality assessment. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2008;106:31-5.
38. Enacar A, Giray B, Pehlivanoglou M, Iplikcioglu H. Facemask therapy with rigid anchorage in a patient with maxillary hypoplasia and severe oligodontia. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2003;123:571-7.
39. Favero L, Brollo P, Bressan E. Orthodontic anchorage with specific fixtures: related study analysis. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2002;122:84-94.
40. Freudenthaler J, Haas R, Bantleon HP. Bicortical titanium screws for critical orthodontic anchorage in the mandible: a preliminary report on clinical applications. *Clin Oral Impl Res* 2001;12:358-63.
41. Gahleitner A, Podesser B, Schick S, Watzek G, Imhof H. Dental CT and orthodontic implants: imaging technique and assessment of available bone volume in the hard palate. *Eur J Radiol* 2004;51:257-62.
42. Gainsforth BL, Higley LB. A study of orthodontic anchorage possibilities in basal bone. *Am J Orthod* 1945;31:406-17.
43. Gracco A, Lombardo L, Cozzani M, Siciliani G. Quantitative evaluation with CBCT of palatal bone thickness in growing patients. *Prog Orthod* 2006;7:164-74.
44. Gracco A, Lombardo L, Cozzani M, Siciliani G. Quantitative cone-beam evaluation of palatal bone thickness for orthodontic miniscrew placement. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2008;134:361-9.
45. Gracco A, Luca L, Cozzani M, Siciliani G. Assessment of palatal bone thickness in adults with cone beam computerised tomography. *Aust Orthod J* 2007;23:109-13.
46. Gray J, Steen M, King G, Clark A. Studies on the efficacy of implants as orthodontic anchorage. *Am J Orthod* 1983;83:311-7.

47. Gutwald R, Gellrich NC, Schmelzeisen R. Einführung in die zahnärztliche Chirurgie und Implantologie, 2. Auflage. Köln: Deutscher Ärzte-Verlag, 2010:12-3.
48. Hamada Y, Kondoh T, Noguchi K et al. Application of limited cone beam computed tomography to clinical assessment of alveolar bone grafting: a preliminary report. *Cleft Palate Craniofac J* 2006;42:128-37.
49. Hashimoto K, Kawashima S, Araki M, Iwai K, Sawada K, Akiyama Y. Comparison of image performance between cone-beam computed tomography for dental use and four-row multidetector helical CT. *J Oral Sci* 2006;48:27-34.
50. Hashimoto K, Kawashima S, Kameoka S et al. Comparison of image validity between cone beam computed tomography for dental use and multidetector row helical computed tomography. *Dentomaxillofac Radiol* 2007;36:465-71.
51. Haßfeld S, Streib S, Sahl H, Stratmann U, Fehrentz D, Zöller J. Low-dose computerized tomography of the jaw bone in pre-implantation diagnosis. Limits of dose reduction and accuracy of distance measurements. *Oral Maxillofac Surg* 1998;2:188-93.
52. Helms JA, Cordero DR, Tapadia ML. New insights into craniofacial morphogenesis. *Development* 2005;152:851-61.
53. Hembree M, Buschang P, Carrillo R, Spears R, Rossouw PE. Effects of intentional damage of the roots and surrounding structures with miniscrew implants. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2009;135:280.e1-9.
54. Henriksen B, Bavitz B, Kelly B, Harn SD. Evaluation of bone thickness in the anterior hard palate relative to midsagittal orthodontic implants. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2003;18:578-81.
55. Hirsch E, Mersmann T, Bumann A. Dose reduction by wearing a thyroid protection shield during CBCT-scan. 12. European Congress of Dento-Maxillo-Facial Radiology, Istanbul, 02.-05.06.2010
56. Hirschfelder U. Radiologische 3D-Diagnostik in der Kieferorthopädie. Wissenschaftliche Stellungnahme der DGKFO, Oktober 2008, URL: http://www.dgkfo-vorstand.de/fileadmin/redaktion/stellungnahmen/Stellungnahme_Hirschfelder_DVT.pdf (abgerufen: 26.02.2010)

-
57. Holland G, Wallace D, Mondino B, Cole S, Ryan S. Severe ocular injuries from headgear. *Am J Orthod* 1986;89:173.
 58. Holst A, Karl M, Karolczak M, Goellner M, Holst S. Quantitative assessment of orthodontic mini-implant displacement: the effect of initial force application. *Quintessence Int* 2010;41:59-66.
 59. Hong RK, Heo JM, Ha YK. Lever-arm and mini-implant system for anterior torque control during retraction in lingual orthodontic treatment. *Angle Orthod* 2004;75:129-41.
 60. Houston WJB. The analysis of errors in orthodontic measurements. *Am J Orthod* 1983;83:382-90.
 61. Huang J, Bumann A, Mah J. Three-dimensional radiographic analysis in orthodontics. *J Clin Orthod* 2005;39:421-8.
 62. Janssen KI, Raghoobar GM, Vissink A, Sandham A. Skeletal anchorage in orthodontics - a review of various systems in animal and human studies. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2008;23:75-88.
 63. Jost-Brinkmann P-G, Haas N. Reversible Alopezie als Headgear-Nebenwirkung - Ein Fallbericht. *Prakt Kieferorthop* 1990;4:137.
 64. Jung B, Kunkel M, Göllner P, Liechti T, Wehrbein H. Success rate of second-generation palatal implants. *Angle Orthod* 2009;79:85-90.
 65. 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;131:74-81.
 66. Kanomi R. Mini-implant for orthodontic anchorage. *J Clin Orthod* 1997;11:763-767.
 67. Kiefer H, Lambrecht JT, Roth J. Dose exposure from analog and digital full mouth radiography and panoramic radiography. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 2004;114:687-93.
 68. Kim SH, Choi YS, Hwang EH, Chung KR, Kook YA, Nelson G. Surgical positioning of orthodontic mini-implants with guides fabricated on models

- replicated with cone-beam computed tomography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2007;131:82-9.
69. King KS, Lam EW, Faulkner MG, Heo G, Major PW. Vertical bone volume in the paramedian palate of adolescents: a computed tomography study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2007;132:783-8.
70. Knaup B, Yildizhan F, Wehrbein H. Age-related changes in the midpalatal suture - a histomorphometric study. *J Orofac Orthop* 2004;65:467-74.
71. Kravitz ND, Kusnoto B. Risks and complications of orthodontic miniscrews. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2007;131:43-51.
72. Krogman WM. Review: the face in profile. An anthropological X-ray investigation on swedish children and conscripts. By Arne Björk. *Am J Phys Anthropol* 148;6:121-5.
73. Kuroda S, Yamada K, Deguchi T, Hashimoto T, Kyung HM, Takano-Yamamoto T. Root proximity is a major factor for screw failure in orthodontic anchorage. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2007;131:68-73.
74. Kyung SH, Hong SG, Park YC. Distalization of maxillary molars with a midpalatal miniscrew. *J Clin Orthod* 2003a;37:22-6.
75. Kyung SH, Park HS, Bae SM, Sung JH, Kim IB. Development of orthodontic micro-implants for intraoral anchorage. *J Clin Orthod* 2003b;37:321-8.
76. Lehmann KM, Hellwig E, Wenz HJ. *Zahnärztliche Propädeutik*, 12. Auflage. Köln: Deutscher Ärzte-Verlag GmbH, 2012:275.
77. Leung MT, Lee TC, Rabie AB, Wong RW. Use of miniscrews and miniplates in orthodontics. *J Oral Maxillofac Surg* 2008;66:1461-6.
78. Lietz T, Müller-Hartwich R. Zahnerhaltung durch kieferorthopädische Maßnahmen. *ZWR* 2006;115:91-102.
79. Lindh C, Petersson A, Klinge B. Measurements of distances related to the mandibular canal in radiographs. *Clin Oral Impl Res* 1995;6:96-103.
80. Liou E, Pai B, Lin J. Do miniscrews remain stationary under orthodontic forces? *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2004;126:42-7.

81. Lippert H: Lehrbuch Anatomie, 6. Auflage. München: Urban & Fischer, 2003:622-3.
82. Ludlow JB, Davies-Ludlow LE, Brooks SL. Dosimetry of two extraoral direct digital imaging devices: NewTom cone beam CT and Orthophos Plus DS panoramic unit. *Dentomaxillofac Radiol* 2003;32:229-34.
83. Ludlow JB, Davies-Ludlow LE, Brooks SL, Howerton WB. Dosimetry of 3 CBCT devices for oral and maxillofacial radiology: CB Mercuray, NewTom 3G and i-CAT. *Dentomaxillofac Radiol* 2006;35:219-26.
84. Ludlow JB, Davies-Ludlow LE, White SC. Patient risk related to common dental radiographic examinations: the impact of 2007 International Commission on Radiological Protection recommendations regarding dose calculation. *J Am Dent Assoc* 2008;139:1237-43.
85. 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;106:106-14.
86. Ludwig B, Glasl B, Lietz T, Lisson J. Serie Minischrauben I-VI, Minischrauben in der Praxis. *KN* 2008;Kompendium:6-35.
87. Mah J, Bergstrand F, Graham JW. Temporary anchorage devices: a status report. *J Clin Orthod* 2005;39:132-6, discussion 136.
88. Mah J, Danforth RA, Bumann A, Hatcher D. Radiation absorbed in maxillofacial imaging with a new dental computed tomography device. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2003;96:508-13.
89. Maino BG, Bednar J, Pagin P, Mura P. The spider screw for skeletal anchorage. *J Clin Orthod* 2003;37:90-7.
90. Maschinski G, Hasenau T, Illig U. *Lexikon Zahnmedizin Zahntechnik*. München: Urban & Fischer, 2000:406, 786-7.
91. Melsen B. A radiographic craniometric study of dimensional changes in the nasal septum from infancy to maturity. *Acta Ododntol Scand* 1967;25:541-61.
92. Melsen B. Palatal growth studied on human autopsy material. *Am J Orthod* 1975;68:42-54.

-
93. Melsen B. Mini-implants: where are we? *J Clin Orthod* 2005;39:539-47.
 94. Mitdgård J, Björk G, Linder-Aronson S: Reproducibility of cephalometric landmarks and errors of measurements of cephalometric cranial distances. *Angle Orthod* 1974;44:56-61.
 95. Motoyoshi M, Inaba M, Ono A, Ueno S, Shimizu N. 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* 2009;38:13-8.
 96. Mozzo P, Procacci C, Tacconi A, Tinazzi Martini P, Bergamo Andreis IA. A new volumetric CT machine for dental imaging based on the cone-beam technique: preliminary results. *Eur Radiol* 1998;8:1558-64.
 97. Müssig E, Wörtche R, Lux CJ. Indications for digital volume tomography in orthodontics. *J Orofac Orthop* 2005;66:241-9.
 98. Ohmae M, Saito S, Morohashi T et al. A clinical and histological evaluation of titanium mini-implants as anchors for orthodontic intrusion in the beagle dog. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2001;119:489-97.
 99. Papadopoulos M, Tarawneh F. The use of miniscrew implants for temporary skeletal anchorage in orthodontic: A comprehensive review. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2007;103:e6-e15.
 100. 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;133:30-7.
 101. Periago DR, Scarfe WC, Moshiri M, Scheetz JP, Silveira AM, Farman AG. Linear accuracy and reliability of cone beam CT derived 3-dimensional images constructed using an orthodontic volumetric rendering program. *Angle Orthod* 2008;78:387-95.
 102. Persson M, Thilander B. Palatal suture closure in man from 15 to 35 years of age. *Am J Orthod* 1977;72:42-52.
 103. Pinsky HM, Dyda S, Pinsky RW, Misch KA, Sarment DP. Accuracy of three-dimensional measurements using cone-beam CT. *Dentomaxillofac Radiol* 2006;35:410-6.

-
104. Poggio PM, Incorvati C, Velo S, Carano A. "Safe zones": a guide for miniscrew positioning in the maxillary and mandibular arch. *Angle Orthod* 2006;76:191-7.
 105. Radlanski RJ. *Orale Struktur- und Entwicklungsbiologie*. Berlin: Quintessenz 2011:69-70, 78-79.
 106. Rebholz K, Rakosi T. Extraorale Kräfte und die Wirbelsäule. *J Orofac Orthop* 1977;38:324-32.
 107. Roberts WE, Marshall KJ, Mozsary PG. Rigid endosseous implant utilized as anchorage to protract molars and close an atrophic extraction site. *Angle Orthod* 1990;60:135-52.
 108. Roberts WE, Smith RK, Zilberman Y, Mozsary PG, Smith RS. Osseous adaption to continuous loading of rigid endosseous implants. *Am J Orthod* 1984;86:95-111.
 109. Sachs L, Hedderich J. *Angewandte Statistik. Methodensammlung mit R*. Berlin: Springer, 2006:55-83, 191-204, 305-557.
 110. Schiebler TH, Schmidt W, Zilles K. *Anatomie*, 7. Auflage. Berlin: Springer, 1997:433.
 111. Schnelle MA, Beck FM, Jaynes RM, Huja SS. A radiographic evaluation of the availability of bone for placement of miniscrews. *Angle Orthod* 2004;74:832-7.
 112. Schulze D, Heiland M, Thurmann H, Adam G. Radiation exposure during midfacial imaging using 4- and 16-slice computed tomography, cone beam computed tomography systems and conventional radiography. *Dentomaxillofac Radiol* 2004;33:83-6.
 113. Schulze R. Aktueller Stand der digitalen Röntgentechnik. *Zahnärztl Mitt* 2006;96:42-8.
 114. Sherman AJ. Bone reaction to orthodontic forces on vitreous carbon dental implants. *Am J Orthod* 1978;74:79-87.
 115. Silva MA, Wolf U, Heinicke F, Bumann A, Visser H, Hirsch E. Cone-beam computed tomography for routine orthodontic treatment planning: A radiation dose evaluation. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2008;133:640.e1-640.e5.

-
116. Smalley WM, Shapiro PA, Hohl TH, Kokich VG, Brånemark PI. Osseointegrated titanium implants for maxillofacial protraction in monkeys. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1988;94:285-95.
 117. Suzuki EY, Suzuki B. Accuracy of miniscrew implant placement with a 3-dimensional surgical guide. *J Oral Maxillofac Surg* 2008;66:1245-52.
 118. Swennen GRJ, Schutyser F. Three-dimensional cephalometry: spiral multi-slice vs. cone-beam computed tomography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2006;130:410-6.
 119. Tapadia ML, Cordero DR, Helms JA. It's all in your head: new insights into craniofacial development and deformation. *J Anat* 2005;207:461-77.
 120. Thoben W. OFFIS e. V. - Einführung in den Dicom-Standard, URL: <http://dicom.offis.de/dcmintro.php.de> (abgerufen: 28.01.2009)
 121. Tinsley D, O'Dwyer JJ, Benson PE, Doyle PT, Sandler J. Orthodontic palatal implants: clinical technique. *J Orthod* 2004;31:3-8.
 122. Tsiklakis K, Donta C, Gavala S, Karayianni K, Kamenopoulou V, Hourdakis CJ. Dose reduction in maxillofacial imaging using low dose Cone Beam CT. *Eur J Radiol* 2005;56:413-7.
 123. Turley PK, Kean C, Schur J et al. Orthodontic force application to titanium endosseous implants. *Angle Orthod* 1988;58:151-62.
 124. Turley PK, Shapiro PA, Moffett BC. The loading of bioglass-coated aluminium oxide implants to produce sutural expansion of the maxillary complex in the pigtail monkey (*Macaca nemestrina*). *Arch Oral Biol* 1980;25:459-69.
 125. Valentin J. ICRP Publication 103: recommendations of the ICRP. *Ann ICRP* 2007;37:2-4
 126. Vogel H. Physik, 14. Auflage. Berlin: Springer, 1982:12-3.
 127. Wehrbein H. Anatomic site evaluation of the palatal bone for temporary orthodontic anchorage devices. *Clin Oral Impl Res* 2008;19:653-6.
 128. Wehrbein H, Feifel H, Diedrich P. Palatal implant anchorage reinforcement of posterior teeth: A prospective study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1999a;116:678-86.

-
129. Wehrbein H, Glatzmaier J, Mundwiler U, Diedrich P. The Orthosystem - a new implant system for orthodontic anchorage in the palate. *J Orofac Orthop* 1996a;57:142-53.
130. Wehrbein H, Jung B, Kunkel M. Wissenschaftliche Stellungnahme zur kieferorthopädischen Verankerung mit Kortikalisschrauben und Gaumenimplantaten, DGKFO, Oktober 2008, URL: http://www.dgkfo-vorstand.de/fileadmin/redaktion/stellungnahmen/Stellungnahme_DGKFO_KS_und_GI_Wehrbein_Jung_Kunkel_08-09-26.pdf (abgerufen: 26.02.2010)
131. Wehrbein H, Merz BR. Aspects of the use of endosseous palatal implants in orthodontic therapy. *J Esthet Dent* 1998;10:315-24.
132. Wehrbein H, Merz BR, Diedrich P. Palatal bone support for orthodontic implant anchorage-a clinical and radiological study. *Eur J Orthod* 1999b;21:65-70.
133. Wehrbein H, Merz BR, Diedrich P, Glatzmaier J. The use of palatal implants for orthodontic anchorage. Design and clinical application of the Orthosystem. *Clin Oral Impl Res* 1996b;7:410-6.
134. Wehrbein H, Merz BR, Hämmerle CH, Lang NP. Bone-to-implant contact of orthodontic implants in humans subjected to horizontal loading. *Clin Oral Impl Res* 1998;9:348-53.
135. Wehrbein H, Yildizhan F. The mid-palatal suture in young adults. A radiological-histological investigation. *Eur J Orthod* 2001;23:105-14.
136. Wernecke KD. Vorlesungsskript - Medizinische Biometrie - Planung und Auswertung medizinischer Studien, Berlin: Charité, 2004.
137. Wiechmann D, Meyer U, Büchter A. Success rate of mini- and micro-implants used for orthodontic anchorage: a prospective clinical study. *Clin Oral Impl Res* 2007;18:263-7.
138. Wilmes B, Drescher. A miniscrew system with interchangeable abutments. *J Clin Orthod* 2008;42:574-80.
139. Wilmes B, Drescher D, Nienkemper M. A miniplate system für improved stability of skeletal anchorage. *J Clin Orthod* 2009;70:297-305.

10 ANHANG

10.1 ERGEBNISSE DER STATISTISCHEN TESTS

Tab. 43: Ergebnisse des Tests auf Normalverteilung durch den Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest

Punkte	R_0_10	R_0_12	R_0_14	R_0_16	R_0_18	R_0_20	R_2_10	R_2_12	R_2_14	R_2_16	R_2_18	R_2_20
N	431	431	431	431	431	431	431	431	431	431	431	431
SD	2,23151	2,53548	2,41133	2,16993	1,92093	1,93290	4,51786	4,15337	4,23527	3,83052	2,89476	2,37842
Asymptotische Signifikanz	,000	,000	,029	,053	,193	,083	,003	,013	,000	,000	,000	,001

R_4_10	R_4_12	R_4_14	R_4_16	R_4_18	R_4_20	R_6_10	R_6_12	R_6_14	R_6_16	R_6_18	R_6_20
431	431	431	431	431	431	431	431	431	431	431	431
3,34891	3,00849	3,13227	3,58274	3,18428	2,46504	3,40607	3,25663	2,75398	3,43111	3,54305	2,89684
,000	,286	,232	,047	,000	,000	,005	,072	,151	,439	,003	,000

R_8_10	R_8_12	R_8_14	R_8_16	R_8_18	R_8_20	L_0_10	L_0_12	L_0_14	L_0_16	L_0_18	L_0_20
431	431	431	431	431	431	431	431	431	431	431	431
3,19322	3,80962	3,07543	3,38962	3,75759	3,35764	2,22852	2,40661	2,31892	2,07707	1,84343	1,96273
,000	,001	,690	,409	,063	,000	,000	,000	,017	,076	,611	,115

L_2_10	L_2_12	L_2_14	L_2_16	L_2_18	L_2_20	L_4_10	L_4_12	L_4_14	L_4_16	L_4_18	L_4_20
431	431	431	431	431	431	431	431	431	431	431	431
4,80004	4,34445	4,28531	3,87306	3,09384	2,38596	3,46237	3,05121	3,31059	3,63162	3,17641	2,56187
,001	,014	,001	,000	,000	,000	,001	,253	,715	,001	,000	,000

L_6_10	L_6_12	L_6_14	L_6_16	L_6_18	L_6_20	L_8_10	L_8_12	L_8_14	L_8_16	L_8_18	L_8_20
431	431	431	431	431	431	431	431	431	431	431	431
3,29408	3,24080	2,81676	3,44076	3,48024	2,82792	3,07369	3,69372	3,16592	3,32442	3,76979	3,37375
,066	,034	,372	,115	,002	,000	,000	,007	,335	,573	,022	,000

R/L_X_Y: R/L bezeichnet die rechte/linke Gaumenseite, X ist der Abstand in mm von der posterioren Wand des Foramen incisivum nach lateral, Y entspricht dem Abstand in mm von der Schmelz-Zement-Grenze des mittleren Schneidezahnes nach posterior; N = Anzahl; SD = Standardabweichung

Tab. 44: Ergebnisse des H-Tests nach Kruskal und Wallis zum Vergleich der sechs Patientengruppen

Punkte	R_0_10	R_0_12	R_0_14	R_0_16	R_0_18	R_0_20	R_2_10	R_2_12	R_2_14	R_2_16
Chi-Quadrat	52,622	54,328	62,368	47,040	53,526	74,921	11,199	25,647	30,909	55,706
df	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Asymptotische Signifikanz	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,048	,000	,000	,000

R_2_18	R_2_20	R_4_10	R_4_12	R_4_14	R_4_16	R_4_18	R_4_20	R_6_10	R_6_12
75,426	89,816	5,180	5,564	47,074	81,973	89,078	83,225	9,499	4,235
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
,000	,000	,394	,351	,000	,000	,000	,000	,091	,516

R_6_14	R_6_16	R_6_18	R_6_20	R_8_10	R_8_12	R_8_14	R_8_16	R_8_18	R_8_20
18,420	54,860	69,921	68,797	25,547	34,444	16,131	25,317	53,524	48,204
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
,002	,000	,000	,000	,000	,000	,006	,000	,000	,000

L_0_10	L_0_12	L_0_14	L_0_16	L_0_18	L_0_20	L_2_10	L_2_12	L_2_14	L_2_16
52,315	61,488	61,319	41,711	50,341	63,142	17,651	15,369	40,797	59,412
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
,000	,000	,000	,000	,000	,000	,003	,009	,000	,000

L_2_18	L_2_20	L_4_10	L_4_12	L_4_14	L_4_16	L_4_18	L_4_20	L_6_10	L_6_12
71,852	85,579	9,841	16,639	45,918	72,447	82,821	84,865	12,936	16,565
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
,000	,000	,080	,005	,000	,000	,000	,000	,024	,005

L_6_14	L_6_16	L_6_18	L_6_20	L_8_10	L_8_12	L_8_14	L_8_16	L_8_18	L_8_20
29,195	60,115	81,668	70,952	26,599	26,368	29,155	33,182	57,814	54,005
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000

R/L_X_Y: R/L bezeichnet die rechte/linke Gaumenseite, X ist der Abstand in mm von der posterioren Wand des Foramen incisivum nach lateral, Y entspricht dem Abstand in mm von der Schmelz-Zement-Grenze des mittleren Schneidezahnes nach posterior

Tab. 45: P-Werte des U-Tests nach Mann und Whitney zum Vergleich der Patientengruppen untereinander

Gruppen \ Punkte	R_0_10	R_0_12	R_0_14	R_0_16	R_0_18	R_0_20	R_2_10	R_2_12	R_2_14	R_2_16	R_2_18	R_2_20
1 vs. 2	,369	,043	,009	,000	,000	,000	,033	,007	,012	,000	,000	,000
1 vs. 3	,000	,000	,000	,004	,352	,300	,035	,053	,057	,003	,001	,009
1 vs. 4	,001	,000	,000	,000	,000	,000	,022	,766	,122	,490	,091	,003
1 vs. 5	,000	,000	,000	,000	,805	,021	,213	,071	,001	,001	,000	,000
1 vs. 6	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,002	,680	,931	,796	,279	,039
2 vs. 3	,002	,010	,115	,535	,001	,000	,596	,000	,000	,000	,000	,000
2 vs. 4	,007	,028	,030	,934	,073	,045	,836	,002	,002	,000	,001	,011
2 vs. 5	,000	,000	,001	,738	,000	,000	,623	,000	,000	,000	,000	,000
2 vs. 6	,000	,000	,000	,005	,950	,011	,311	,002	,051	,001	,000	,001
3 vs. 4	,494	,482	,924	,777	,064	,000	,651	,101	,360	,057	,000	,000
3 vs. 5	,031	,130	,154	,485	,558	,261	,453	,921	,139	,414	,584	,206
3 vs. 6	,208	,203	,018	,005	,001	,000	,609	,146	,047	,019	,002	,000
4 vs. 5	,003	,026	,096	,667	,003	,000	,505	,087	,015	,006	,000	,000
4 vs. 6	,035	,030	,007	,007	,120	,644	,404	,933	,385	,635	,667	,379
5 vs. 6	,216	,688	,445	,025	,000	,000	,153	,131	,002	,003	,000	,000

Gruppen	Punkte	R						R					
		R_4_10	R_4_12	R_4_14	R_4_16	R_4_18	R_4_20	R_6_10	R_6_12	R_6_14	R_6_16	R_6_18	R_6_20
1 vs. 2		,786	,042	,006	,000	,000	,000	,316	,687	,015	,001	,000	,000
1 vs. 3		,368	,620	,007	,000	,000	,001	,991	,748	,344	,004	,001	,001
1 vs. 4		,081	,228	,471	,369	,582	,063	,924	,332	,129	,737	,902	,197
1 vs. 5		,891	,791	,000	,000	,000	,000	,257	,637	,711	,000	,000	,001
1 vs. 6		,164	,086	,338	,094	,645	,413	,384	,722	,253	,299	,531	,600
2 vs. 3		,468	,229	,000	,000	,000	,000	,305	,463	,001	,000	,000	,000
2 vs. 4		,130	,507	,001	,000	,000	,002	,694	,376	,180	,000	,000	,001
2 vs. 5		,774	,183	,000	,000	,000	,000	,036	,321	,002	,000	,000	,000
2 vs. 6		,200	,827	,000	,000	,000	,000	,565	,955	,089	,000	,000	,000
3 vs. 4		,552	,538	,029	,001	,000	,000	,205	,112	,015	,004	,002	,000
3 vs. 5		,410	,865	,268	,021	,152	,354	,335	,817	,686	,373	,175	,388
3 vs. 6		,686	,365	,055	,009	,002	,000	,023	,408	,034	,021	,007	,001
4 vs. 5		,151	,459	,000	,000	,000	,000	,025	,038	,017	,000	,000	,000
4 vs. 6		,897	,632	,885	,421	,375	,317	,493	,297	,679	,466	,465	,566
5 vs. 6		,197	,289	,001	,000	,000	,000	,001	,245	,040	,002	,000	,000

Gruppen	Punkte	R						L					
		R_8_10	R_8_12	R_8_14	R_8_16	R_8_18	R_8_20	L_0_10	L_0_12	L_0_14	L_0_16	L_0_18	L_0_20
1 vs. 2		,551	,000	,008	,003	,000	,000	,485	,042	,011	,000	,000	,000
1 vs. 3		,017	,000	,026	,162	,008	,014	,001	,000	,000	,018	,650	,236
1 vs. 4		,000	,000	,001	,404	,867	,181	,000	,000	,000	,000	,001	,001
1 vs. 5		,896	,000	,013	,159	,000	,009	,000	,000	,000	,000	,961	,026
1 vs. 6		,003	,000	,001	,550	,483	,514	,000	,000	,000	,000	,000	,003
2 vs. 3		,110	,317	,907	,000	,000	,000	,003	,003	,036	,535	,000	,000
2 vs. 4		,001	,319	,199	,013	,001	,005	,001	,006	,034	1,000	,028	,061
2 vs. 5		,762	,487	,596	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,532	,000	,000
2 vs. 6		,020	,090	,299	,003	,000	,001	,000	,000	,000	,004	,619	,015
3 vs. 4		,050	,972	,366	,040	,010	,002	,759	,582	,742	,517	,042	,000
3 vs. 5		,105	,715	,721	,974	,144	,579	,036	,132	,165	,284	,642	,327
3 vs. 6		,303	,470	,498	,069	,040	,013	,111	,246	,046	,004	,001	,001
4 vs. 5		,001	,799	,616	,027	,000	,001	,046	,040	,053	,591	,004	,000
4 vs. 6		,315	,478	,792	,867	,536	,592	,166	,094	,007	,006	,138	,699
5 vs. 6		,008	,335	,785	,047	,001	,006	,422	,592	,587	,030	,000	,000

Gruppen	Punkte	L						L					
		L_2_10	L_2_12	L_2_14	L_2_16	L_2_18	L_2_20	L_4_10	L_4_12	L_4_14	L_4_16	L_4_18	L_4_20
1 vs. 2		,020	,186	,057	,000	,000	,000	,386	,002	,005	,001	,000	,000
1 vs. 3		,056	,025	,000	,001	,003	,001	,089	,614	,003	,000	,000	,000
1 vs. 4		,001	,066	,006	,618	,258	,040	,011	,019	,414	,275	,977	,275
1 vs. 5		,222	,105	,000	,000	,000	,000	,359	,801	,001	,000	,000	,000
1 vs. 6		,000	,550	,041	,928	,231	,061	,019	,012	,803	,159	,762	,832
2 vs. 3		,771	,004	,000	,000	,000	,000	,317	,032	,000	,000	,000	,000
2 vs. 4		,209	,003	,000	,000	,000	,000	,065	,233	,000	,000	,000	,000
2 vs. 5		,808	,030	,000	,000	,000	,000	,919	,015	,000	,000	,000	,000
2 vs. 6		,066	,085	,001	,000	,000	,000	,131	,429	,001	,000	,000	,000
3 vs. 4		,411	,419	,078	,028	,002	,000	,548	,144	,010	,001	,001	,000
3 vs. 5		,773	,873	,336	,387	,625	,586	,564	,762	,884	,164	,212	,298
3 vs. 6		,184	,085	,066	,010	,002	,000	,653	,089	,005	,007	,004	,001
4 vs. 5		,153	,528	,017	,001	,000	,000	,130	,047	,003	,000	,000	,000
4 vs. 6		,615	,164	,588	,696	,806	,761	,638	,660	,510	,698	,740	,430
5 vs. 6		,078	,174	,026	,001	,000	,000	,188	,037	,001	,000	,000	,000

Gruppen	Punkte	L						L					
		L_6_10	L_6_12	L_6_14	L_6_16	L_6_18	L_6_20	L_8_10	L_8_12	L_8_14	L_8_16	L_8_18	L_8_20
1 vs. 2		,038	,001	,001	,001	,000	,000	,841	,050	,000	,002	,000	,000
1 vs. 3		,456	,116	,345	,000	,000	,000	,238	,001	,010	,026	,002	,005
1 vs. 4		,225	,004	,171	,700	,985	,385	,000	,000	,000	,411	,826	,209
1 vs. 5		,421	,163	,496	,000	,000	,000	,886	,004	,001	,177	,000	,001
1 vs. 6		,311	,001	,044	,302	,495	,879	,003	,000	,000	,646	,692	,560
2 vs. 3		,098	,243	,000	,000	,000	,000	,281	,061	,231	,000	,000	,000
2 vs. 4		,187	,698	,007	,000	,000	,001	,000	,012	,472	,006	,000	,010
2 vs. 5		,001	,078	,000	,000	,000	,000	,676	,174	,367	,000	,000	,000
2 vs. 6		,181	,910	,045	,000	,000	,000	,004	,007	,817	,004	,000	,001
3 vs. 4		,474	,440	,035	,001	,000	,000	,006	,404	,573	,002	,005	,001
3 vs. 5		,141	,674	,729	,739	,122	,274	,212	,837	,733	,463	,236	,261
3 vs. 6		,468	,204	,008	,002	,001	,001	,081	,347	,203	,005	,002	,006
4 vs. 5		,021	,133	,056	,000	,000	,000	,001	,352	,760	,022	,000	,000
4 vs. 6		,930	,523	,353	,514	,503	,498	,375	,841	,321	,714	,879	,623
5 vs. 6		,011	,045	,010	,001	,000	,000	,004	,238	,216	,059	,000	,001

R/L_X_Y: R/L bezeichnet die rechte/linke Gaumenseite, X ist der Abstand in mm von der posterioren Wand des Foramen incisivum nach lateral, Y entspricht dem Abstand in mm von der Schmelz-Zement-Grenze des mittleren Schneidezahnes nach posterior

Tab. 46: P-Werte des U-Tests nach Mann und Whitney zum Vergleich der männlichen und weiblichen Patientengruppen

Punkte	R_0_10	R_0_12	R_0_14	R_0_16	R_0_18	R_0_20
Mann-Whitney-U	22819,500	21610,000	19733,000	17498,000	14175,500	12675,500
Wilcoxon-W	49154,500	47945,000	46068,000	43833,000	40510,500	39010,500
Z	-,260	-1,184	-2,632	-4,364	-6,938	-8,101
Asymptotische Signifikanz	,795	,237	,008	,000	,000	,000

R_2_10	R_2_12	R_2_14	R_2_16	R_2_18	R_2_20
20488,500	19192,000	19002,500	16977,000	14217,000	12569,500
46823,500	45527,000	45337,500	43312,000	40552,000	38904,500
-2,046	-3,051	-3,198	-4,767	-6,906	-8,183
,041	,002	,001	,000	,000	,000

R_4_10	R_4_12	R_4_14	R_4_16	R_4_18	R_4_20
21522,500	20310,000	17924,500	16371,500	14767,000	13852,500
47857,500	46645,000	44259,500	42706,500	41102,000	40187,500
-1,245	-2,185	-4,033	-5,237	-6,480	-7,189
,213	,029	,000	,000	,000	,000

R_6_10	R_6_12	R_6_14	R_6_16	R_6_18	R_6_20
19880,000	21031,000	18126,500	17217,500	15989,000	14949,000
46215,000	47366,000	44461,500	43552,500	42324,000	41284,000
-2,518	-1,626	-3,877	-4,581	-5,533	-6,339
,012	,104	,000	,000	,000	,000

R_8_10	R_8_12	R_8_14	R_8_16	R_8_18	R_8_20
19485,000	19337,500	19963,500	18169,000	16984,500	16149,000
45820,000	45672,500	46298,500	44504,000	43319,500	42484,000
-2,824	-2,938	-2,453	-3,844	-4,761	-5,409
,005	,003	,014	,000	,000	,000

L_0_10	L_0_12	L_0_14	L_0_16	L_0_18	L_0_20
22204,500	21556,000	20413,000	17801,500	14443,500	13595,500
48539,500	47891,000	46748,000	43907,500	40778,500	39930,500
-,783	-1,227	-2,105	-4,064	-6,731	-7,388
,434	,220	,035	,000	,000	,000

L_2_10	L_2_12	L_2_14	L_2_16	L_2_18	L_2_20
19218,000	21141,500	20059,000	16611,000	14677,000	13303,500
45553,000	47476,500	46394,000	42946,000	41012,000	39638,500
-3,031	-1,540	-2,379	-5,051	-6,550	-7,614
,002	,124	,017	,000	,000	,000

L_4_10	L_4_12	L_4_14	L_4_16	L_4_18	L_4_20
20959,500	18078,000	17535,500	16847,000	15273,500	14421,000
47294,500	44413,000	43870,500	43182,000	41608,500	40756,000
-1,681	-3,914	-4,335	-4,868	-6,087	-6,748
,093	,000	,000	,000	,000	,000

L_6_10	L_6_12	L_6_14	L_6_16	L_6_18	L_6_20
19364,000	18489,500	17068,000	16854,500	15417,000	15103,500
45699,000	44824,500	43403,000	43189,500	41752,000	41438,500
-2,918	-3,595	-4,697	-4,862	-5,976	-6,219
,004	,000	,000	,000	,000	,000

L_8_10	L_8_12	L_8_14	L_8_16	L_8_18	L_8_20
19095,000	20305,500	18020,000	17432,000	16594,000	15781,500
45430,000	46640,500	44355,000	43767,000	42929,000	42116,500
-3,126	-2,188	-3,959	-4,415	-5,064	-5,694
,002	,029	,000	,000	,000	,000

R/L_X_Y: R/L bezeichnet die rechte/linke Gaumenseite, X ist der Abstand in mm von der posterioren Wand des Foramen incisivum nach lateral, Y entspricht dem Abstand in mm von der Schmelz-Zement-Grenze des mittleren Schneidezahnes nach posterior

Tab. 47: Ergebnisse des H-Tests nach Kruskal und Wallis zum Vergleich der drei Altersgruppen

Punkte	R_0_10	R_0_12	R_0_14	R_0_16	R_0_18	R_0_20	R_2_10	R_2_12	R_2_14	R_2_16
Chi-Quadrat	51,169	50,714	55,488	25,306	,905	5,480	4,845	14,505	16,215	28,798
df	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Asymptotische Signifikanz	,000	,000	,000	,000	,636	,065	,089	,001	,000	,000

R_2_18	R_2_20	R_4_10	R_4_12	R_4_14	R_4_16	R_4_18	R_4_20	R_6_10	R_6_12
23,292	17,717	2,945	,104	27,332	48,250	41,349	26,465	,288	,485
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
,000	,000	,229	,949	,000	,000	,000	,000	,866	,785

R_6_14	R_6_16	R_6_18	R_6_20	R_8_10	R_8_12	R_8_14	R_8_16	R_8_18	R_8_20
2,488	30,518	34,757	24,663	15,627	21,262	8,914	8,659	27,056	15,943
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
,288	,000	,000	,000	,000	,000	,012	,013	,000	,000

L_0_10	L_0_12	L_0_14	L_0_16	L_0_18	L_0_20	L_2_10	L_2_12	L_2_14	L_2_16
51,585	57,808	55,595	24,460	,984	5,478	8,811	12,371	32,875	29,737
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
,000	,000	,000	,000	,611	,065	,012	,002	,000	,000

L_2_18	L_2_20	L_4_10	L_4_12	L_4_14	L_4_16	L_4_18	L_4_20	L_6_10	L_6_12
24,365	22,879	7,126	,035	24,562	43,652	40,391	33,949	1,829	1,829
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
,000	,000	,028	,982	,000	,000	,000	,000	,401	,401

L_6_14	L_6_16	L_6_18	L_6_20	L_8_10	L_8_12	L_8_14	L_8_16	L_8_18	L_8_20
5,431	32,946	40,752	27,718	12,198	22,211	7,357	11,660	28,527	18,239
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
,066	,000	,000	,000	,002	,000	,025	,003	,000	,000

R/L_X_Y: R/L bezeichnet die rechte/linke Gaumenseite, X ist der Abstand in mm von der posterioren Wand des Foramen incisivum nach lateral, Y entspricht dem Abstand in mm von der Schmelz-Zement-Grenze des mittleren Schneidezahnes nach posterior

Tab. 48: P-Werte des U-Tests nach Mann und Whitney zum Vergleich der Altersgruppen untereinander

Gruppen \ Punkte	R_0_10	R_0_12	R_0_14	R_0_16	R_0_18	R_0_20	R_2_10	R_2_12	R_2_14	R_2_16	R_2_18	R_2_20
1 vs. 2	,000	,000	,000	,027	,803	,106	,069	,001	,000	,000	,000	,002
1 vs. 3	,000	,000	,000	,000	,448	,025	,057	,001	,001	,000	,000	,000
2 vs. 3	,004	,011	,003	,010	,381	,604	,905	,901	,977	,959	,652	,397

Gruppen \ Punkte	R_4_10	R_4_12	R_4_14	R_4_16	R_4_18	R_4_20	R_6_10	R_6_12	R_6_14	R_6_16	R_6_18	R_6_20
1 vs. 2	,083	,957	,000	,000	,000	,000	,638	,768	,162	,000	,000	,000
1 vs. 3	,343	,779	,000	,000	,000	,000	,692	,780	,206	,000	,000	,000
2 vs. 3	,565	,778	,480	,148	,294	,417	,826	,425	,943	,480	,363	,694

Gruppen \ Punkte	R_8_10	R_8_12	R_8_14	R_8_16	R_8_18	R_8_20	L_0_10	L_0_12	L_0_14	L_0_16	L_0_18	L_0_20
1 vs. 2	,000	,000	,015	,016	,000	,001	,000	,000	,000	,053	,397	,097
1 vs. 3	,038	,000	,009	,010	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,844	,026
2 vs. 3	,137	,694	,907	,997	,318	,705	,015	,026	,004	,005	,387	,630

Gruppen \ Punkte	L_2_10	L_2_12	L_2_14	L_2_16	L_2_18	L_2_20	L_4_10	L_4_12	L_4_14	L_4_16	L_4_18	L_4_20
1 vs. 2	,015	,000	,000	,000	,000	,000	,012	,872	,000	,000	,000	,000
1 vs. 3	,010	,037	,000	,000	,000	,000	,062	,977	,000	,000	,000	,000
2 vs. 3	,829	,264	,957	,963	,999	,953	,518	,868	,658	,426	,456	,393

Gruppen \ Punkte	L_6_10	L_6_12	L_6_14	L_6_16	L_6_18	L_6_20	L_8_10	L_8_12	L_8_14	L_8_16	L_8_18	L_8_20
1 vs. 2	,722	,306	,026	,000	,000	,000	,001	,000	,112	,002	,000	,001
1 vs. 3	,163	,213	,159	,000	,000	,000	,030	,000	,007	,009	,000	,000
2 vs. 3	,414	,852	,336	,821	,433	,502	,285	,910	,354	,619	,779	,538

R/L_X_Y: R/L bezeichnet die rechte/linke Gaumenseite, X ist der Abstand in mm von der posterioren Wand des Foramen incisivum nach lateral, Y entspricht dem Abstand in mm von der Schmelz-Zement-Grenze des mittleren Schneidezahnes nach posterior; Gruppe 1 = 9-13 Jahre; Gruppe 2 = 14-18 Jahre; Gruppe 3 = 19-30 Jahre

Tab. 49: Ergebnisse des Wilcoxon-Tests zum Vergleich der rechten und linken Gaumenseite

Gruppen	1,4 und 6	3 und 5	2
Z	-1,455	-,608	-,841
Asymptotische Signifikanz	,146	,543	,400

Gruppe 1 = männlich, 9-13 Jahre; Gruppe 2 = weiblich, 9-13 Jahre; Gruppe 3 = männlich, 14-18 Jahre; Gruppe 4 = weiblich, 14-18 Jahre; Gruppe 5 = männlich, 19-30 Jahre; Gruppe 6 = weiblich, 19-30 Jahre

10.2 TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 1:	Eigenschaften einiger gängiger Minischrauben.....	14
Tab. 2:	Vergleich einiger effektiver Dosen D_{eff} in μSv aus den oben genannten Studien von DVT, CT, OPG und Sonstigem mit Angabe des zu Grunde gelegten ICRP-Standards.....	26
Tab. 3:	Technische Daten der verwendeten Geräte: i-CAT und MESANTIS <i>line30</i>	
Tab. 4:	Einteilung der Gruppen 1 bis 6 nach Alter in Jahren und Geschlecht mit Anzahl der ausgewerteten digitalen Volumentomogramme	35
Tab. 5:	Aufteilung der nach dem Geschlecht sortierten Gruppen und den nach Alter in Jahren sortierten Untergruppen	37
Tab. 6:	Aufteilung der nach dem DVT-Aufnahme-Alter in Jahren sortierten Gruppen	38
Tab. 7:	Ergebnisse der U-Tests nach Mann und Whitney zum Vergleich der sechs Patientengruppen.....	40
Tab. 8:	Deskriptive Statistik der Gruppe 1 (männlich/9-13 Jahre) mit dem Mittel-, Medianwert, der Standardabweichung SD und dem Minimum/Maximum pro Messpunkt.....	41
Tab. 9:	Deskriptive Statistik der Gruppe 2 (weiblich/9-13 Jahre) mit dem Mittel-, Medianwert, der Standardabweichung SD und dem Minimum/Maximum pro Messpunkt.....	42
Tab. 10:	Deskriptive Statistik der Gruppe 3 (männlich/14-18 Jahre) mit dem Mittel-, Medianwert, der Standardabweichung SD und dem Minimum/Maximum pro Messpunkt.....	43
Tab. 11:	Deskriptive Statistik der Gruppe 4 (weiblich/14-18 Jahre) mit dem Mittel-, Medianwert, der Standardabweichung SD und dem Minimum/Maximum pro Messpunkt.....	44
Tab. 12:	Deskriptive Statistik der Gruppe 5 (männlich/19-30 Jahre) mit dem Mittel-, Medianwert, der Standardabweichung SD und dem Minimum/Maximum pro Messpunkt.....	45

-
- Tab. 13: Deskriptive Statistik der Gruppe 6 (weiblich/19-30 Jahre) mit dem Mittel-, Medianwert, der Standardabweichung SD und dem Minimum/Maximum pro Messpunkt..... 46
- Tab. 14: Angabe des Anteils der DVTs der Gruppe 1 (♂ / 9-13 Jahre), bei denen an den verschiedenen Messpunkten (10-20 mm post. der Schmelz-Zement-Grenze der mittleren Schneidezähne und 0-8 mm lateral des For. inzisivum) $\geq 7,0$ mm Knochendicke ge-messen wurde..... 48
- Tab. 15: Angabe des Anteils der DVTs der Gruppe 1 (♂ / 9-13 Jahre), bei denen an den verschiedenen Messpunkten (10-20 mm post. der Schmelz-Zement-Grenze der mittleren Schneidezähne und 0-8 mm lateral des For. inzisivum) $\geq 9,0$ mm Knochendicke ge-messen wurde..... 48
- Tab. 16: Angabe des Anteils der DVTs der Gruppe 2 (♀ / 9-13 Jahre), bei denen an den verschiedenen Messpunkten (10-20 mm post. der Schmelz-Zement-Grenze der mittleren Schneidezähne und 0-8 mm lateral des For. inzisivum) $\geq 7,0$ mm Knochendicke ge-messen wurde..... 48
- Tab. 17: Angabe des Anteils der DVTs der Gruppe 2 (♀ / 9-13 Jahre), bei denen an den verschiedenen Messpunkten (10-20 mm post. der Schmelz-Zement-Grenze der mittleren Schneidezähne und 0-8 mm lateral des For. inzisivum) $\geq 9,0$ mm Knochendicke ge-messen wurde..... 49
- Tab. 18: Angabe des Anteils der DVTs der Gruppe 3 (♂ / 14-18 Jahre), bei denen an den verschiedenen Messpunkten (10-20 mm post. der Schmelz-Zement-Grenze der mittleren Schneidezähne und 0-8 mm lateral des For. inzisivum) $\geq 7,0$ mm Knochendicke ge-messen wurde..... 49
- Tab. 19: Angabe des Anteils der DVTs der Gruppe 3 (♂ / 14-18 Jahre), bei denen an den verschiedenen Messpunkten (10-20 mm post. der Schmelz-Zement-Grenze der mittleren Schneidezähne und 0-8 mm lateral des For. inzisivum) $\geq 9,0$ mm Knochendicke ge-messen wurde..... 49
- Tab. 20: Angabe des Anteils der DVTs der Gruppe 4 (♀ / 14-18 Jahre), bei denen an den verschiedenen Messpunkten (10-20 mm post. der Schmelz-Zement-Grenze der mittleren Schneidezähne und 0-8 mm lateral des For. inzisivum) $\geq 7,0$ mm Knochendicke ge-messen wurde..... 50

-
- Tab. 21: Angabe des Anteils der DVTs der Gruppe 4 (♀ / 14-18 Jahre), bei denen an den verschiedenen Messpunkten (10-20 mm post. der Schmelz-Zement-Grenze der mittleren Schneidezähne und 0-8 mm lateral des For. inzisivum) $\geq 9,0$ mm Knochendicke ge-messen wurde..... 50
- Tab. 22: Angabe des Anteils der DVTs der Gruppe 5 (♂ / 19-30 Jahre), bei denen an den verschiedenen Messpunkten (10-20 mm post. der Schmelz-Zement-Grenze der mittleren Schneidezähne und 0-8 mm lateral des For. inzisivum) $\geq 7,0$ mm Knochendicke ge-messen wurde..... 50
- Tab. 23: Angabe des Anteils der DVTs der Gruppe 5 (♂ / 19-30 Jahre), bei denen an den verschiedenen Messpunkten (10-20 mm post. der Schmelz-Zement-Grenze der mittleren Schneidezähne und 0-8 mm lateral des For. inzisivum) $\geq 9,0$ mm Knochendicke ge-messen wurde..... 51
- Tab. 24: Angabe des Anteils der DVTs der Gruppe 6 (♀ / 19-30 Jahre), bei denen an den verschiedenen Messpunkten (10-20 mm post. der Schmelz-Zement-Grenze der mittleren Schneidezähne und 0-8 mm lateral des For. inzisivum) $\geq 7,0$ mm Knochendicke ge-messen wurde..... 51
- Tab. 25: Angabe des Anteils der DVTs der Gruppe 6 (♀ / 19-30 Jahre), bei denen an den verschiedenen Messpunkten (10-20 mm post. der Schmelz-Zement-Grenze der mittleren Schneidezähne und 0-8 mm lateral des For. inzisivum) $\geq 9,0$ mm Knochendicke ge-messen wurde..... 51
- Tab. 26: Deskriptive Statistik der männlichen Patienten mit dem Mittel-, Medianwert, der Standardabweichung SD und dem Minimum/Maximum pro Messpunkt..... 53
- Tab. 27: Deskriptive Statistik der weiblichen Patienten mit dem Mittel-, Medianwert, der Standardabweichung SD und dem Minimum/Maximum pro Messpunkt
54
- Tab. 28: Angabe des Anteils der DVTs der männlichen Patienten, bei denen an den verschiedenen Messpunkten (10-20 mm post. der Schmelz-Zement-Grenze der mittleren Schneidezähne und 0-8 mm lateral des For. inzisivum) $\geq 7,0$ mm Knochendicke ge-messen wurde..... 55

Tab. 29:	Angabe des Anteils der DVTs der männlichen Patienten, bei denen an den verschiedenen Messpunkten (10-20 mm post. der Schmelz-Zement-Grenze der mittleren Schneidezähne und 0-8 mm lateral des For. inzisivum) $\geq 9,0$ mm Knochendicke ge-messen wurde.....	55
Tab. 30:	Angabe des Anteils der DVTs der weiblichen Patienten, bei denen an den verschiedenen Messpunkten (10-20 mm post. der Schmelz-Zement-Grenze der mittleren Schneidezähne und 0-8 mm lateral des For. inzisivum) $\geq 7,0$ mm Knochendicke ge-messen wurde.....	55
Tab. 31:	Angabe des Anteils der DVTs der weiblichen Patienten, bei denen an den verschiedenen Messpunkten (10-20 mm post. der Schmelz-Zement-Grenze der mittleren Schneidezähne und 0-8 mm lateral des For. inzisivum) $\geq 9,0$ mm Knochendicke ge-messen wurde.....	56
Tab. 32:	Zusammenfassung der Ergebnisse des U-Tests nach Mann und Whitney zum Vergleich der 3 Altersgruppen	56
Tab. 33:	Deskriptive Statistik der Altersgruppe 1 (9-13 Jahre) mit dem Mittel-, Medianwert, der Standardabweichung SD und dem Minimum/Maximum pro Messpunkt.....	57
Tab. 34:	Deskriptive Statistik der Altersgruppe 2 (14-18 Jahre) mit dem Mittel-, Medianwert, der Standardabweichung SD und dem Minimum/Maximum pro Messpunkt.....	58
Tab. 35:	Deskriptive Statistik der Altersgruppe 3 (19-30 Jahre) mit dem Mittel-, Medianwert, der Standardabweichung SD und dem Minimum/Maximum pro Messpunkt.....	59
Tab. 36:	Angabe des Anteils der DVTs der Altersgruppe 1 (9-13 Jahre), bei denen an den verschiedenen Messpunkten (10-20 mm post. der Schmelz-Zement-Grenze der mittleren Schneidezähne und 0-8 mm lateral des For. inzisivum) $\geq 7,0$ mm Knochendicke ge-messen wurde.....	61
Tab. 37:	Angabe des Anteils der DVTs der Altersgruppe 1 (9-13 Jahre), bei denen an den verschiedenen Messpunkten (10-20 mm post. der Schmelz-Zement-Grenze der mittleren Schneidezähne und 0-8 mm lateral des For. inzisivum) $\geq 9,0$ mm Knochendicke ge-messen wurde.....	61

Tab. 38:	Angabe des Anteils der DVTs der Altersgruppe 2 (14-18 Jahre), bei denen an den verschiedenen Messpunkten (10-20 mm post. der Schmelz-Zement-Grenze der mittleren Schneidezähne und 0-8 mm lateral des For. inzisivum) $\geq 7,0$ mm Knochendicke ge-messen wurde.....	61
Tab. 39:	Angabe des Anteils der DVTs der Altersgruppe 2 (14-18 Jahre), bei denen an den verschiedenen Messpunkten (10-20 mm post. der Schmelz-Zement-Grenze der mittleren Schneidezähne und 0-8 mm lateral des For. inzisivum) $\geq 9,0$ mm Knochendicke ge-messen wurde.....	62
Tab. 40:	Angabe des Anteils der DVTs der Altersgruppe 3 (19-30 Jahre), bei denen an den verschiedenen Messpunkten (10-20 mm post. der Schmelz-Zement-Grenze der mittleren Schneidezähne und 0-8 mm lateral des For. inzisivum) $\geq 7,0$ mm Knochendicke ge-messen wurde.....	62
Tab. 41:	Angabe des Anteils der DVTs der Altersgruppe 3 (19-30 Jahre), bei denen an den verschiedenen Messpunkten (10-20 mm post. der Schmelz-Zement-Grenze der mittleren Schneidezähne und 0-8 mm lateral des For. inzisivum) $\geq 9,0$ mm Knochendicke ge-messen wurde.....	62
Tab. 42:	Ergebnisse des Wilcoxon-Tests zum Vergleich der rechten und linken Gaumenseite.....	63
Tab. 43:	Ergebnisse des Tests auf Normalverteilung durch den Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest.....	96
Tab. 44:	Ergebnisse des H-Tests nach Kruskal und Wallis zum Vergleich der sechs Patientengruppen.....	97
Tab. 45:	P-Werte des U-Tests nach Mann und Whitney zum Vergleich der Patientengruppen untereinander.....	97
Tab. 46:	P-Werte des U-Tests nach Mann und Whitney zum Vergleich der männlichen und weiblichen Patientengruppen.....	99
Tab. 47:	Ergebnisse des H-Tests nach Kruskal und Wallis zum Vergleich der drei Altersgruppen.....	100
Tab. 48:	P-Werte des U-Tests nach Mann und Whitney zum Vergleich der Altersgruppen untereinander.....	101

Tab. 49: Ergebnisse des Wilcoxon-Tests zum Vergleich der rechten und linken Gaumenseite.....	101
--	-----

10.3 ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1:	Ansicht des knöchernen harten Gaumens von oral [Gutwald et al. 2010]. Abdruck mit freundlicher Genehmigung des Deutschen Ärzte-Verlages GmbH, Köln.....	3
Abb. 2:	Ansicht des knöchernen harten Gaumens von nasal [Gutwald et al. 2010]. Abdruck mit freundlicher Genehmigung des Deutschen Ärzte-Verlages GmbH, Köln.....	3
Abb. 3:	Ansicht des harten und weichen Gaumens von oral [Gutwald et al. 2010]. Abdruck mit freundlicher Genehmigung des Deutschen Ärzte-Verlages GmbH, Köln. *Öffnungen der Gaumendrüsen, Glandulae palatinae.....	4
Abb. 4:	Schleimhautzonen am Beispiel eines zahnlosen Oberkiefers [Lehmann et al. 2012]. Abdruck mit freundlicher Genehmigung des Deutschen Ärzte- Verlages GmbH, Köln.....	5
Abb. 5:	Durchschnittliches präpuberales Wachstumsminimum, puberales Wachstumsmaximum und Vollendung des körperlichen Längen- wachstums und des suturalen Wachstums des oberen Gesichts in der sagittalen Ebene [nach Björk 1964]. CM=Zentimeter.....	7
Abb. 6:	Schematische Zeichnung des Aufbaus eines computertomografischen Gerätes und des Strahlen-gangs.....	21
Abb. 7:	Schematische Zeichnung des Aufbaus eines digitalen Volumentomografen und des Strahlenganges.....	22
Abb. 8:	Schematische Darstellung der auf dem Gaumen befindlichen Referenz- und Messpunkte.....	31
Abb. 9:	Screenshot eines DVT-Schnittbildes in der Horizontalebene zur Festlegung der Mediansagittalen zur Bestimmung des Referenzpunktes an der knöchernen Wand des Foramen inzisivum.....	31
Abb. 10:	Screenshot eines DVT-Schnittbildes in der Mediansagittalebene zur Festlegung des Referenzpunktes an der posterioren knöchernen Wand des Foramen inzisivum.....	32

-
- Abb. 11: Screenshot in der Sagittalebene mit Referenzpunkt an der Schmelz-Zement-Grenze des mittleren oberen Schneidezahnes und einer beispielhaften Knochendickenmessung 14,0 mm posterior-kranial dieses Referenzpunktes, senkrecht zur Knochenoberfläche..... 32
- Abb. 12: Beispielhafte Darstellung einer Gauß'schen Glockenkurve anhand einer Standardnormalverteilung 35
- Abb. 13: Farbcodierung des Knochenangebotes in mm 10-20 mm posterior der Schmelz-Zement-Grenze der mittleren Schneidezähne und 0-8 mm lateral des Foramen incisivum der Patientengruppen 1 bis 6 anhand des Medianwertes 47
- Abb. 14: Farbcodierung des Knochenangebotes in mm, 10-20 mm posterior der Schmelz-Zement-Grenze der mittleren Schneidezähne und 0-8 mm lateral des Foramen incisivum der männlichen und weiblichen Patienten anhand der Medianwerte..... 52
- Abb. 15: Farbcodierung des Knochenangebotes in mm 10-20 mm posterior der Schmelz-Zement-Grenze der mittleren Schneidezähne und 0-8 mm lateral des Foramen incisivum der Altersgruppen 1 bis 3 anhand der Medianwerte 60

10.4 DANKSAGUNG

Für die Überlassung des Themas sowie das mir entgegengebrachte Vertrauen, möchte ich mich ganz herzlich bei Herrn Prof. Dr. P.-G. Jost-Brinkmann bedanken.

Mein herzlichster Dank gilt Prof. Dr. A. Bumann für die wissenschaftliche Betreuung und Unterstützung bei der Planung und Ausführung dieser Arbeit sowie für die Bereitstellung der technischen Mittel, des Bildmaterials und der benötigten Patientendaten.

PD Dr. Dr. W. Hopfenmüller danke ich für die freundliche und hilfreiche Unterstützung bei allen statistischen Fragen.

Weiterhin möchte ich mich bei den Mitarbeitern von MESANTIS für ihre Unterstützung und technische Hilfe bedanken.

Bei meinen Eltern möchte ich mich ganz herzlich dafür bedanken, dass sie mich nicht nur finanziell, sondern auch moralisch immer unterstützt und mir den Rücken gestärkt haben.

Mein ganz besonderer Dank gebührt Marc, der mich in jeder Phase meines Studiums und der Entstehung dieser Arbeit motiviert und liebevoll unterstützt hat und immer für mich da war.

10.5 LEBENSLAUF

Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.

10.6 EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

„Ich, Maike Holm, geb. Bornhäußer, erkläre, dass ich die vorgelegte Dissertationsschrift mit dem Thema: „Knochenangebot für kieferorthopädische Minischrauben im vorderen Gaumen“, selbst verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt, ohne die (unzulässige) Hilfe Dritter verfasst und auch in Teilen keine Kopien anderer Arbeiten dargestellt habe.“

Datum: 17.06.2012

Unterschrift:
