

Aus dem Institut MESANTIS 3D DENTAL-RADIOLOGIE Berlin

## **DISSERTATION**

# **Quantitative Untersuchungen zur Prävalenz von dentoalveolären Dehiszenzen in Abhängigkeit von Zahn- und Kieferfehlstellungen**

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

vorgelegt der Medizinischen Fakultät  
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Johannes Weigang

aus Greifswald

Datum der Promotion: 27.02.2015

## **Inhaltsverzeichnis**

1 Einleitung	7
1.1 Aufbau des Parodonts	7
1.2 Kieferorthopädische Fehlstellungen	10
1.2.1 Begriffserklärung	10
1.2.2 Angle Klasse I	11
1.2.3 Angle Klasse II/1	12
1.3 Defekte des Alveolarknochens	12
1.4 Digitale Volumentomographie (DVT)	15
2 Fragestellung	22
3 Material und Methoden	24
3.1 Allgemeine Material und Methoden	24
3.1.1 Patientengut	24
3.1.2 DVT-Aufnahmen	25
3.1.3 Auswertungssoftware und Befundungsmonitor	27
3.1.4 Allgemeine Messmethodik	27
3.2 Spezielle Methoden	32
3.2.1 Dehiszenzen in Abhängigkeit von der Angle-Klasse	32
3.2.2 Vergleich oraler und vestibulärer Dehiszenzen	32
3.2.3 Dehiszenzen in Abhängigkeit von der Zahnangulation	32
3.2.4 Dehiszenzen in Abhängigkeit zum Alter des Patienten	36
3.2.5 Dehiszenzen in Abhängigkeit zum Geschlecht des Patienten	36
3.2.6 Dehiszenzen in Abhängigkeit zur Lokalisation im Zahnbogen	36
3.2.7 Dehiszenzen in Abhängigkeit Kiefer	36
3.3 Reproduzierbarkeit der Messmethodik	37
3.4 Statistische Auswertung	37
3.4.1 Microsoft Excel	39
3.4.2 SPSS Version 20	40

4	Ergebnisse	41
4.1	Dehiszenzen in Abhängigkeit von der Angle-Klasse	41
4.2	Vergleich oraler und vestibulärer Dehiszenzen	47
4.3	Dehiszenzen in Abhängigkeit von der Zahnangulation	49
4.4	Dehiszenzen in Abhängigkeit vom Alter des Patienten	52
4.5	Dehiszenzen in Abhängigkeit vom Geschlecht des Patienten	54
4.6	Dehiszenzen in Abhängigkeit von der Lokalisation im Zahnbogen	56
4.7	Dehiszenzen in Abhängigkeit zum Kiefer	60
5	Diskussion	64
5.1	Diskussion der Methoden	64
5.1.1	Diskussion der Materialien und des Patientenguts	64
5.1.2	Diskussion der Messverfahren	65
5.2	Diskussion der Ergebnisse	67
5.2.1	Dehiszenzen in Abhängigkeit zur Angle Klasse	67
5.2.2	Vergleich oraler und vestibulärer Dehiszenzen	70
5.2.3	Dehiszenzen in Abhängigkeit zur Angulation	70
5.2.4	Dehiszenzen in Abhängigkeit zum Alter des Patienten	71
5.2.5	Dehiszenzen in Abhängigkeit zum Geschlecht des Patienten	72
5.2.6	Dehiszenzen in Abhängigkeit von der Lokalisation im Zahnbogen	72
5.2.7	Dehiszenzen in Abhängigkeit zum Kiefer	73
5.3	Schlussfolgerungen	74
6	Literaturverzeichnis	77
7	Eidesstattliche Erklärung	87
8	Lebenslauf	88
9	Danksagung	89
10	Anhang	90
10.1	Abbildungsverzeichnis	90
10.2	Tabellenverzeichnis	94

## Abstrakt

**Problemstellung:** Die vorliegende Studie untersuchte das quantitative Ausmaß knöcherner Dehiszenzen im Zusammenhang mit den kieferorthopädischen Fehlstellungen der Angle Klasse I und Angle Klasse II/1. Des Weiteren wurde der Einfluss von Parametern wie: Position der Dehiszenz (vestibulär/oral, Frontzahn-/Seitenzahnsegment, Oberkiefer/Unterkiefer), Angulation des Zahnes sowie Alter und Geschlecht des Patienten untersucht.

**Material und Methoden:** Zur Vermessung wurden 149 anonymisierte DVT-Datensätze aus der Datenbank des MESANTIS® 3D DENTAL-RADIOLOGICUMS herangezogen. Diese waren unterteilt in prätherapeutische Aufnahmen von Patienten mit Angle Klasse I (n=75) und Angle Klasse II/1 (n=74). Mit Hilfe der 3D-Imaging-Software InVivo 5 (Anatomage Inc., San Jose, Californien) wurde jedes DVT einzeln analysiert. Die reproduzierbare Vermessung der Dehiszenzen erforderte eine streng standardisierte Ausrichtung des einzelnen Zahnes entlang der Zahnachse. Zur Bestimmung der Zahnangulation wurde zunächst der gesamte Datensatz anhand der Okklusalebene ausgerichtet um anschließend den Winkel zu den Zahnachsen zu vermessen. Zur statistischen Auswertung kam der t-Test für unabhängige Stichproben zum Einsatz. Der Zusammenhang zwischen Angulation und Dehiszenz konnte durch den Korrelationskoeffizienten nach Spearman beschrieben werden. Zusätzlich wurde die Korrelationsanalyse nach Pearson verwendet.

**Ergebnisse:** Patienten mit Angle Klasse II/1 wiesen signifikant mehr ( $p=.003$ ) und ausgeprägtere Dehiszenzen auf als Patienten mit Angle Klasse I (Mittelwerte:  $l=1,99 \text{ mm} < ll/1=2,25 \text{ mm}$ ) ( $p<.008$ ). Vestibulär waren die Dehiszenzen ausgeprägter als oral (Mittelwerte:  $v=2,20 \text{ mm} > o=2,05 \text{ mm}$ ) ( $p<.008$ ). Es bestand kein signifikanter Zusammenhang zwischen der Zahnangulation und dem Ausmass der Dehiszenzen. Der positive Zusammenhang mit dem Alter war hingegen mit  $p<.001$  hoch signifikant. Frauen zeigten eindeutig ausgeprägtere Dehiszenzen ( $p<.001$ ) als Männer (Mittelwerte:  $w=2,18 \text{ mm} > m=2,10 \text{ mm}$ ). Aussagen hinsichtlich Front- und Seitenzahnsegment ließen sich erst nach weiter Differenzierung zwischen Ober- und Unterkiefer treffen. Im Oberkiefer wurden signifikant ( $p<.001$ ) höhere Dehiszenzen im Seitenzahnggebiet gefunden (Mittelwerte:  $OK= 2,22 \text{ mm} > UK=2,04 \text{ mm}$ ). Im Unterkiefer zeigte das Frontzahnsegment signifikant ( $p=.001$ ) höhere Werte auf (Mittelwerte:  $OK= 2,07$

mm < UK= 2,15 mm). Patienten der Angle Klasse II/1 wiesen in diesen Segmenten stets höhere Werte auf als Patienten der Angle Klasse I. Patienten der Angle Klasse I konnten im Unterkiefer kein signifikantes Ergebnis erzielen. Patienten der Angle Klasse II/1 hingegen zeigten statistisch hoch signifikant ( $p < .001$ ) höhere Werte im Frontzahnsegment auf.

**Schlussfolgerung:** Mit Hilfe dieser Studie wurde der Einfluss von kieferorthopädischen Fehlstellungen, wie der Angle Klasse II/1, auf das Parodont experimentell nachgewiesen. Es verursacht nicht nur mehr, sondern auch höhere Dehiszenzen. Die Differenzierung in 4.6 gibt Aufschluss über die Segmente mit der größten pathologischen Belastung. Prätherapeutische Diagnostik mittels DVT ist anzuraten.

## **Abstract**

**Introduction:** The aim of this study was to evaluate the quantitative influence of orthodontic tooth displacements (angle class I and angle class II/2) on periodontal bonelevel changes. Additionally other parameters as age, gender, tooth angulation and position in the jaw (vestibular/oral; anterior tooth area/ lateral tooth area) were evaluated.

**Materials and methods:** 74 angle class II/1 and 75 angle class I pretreatment cone beam scans of the MESANTIS® 3D institute have been observed. The measurements were performed by using the 3D-imaging software InVivo 5 (Anatomage Inc., San Jose, Californien). Reproducible measurements were guaranteed by adjusting the section of measurement alongside the tooth axis. To quantify the tooth angulation the occlusal plain had to be defined as a reference. Afterwards the angles between tooth axis and occlusal plain were measured. The statistical analysis mostly consisted of t-tests for independent samples. The Spearman correlation coefficient was used to investigate the connection between tooth angulation and periodontal dehiscence. The Pearson correlation was used as well.

**Results:** On basis of this sample the hypothesis that angle II/1 malposition is related to smaller dehiscences than angle class I can be rejected. Patients associated to angle class II/1 presented statistically significant more ( $p = .003$ ) and higher ( $p = .008$ ) dehiscences than patients of the angle class I (average value: class I = 1,99 mm < class II/1 = 2,15 mm). The vestibular parodontium showed

significant higher dehiscences than the oral parodontium (average value:  $v=2,20$  mm  $>$   $o=2,05$  mm) ( $p<.008$ ). Concerning the tooth angulation no statistically significant result could be found. Positive correlations could be found regarding to age ( $p<.001$ ) and the extent of dehiscences. Furthermore the analysis of this sample resulted in a high significant fact, that women have bigger periodontal defects than men. Observing the complete patient material higher defects could be found in the side tooth area (average value:  $sta=2,14$  mm  $>$   $fta=2,10$  mm) ( $p.008$ ). In the upper jaw the side tooth area still showed bigger dehiscences than the front tooth area (average value:  $sta=2,22$  mm  $>$   $fta=2,04$  mm) ( $p<.001$ ). But in the lower jaw the front tooth area presents bigger dehiscences than the side tooth area (average value:  $sta=2,07$  mm  $<$   $fta=2,15$  mm) ( $p=.001$ ).

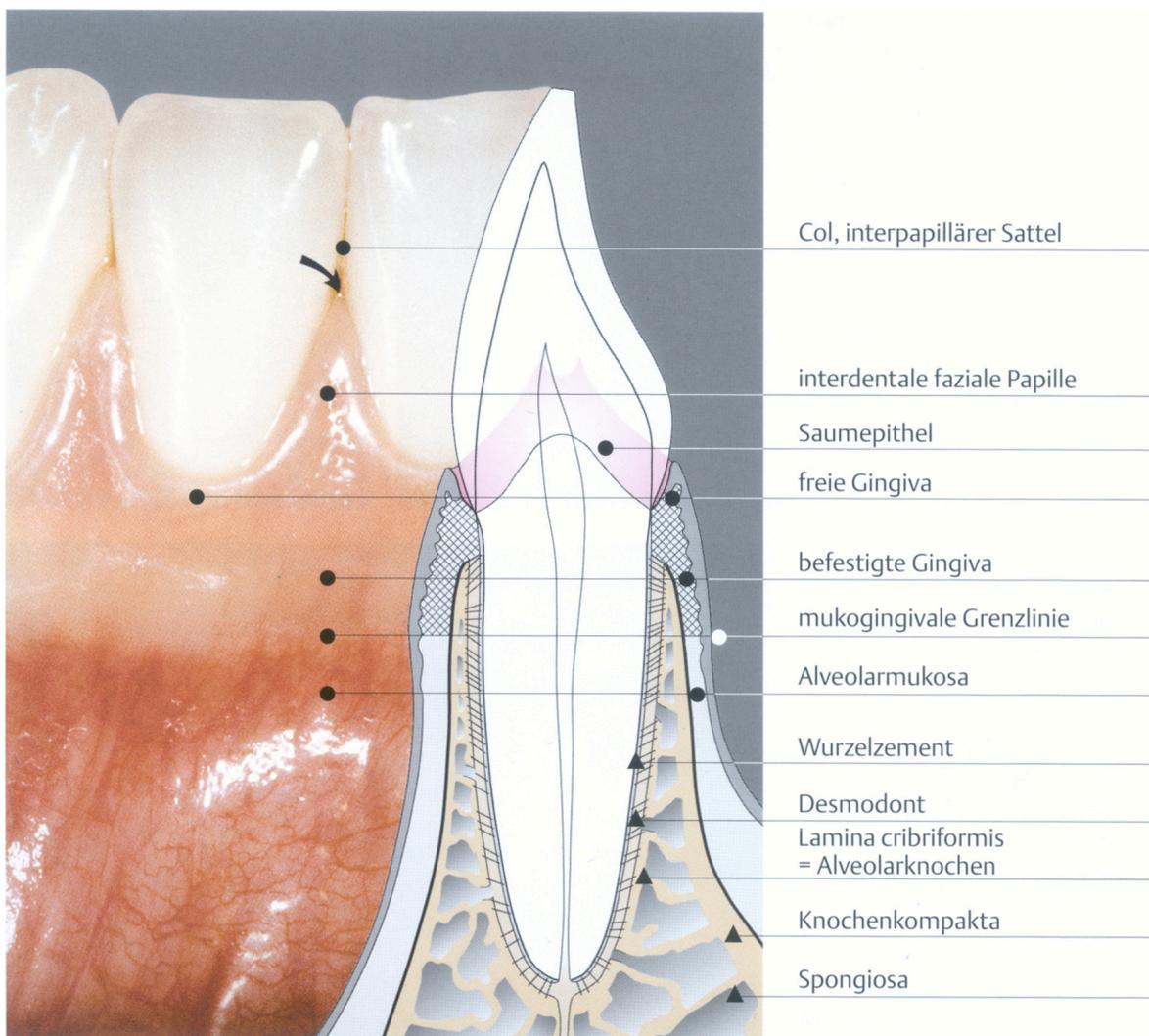
**Conclusions:** Within this study the influence of orthodontic malpositions like angle class II/1 on periodontal bone was experimentally verified. It causes not only more, but also bigger dehiscences. The itemization in 4.6 gives hints on the periodontal areas with the most pathological burden. Pretreatment diagnostic employing cone beam scans is indicated.

# 1 Einleitung

## 1.1 Aufbau des Parodonts

Das Parodontium ist eine funktionelle, biologische und entwicklungsgeschichtliche Einheit von vier Hart- und Weichgeweben. Es werden alle Gewebsanteile dazu gerechnet, welche den Zahn in der Alveole des Kieferknochens verankern. Dazu zählen Wurzelzement, die Wurzelhaut (Desmodont), der Alveolarknochen selbst und das Zahnfleisch (Gingiva).

Die Hauptaufgaben des Parodonts sind die Verankerung des Zahnes im Knochen, die Dämpfung der mastikatorischen Kräfte, die immunologische Abwehr sowie die Sicherung der Oberflächenkontinuität (1).



**Abb. 1** Aufbau des Parodonts (2)

### Alveolarknochen:

Der Alveolarknochen befindet sich in den Procusculus alveolaria des Ober- und Unterkiefers. Er bildet den knöchernen Stützapparat des Parodonts. Seine Bildung beginnt mit dem Zahndurchbruch. Nach Zahnverlust atrophiert der betroffene Teil des Alveolarknochens wieder (3, 4). In der Zeit zwischen Zahndurchbruch und Zahnverlust unterliegt der Alveolarknochen ständigen Umbauvorgängen durch Osteoblasten und Osteoklasten. Er passt sich den funktionellen Belastungen an. Strukturell lassen sich die innere Spongiosa und die außen liegende, den Alveolarfortsatz bedeckende Kompakta unterscheiden. Marginal läuft der Alveolarknochen im sogenannten Limbus alveolaris aus. Diese Struktur kann vor allem vestibulär sehr dünn auslaufen und nicht mehr von einer spongiösen Schicht unterlegt sein. Dieser Bereich ist es auch in dem knöchernen Defekte wie Fenestrationsen und Dehiszenzen am häufigsten beschrieben werden (2).

### Wurzelzement:

Der Wurzelzement bedeckt die Wurzeloberfläche von der Schmelz-Zement-Grenze (SZG) bis zur Wurzelspitze manschettenartig und geht noch ein kleines Stück in den Wurzelkanal über. Morphologisch lassen sich azelluläres, afibrilläres Zement (AAZ) im Bereich der SZG, azelluläres Fremdfaserzement (AFZ) im oberen Wurzeldrittel, zelluläres Eigenfaserzement (ZEE) im mittleren, apikalen und furkalen Bereich, und zelluläres Gemischtfaserzement (ZGZ) im apikalen und furkalen Bereich unterscheiden. Das AAZ besteht aus verkalkter Grundsubstanz mit 60% anorganischer Matrix. Diese Grundmatrix wird beim AFZ von einstrahlenden Kollagenfibrillen (Sharpey'schen Fasern) durchzogen. Das ZEE enthält Zementocyten und stärker ausgebildete Kollagenfibrillen, welche kontinuierlich in die Fasern des Desmodonts übergehen. Das ZGZ ist eine Mischung aus AFZ und ZEE. Das Wurzelzement dient vornehmlich zur Verankerung der desmodontalen Fasern am Zahn. Besonderen Anteil daran trägt der AFZ und sein Anteil im ZGZ. Es reagiert empfindlich auf Druck- und Zugbeanspruchung. Bei vitalem Desmodont bleibt die Fähigkeit der Zementogenese ein Leben lang erhalten (2, 5-7).

### Desmodont:

Die so genannte Wurzelhaut oder periodontal ligament füllt den Spalt zwischen Zement und Alveolarknochen (0,15 bis 0,2 mm). Sie enthält straffe Fasern aus derben Kollagenfibrillen (Sharpey'sche Fasern), welche den Zahn in seiner Alveole elastisch aufhängen. Zusätzlich enthält es Gefäße, Nerven und Zellen, eingebettet in zartes Bindegewebe. Die Sharpey'schen Fasern gehen fließend in die kollagenen Fasern des Alveolarknochens und des Zements über. Ihr Verlauf ist vorwiegend schräg zur Wurzelspitze gerichtet, um die auftretenden Kaukräfte abzufangen. Im Bereich des Zahnhalses und der Wurzelspitze verlaufen sie jedoch schräg koronal, um Extrusionsbewegungen vorzubeugen. Die Blutgefäße des Desmodonts sind teilweise zu Knäueln zusammengeballt (Wedlsche Gefäßknäuel) und verfolgen so ebenfalls eine Pufferfunktion. Die peripheren Nerven der Wurzelhaut vermitteln den Tastsinn des Zahnes. Ebenso schützen Sie die Zähne mittels eines Reflexbogens vor Überbelastung. Zusätzlich zu diesen Aufgaben ist auch die Bildung und Ernährung des Wurzelzements auf das Desmodont zurückzuführen (2, 5).

### Gingiva:

Das Zahnfleisch (gingiva propria) ist der zum Parodont gehörende Teil der Mundschleimhaut. Bis auf den Zahnfleischsaum ist es unverschiebbar mit dem Alveolarknochen verwachsen und verläuft in gesundem Zustand arkadenförmig zervikal entlang der Zahnkronen. Man unterscheidet zwischen dem Zahnfleischsaum, der den knöchernen Limbus um 2 bis 3 mm überragt, den Interdentalpapillen und der befestigten Gingiva, welche an der muko-gingivalen Grenze in die Mucosa vestibularis übergeht. Eine Ausnahme bieten die palatinalen Bereiche des Oberkiefers, wo die befestigte Gingiva sofort in das Oberflächenepithel der Gaumenschleimhaut übergeht.

Die Gingiva besteht aus drei unterschiedlichen Gewebeanteilen: Dem oralen Epithel, dem Saumepithel und der Lamina propria. Das Saumepithel ist ein unverhorntes Plattenepithel, welches die Zahnfleischfurche zum Zahn hin auskleidet und am sogenannten Epithelansatz mittels Hemidesmosomen mit dem Zahn verbunden ist. Es sichert die Kontinuität der Oberfläche und hat gleichzeitig eine wichtige immunologische Funktion. Wichtige Mechanismen der Gesunderhaltung des Parodonts sind eine gute Permeabilität für körpereigene

Abwehrstoffe und gleichzeitig eine schlechtere Permeabilität für Stoffwechselprodukte diverser Bakterien der oralen Plaque (1, 2, 8).

## **1.2 Kieferorthopädische Fehlstellungen**

### **1.2.1 Begriffserklärung**

Zahn- und Kieferfehlstellungen sind alle Stellungen, die von einer eugnathen Form abweichen und dadurch ästhetisch negativ auffallen, oder eine okklusale Dysfunktionen bewirken. Die ideale Form (Eugnathie) hat Andrews in den „sechs Schlüsseln zur Okklusion“ beschrieben.

Mögliche Formen von Fehlstellungen sind Engstand, Lücken, Einzelzahnabweichungen, abweichende Größe der Kieferbasen und abweichende Einlagerung der Kieferbasen in den Schädel.

Es können dentale und skeletale Fehlstellungen unterschieden werden. Ebenso können diese in Kombination auftreten und sich gegenseitig bedingen.

Skeletale Fehlstellungen beruhen auf Lageanomalien des Ober- und Unterkiefers zueinander.

Dentale Fehlstellungen sind lediglich als lokale Kippstellungen, sogenannte dentoalveoläre Fehlstellungen definiert, welche sich nur auf den alveolären Bereich beziehen.

Zur Bewertung der Ausprägung der Fehlstellung und der daraus folgenden Behandlungsbedürftigkeit wurden in verschiedenen Ländern eine Reihe von Indizes eingeführt.

1. Index of Orthodontic Treatment Need (IOTN)
2. Index for need of orthodontic treatment
3. Orthodontic Treatment Priority Index
4. Malocclusion Treatment Severity Index (MTSI)
5. Index nach Eismann
6. Peer Assessment Rating (PAR-Index)

In Deutschland hat der Bundesausschuss für Zahnärzte und Krankenkassen (KIG) 2003 festgelegt, in welchen Fällen die Behandlungsbedürftigkeit für Kinder und Jugendliche so groß ist, dass die Krankenkasse die Kosten übernimmt (9).

Eine mögliche Einteilung der kieferorthopädischen Fehlstellungen wurde zu Beginn des 19. Jahrhundert durch den US-amerikanischen Kieferorthopäden

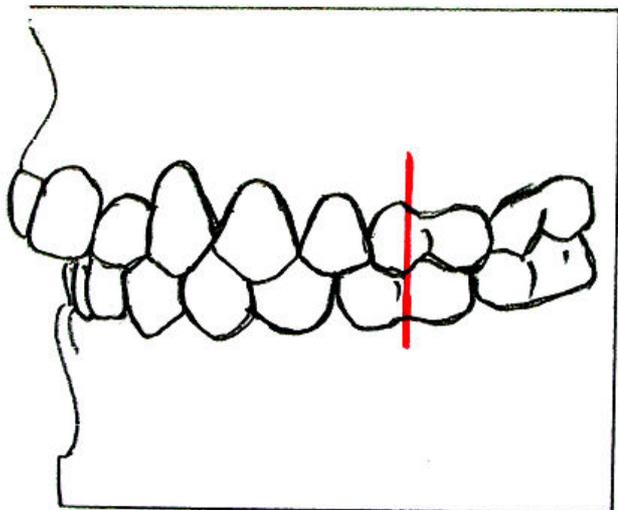
Edward Hartley Angle eingeführt. Er ging dabei von der Okklusionsbeziehung der Sechsjahresmolaren aus und zog dadurch Rückschlüsse auf die Lagebeziehung der Kiefer zueinander. Als zusätzliches Kriterium wird die Angulation der Frontzähne herangezogen. In dieser Studie beschäftigen wir uns nur mit Angle Klasse I und angle Klasse II/1, die im Folgenden definiert werden.

### 1.2.2 Angle Klasse I

Die erste Angle-Klassifikation entspricht dem Regel- oder Normalbiss mit einer idealen Okklusion.

Ober- und Unterkiefer sind neutrogen miteinander verzahnt.

Die Angle Klasse 1 ist dadurch charakterisiert, dass die untere Eckzahnspitze mit ihrer distalen Kante etwas vor der mesialen Kante des oberen Eckzahnes liegt. Ebenso greift der mesiobukkale Höcker des oberen Sechsjahresmolaren in die Querfissur des unteren Sechsjahresmolaren (10).

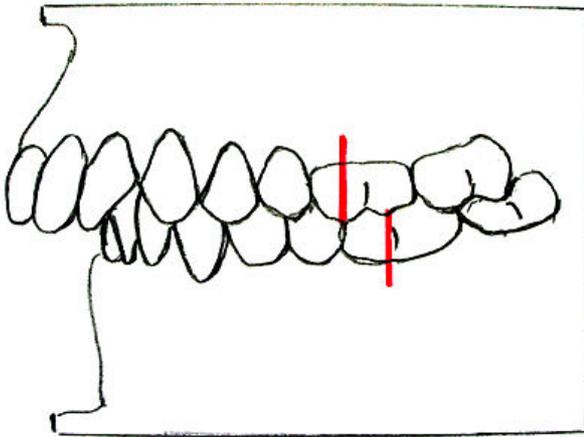


**Abb. 2** Schematische Darstellung der Verzahnung bei Angle Klasse I (11)

### 1.2.3 Angle Klasse II/1

Unter der Angle Klasse II/1 versteht man den Distalbiss mit Anteinklination der Oberkieferfront.

Der mesiobukkale Höcker des oberen Sechsjahresmolaren steht mesial der Querfissur des unteren Sechsjahresmolaren. Es besteht eine erhöhte sagittale Frontzahnstufe (>5 mm) und die Oberkieferfrontzähne sind anteinkliniert. In den meisten Fällen liegt ebenfalls eine Rücklage des Unterkiefers vor (Retrogenie) (10).



**Abb. 3** Schematische Darstellung der Verzahnung bei Angle Klasse II/1 (12)

### 1.3 Defekte des Alveolarknochens

Diese Studie beschäftigt sich mit der Untersuchung vestibulärer und oraler Knochendefekte, speziell den Dehiszenzen. Diese können von den Fenestrationen unterschieden werden, welche Öffnungen des Alveolarknochens darstellen, jedoch in ihrer ganzen Ausdehnung von Knochen umgeben sind. Dehiszenzen sind im Gegensatz lediglich Einziehungen des Alveolarknochens in apikaler Richtung (13). Die Prävalenz von knöchernen Defekten ist schon seit vielen Jahren Gegenstand von klinischen Studien. Urbani et al. untersuchten 1991 90 Schädel von italienischen und österreichischen Männerleichen auf das Vorkommen und die Häufigkeit von Dehiszenzen und Fenestrationen. An den 2205 Zähnen zeigten sich mit 7,3% zu 6,98% mehr Dehiszenzen als Fenestrationen. Zusätzlich konnten sie herausstellen, dass Dehiszenzen mit 11,55% zu 1,86% häufiger im Unterkiefer vorkommen als im Oberkiefer (14). Auch

in der Untersuchung von Rupprecht et al. 2001 wurden 67% der Dehiszenzen im Unterkiefer gefunden (15). Nimigean et al. veröffentlichten 2009 eine vergleichbare Studie mit kaukasischen Schädeln. Auch hier wurden 72% der Dehiszenzen im Unterkiefer festgestellt (16).

Defekte des Alveolarknochens sind in der Regel keine alleinstehenden Merkmale. Eine ganze Reihe von Studien beschäftigt sich mit der Ätiologie von gingivalen Rezessionen und den häufig damit verbundenen knöchernen Läsionen. Schon 1984 haben Lost et al. 117 Zähne an 27 Patienten während der chirurgischen Parodontisbehandlung vermessen. Im Durchschnitt konnten Dehiszenzen von 5,43 mm und Rezessionen von 2,67 mm gemessen und eine statistisch signifikante Korrelation der beiden Werte dargestellt werden (17). Ähnliche Zusammenhänge zeigte Bernimoulin sogar schon im Jahre 1977 (18).

Ätiologisch liegen den knöchernen Defekten, und somit in der Folge auch den Weichteildefekten, vier verschiedene Ursachenkomplexe zu Grunde. Allen Ursachen ist der anatomisch-morphologische Aspekt gemein (19). Im zervikalen Wurzeldrittel ist der Limbus alveolaris vestibulär häufig sehr dünn und von keiner Spongiosa unterlegt. Oftmals ist nur eine Knochenlamelle ausgebildet, was dazu führt, dass es vornehmlich in diesen Bereichen zu Dehiszenzen oder Fenestrationen kommt.

Ein erster Ursachenkomplex findet sich in der mechanischen Reizung des Parodonts. Studien belegen, dass übermäßige oder falsche Mundhygiene, Gewohnheiten wie Fingernagel- oder Bleistiftkauen, sowie orale Piercings zunächst das Weichgewebe schädigen und so in der Folge zu knöchernen Defekten beitragen (20-23). Nimigean et al. stellten allerdings heraus, dass es in ihrer Studie keinen signifikanten Zusammenhang zwischen okklusalen Kräften und dem Vorkommen von Dehiszenzen und Fenestrattionen gibt (16). Subgingival gelegte Restaurationsränder bieten Retentionsflächen für die dentale Plaque. Auf diese Weise kommt es zur Plaqueakkumulation und zur lokalen Entzündung, was wiederum zum Rückgang des Parodonts führt (24).

Als zweiter großer, möglicher Ursachenkomplex ist die Parodontitis selbst zu nennen. Die Erkrankung des Zahnhalteapparats führt in ihrem Verlauf häufig zu gingivalen Rezessionen und vestibulären Knocheneinbrüchen (25, 26).

Der dritte Ursachenkomplex wird von der Auswirkung verschiedener kieferorthopädischen Therapien auf das Parodont dargestellt. Aktuell beschäftigt

sich eine Vielzahl von Studien mit dieser Thematik. Lund et al. untersuchten 2011 zum Beispiel Patienten mit Angle Klasse I Fehlstellung vor und nach der kieferorthopädischen Therapie. Unter anderem konnten sie feststellen, dass posttherapeutisch 84% der Unterkiefer-Frontzähne an den vestibulären Flächen zwei oder mehr Millimeter Dehiszenzzuwachs verzeichneten (27). Lee et al. untersuchten 2012 einen ähnlichen Sachverhalt, in Hinblick auf den Verlust des Alveolarknochens im Bereich der Unterkiefer-Frontzähne, nach kombinierter kieferorthopädischer, chirurgischer Therapie. Die Studie wurde an 25 Patienten mit mandibulärer Prognathie durchgeführt und führte ebenfalls zu dem Ergebnis, dass posttherapeutisch ein vertikaler Knochenrückgang und eine Verminderung der Knochendicke feststellbar war (28). Auch eine Kombination von Ursachenkomplexen, wie kieferorthopädische Behandlungen bei Parodontitis-Patienten steht im Mittelpunkt der aktuellen Forschung. Shi et al., Artun et al. und Gkantidis et al. haben die Effekte von kombinierten kieferorthopädischen, parodontologischen Behandlungen auf vorgeschädigte Parodontien untersucht (29-31). Die Rolle der Zahnfehlstellungen in der Ätiologie von parodontalen Defekten ist bisher noch nicht ausreichend untersucht worden. Dieses weite Feld stellt den vierten Ursachenkomplex dar. Evangelista et. al untersuchten 2010 79 prätherapeutischen Angle Klasse I - Patienten und 80 prätherapeutischen Angle Klasse II/1-Patienten unterschiedlicher Gesichtstypen. 51% der insgesamt 4319 Zähne wiesen Dehiszenzen auf. Patienten der Angle Klasse I wiesen in dieser Studie 35% mehr Dehiszenzen auf als Patienten der Angle Klasse II/1. Es gab kein statistisch signifikanten Unterschied hinsichtlich der Gesichtstypen (32). Yagci et al. untersuchten 2012 die Auswirkungen der Angle Klasse I, II und III auf den Alveolarknochen. Es wurden 3444 Parodontien von 163 Patienten vermessen. In dieser Studie konnte kein statistisch signifikanter Unterschied hinsichtlich des Vorkommens von Dehiszenzen festgesellt werden (33). Kook et. al verglichen 2012 Patienten mit normaler Okklusion und Angle III – Patienten auf die Auswirkung der Zahnstellung im Bereich der Frontzähne. Auch hier wurden statistisch signifikant ( $p < .05$ ) ausgeprägtere Dehiszenzen bei Patienten der Angle Klasse III gefunden. Gleiches zeigte sich in Hinsicht auf die Knochendicke. Patienten mit Zahnfehlstellung (Angle III) zeigten eine statistisch signifikant ( $p < .05$ ) dünnere Knochenlamelle (34). Nimigean et al. Postulierten, dass auch

Abweichungen der einzelnen Zahnachsen zur Idealposition Auswirkungen auf das Parodont haben können (16).

Die Existenz eines Zusammenhangs zwischen Zahnfehlstellungen und knöchernen Läsionen im Alveolarknochen ist weitgehend bewiesen. Allerdings befassen sich alle diese Untersuchungen ausschließlich mit der Prävalenz von knöchernen Defekten. Wie intensiv sich die verschiedenen Zahnfehlstellungen auf das Parodont auswirken lässt sich aktuell noch nicht quantifizieren. Aus diesem Grund soll dieser Sachverhalt Gegenstand dieser Studie sein.

#### **1.4 Digitale Volumentomographie (DVT)**

Bildgebende Untersuchungen sind heutzutage ein unabdingbares Mittel in der zahnmedizinischen Diagnostik. Den Grundstein legte Conrad Röntgen 1895 mit der Entdeckung der nach ihm benannten Strahlung (35). Aus dieser Erkenntnis heraus entstand zunächst die Technologie zur konventionellen zweidimensionalen Bildgebung. Noch heute sind die zweidimensionalen Röntgenbilder in Form von Einzelzahnaufnahmen, Bissflügel- oder Panoramaschichtaufnahmen ein unverzichtbares Hilfsmittel in der zahnmedizinischen Befunderhebung und Therapiefindung.

Ein grundsätzlicher Nachteil ist jedoch, dass es durch die Dreidimensionalität der anatomischen Struktur zu Überlagerungen, Projektionsfehlern und Fehlinterpretation kommen kann (36).

Der englische Elektroingenieur Sir Godfrey N. Hounsfield entwickelte ab dem Jahr 1968 die Technologie zur Computertomographie, welche es ermöglichte, anatomische Strukturen in allen drei Raumebenen darstellen zu können (37).

Bei der Computertomographie sendet die den Patienten umkreisende Röntgenröhre ein zweidimensionales, fächerförmiges Strahlenbündel aus. Diese Strahlen durchdringen den Patienten, werden durch Absorption geschwächt und treffen daraufhin auf eine eindimensionale Detektorzelle, welche die Intensität des Strahls misst und in ein elektronisches Signal umwandelt. Pro Winkelgrad der Umrundung werden zwei bis vier Messungen durchgeführt. Aus den elektrischen Signalen einer Umrundung kann ein zweidimensionales Schichtbild errechnet werden. Mehrere Schichtbilder können dann durch Übereinanderlegen zu einem dreidimensionalen Datensatz zusammengefügt werden.

Die höhere Strahlenexposition eines CTs gegenüber konventionellen Röntgenbildern ist jedoch nicht zu vernachlässigen (38).

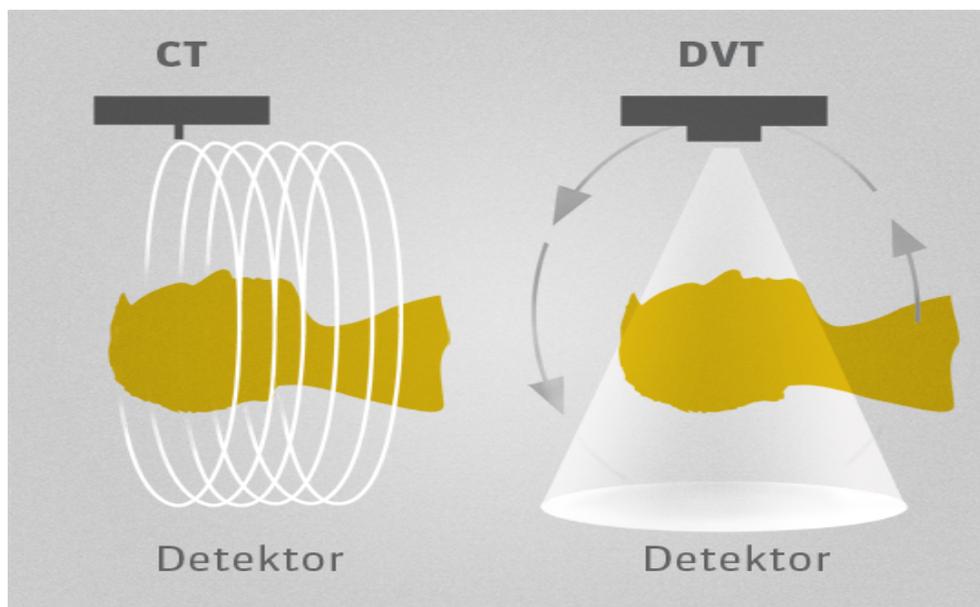
**Tab. 1** Beispielhafter Vergleich einiger effektiver Dosen Deff in  $\mu\text{Sv}$  aus den genannten Studien (39-44) von DVT, CT und OPG, mit Angabe des zu Grunde gelegten ICRP Standards

Studie	Gerät	ICRP	Deff [ $\mu\text{SV}$ ]
<b>DVT</b>			
Cohen et al. 2002	NewTom 9000	-	110,0
Ludlow et al. 2003	NewTom 9000	1990	36,0
Ludlow et al. 2006	NewTom 3G	1990	44,7
		2005	58,9
	i-Cat	1990	134,8
		2005	193,4
	CB Mercury	1990	476,6
		2005	557,6
Ludlow et al. 2008	Classic i-Cat	2007	69,0
	Next Generation i-Cat	2007	87,0
	Galileos	2007	128,0
Ludlow et al. 2013	i-Cat FLX	2007	Erw.: 11-85 Kind: 18-120
Silva et al. 2009	i-Cat	2007	61,1
Hirsch et al. 2010	i-Cat	2007	49,0
<b>CT</b>			
Cohen et al. 2002	Somatom Plus 4	-	610,0
	Somatom Plus 4	-	740,0
	Volume Zoom	-	
Ludlow et al. 2008	Somatom Sensation	2007	860,0
<b>OPG</b>			
Cohen et al. 2002	Orthophos C	-	10,0
Ludlow et al. 2003	Orthophos Plus DS	1990	6,2
Ludlow et al. 2008	Panoramic	2007	14,2
	Orthophos XG ProMax	2007	24,3

Im Jahre 1997 wurde durch Weiterentwicklung des Ortho CT eine neue Technologie eingeführt (45). Die so genannte Digitale Volumentomographie konnte durch die Nutzung eines CCD-Chips und eine kegelförmige Anordnung der Röntgenstrahlen eine verkürzte Umlaufzeit sowie eine deutlich verringerte Strahlenexposition erreichen. Nach dreijähriger Testphase konnte im Jahre 2000 das erste Gerät mit dem Namen „3DX multi-image micro CT“ (3DX) auf den Markt gebracht werden (46). Weiterentwicklungen dieser Technologie finden heute vermehrt Anwendung in der Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde sowie in verschiedensten Disziplinen der Zahnmedizin (47-50).

Zur Bildgebung nutzt man, ähnlich wie beim CT, eine Sender-Detektor-Einheit, welche bis zu 360° um den Patientenkopf rotieren kann. Im Vergleich zum CT sendet die Röntgenröhre des DVT jedoch kegelförmig ausgerichtete dreidimensionale Nutzstrahlbündel („Cone Beam“), die das dreidimensionale Untersuchungsgut durchdringen und auf der flächigen Empfängermatrix (CCD-Chip) ein Röntgenbild als zweidimensionale Parallelprojektion ergeben.

Bei einem Umlauf der Sender-Detektor-Einheit werden eine Vielzahl von zweidimensionalen Einzelbildern aufgenommen, mit welchen durch aufwendige Rechenverfahren eine Volumengrafik generiert werden kann.



**Abb. 4** Schematische Darstellung der Funktionsprinzipien von CT und DVT (51)

Der aufgenommene Primärdatensatz wird durch approximativen Feldkamp Algorithmus (52) rekonstruiert und mit Hilfe eines Rechners und entsprechender Software als Schicht- bzw. Volumengrafik dargestellt.

Mit diesem Verfahren kann aktuell eine Auflösung von 0,12x0,12x0,12 mm erreicht werden.

Die Technik der digitalen Volumentomographie ist heutzutage ein weit gestreutes Feld. Je nach Gerätetyp und Indikation lassen sich, unter Verwendung verschiedener Protokolle diverse effektive Strahlendosen und Auflösungen einstellen. Wichtige Parameter dafür sind die Röntgenstromstärke, Spannung, Belichtungszeit und das gewählte Field of View (FOV).

Unter wissenschaftlichen Gesichtspunkten und im praktischen Alltag steht der diagnostische Nutzen der Strahlenbelastung gegenüber.

Die Digitale Volumentechologie wurde bereits zahlreich hinsichtlich der Strahlenbelastung untersucht und mit dem CT sowie konventionellen Röntgenbildern verglichen. Die Ergebnisse variieren beträchtlich, jedoch kommen sie alle überein, dass die effektive Dosis eines DVT deutlich unter dem eines CTs, aber oberhalb konventioneller Röntgenbilder liegt (Tab.1) (39, 44-47, 53-58).

Aussagekräftige Ergebnisse sind jedoch nur mit einem Studiendesign möglich, das mit den aktuellen Richtlinien der ICRP konform ist. Die ICRP (International Commission on Radiological Protection) ist die internationale Strahlenschutzkommission, die zum Ziel hat, durch Empfehlungen und Richtlinien neueste wissenschaftliche Erkenntnisse für die öffentliche Gesundheit nutzbar zu machen. Aktuell existieren Richtlinien aus den Jahren 1990, 2005 und 2007 (59).

Nicht viele Studien sind den ICRP Richtlinien konform, sodass ein Vergleich nur unter Betrachtung des Studiendesigns möglich ist.

Ludlow et al. haben seit dem Jahr 2003 bis heute diverse Studien veröffentlicht, die mit den ICRP Richtlinien konform gehen. Im Jahre 2003 (ICRP 1990) verglichen sie die effektiven Dosen eines New Tom 9000 DVT Geräts mit dem Orthophos Plus DS, welches digitale Panoramaschichtaufnahmen lieferte. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass die effektive Dosis der DVT-Aufnahme mit etwa 36,3 $\mu$ Sv knapp sechsfach höher ist als die der Panoramaschichtaufnahme mit 6,2 $\mu$ Sv (40).

2006 haben Ludlow et. al diesen Vergleich auf drei verschiedene DVT-Geräte ausgeweitet (IRCP 1990 und 2005). In dieser Studie wurden ein NewTom3G, ein

i-CAT und ein CB Mercury mit einem Othophos Plus DS verglichen. Ergebnis war, dass die effektiven Dosen vier bis zweiundvierzig mal höher waren als bei einer digitalen Panoramaaufnahme. Es variierte von Gerät zu Gerät (NewTom3G [45 $\mu$ Sv,59 $\mu$ Sv] < i-CAT[135 $\mu$ Sv,193 $\mu$ Sv] < CB Mercury [135 $\mu$ Sv,195 $\mu$ Sv]), wobei auch die Größe des Field of Views (FOV) eine entscheidende Rolle spielte. Die Aufnahmen wurden jeweils in einem 12" FOV und in einem kleineren FOV aufgenommen (41).

2008 stellten Ludlow und Ivanovic (ICRP 2007) die Unterschiede in der Strahlenexposition von einem DVT zum CT heraus. Je nach Größe des FOV des DVT war die effektive Dosis des CT 1,5 bis 12,3fach höher (42).

Im selben Jahr veröffentlichte Ludlow eine Studie zum Vergleich der effektiven Dosen von Einzelbildaufnahmen, Orthopantomogrammen (OPG) und Fernröntgenseitenbildern (ICRP 2007). Demnach ergaben sich für einen 18-Bild Status Werte zwischen 34,9 $\mu$ Sv und 388 $\mu$ Sv. Die Unterschiede ergaben sich durch unterschiedliche Filme und Blenden. Die effektiven Dosen bei Bissflügel aufnahmen lagen bei 5,0 $\mu$ Sv. Die Messungen für das OPG ergaben 14,2 $\mu$ Sv (Panoramic Orthophos XG) bzw. 24,3 $\mu$ Sv (Promax) und ein Fernröntgenseitenbild (FRS) wies eine effektive Dosis von 24,3 $\mu$ Sv auf (60).

Aufgrund dieser verschiedenen Studien, die sich alle an den Richtlinien der ICRP orientieren, lässt sich zusammenfassen, dass die effektiven Dosen bei digitalen Volumentomogrammen unter denen eines CT, aber dennoch über denen von konventionellen Röntgenbildern liegen. 2010 bestärkten Ludlow et al., dass eine geringere Strahlenbelastung durch Veränderung der Belichtungsparameter zu erreichen ist (61). Da das Thema der Strahlenexposition weiterhin sehr kontrovers diskutiert wurde, führte die Industrie sogenannte Low-Dose-Protokolle ein. 2013 stellten wiederum Ludlow et al. fest, dass auf diese Weise die Strahlenexposition bei einem Erwachsenen auf 11 bis 85 $\mu$ Sv und bei einem Kind auf 18 bis 120 $\mu$ Sv (FOV 13x16cm) gesenkt werden kann. Es ist jedoch festzuhalten, dass diese relativ geringe Strahlenbelastung auch mit verringerter Bildqualität einher geht (62).

Spin-Neto et al. erstellten 2013 einen Überblick über verschiedene wissenschaftliche Arbeiten von 1950 bis 2012, welche sich mit dem Thema Voxel und Field of View in der digitalen Volumentomographie beschäftigt haben. Im Resultat erhielten sie 20 Publikationen, welche sich in speziellen Disziplinen der Zahnheilkunde mit dem Einfluss dieser Parameter beschäftigten. Als Ergebnis

dieser Studie ist zu nennen, dass es keine einheitlichen Scanprotokolle geben kann. Das DVT muss der Indikation angepasst sein (63). Hier setzt die Arbeit von Währisch et. al an. Sie untersucht die effektiven Strahlendosen bei der Verwendung des Mesantis IADR-Konzepts. IADR steht für „indikationsangepasste Dosisreduzierung“. Field of View, Röntgenstromstärke und die Umlaufzeit werden für die individuelle Indikation angepasst. Auf diese Weise konnten effektiven Strahlendosen von nur 12,3 $\mu$ Sv bis 58,1 $\mu$ Sv erreicht werden(64).

Heutzutage hat sich die digitale Volumentomographie in verschiedensten Fachbereichen der Zahnmedizin für diverse Indikationen etabliert. Honey et al. (65) konstatierten, dass dreidimensionale DVT-Aufnahmen eine weitaus genauere Darstellung des Kiefergelenks ermöglichen und somit die Befunderhebung craniomandibulärer Dysfunktionen erleichtern. Ebenso nutzen diverse Softwares DVTs zu digitalen Planungen von Implantatsetzungen und kieferorthopädischen Behandlungen. Nervverläufe, knöcherne Strukturen, Zahnpositionen und -angulationen können leicht und ohne Überlagerungen in allen drei Raumebenen beurteilt werden (66).

Matherne et al. veröffentlichten 2008 (67), dass in ihrer Studie Endodontologen in Panoramaschichtaufnahmen und Zahnfilmen in 40% der Zähne mindestens einen Kanal übersahen, welche im Vergleich im DVT gefunden wurden. De Paula-Silva et al. fügten hinzu, dass digitale Volumentomographie (0.91) zur Entdeckung von apikalen Aufhellungen sensitiver ist als Zahnfilme (0.71). Als Goldstandard diene die Histologie (68). Connert et al. wiesen 2013 den Nutzen des DVTs bei der Festlegung der Arbeitslänge im Rahmen der Wurzelkanalbehandlung nach (69).

Auch die Verwendung in der Parodontologie ist umfassend diskutiert. Misch et. al. haben 2006 mit ihrer Studie nachgewiesen, dass das DVT ein sehr praktikabler Weg ist parodontale Defekte festzustellen. Es ergaben sich ebenso akkurate Messwerte wie bei der klinischen Sondierung. Gegenüber den klassischen intraoralen Röntgenbildern kann im DVT auch die bukkale und linguale Knochenlamelle beurteilt werden (70). Ähnliche Ergebnisse erzielten Fienitz et al. 2012 bei periimplantären Defekten (71).

2007 untersuchten Vandenberghe et al. (72) an zwei menschlichen Schädeln und insgesamt 30 vorhandenen Knochendefekten die Vor- und Nachteile der digitalen Volumentomographie (i-CAT) gegenüber konventionellen intraoralen, digitalen Aufnahmen. Als Goldstandard diene die Vermessung der Knochendefekte mittels

einer elektronischen Schiebelehre. In Hinblick auf die lineare Vermessung der Knochenhöhe lagen DVT und intraorale Aufnahmen in einem vergleichbaren Bereich (Abweichung vom Goldstandard: 0,13 mm bis 1,67 mm / 0,19 mm bis 1,67 mm). Die Darstellung der Lamina Dura, Kontrast und Knochenqualität wurden in den intraoralen Aufnahmen besser beurteilt. Knocheneinbrüche und Furkationsbeteiligung wurden jedoch öfter im DVT nachgewiesen.

2008 testeten Mol et al. (73) DVTs eines NewTom 9000 in Hinblick auf die Genauigkeit in der parodontale Diagnostik. Die DVTs wurden mit einem intraoralen Status verglichen. Als Goldstandard diente wiederum die Vermessung mit einer elektronischen Messlehre.

Das Studiendesign ermöglichte eine differenzierte Analyse für Front- und Seitenzahnsegment. Im Seitenzahnbereich wiesen die DVTs deutlich bessere Ergebnisse auf (Abweichung von dem Goldstandard: DVT 0,91 mm, intraorale Aufnahmen 1,22 mm). Im Frontzahnbereich wiesen beide Techniken stärkere Abweichungen auf.

## 2 Fragestellung

Der Hauptgrund für Zahnverluste sind nach wie vor große, kariöse Läsionen. Eine Veränderung der Alterspyramide und ein verändertes Prophylaxeverhalten führen jedoch dazu, dass der Anteil von parodontalen Defekten als Ursache von Zahnverlusten immer weiter steigt (74). Die entzündliche Parodontitis selbst und ihre Ätiologie sind seit längerer Zeit Inhalt diverser Studien. Parodontale Defekte können aber wie beschrieben auch anderen Ursprungs sein. Unter anderem leisten Zahnfehlstellungen und kieferorthopädische Therapien ihren Beitrag. Hintergrund dieser Studie muss es sein, die Notwendigkeit einer kieferorthopädischen Behandlung in der Zukunft noch genauer einschätzen zu können. Dass eine kieferorthopädische Behandlung auch Risiken für das Parodont birgt, ist weitreichend untersucht. Welche Risiken jedoch bestehen, wenn man die Behandlung unterlässt, ist noch nicht ausreichend geklärt. Die Prävalenz von knöchernen Defekten aufgrund von verschiedenen Zahnfehlstellungen war Inhalt verschiedener Studien. Diese Studie beschäftigt sich mit dem Ausmaß dieser Defekte.

Im Gegensatz zu zweidimensionalen Bildern haben DVT-Aufnahmen in diesem Zusammenhang einen hohen diagnostischen Wert. Die Digitale Volumentechnologie bietet die Möglichkeit, bei moderaten Strahlendosen, ein dreidimensionales Bild des Patienten zu erfassen und so alle wichtigen Parameter messbar zu machen (Tab.1) (55).

Bis zum heutigen Tag wurde jedoch noch keine Studie veröffentlicht, die Defekte des Alveolarknochens in Zusammenhang mit verschiedenen kieferorthopädischen Fehlstellungen mittels der Digitalen Volumen Tomographie qualitativ vergleicht.

Ziel dieser Untersuchung war es, einen quantitativen Zusammenhang zwischen alveolären Defekten (Dehiszenzen) und den kieferorthopädischen Fehlstellungen der Angle Klasse I und Angle Klasse II/1, sowie der Zahnangulation zur Kauebene herauszustellen. Ebenso sollten beeinflussende Faktoren für das Ausmaß der Dehiszenzen herausgestellt werden.

Mit der vorliegenden Arbeit sollten insbesondere folgende Hypothesen überprüft werden:

1. Das Ausmaß der Dehiszenzen ist bei Patienten mit Angle Klasse I höher als bei Patienten mit Angle Klasse II/1.
2. Die Dehiszenzen sind vestibulär stärker ausgeprägt als oral.
3. Das Ausmaß einer Dehiszenz korreliert mit der Angulation des entsprechenden Zahnes.
4. Mit dem Alter des Patienten steigt das Ausmaß seiner Dehiszenzen.
5. Das Ausmaß der Dehiszenzen ist bei weiblichen Patienten größer als bei männlichen.
6. Die Dehiszenzen sind im Frontzahnsegment stärker ausgeprägt als im Seitenzahnbereich.
7. Die Dehiszenzen im Ober- und Unterkiefer weisen statistisch signifikante Unterschiede auf.

### 3 Material und Methoden

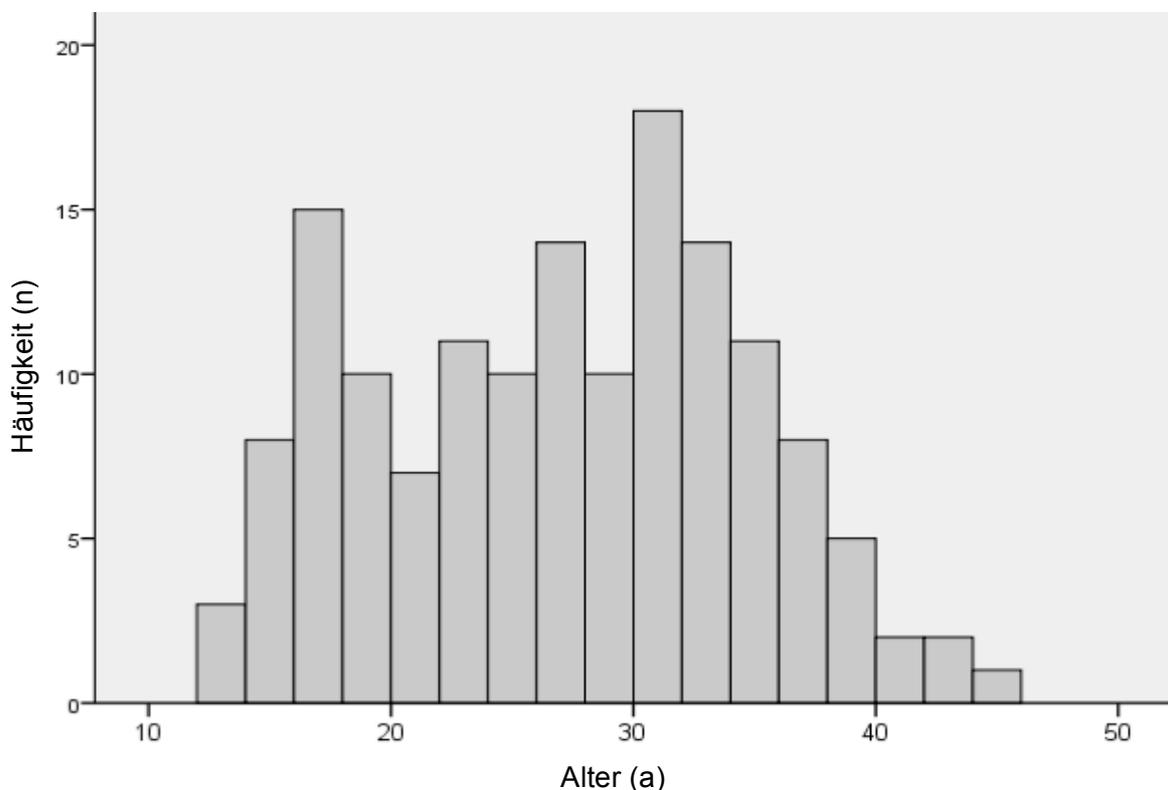
#### 3.1 Allgemeine Material und Methoden

##### 3.1.1 Patientengut

Die Überprüfung der Hypothesen erfolgte durch spezifische Messungen an anonymisierten DVT-Datensätzen von 149 Patienten. Das Alter der 149 Patienten lag zwischen 13 und 44 Jahren und betrug im Mittel 26,62 Jahre (Tab. 2).

**Tab. 2** Darstellung der Alters- und Angle-Klasse-Verteilung der untersuchten Patienten. Die Gruppen von Angle Klasse I und Angle Klasse II/1 weisen einen annähernd gleichen Altersausschnitt der Population auf.

	Anzahl (n)	Alter	Mittelwert	SD
Angle II/1	74	13 - 44	26,18	7,95
Angle I	75	13 - 41	27,05	7,92
Gesamt	149	13 - 44	26,62	7,615



**Abb. 5** Darstellung der Altersverteilung aller untersuchten Patienten (n=149)

Zusätzlich zu der Unterteilung nach Angle Klasse II/1 und Angle Klasse I erfolgte eine Unterteilung anhand des Geschlechts. Die genaue Aufschlüsselung kann der Tabelle 4 entnommen werden.

**Tab. 3** Darstellung der Geschlechts- und Angle-Klasse-Verteilung der untersuchten Patienten. Auch wenn insgesamt annähernd die doppelte Anzahl weiblicher zu männlichen Probanden vermessen wurde, ist die Verteilung auf die Angle Klassen I und II/1 jedoch homogen.

	Anzahl (n)	Angle II/1	Angle I
Männlich	53	22	31
Weiblich	96	52	44
Gesamt	149	74	75

### 3.1.2 DVT-Aufnahmen

Sämtliche Datensätze stammten aus dem Langzeitarchiv des nationalen 3D-Röntgennetzwerkes MESANTIS® (Standorte: Berlin, Hamburg, Heilbronn, Leonberg, Mayen, München und Wiesbaden). Für die Selektion der 149 Datensätze aus insgesamt mehr als 15.000 archivierten Datensätzen wurden vorab spezifische Selektionskriterien festgelegt:

1. Patienten mit Angle Klasse II/1 oder Angle Klasse I,
2. Die zweite Dentition musste vollständig abgeschlossen sein,
3. Weisheitszähne wurden nicht berücksichtigt,
4. Die angelegten Zähne mussten vollständig durchgebrochen sein und die Okklusionsebene erreicht haben,
5. Zähne mit uneindeutiger Schmelz-Zement-Grenze wurden aussortiert (Karies, Krone, Füllungen etc.),
6. Die Auflösung der DVT-Aufnahmen durfte nicht niedriger als 0,3 mm Voxel-Größe sein und
7. Es durfte noch keine kieferorthopädische Behandlung begonnen worden sein.

Für jede DVT-Aufnahme bestand vor einer kieferorthopädischen Behandlung eine

rechtfertigende Indikation zur Anfertigung einer dentalen Volumentomographie nach der S1-Leitlinie der DGZMK (Literatur 2009). Die jeweils individuelle rechtfertigende Indikation wurde von einem/r fachkundigen Zahnarzt/ärztin gestellt. Alle Aufnahmen wurden entweder mit dem DVT-Gerät „i-CAT classic“ (Imaging Sciences International, Inc., Hatfield, USA) oder der Sonderedition MESANTIS® *line* (Imaging Sciences International, Inc., Hatfield, USA) angefertigt. Details zu den technischen Angaben sind in Tabelle 4 dargestellt.

Beide DVT-Geräte generierten DICOM Datensätze, die mit Hilfe einer speziellen Auswertungssoftware für die weiteren Vermessungen verwendet werden konnten. Sämtliche Patienten wurden vertikal nach der Okklusionsebene im DVT-Gerät ausgerichtet. Die sagittale Orientierung richtete sich nach der Erfassung der Nasenspitze und der Referenzpunkte „Porion rechts und links“.

**Tab. 4** Technische Daten der vorhandenen DVT-Geräte

	<b>iCAT classic</b>	<b>MESANTIS® <i>line</i></b>
<b>Bilddetektor</b>	Flachfeld, amorphes Silizium (ablesbarer Bereich) 23,8 cm × 19,2 cm (B × H)	Flachfeld, amorphes Silizium (erfassbarer Bereich) 23,8 cm × 19,2 cm (B × H)
<b>Voxelgröße</b>	0,3 mm oder 0,25	0,3 mm oder 0,25
<b>Graustufen</b>	12 Bit	14 Bit
<b>Bilderfassung</b>	Einzelrotation um 360° (max.)	Einzelrotation um 360° (max.)
<b>Bilderfassungsdauer</b>	20 oder 10 Sekunden	26,9 oder 8,9 Sekunden
<b>Sichtfeld (Field of View)</b>	16 cm x 13 cm (D × H)	16,50 cm × 13,50 cm (D × H)
<b>Röntgenröhrenspannung</b>	120 kV	120 kV
<b>Stromstärke</b>	3-8 mA	3-7 mA

Abkürzungen: D=Durchmesser, H=Höhe, B=Breite, kV=Kilovolt, mA=Milliampere

### 3.1.3 Auswertungssoftware und Befundungsmonitor

Alle Messungen wurden von einem Untersucher (Promovend) im Befundungszentrum des MESANTIS® Instituts Berlin an DIN-genormten Befundungsmonitoren durchgeführt. Die spezifischen technischen Parameter sind in Tabelle 5 aufgelistet.

Mit Hilfe der 3D-Imaging-Software InVivo 5 (Anatomage Inc., San Jose, Californien) wurden aus den DICOM Datensätzen 3D-Grafiken (Volumenrenderings), sowie 2D-Schnittebenen (Sections) generiert. Die spezifischen Messungen wurden mit den softwareeigenen Längen- und Winkelmessinstrumenten in den verschiedenen Sections durchgeführt.

**Tab. 5** Technische Daten des Befundungsmonitors

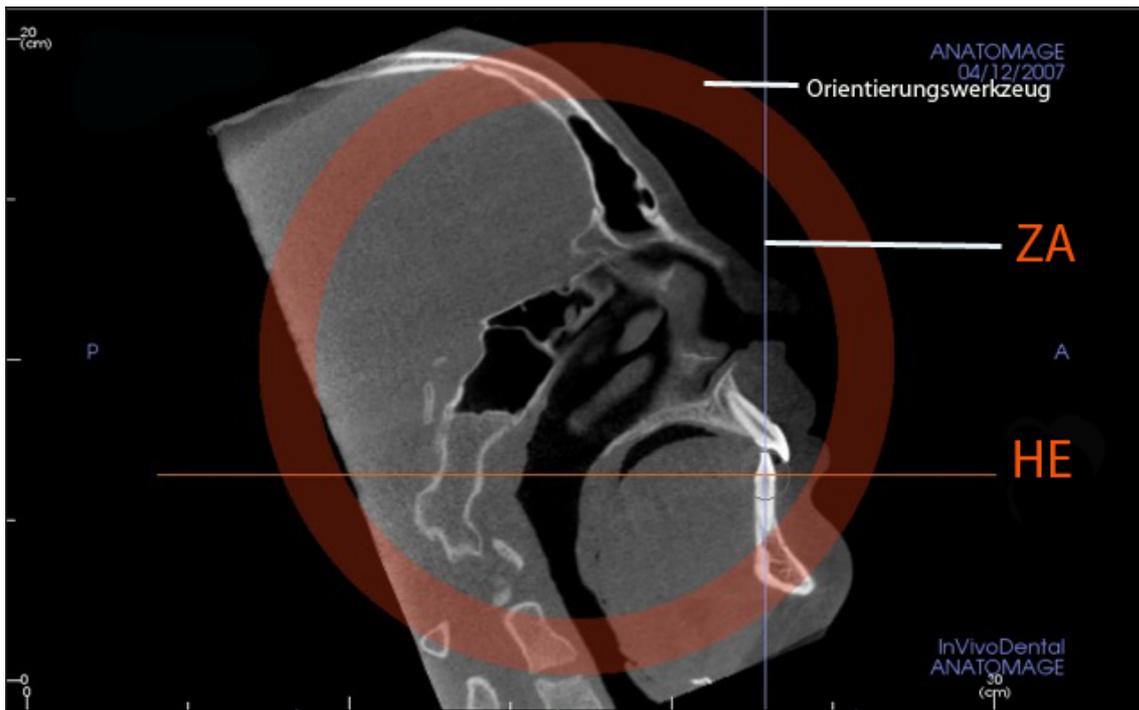
	EIZO 3 Megapixel RadiForce™ R31 Monitor
Produktionsfirma	Fa. Avnet Technology Solutions GmbH, Nettetal, Deutschland
DIN	6868-57 für Anwendungskategorie B
Bildpunkte	1536 x 2048
Kontrastverhältnis	400:1
Helligkeit/Leuchtdichte	400cd/m <sup>2</sup>

Abkürzungen: cd/m<sup>2</sup>= Candela/Quadratmeter

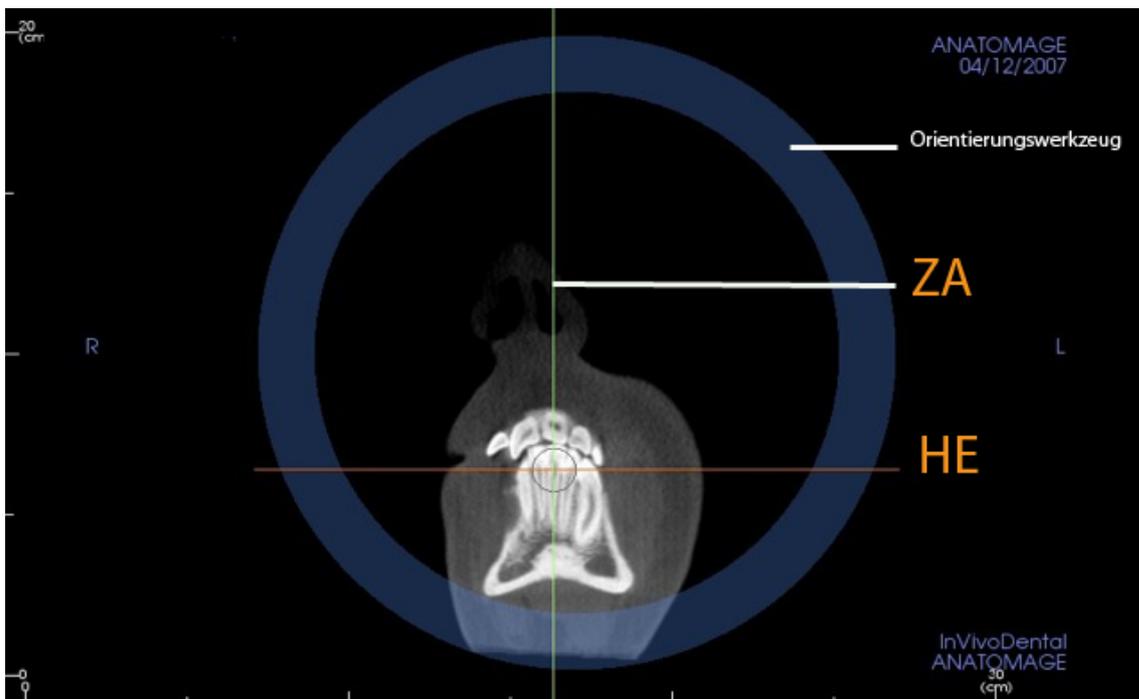
### 3.1.4 Allgemeine Messmethodik

Nachdem die Datensätze aus dem MESANTIS®-Archiv in InVivo 5 importiert wurden, musste der zu vermessende Zahn in den drei Raumebenen ausgerichtet werden. Ohne diese Maßnahme wäre es nicht möglich, reproduzierbare, verzerrungsfreie Messungen entlang der Zahnachse durchzuführen.

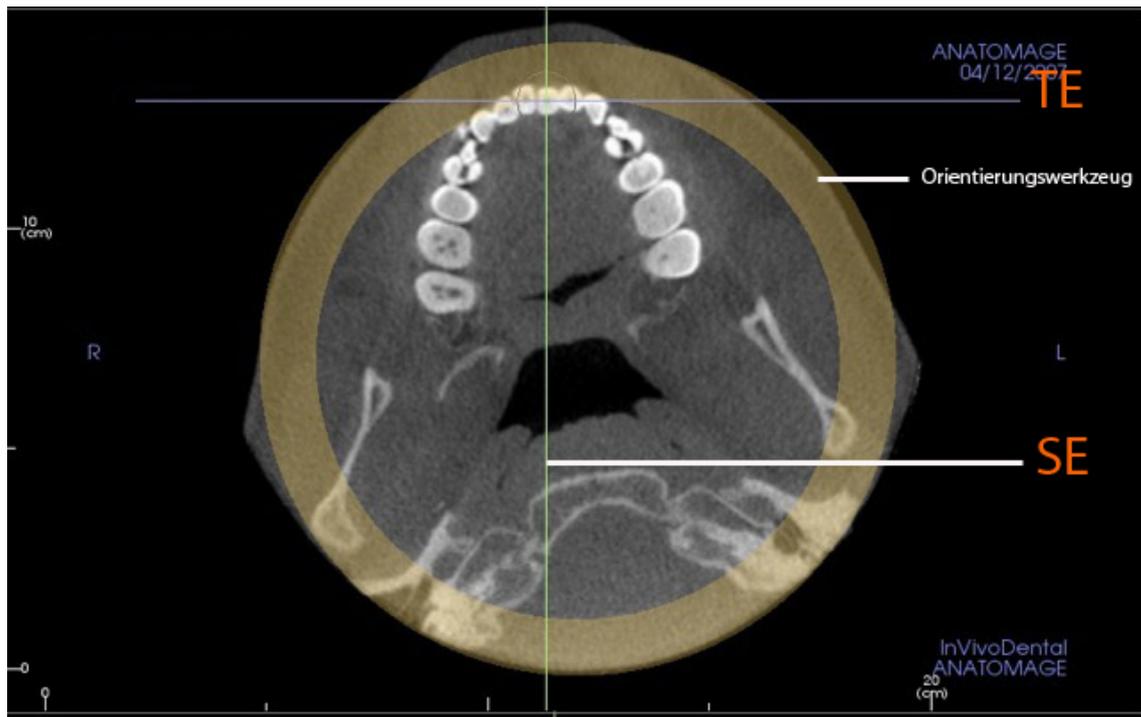
Um dies umzusetzen, wurden die Orientierungswerkzeuge im Programmpunkt „Sections“ genutzt. In Abbildung 6 bis 8 ist zu sehen, wie die Zahnachse in der Sagittalebene und in der Transversalebene 90° zur Horizontalebene ausgerichtet wird. Zusätzlich lässt sich der Zahn durch die Rotation in der Horizontalebene so ausrichten, dass die Messungen immer an einem mittigen Punkt vestibulär und oral stattfinden können. Der zu vermessende Zahn ist nun nach definierten Parametern ausgerichtet. Die Messungen können auf diese Weise jederzeit reproduziert werden. Es ist notwendig, jeden einzelnen Zahn erneut auszurichten.



**Abb. 6** Ausrichtung des Zahnes in der Sagittalebene. Zahnachse (ZA) und Horizontalebene (HE) stehen nun in der Sagittalebene senkrecht zueinander.



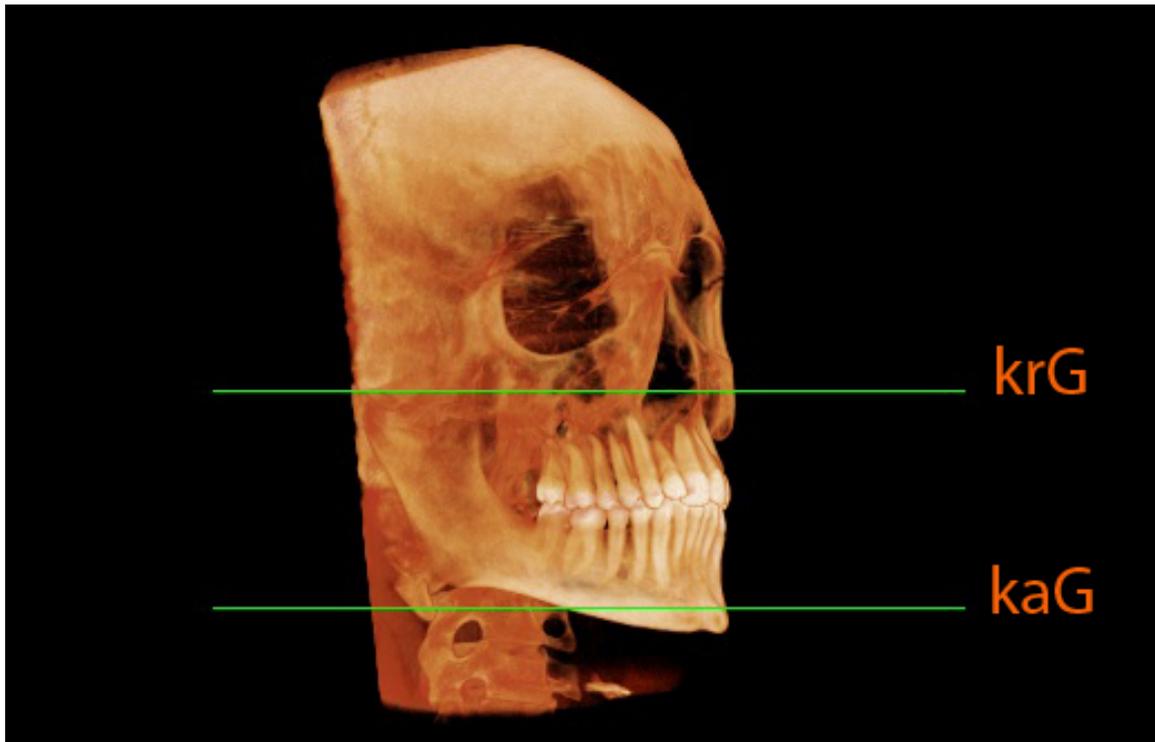
**Abb. 7** Ausrichtung des Zahnes in der Transversalebene. Zahnachse (ZA) und Horizontalebene (HE) stehen nun in der Transversalebene senkrecht zueinander.



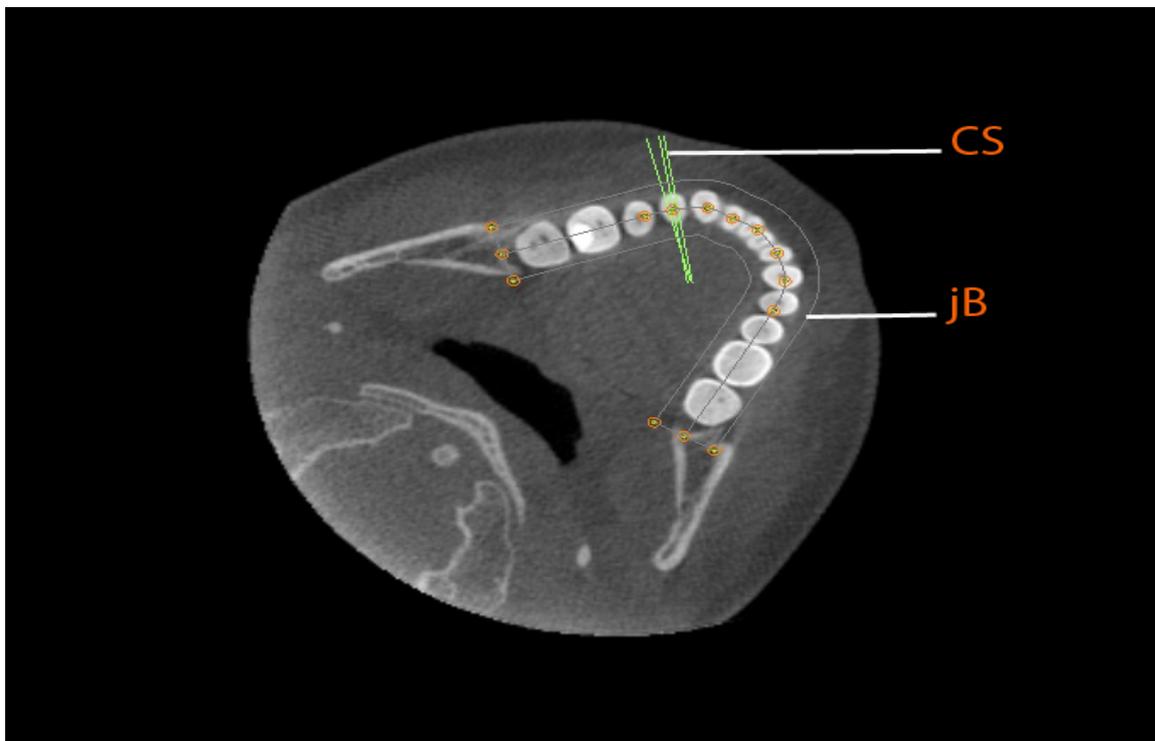
**Abb. 8** Ausrichtung des Zahnes in der Horizontalebene. Durch Rotation des Zahnes in der Horizontalebene kann der Zahn so eingestellt werden, dass ihn die Sagittalebene (SE) oral und vestibulär mittig durchquert. (TE=Transversalebene)

Es wurde nun in das Arbeitsfeld „archsection“ gewechselt. Um eine genauere Darstellung des Messbereiches zu erhalten, wurden im nächsten Arbeitsschritt, im Unterpunkt „vertical range and orientation“, die Grenzen der Schichtebenen definiert. In Abbildung 9 wurde der Messbereich von kranial nach kaudal so eingegrenzt, dass die Oberkiefer- und Unterkieferzähne vollständig enthalten sind. Strukturen außerhalb dieser Grenzen sind für die vorliegende Studie nicht von Interesse und können aus diesem Grund vernachlässigt werden. Anschließend musste der Messbereich in der Horizontalebene definiert werden.

Zu diesem Zweck wurde das Werkzeug „justierbarer Bogen“ genutzt. Wie in Abbildung 10 zu erkennen wurde der Bogen so ausgerichtet, dass er jeden Zahn des Oberkiefers oder jeden Zahn des Unterkiefers mittig einschließt. Die grün dargestellte Schichtebene demonstriert die Position der Cross-Section. Sie ist eine Schnittebene, die sich am vorgegebenen Zahnbogen orientiert und immer im rechten Winkel auf den Zahnbogen trifft. In dieser Ebene konnten nun die eigentlichen Messungen in einem sehr übersichtlichen Rahmen stattfinden.

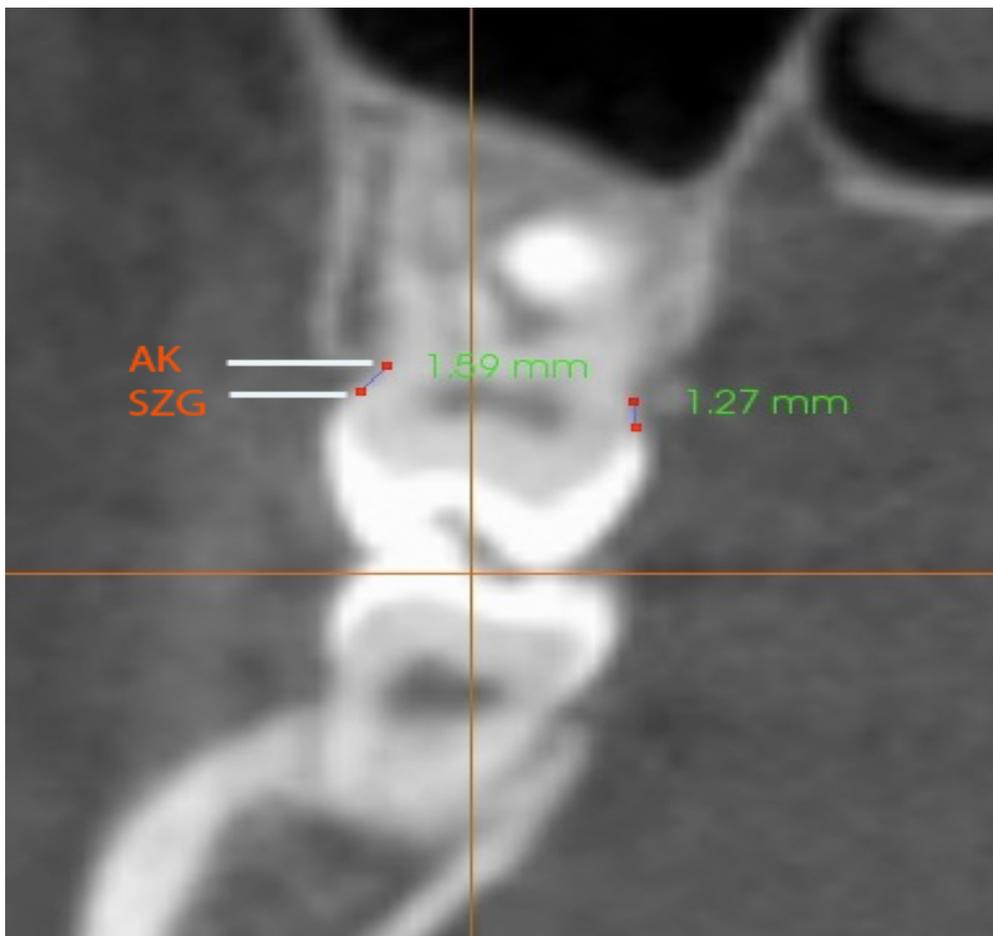


**Abb. 9** vertical range and orientation – Darstellung des Messbereiches innerhalb der kranialen (krG) und kaudalen Grenze (kaG)



**Abb. 10** Einschränkung des Messbereiches in der Horizontalebene. Mit Hilfe des justierbaren Bogens (jB) kann die Darstellung in den einzelnen cross-sections (CS) begrenzt werden.

Die eigentliche Vermessung begann damit, dass die Cross-Section mittig über den zu vermessenden Zahn positioniert wurde. In Abbildung 10 ist dies für den Zahn 34 beispielhaft dargestellt. Im Anschluss lieferte InVivo drei Schnittebenen (Cross-Sections) in separaten Fenstern. Für die Messungen war jedoch nur die zentrale Cross-Section von Interesse. Es bestand die Möglichkeit, Kontrast und Helligkeit zu variieren, um gewünschte Strukturen besser erkennen zu können. Im Anschluss wurde das Softwarewerkzeug „Lineal“ benutzt, um den Abstand von der Schmelz-Zement-Grenze (SZG) bis zu der koronalen Alveolarknochenkante (AK) in der Achse der jeweiligen Zahnaußenwand zu messen. Es wurde oral und vestibulär jeweils eine Messung vorgenommen und das Ergebnis mit einem Screenshot gespeichert. Dieser Vorgang ist am Beispiel eines Molaren in Abbildung 11 dargestellt.



**Abb. 11** Vermessung des Abstandes von der Schmelz-Zement-Grenze (SZG) zur koronalen Alveolarknochenkante (AK), am Beispiel eines Ok-Molaren. Vestibulär ist die Defekthöhe 0,32 mm ausgeprägter als oral.

## **3.2 Spezielle Methoden**

### **3.2.1 Dehiszenzen in Abhängigkeit von der Angle-Klasse**

Die Messmethodik wurde in Kapitel 3.1.4 erläutert. Die Messwerte wurden nach der Angle Klasse sortiert und in eine Excel Tabelle aufgenommen.

Die In Kapitel 2 gestellte, gerichtete Unterschiedshypothese „Das Ausmaß der Dehiszenzen ist bei Patienten mit Angle Klasse I höher als bei Patienten mit Angle Klasse II/1.“ wurde anhand von T-Tests für unabhängige Stichproben in SPSS statistisch untersucht. Mittelwerte und Standardabweichungen wurden in Excel berechnet.

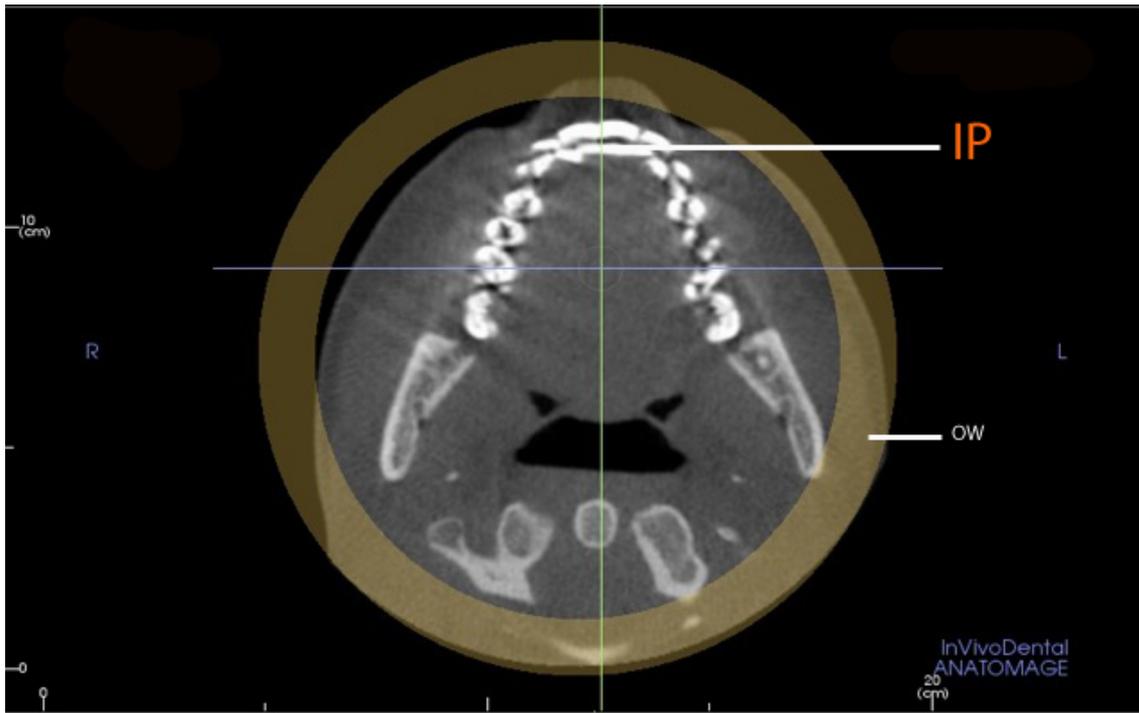
### **3.2.2 Vergleich oraler und vestibulärer Dehiszenzen**

Die Messmethodik verhält sich analog zu dem Unterpunkt 3.1.4 beschriebenen Prinzip. Wie dort beschrieben wurde je vestibulär und oral des jeweiligen Zahnes ein Messwert aufgenommen, welcher weiterführend getrennt in eine Excel-Tabelle aufgenommen wurde. Die in Kapitel 2 aufgestellte, gerichtete Unterschiedshypothese „Die Dehiszenzen sind vestibulär stärker ausgeprägt als oral.“ wurde anhand von T-Tests für unabhängige Stichproben in SPSS statistisch untersucht. Mittelwerte und Standardabweichungen wurden in Excel berechnet.

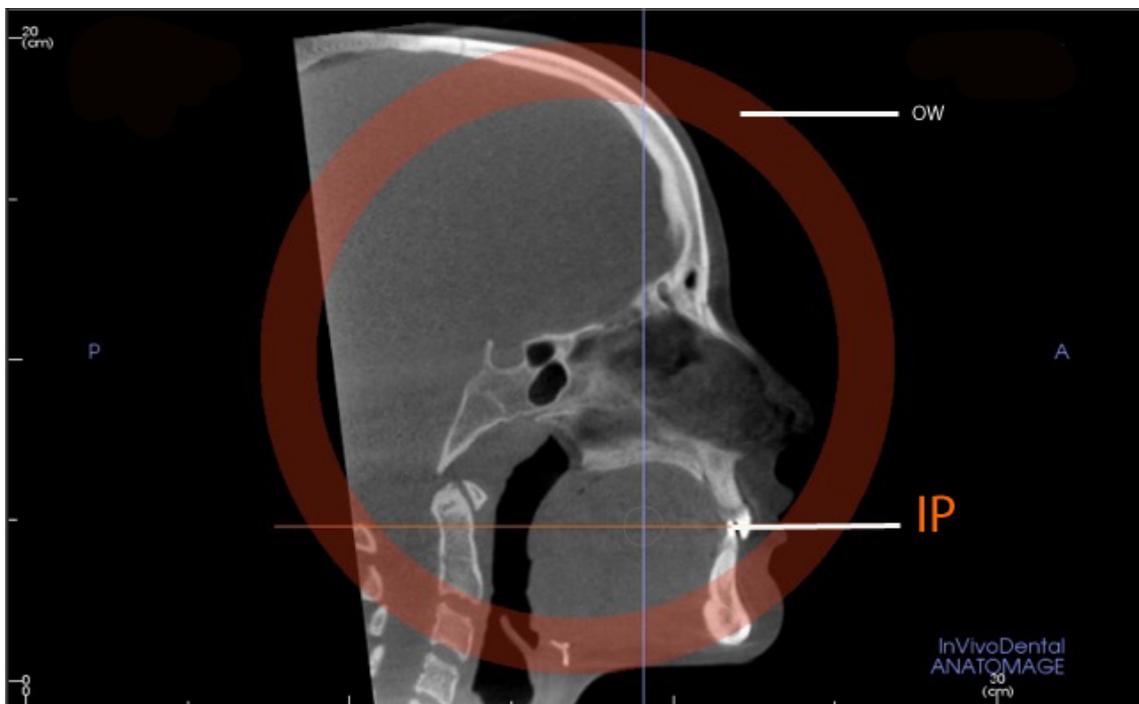
### **3.2.3 Dehiszenzen in Abhängigkeit von der Zahnangulation**

Um das Ausmaß der vestibulären und oralen Dehiszenzen in Relation zur Angulation des jeweiligen Zahnes zur Okklusionsebene zu stellen, muss diese zunächst definiert werden. Zu diesem Zweck musste erneut in den Programmpunkt „sections“ gewechselt werden. Per Definition bilden die Verbindungslinien zwischen dem Inzisalpunkt und dem höchsten bukkalen Höcker der zweiten Unterkiefermolaren beiderseits die Okklusionsebene. Die Abbildungen 6 bis 8 zeigen die schrittweise Ausrichtung des Patienten. In Abbildung 12 und 13 wurde zunächst der Kontaktpunkt von 31 und 41, der sogenannte Inzisalpunkt (IP), aufgesucht. Daraufhin wurde die Horizontalebene (braun dargestellt) so ausgerichtet, dass die distobukkale Höcker von ihr tangiert wurden (Abb. 14). Diese definierte Ebene wurde nun in jeder cross-section dargestellt und konnte somit als Referenz zur Winkelmessung herangezogen werden.

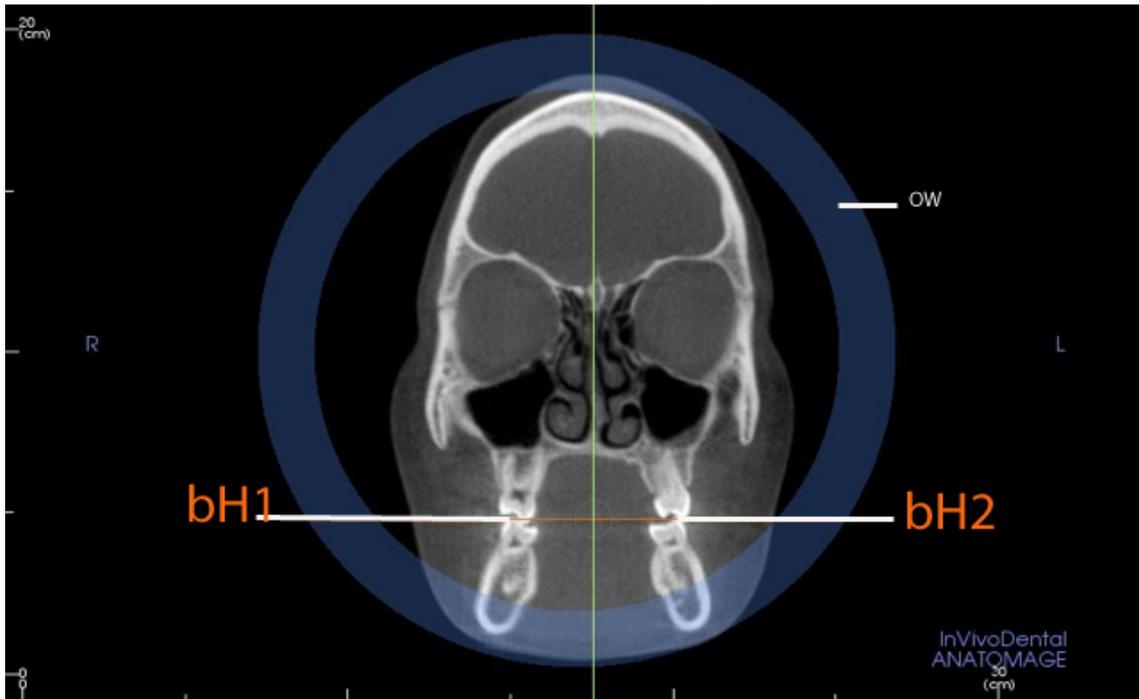
Die eigentlichen Messungen wurden im Folgenden wieder im Programmpunkt „archsections“ durchgeführt.



**Abb. 12** Festlegung des Inzisalpunktes (IP) zur Definierung der Okklusionsebene als Bezugsebene. Die Okklusionsebene ist durch den Inzisalpunkt und die zwei höchsten bukkalen Höcker der zweiten Unterkiefermolaren definiert. Darstellung in der horizontalen Schnittebene. (OW= Orientierungswerkzeug)



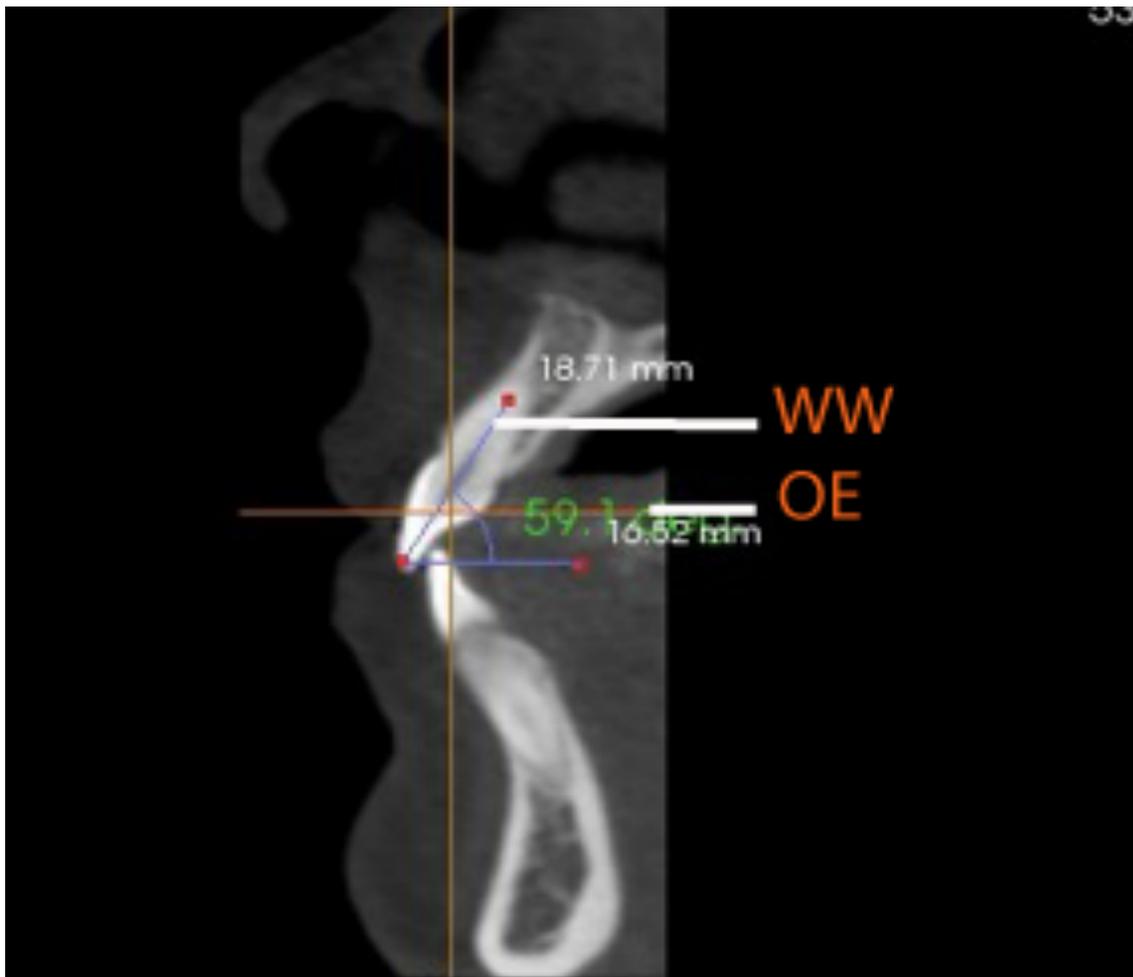
**Abb. 13** Festlegung des Inzisalpunktes (IP) zur Definierung der Okklusionsebene als Bezugsebene. Die Okklusionsebene ist durch den Inzisalpunkt und die zwei höchsten bukkalen Höcker der zweiten Unterkiefermolaren definiert. Darstellung in der sagittalen Schnittebene. (OW= Orientierungswerkzeug)



**Abb. 14** Festlegung der höchsten bukkalen Höcker des zweiten Unterkiefermolaren (bH), zur Definierung der Okklusionsebene als Bezugsebene. Die Okklusionsebene ist durch den Inzisalpunkt und die zwei höchsten bukkalen Höcker der zweiten Unterkiefermolaren definiert. Darstellung in der transversalen Schnittebene. (OW= Orientierungswerkzeug)

Wie in Kapitel 3.1.4 beschrieben mussten auch hier, aus Gründen der Übersicht, die kranialen und kaudalen Grenzen festgelegt, sowie der justierbare Bogen angelegt werden.

Zur Vermessung selbst wurde der zu vermessende Zahn mittig eingestellt. Daraufhin wurde das Winkelwerkzeug ausgewählt und der Winkel von der Zahnachse zu der definierten Okklusionsebene vermessen, wobei der koronal höchste Punkt stets als Scheitelpunkt fungierte. Die Messungen wurden durchlaufend von der Zahnachse nach oral durchgeführt. War ein Zahn mehrwurzig wurde die Angulation gemittelt. Abbildung 15 stellt die Messung am Beispiel des Zahnes 21 dar.



**Abb. 15** Vermessung des Winkels zwischen Zahnachse und Okklusionsebene am Beispiel des Zahnes 21. Die Okklusionsebene (OE) ist parallel zu dem unteren Schenkel des Winkelwerkzeuges (WW). Der Winkel beträgt  $59,1^\circ$ .

Die entstandenen Bilder wurden erneuten mit der Funktion „capture to galerie“ archiviert und in eine Excel Tabelle übertragen. Um die in Kapitel 2 postulierte, ungerichtete Zusammenhangshypothese „Das Ausmaß einer Dehiszenz korreliert mit der Angulation des entsprechenden Zahnes.“, zu untersuchen, wurden zusätzlich die unter 4.2.1 beschriebenen Messwerte herangezogen.

Die statistische Auswertung erfolgte in SPSS mittels Streudiagrammen (Scatterplots) und nichtparametrischer Korrelation (Spearman's Rho). Mittelwerte und Standardabweichungen wurden in Excel berechnet.

### **3.2.4 Dehiszenzen in Abhängigkeit zum Alter des Patienten**

Die Messmethodik ist konvergent zu dem in 3.1.4 dargestellten Verfahren. Um die Prävalenz von alveolären Dehiszenzen in Abhängigkeit zum Alter darzustellen, wurden die unter 4.2.1 beschriebenen Messwerte herangezogen und mit dem bekannten Alter der Patienten in Zusammenhang gebracht.

Die in Kapitel 2 aufgestellte, gerichtete Zusammenhangshypothese „Mit dem Alter des Patienten steigt das Ausmaß seiner Dehiszenzen.“ wurde in SPSS mittels Streudiagrammen (Scatterplots) und parametrischer Korrelation (Pearson) überprüft.

### **3.2.5 Dehiszenzen in Abhängigkeit zum Geschlecht des Patienten**

Die Messmethodik ist konvergent zu dem in 3.1.4 dargestellten Verfahren. Um die Prävalenz von alveolären Dehiszenzen in Abhängigkeit zum Geschlecht darzustellen wurden die unter 4.2.1 beschriebenen Messwerte herangezogen und geschlechtsspezifisch sortiert.

Die in Kapitel 2 aufgestellte, gerichtete Unterschiedshypothese „Das Ausmaß der Dehiszenzen ist bei weiblichen Patienten größer als bei Männlichen.“ wurde in SPSS anhand von T-Tests für unabhängige Stichproben überprüft.

### **3.2.6 Dehiszenzen in Abhängigkeit zur Lokalisation im Zahnbogen**

Die Messmethodik ist konvergent zu dem in 3.1.4 dargestellten Verfahren. Um die Prävalenz von alveolären Dehiszenzen in Abhängigkeit zur Position im Zahnbogen darzustellen wurden die unter 4.2.1 beschriebenen Messwerte herangezogen. Zusätzlich wurden die Werte in zwei Gruppen eingeteilt. In Gruppe 1 „Frontzahnsegment“ kamen alle Messwerte der incisivi und canini. Gruppe 2 „Seitenzahnsegment“ setzt sich aus den Messwerten der Molaren und Prämolaren zusammen.

Die in Kapitel 2 aufgestellte, gerichtete Unterschiedshypothese „Die Dehiszenzen sind im Frontzahnsegment stärker ausgeprägt als im Seitenzahnsegment.“ wurde in SPSS anhand von T-Tests für unabhängige Stichproben überprüft.

### **3.2.7 Dehiszenzen in Abhängigkeit Kiefer**

Die Messmethodik ist konvergent zu dem in 3.1.4 dargestellten Verfahren. Um die Prävalenz von alveolären Dehiszenzen in Abhängigkeit zum Kiefer darzustellen

wurden die unter 4.2.1 beschriebenen Messwerte herangezogen und geschlechtsspezifisch sortiert.

Die in Kapitel 2 aufgestellte, ungerichtete Unterschiedshypothese „Die Dehiszenzen im Ober- und Unterkiefer weisen statistisch signifikante Unterschiede auf.“ wurde in SPSS anhand von T-Tests für unabhängige Stichproben überprüft.

### **3.3 Reproduzierbarkeit der Messmethodik**

Die interindividuelle Reproduzierbarkeit der Messmethodik wurde in jüngster Zeit in diversen Studien bewiesen (32, 75). Zur Bestimmung des persönlichen Messfehlers des Betrachters wurden zusätzlich zehn Messreihen von nur einem Patienten angefertigt. Mit einer Standardabweichung von 0,46 mm lag die Reproduzierbarkeit der Messergebnisse dieser Studie in einer vergleichbaren Größenordnung.

### **3.4 Statistische Auswertung**

Für die Prüfung der bereits vorgestellten Hypothesen kamen aufgrund der Qualität des Datensatzes in erster Linie parametrische Verfahren zum Einsatz. Für die Unterschiedshypothesen 1, 2, 5 und 6 wurde der T-Test für unabhängige Stichproben eingesetzt. Da parametrische Verfahren bestimmten Voraussetzungen genügen müssen wird zunächst diese Thematik besprochen, danach werden die einzelnen Verfahren näher erläutert.

Der T-Test stellt eines der wichtigsten Verfahren der Inferenzstatistik zur Prüfung von Unterschiedshypothesen dar. Aufgrund der Symmetrie der Prüfgröße T kann er einseitige und zweiseitige Fragestellungen überprüfen – je nachdem, ob die zugrundeliegende Hypothese gerichtet oder ungerichtet formuliert wurde. Die erste Voraussetzung fordert mindestens Intervallskalenniveau für die zu untersuchende Variable, was hier eindeutig erfüllt ist. Zum Zweiten müssen die einander gegenübergestellten Gruppen unabhängig und deren Varianzen annähernd homogen sein. Die Unabhängigkeit wird durch die untersuchten Gruppen (z.B. männlich vs. weiblich) gewährleistet, die Varianzhomogenität, wurde mit dem Levene-Test überprüft. Obwohl der Levene-Test bei großen Stichproben zu konservativ ausfällt, wurde er in der vorliegenden Untersuchung eingesetzt, da er durch die statistische Software automatisch mit ausgegeben wird. Ist der Test nicht signifikant, so kann von ausreichender Varianzhomogenität

zwischen den Gruppen ausgegangen werden. Sollte er signifikant werden, so wird ein korrigierter T-Wert berechnet, der die mangelnde Varianzhomogenität berücksichtigt. Es werden daher bei den T-Tests immer zwei Zeilen mit angegeben, erstens für den Fall der Varianzhomogenität und zweitens für mangelnde Varianzhomogenität. Es sei jedoch noch angemerkt, dass der T-Test relativ robust gegenüber Verletzungen ist und er besonders bei nahezu gleich großen Gruppen und einer großen Stichprobe sehr zuverlässig und teststark ist (76). Insgesamt ist festzuhalten, dass der T-Test auf signifikante Mittelwertsunterschiede zwischen zwei Gruppen prüft.

Aus der Prüfgröße T errechnet sich dann die Signifikanz, die durch den p-Wert angegeben wird. Ist die zu überprüfende Hypothese gerichtet formuliert, muss einseitig getestet werden. Aufgrund der bereits angesprochenen Symmetrie der T-Verteilung wird dann der empirisch ermittelte p-Wert, der sich immer auf einen zweiseitigen Test bezieht, halbiert. Vorab ist bei gerichteten Fragestellungen jedoch zu überprüfen, ob die in der Hypothese postulierte Richtung sich in den Mittelwerten der Gruppen widerspiegelt. Sollte beispielsweise behauptet werden, dass Gruppe 1 bezüglich eines Merkmals höhere Werte aufweist als Gruppe 2, sich aber bei den Mittelwerten zeigen, dass Gruppe 1 einen geringeren Mittelwert aufweist, so kann die Hypothese bereits nicht mehr bestätigt werden. Liegt dieser Fall vor, wird das Ergebnis des T-Tests nicht weiter berücksichtigt, da es redundant ist, unabhängig davon ob der Test signifikant wurde oder nicht.

In Hypothese 3 wird der Zusammenhang zwischen dem Ausmaß der Dehiszenzen und der Angulation postuliert. Dazu wurde die absolute Abweichung des Winkels von der „Idealposition“ der Vertikalen mit exakt  $90^\circ$  in vestibulärer bzw. in oraler Richtung berechnet. Da aufgrund der Eigenschaften eines Winkels nicht davon ausgegangen wird, dass ein linearer Zusammenhang zwischen beiden Variablen besteht, wurde nonparametrisch mit dem Korrelationskoeffizienten nach Spearman (Spearman's Rho) getestet. Zuvor eignen sich Scatterplots zur Visualisierung der Beziehung zwischen beiden Variablen.

Hypothese 4 behauptet den positiven Zusammenhang zwischen dem Ausmaß der Dehiszenzen und dem Alter der Patienten. Da beide Merkmale verhältnisskaliert sind und in diesem Fall von einem linearen Zusammenhang ausgegangen wird, wurde die Korrelation nach Pearson (Produkt-Moment-Korrelation) eingesetzt.

Auch hier kamen Streudiagramme zur visuellen Überprüfung des Zusammenhangs zum Einsatz.

Es sei noch angemerkt, dass Korrelationskoeffizienten normiert sind und in einem Wertebereich von -1 bis +1 liegen. Ein Wert von 0, oder nahe 0 bedeutet, dass keine Korrelation vorliegt, ein Wert von 1 spricht für einen perfekten positiven, ein Wert von -1 für einen perfekten negativen Zusammenhang. Der Korrelationskoeffizient  $r$  kann also als Kontinuum aufgefasst werden. Cohen (1988) schlug die folgende Einteilung zur Verdeutlichung der Effekte vor (77):

$r < .01$  → kein Effekt

$r < .03$  → kleiner Effekt

$r < .05$  → mittlerer Effekt

$r > .05$  → starker Effekt

Da es sich bei Hypothese 4 um eine gerichtete Hypothese handelt, muss wiederum einseitig getestet werden. Der Korrelationskoeffizient  $r$  sollte aufgrund des postulierten *positiven* Zusammenhangs ein *positives* Vorzeichen aufweisen.

Für alle statistischen Tests wurde ein  $\alpha$ -Niveau von 5% a priori festgelegt. Dies entspricht der Irrtumswahrscheinlichkeit, bei einem signifikanten Ergebnis die postulierte Alternativhypothese  $H_1$  anzunehmen, obwohl in Wahrheit die Nullhypothese  $H_0$  gilt. Man bezeichnet diesen Fehler auch als Fehler 1, Art oder  $\alpha$ -Fehler. Darüber hinaus wurden die folgenden Signifikanzniveaus festgelegt:

$p > .05$  nicht signifikant

$p \leq .05$  signifikant

$p \leq .01$  sehr signifikant

$p < .001$  hoch signifikant

Die Auswertung erfolgte mit der Software Microsoft Excel 2010 sowie mit SPSS, Version 20.

### 3.4.1 Microsoft Excel

Microsoft Excel ist ein Tabellenkalkulationsprogramm, welches durch mathematische Funktionen und Formeln unter anderem auch statistische

Berechnungen durchführen kann. Ergebnisse können sortiert und grafisch dargestellt werden.

In dieser Studie diente Excel vornehmlich zur systematischen Datenaufnahme.

### **3.4.2 SPSS Version 20**

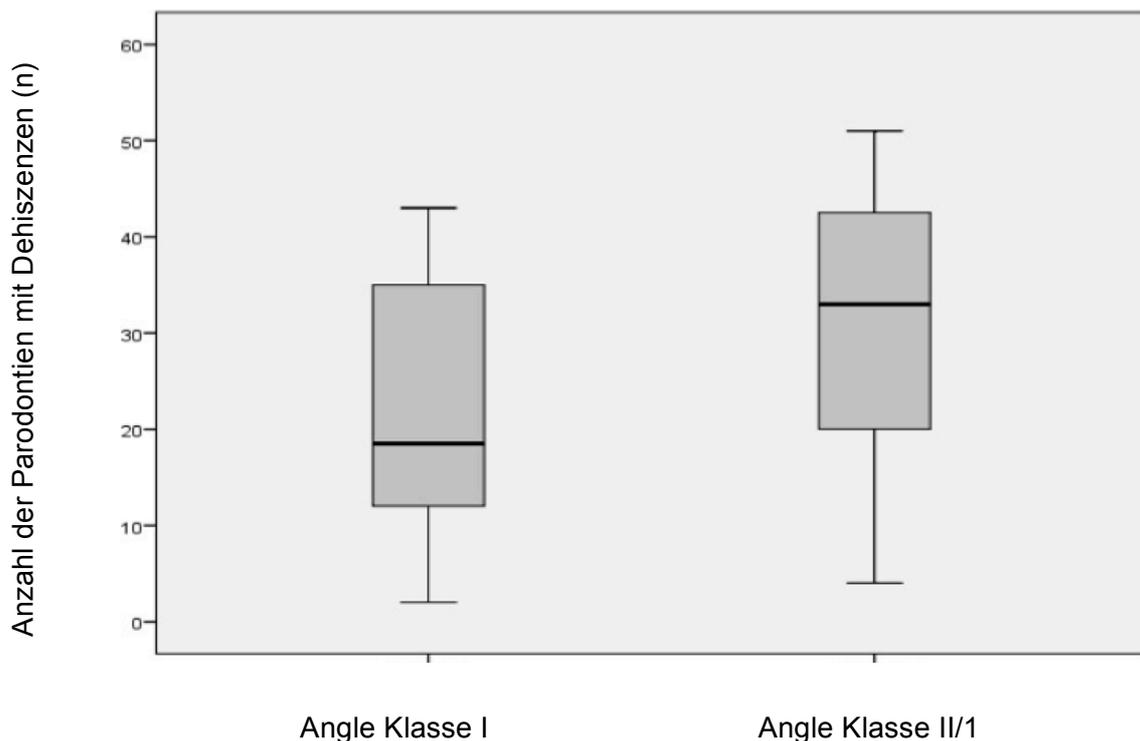
SPSS 20 ist eine plattformunabhängige Statistik- und Analyse-Software.

Sie ermöglicht grundlegendes Datenmanagement und umfangreiche statistische und grafische Datenanalyse mit den gängigsten statistischen Verfahren.

## 4 Ergebnisse

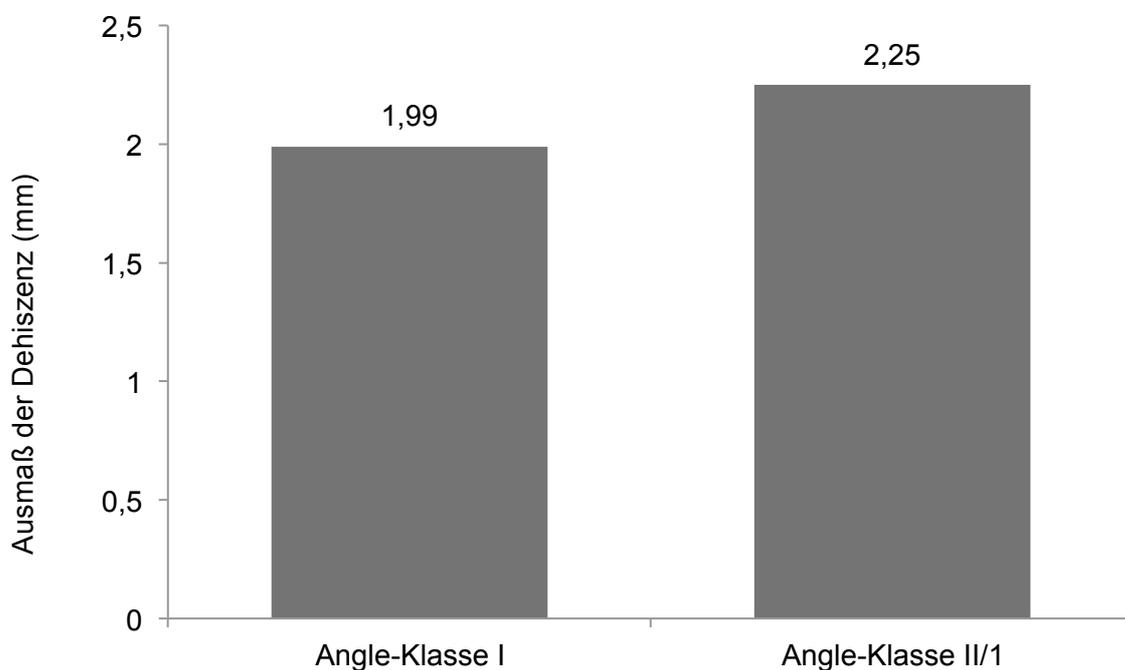
### 4.1 Dehiszenzen in Abhängigkeit von der Angle-Klasse

Knochendehiszenzen wurden an 75 Patienten mit Angle-Klasse I und 74 Patienten mit Angle-Klasse II/1 erhoben. Alle Patienten mit Angle-Klasse I sowie Angle Klasse II/1 wiesen prätherapeutisch an mindestens einem Zahn eine Knochendehiszenz auf. Es wurden pro Patient 56 Messungen vorgenommen (4 Quadranten: Parodontium 1 bis 7: vestibulär und oral). Dementsprechend konnten auch maximal 56 Dehiszenzen aufgefunden werden. Die Patienten der Angle Klasse I wiesen prätherapeutisch im Mittel 22,03 Dehiszenzen auf. Der Mittelwert der Patienten mit Angle Klasse II/1 fiel mit 31,56 deutlich höher aus. Der Unterschied zwischen den beiden Angle Klassen war statistisch signifikant ( $p=.003$ ).



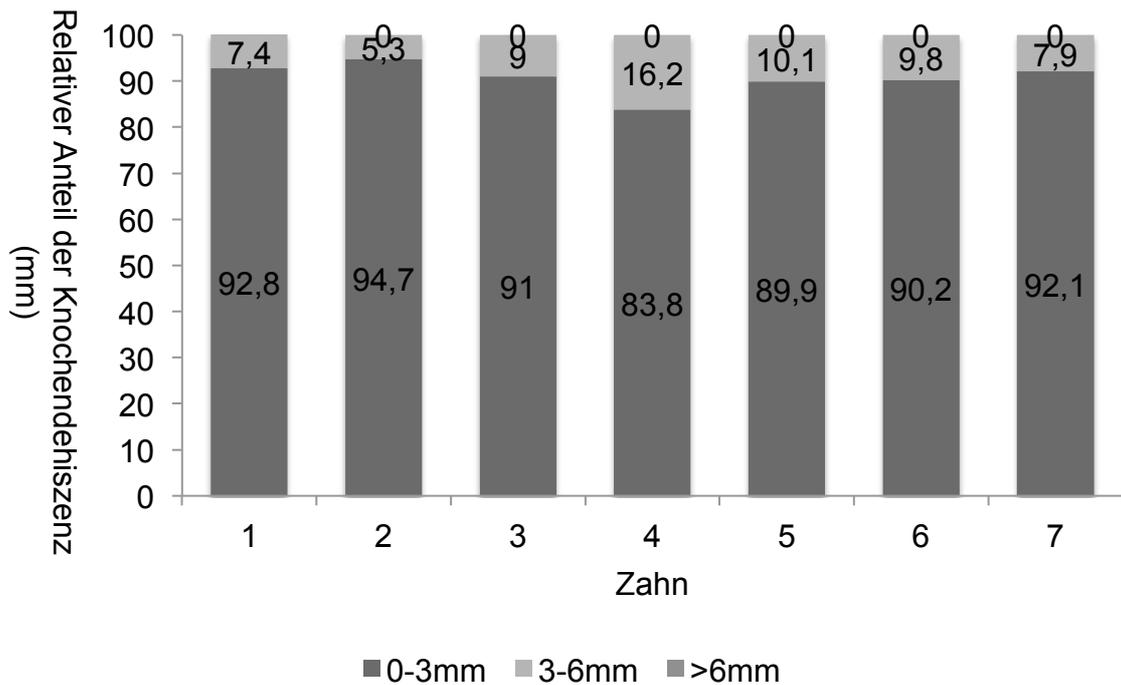
**Abb. 16** Box-Whisker-Plots zur Darstellung der prätherapeutischen Anzahl an Dehiszenzen pro Patient in Abhängigkeit von der Angle Klasse. Die Patienten mit Angle Klasse II/1 wiesen signifikant höhere Werte auf ( $p=0.003$ ).

Das Ausmaß der Knochendehiszenzen lag bei Patienten mit Angle-Klasse I zwischen 0,21 mm und 5,73 mm. Der Mittelwert betrug 1,99 mm. Bei Patienten mit einer Angle-Klasse II/1 lagen die Messwerte zwischen 0,4 mm und 9,19 mm, mit einem Mittelwert von 2,25 mm (Abb. 17). Die Werte der Angle Klasse II/1 waren statistisch signifikant höher als die Werte der Angle Klasse I ( $p < .001$ ). Auf der Basis dieser Stichprobe konnte die Hypothese: „Das Ausmaß der Dehiszenzen ist bei Patienten mit Angle-Klasse I höher als bei Patienten mit Angle-Klasse II/1“ eindeutig nicht bestätigt werden.

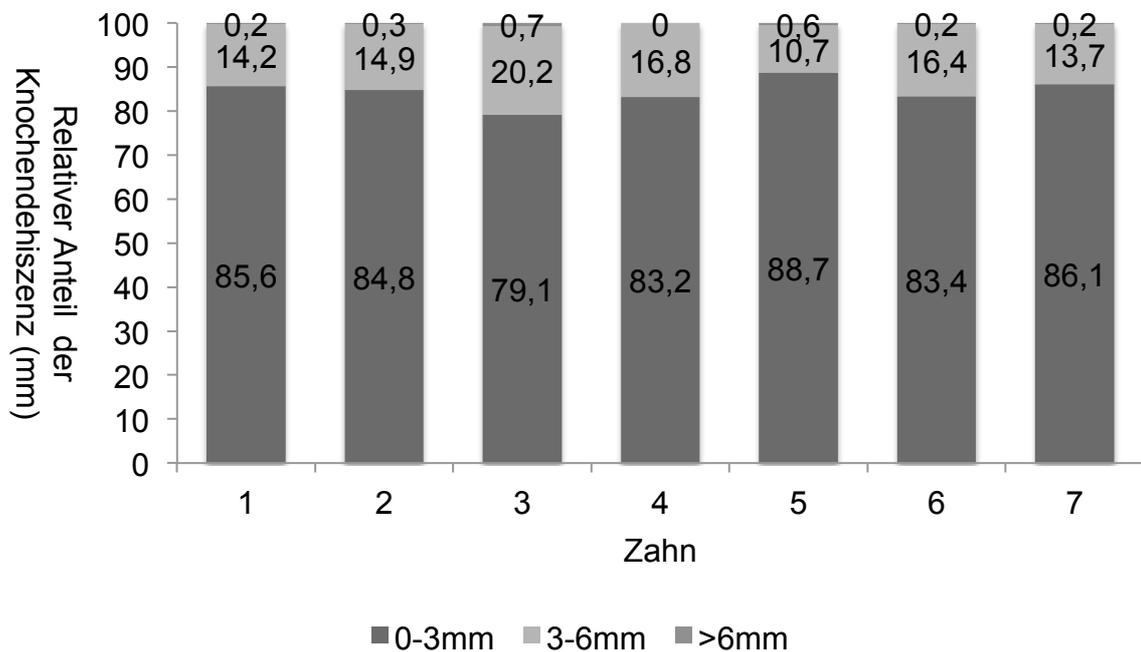


**Abb. 17** Mittelwerte zum Ausmaß der Knochendehiszenzen in Abhängigkeit von der Angle-Klasse. Patienten mit Angle-Klasse II/1 wiesen statistisch signifikant größere Knochendehiszenzen auf.

Die Patienten der Angle Klasse I wiesen je nach Zahn (1-7) 83,8%(4)-94,7%(2) ihrer Messwerte im Bereich von 0-3 mm auf. 5,3%(2)-16,2%(4) aller Messwerte lagen im Bereich von 3-6 mm (Abb.18). Die Gruppe >6 mm war unbesetzt. Bei Patienten der Angle Klasse II/1 lagen hingegen 79,1%(3)-88,7%(5) im Bereich von 0-3 mm. 10,7%(5)-20,2%(3) aller Messwerte lagen im Bereich von 3-6 mm. In dieser Gruppe war auch der Bereich >6 mm mit 0(4)-0,7%(3) besetzt (Abb.19).

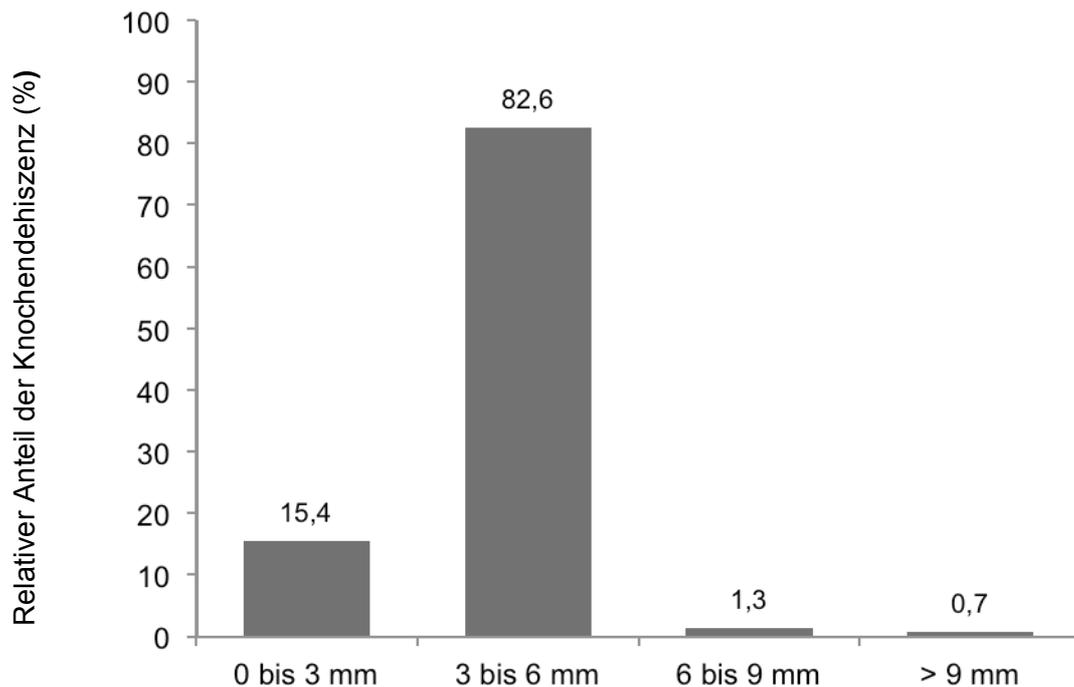


**Abb. 18** Prozentuale Verteilung der Dehiszenzen der Zähne 1 bis 7 in die Gruppen 0-3 mm, 3-6 mm und >6 mm für Patienten der Angle Klasse I. Der eindeutig größte Anteil entfiel für alle Zähne auf die Gruppe von 0-3 mm.



**Abb. 19** Prozentuale Verteilung der Dehiszenzen der Zähne 1 bis 7 in die Gruppen 0-3 mm, 3-6 mm und >6 mm für Patienten der Angle Klasse II/1. Der eindeutig größte Anteil entfiel für alle Zähne auf die Gruppe von 0-3 mm.

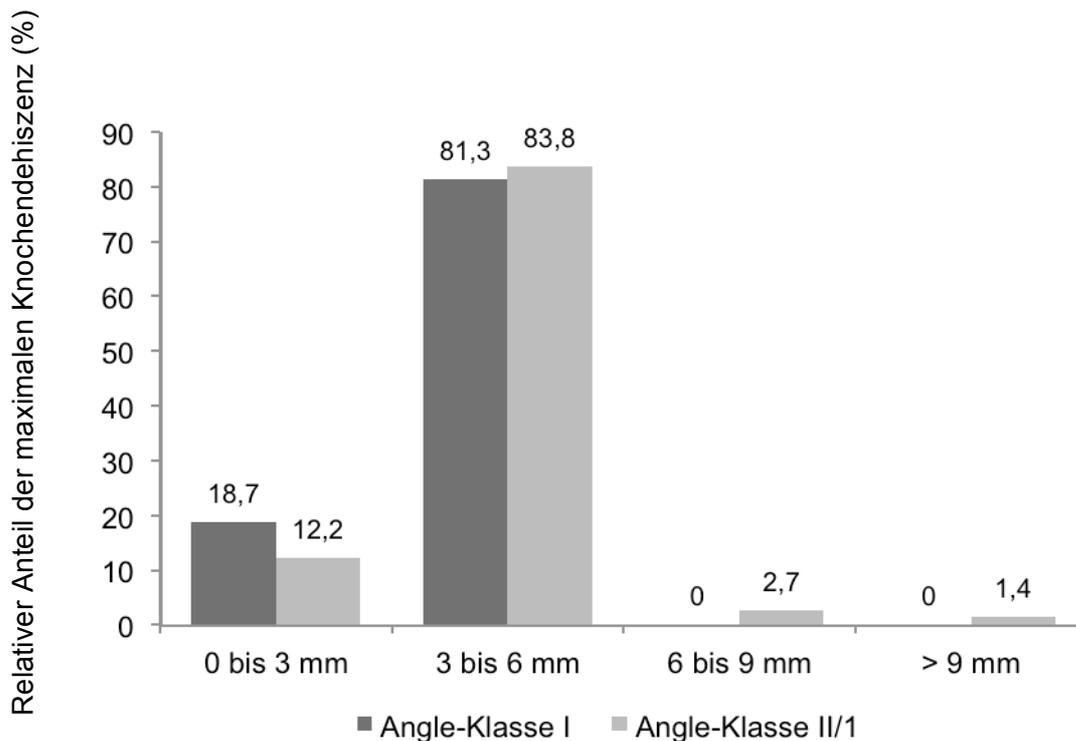
In Abhängigkeit vom Ausmaß der maximalen Knochendehiszenz wurden alle Patienten in vier Gruppen eingeteilt: 0 bis 3 mm, 3 bis 6 mm, 3 bis 9 mm und >9 mm. 15,4% der Patienten hatten an mindestens einem Zahn eine Dehiszenz von 0 bis 3 mm, 82,6% eine Dehiszenz von 3 bis 6 mm, 1,3% eine Dehiszenz von 6 bis 9 mm und 0,7% mindestens eine Dehiszenz von >9 mm (Abb. 20).



**Abb. 20** Prozentuale Verteilung des Ausmaßes der maximalen Knochendehiszenzen für das gesamte Patientengut. Die meisten Patienten wiesen eine maximale Dehiszenz von 3 bis 6 mm auf.

Insgesamt war der prozentuale Anteil von Patienten mit ausgeprägten Knochendehiszenzen in der Gruppe der Patienten mit Angle-Klasse II/1 höher als bei den Patienten mit Angle-Klasse I. Nur 18,7% der Angle-Klasse I und 12,2% der Angle-Klasse II/1 Patienten zeigten eine Knochendehiszenz von 0 bis 3 mm. Dagegen hatten 81,3% der Angle-Klasse I und 83,3% Angle-Klasse II/1 Patienten Knochendehiszenzen zwischen 3 und 6 mm (Abb. 21). Knochendehiszenzen von 6 bis 9 mm und größer als 9 mm waren für Angle Klasse I Patienten nicht nachzuweisen. Bei der Angle Klasse II/1 wiesen noch 2,4% der Patienten eine maximale Dehiszenz von 6 bis 9 mm auf. Bei 1,4% der Patienten waren sogar Dehiszenzen von mehr als 9 mm nachweisbar. Die prozentuale Verteilung zwischen den Angle-Klassen bezüglich des Ausmaßes der Knochendehiszenzen

war statistisch nicht signifikant unterschiedlich ( $p=0.252$ ). Die getrennte Betrachtung der Ergebnisse für den Ober- und Unterkiefer ergab ähnliche Ergebnisse. Im Oberkiefer wiesen die Patienten mit Angle-Klasse I Werte zwischen 0,21 mm und 5,73 mm auf. Patienten mit Angle-Klasse II/1 wiesen mit 0,4 mm bis 7,4 mm deutlich höhere Werte auf.

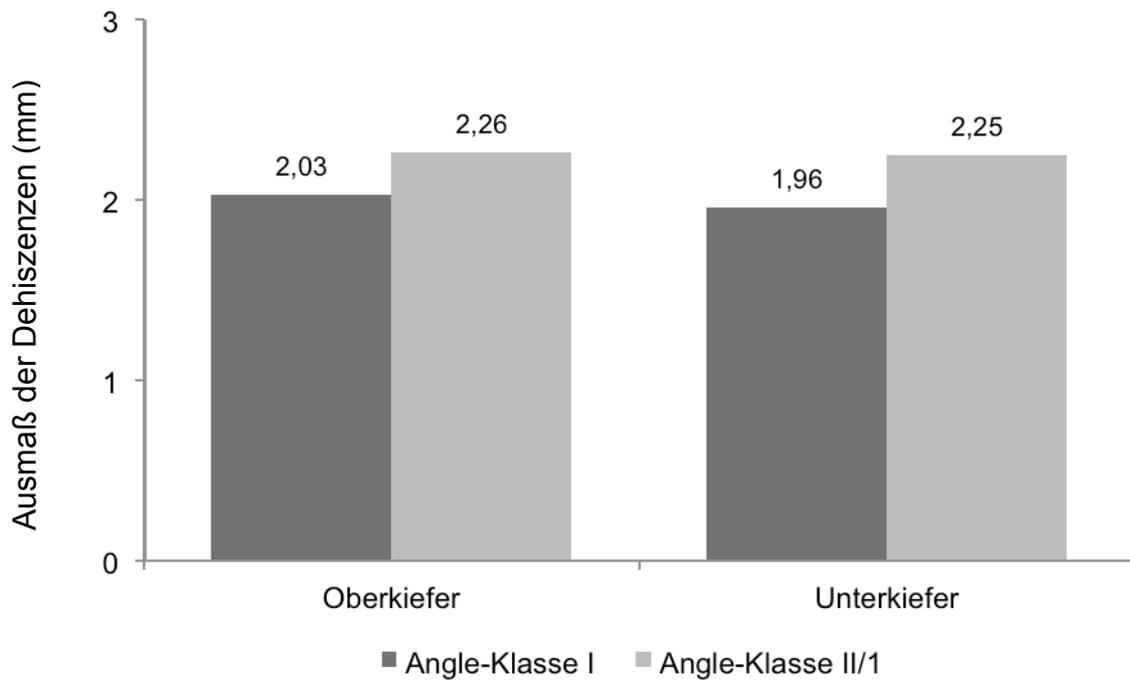


**Abb. 21** Prozentuale Verteilung der maximalen Knochendehiszenzen in Abhängigkeit vom Ausmaß. Patienten mit Angle-Klasse II/1 wiesen in den Intervallen von 3 bis 6 mm, 6 bis 9 mm und >9 mm statistisch signifikant mehr Knochendehiszenzen auf.

Im Oberkiefer waren die Mittelwerte bei Patienten mit Angle-Klasse II/1 (2,26 mm) statistisch signifikant höher ( $p<0.001$ ) als bei Angle-Klasse I (2,03 mm). Im Unterkiefer ergaben sich ähnliche Verhältnisse. Die Werte für Patienten mit Angle-Klasse I lagen zwischen 0,4 mm und 4,59 mm und bei Angle-Klasse II/1 zwischen 0,71 mm und 9,19 mm. Auch im Unterkiefer waren die Mittelwerte bei Patienten mit Angle-Klasse II/1 (2,25 mm) statistisch signifikant ( $p<0.001$ ) höher als bei Angle-Klasse I (1,96 mm) (Abb. 21).

Teilt man die Patienten, dem Ausmaß der maximalen Dehiszenzen nach, für jeden Kiefer einzeln in Abhängigkeit vom Ausmaß der Knochendehiszenzen ein, so erhält man für beide Kiefer beinahe identische Ergebnisse (Abb. 23). Die genauen

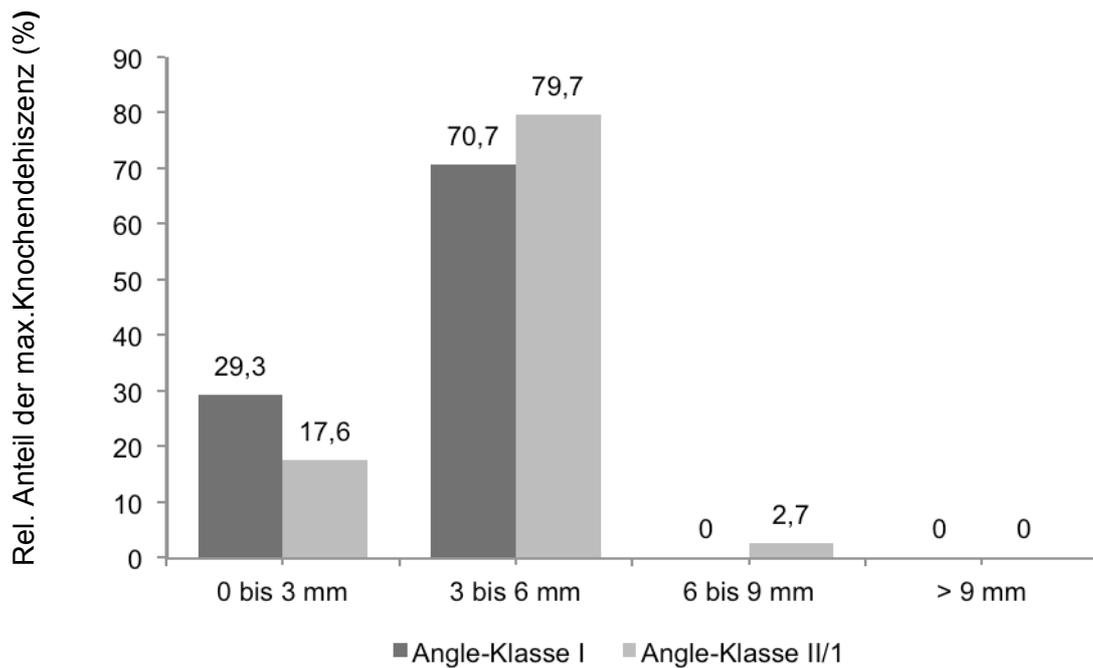
Werte sind Tabelle 7 zu entnehmen. Weder im Oberkiefer noch im Unterkiefer wies die Einteilung in die 4 Gruppen zwischen Angle Klasse I und Angle Klasse II/1 einen statistisch signifikanten Unterschied auf (OK:  $p=0.099$ ; UK:  $p=0.262$ ).



**Abb. 22** Balkendiagramm zum Ausmaß der Knochendehiszenzen, getrennt nach Ober- und Unterkiefer in Abhängigkeit von der Angle-Klasse. Patienten mit Angle-Klasse II/1 wiesen sowohl im Oberkiefer als auch im Unterkiefer statistisch signifikant größere Knochendehiszenzen auf.

**Tab. 6** Relativer Anteil des Ausmaßes der maximalen Dehiszenz unterteilt nach Kiefer und Angle Klasse. In beiden Kiefern und Klassen ist der größte Anteil der Dehiszenzen der Gruppe von 3 bis 6mm zuzuordnen (gelb). UK= Unterkiefer, OK= Oberkiefer.

	UK Klasse I	UK Klasse II/1	OK Klasse I	OK Klasse II/1
0 bis 3 mm	29,3%	18,9%	29,3%	17,6%
3 bis 6 mm	70,7%	78,4%	70,7%	79,7%
6 bis 9 mm	0%	1,4%	0%	2,7%
>9 mm	0%	1,4%	0%	0%

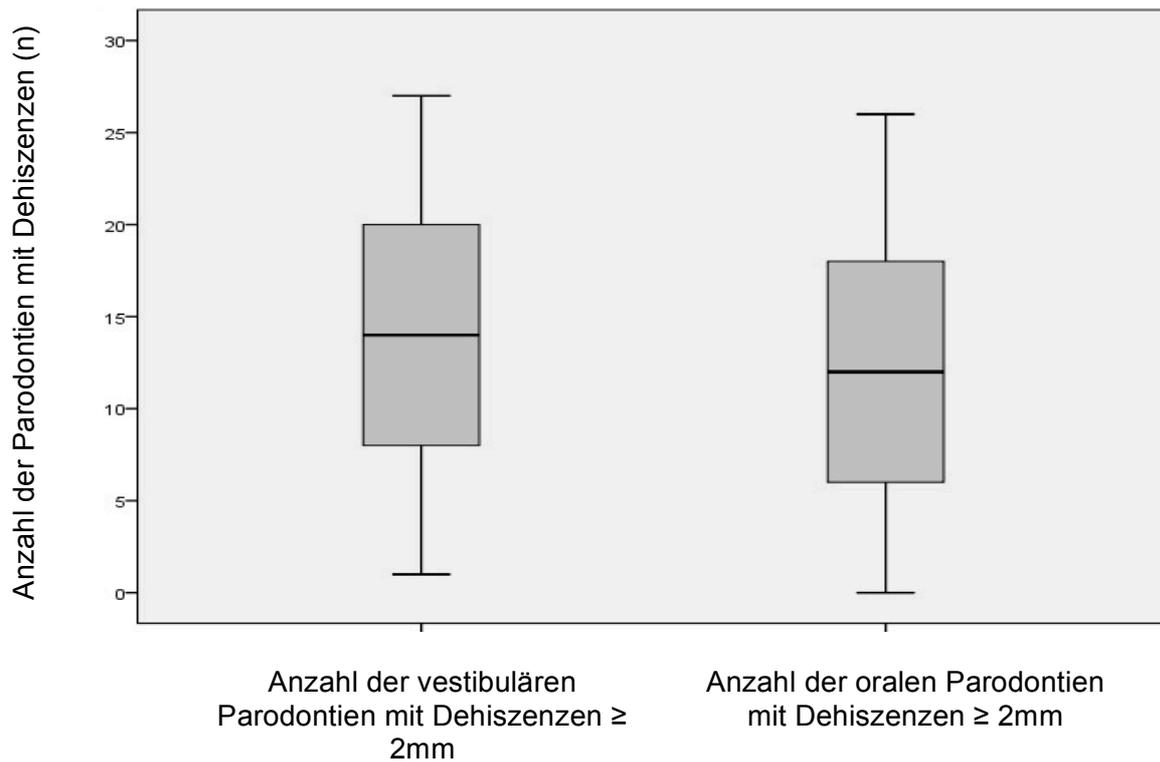


**Abb. 23** Prozentuale Verteilung der Knochendehiszenzen im Oberkiefer in Abhängigkeit vom Ausmaß. Patienten mit Angle-Klasse II/1 wiesen in den Intervallen 3 bis 6 mm und 6 bis 9 mm statistisch signifikant mehr Knochendehiszenzen auf.

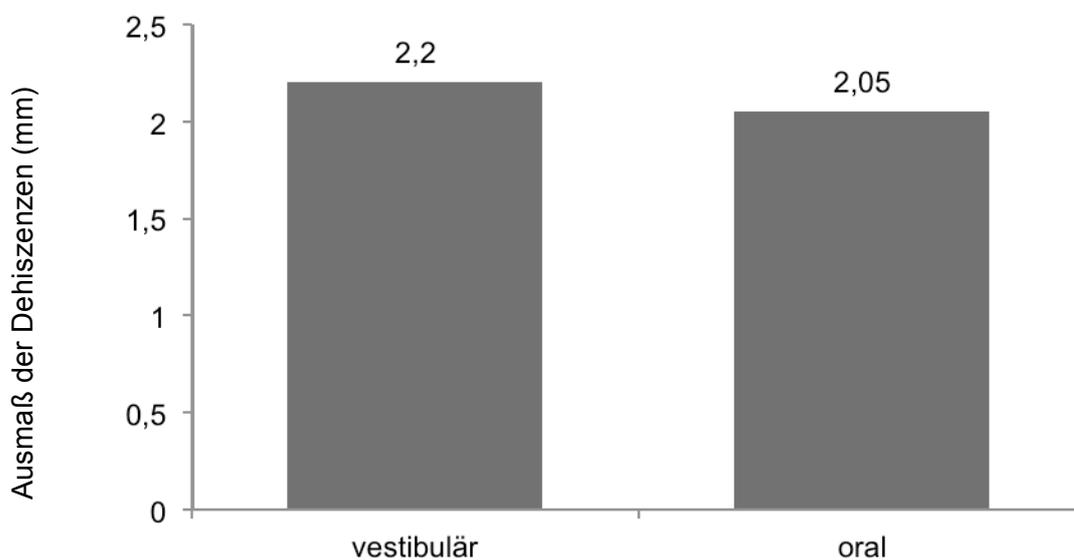
#### 4.2 Vergleich oraler und vestibulärer Dehiszenzen

Die Knochendehiszenzen wurden bei 149 Patienten jeweils an der vestibulären und oralen Fläche der 28 Parodontien erhoben. Dabei zeigten die Patienten im Mittel 14,45 vestibuläre Dehiszenzen. Orale Dehiszenzen waren mit durchschnittlich 12,40 etwas geringer ausgeprägt. Der Unterschied zwischen der Anzahl der prätherapeutisch erhobenen vestibulären und oralen Dehiszenzen war statistisch hoch signifikant ( $p < 0.001$ ) (Abb. 24).

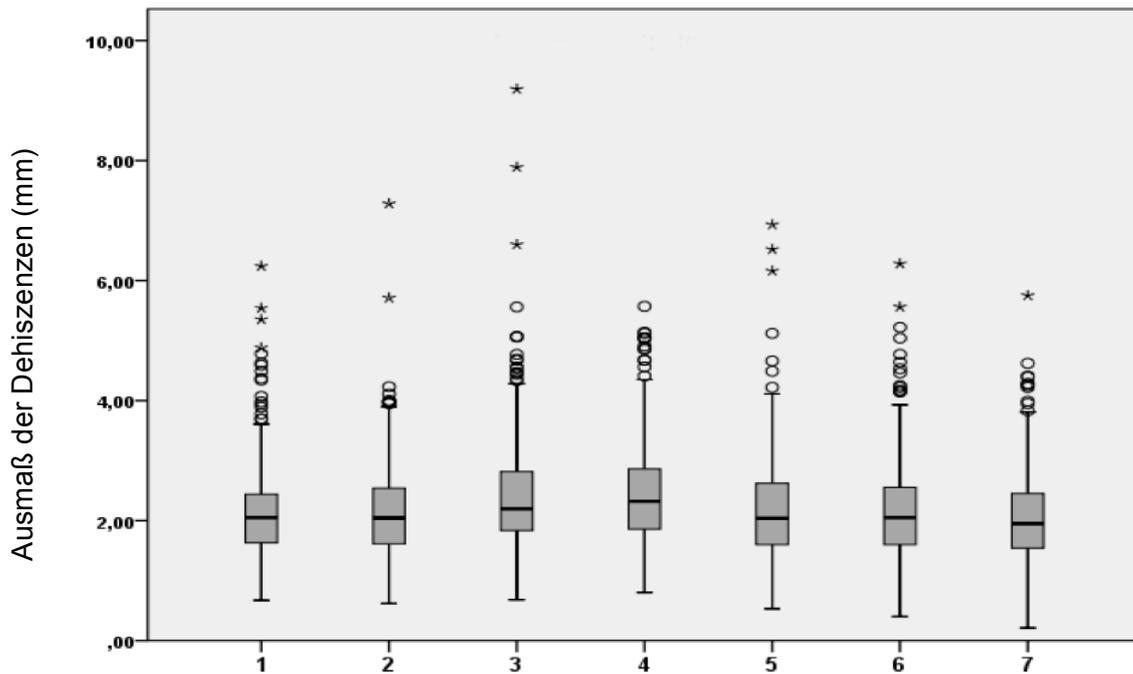
Das Ausmaß der vestibulären Knochendehiszenzen lag zwischen 0,21 mm und 9,19 mm. Der Mittelwert betrug 2,2 mm. Oral konnten Messwerte von 0,34 mm bis 8,39 mm aufgenommen werden. Der Mittelwert der oralen Messwerte betrug nur 2,05 mm. Auch dieser Unterschied von 0,15 mm war statistisch hoch signifikant ( $p < .001$ ) (Abb.25). Die Hypothese „Dehiszenzen sind vestibulär stärker ausgeprägt als oral“ kann somit anhand dieser Stichprobe eindeutig bestätigt werden. Abbildung 26 und 27 veranschaulichen zusätzlich die Mittel-, Ausreißer- und Extremwerte jedes einzelnen Zahnes (1-7) für die vestibulären und oralen Messstellen.



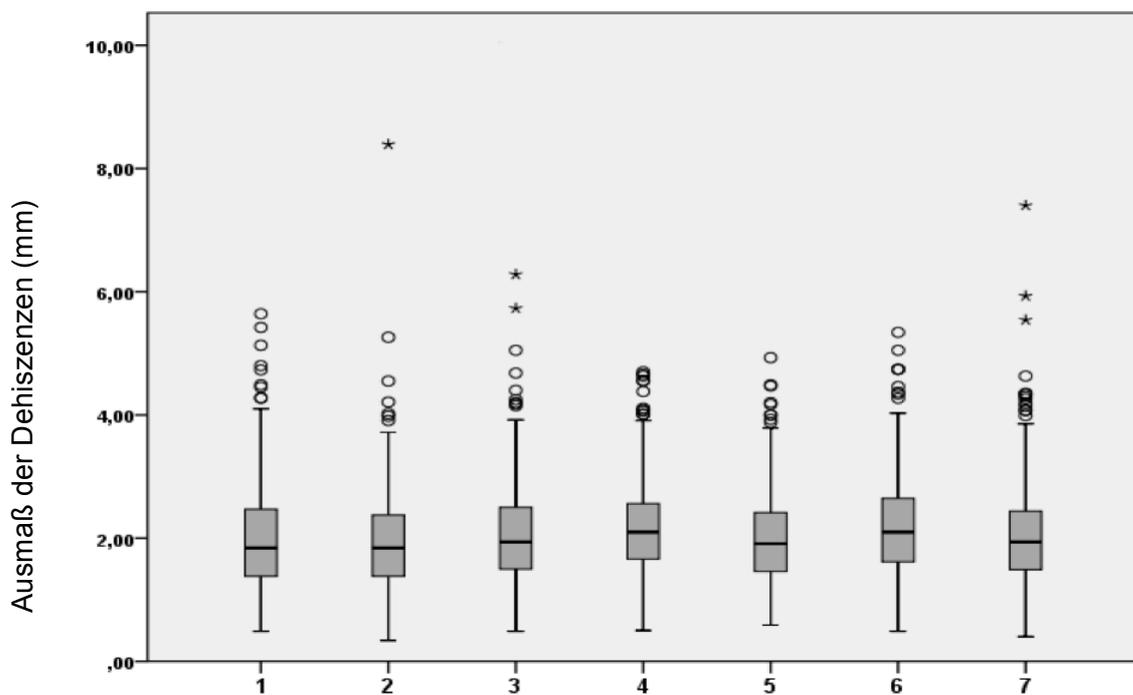
**Abb. 24** Box-Whisker-Plots zur prätherapeutischen Anzahl an Dehiszenzen unterteilt nach oral und vestibulär. Vestibulär waren statistisch hoch signifikant mehr Dehiszenzen zu verzeichnen ( $p < 0.001$ ).



**Abb. 25** Mittelwerte zum Ausmaß der Knochendehiszenzen unterteilt nach vestibulärer und oraler Lokalisation. Die vestibulären Parodontien wiesen statistisch signifikant größere Knochendehiszenzen auf ( $p < 0.001$ ).



**Abb. 26** Box-Whisker-Plots zur Darstellung des Ausmaßes der vestibulären Dehiszenzen der Zähne 1-7. (\* Extremwerte, ° Ausreißerwerte)



**Abb. 27** Box-Whisker-Plots zur Darstellung des Ausmaßes der oralen Dehiszenzen der Zähne 1-7. (\* Extremwerte, ° Ausreißerwerte)

### 4.3 Dehiszenzen in Abhängigkeit von der Zahnangulation

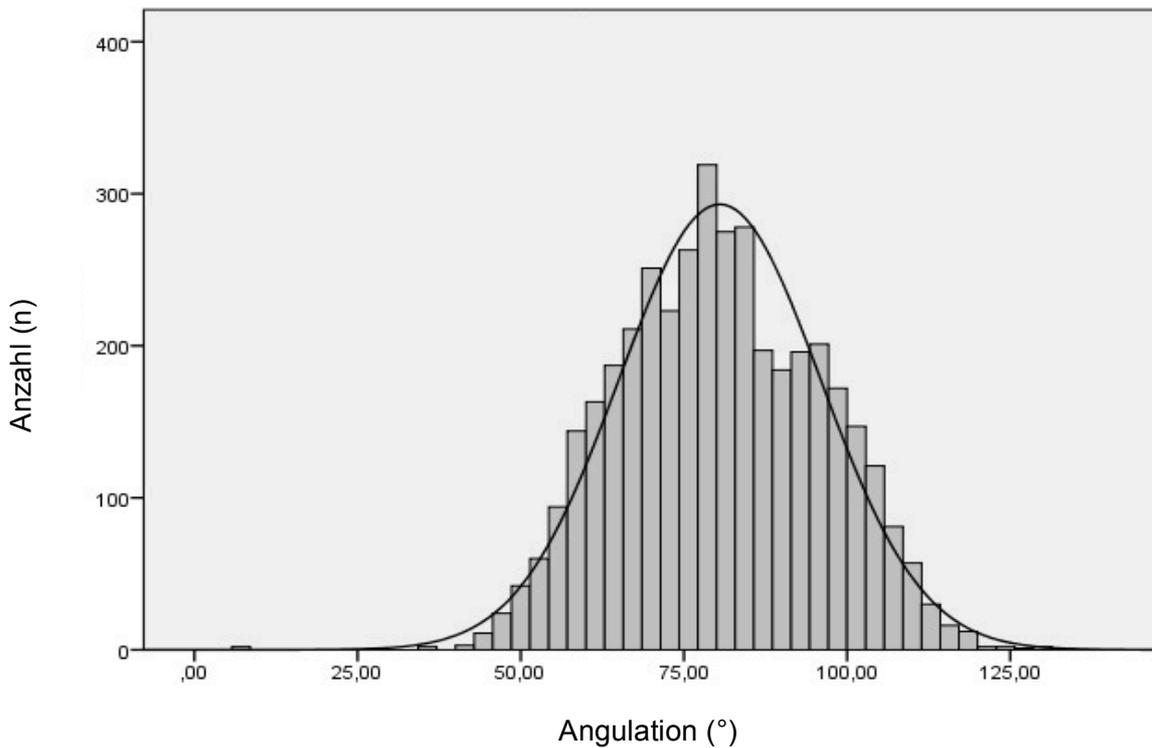
Es konnten insgesamt 3968 Zahnangulationen bei 149 Patienten vermessen werden. Die Winkel der Zahnachse zur Okklusionsebene lagen zwischen 34,5° und 129,8°. Der Mittelwert betrug 80,49° bei einer Standardabweichung von

15,45°. In Tabelle 6 sind die Minima, Maxima, Mittelwerte (gelb) und Standardabweichungen für die einzelnen Zähne (1 bis 7) eines jeden Quadranten aufgeführt. Abbildung 24 visualisiert die homogene Verteilung des Ausmaßes der Zahnangulationen im gesamten Patientengut.

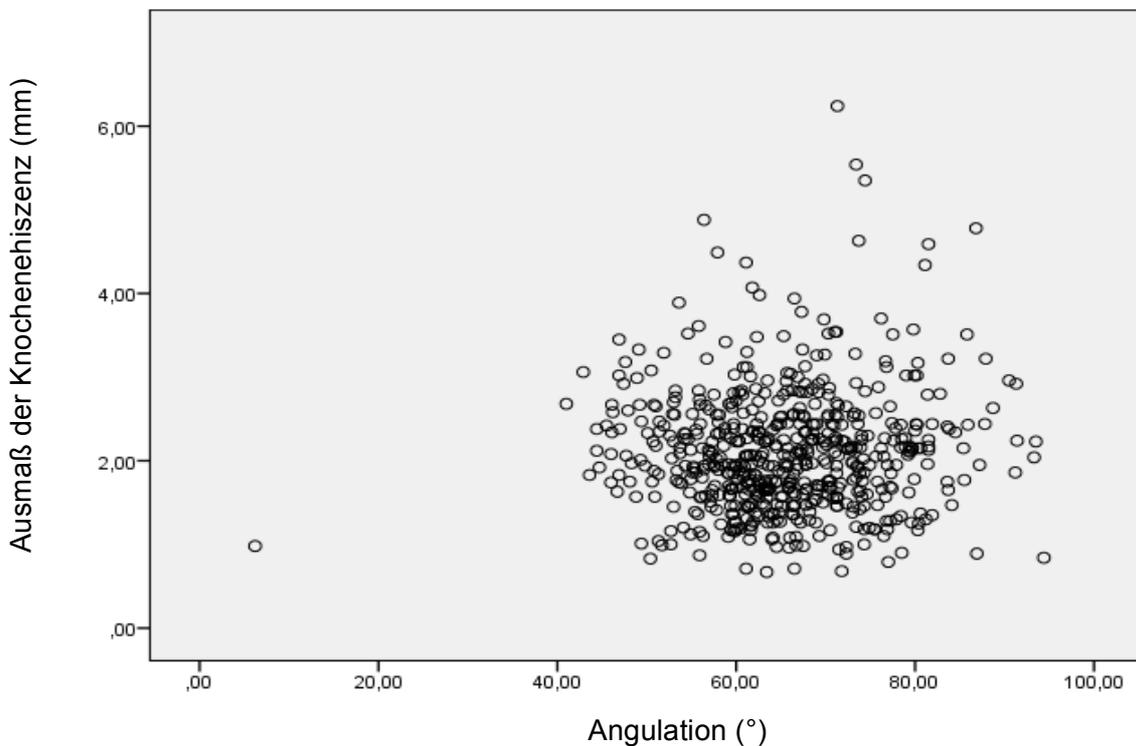
**Tab. 7** Verteilung des Ausmaßes der Zahnangulationen der Zähne 1 bis 7. Hinsichtlich der Angulation lassen sich grob zwei Gruppen unterscheiden: im Frontzahnsegment betrug die Angulation  $\approx 70^\circ$  und im Seitenzahnsegment  $\approx 90^\circ$ )

Zahn	1	2	3	4	5	6	7
Minimum(°)	41,00	36,30	34,50	60,00	58,00	65,80	58,40
Maximum(°)	94,40	93,50	98,6	118,6	118,50	119,60	129,80
Mittelwert(°)	65,47	65,22	74,21	87,35	91,79	91,76	90,15
Standardabweichung (°)	9,96	9,45	8,77	8,18	8,07	11,37	15,77

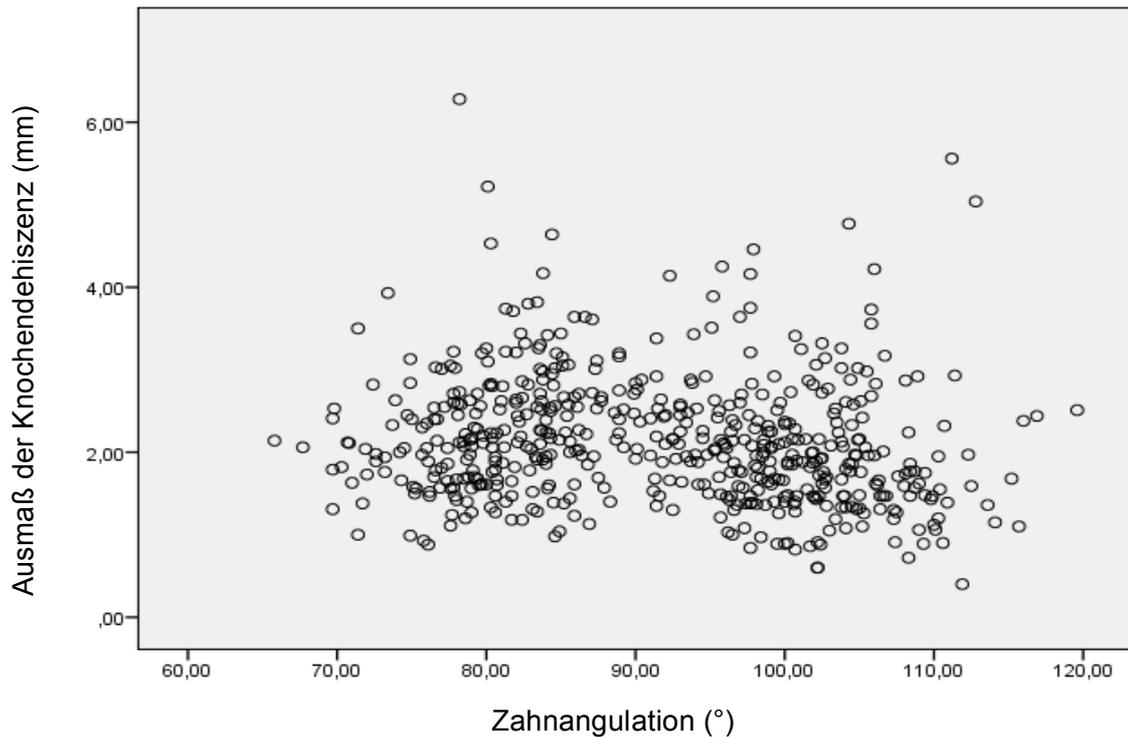
Durch die Berechnung des Spearman-Rho Korrelationskoeffizienten zwischen der Zahnachsenangulation und dem Ausmaß seiner Dehiszenz konnten keine statistisch signifikanten Unterschiede festgestellt werden ( $r < 0.1$ ). Auch die beispielhaften Scatter-Plots für die zentralen Schneidezähne (Abb. 28) und die ersten Molaren (Abb. 29) zeigen weder eine lineare noch eine nicht-lineare Abhängigkeit zwischen Zahnangulation und Ausmaß der Knochendehiszenz. Das Gleiche gilt auch für die übrigen Zähne (2er, 3er, 4er, 5er und 7er). Die Hypothese „Das Ausmaß einer Dehiszenz korreliert mit der Angulation des entsprechenden Zahnes“ kann somit anhand dieser Stichprobe nicht bestätigt werden.



**Abb. 28** Balkendiagramm zur Verdeutlichung der homogenen Verteilung der Zahnachsenangulationen im gesamten Patientengut (n=149)



**Abb. 29** Scatterplot zur Darstellung eines Zusammenhangs zwischen Zahnangulation und dem Ausmaß der dazugehörigen Knochenrezision, am Beispiel der zentralen Schneidezähne der Ober- und Unterkiefer (n= 590). Es war kein signifikanter Zusammenhang nachweisbar.

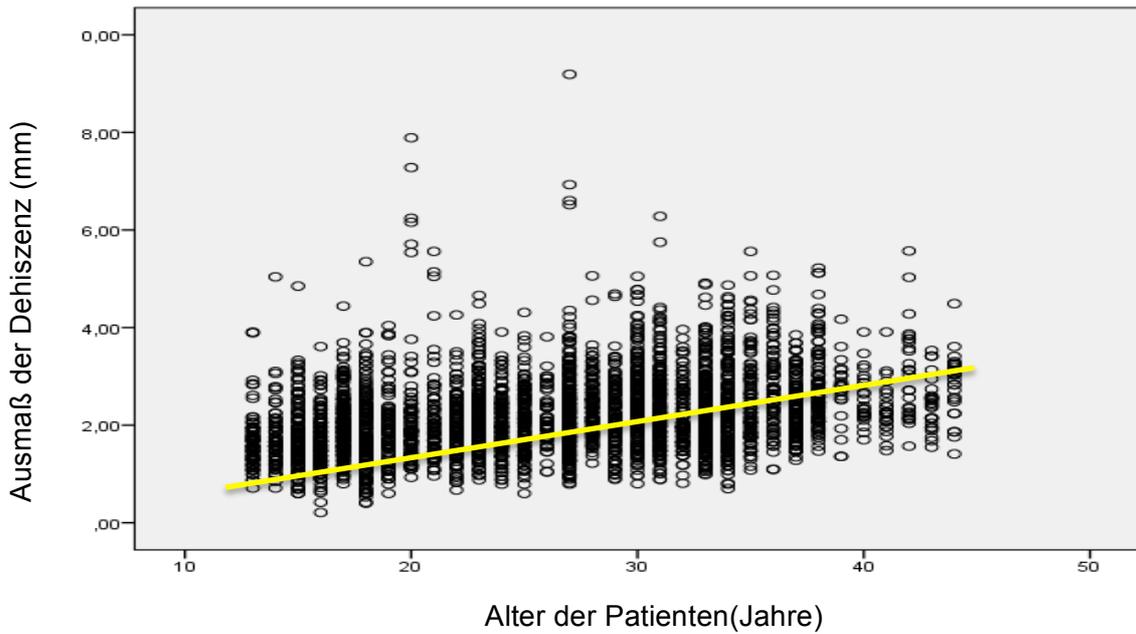


**Abb. 30** Scatterplot zur Darstellung eines Zusammenhangs zwischen Zahnangulation und dem Ausmaß der dazugehörigen Knochendehiszenz, am Beispiel der ersten Molaren der Ober- und Unterkiefer (n= 550). Es war kein signifikanter Zusammenhang nachweisbar.

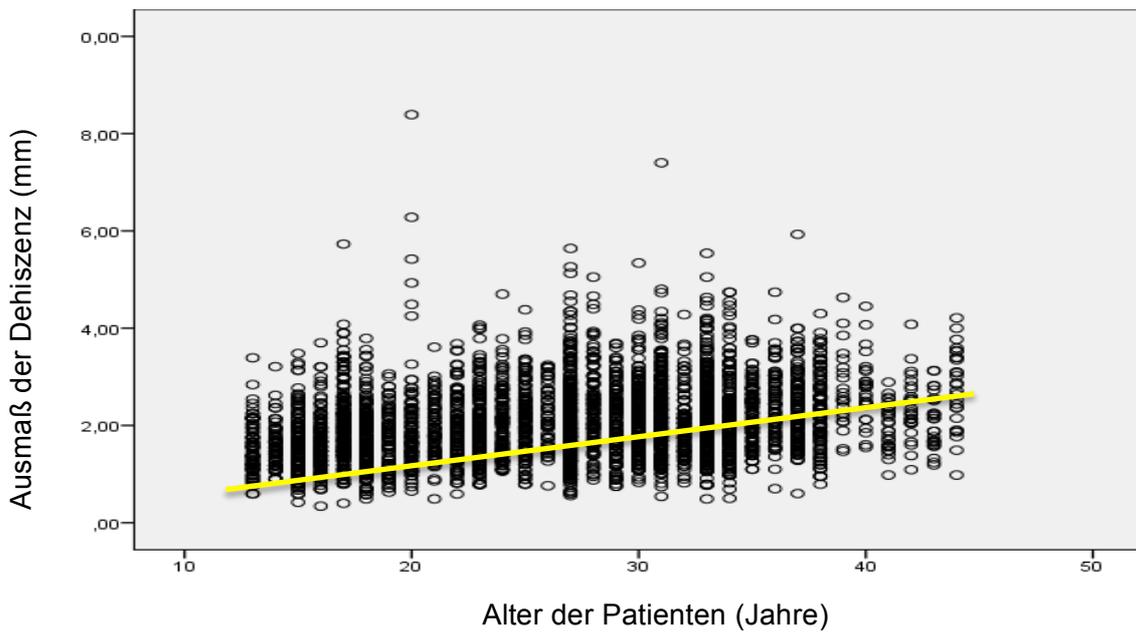
#### 4.4 Dehiszenzen in Abhängigkeit vom Alter des Patienten

In der vorliegenden Studie wurden Patienten im Alter von 13 bis 44 Jahren vermessen. Im Mittel waren die 149 Patienten 26,62 Jahre alt, bei einer Standardabweichung von 7,61 Jahren. Abbildung 5 visualisiert die Altersverteilung des Patientengutes.

Die beispielhaften Scatter-Plots von oralen und vestibulären Knochendehiszenzen in Abhängigkeit vom Alter der Patienten deuteten auf einen lineareren Zusammenhang hin (Abb. 31 und 32). Um dies zu bestätigen wurde eine Pearson Korrelationsanalyse durchgeführt. Entsprechend der Einteilung nach Cohen (1988) ergaben sich moderate positive Zusammenhänge (vestibulär  $R= 0.336$  und oral  $R= 0.283$ ). Die Zusammenhang war statistisch hoch signifikant ( $p<0.001$ ). Die Hypothese „Mit dem Alter des Patienten steigt das Ausmaß seiner Dehiszenzen“ kann somit anhand der vorliegenden Studie bestätigt werden.



**Abb. 31** Zusammenhang zwischen vestibulären Dehiszenzen und dem Alter der Patienten (n=149). Es war ein moderater linearer Zusammenhang nachweisbar (gelbe Hilfslinie). Das Ausmaß der vestibulären Dehiszenzen stieg statistisch signifikant mit dem Alter der Patienten.



**Abb. 32** Zusammenhang zwischen oralen Dehiszenzen und dem Alter der Patienten (n=149). Es war ein moderater linearer Zusammenhang nachweisbar (gelbe Hilfslinie). Das Ausmaß der vestibulären Dehiszenzen stieg statistisch signifikant mit dem Alter der Patienten.

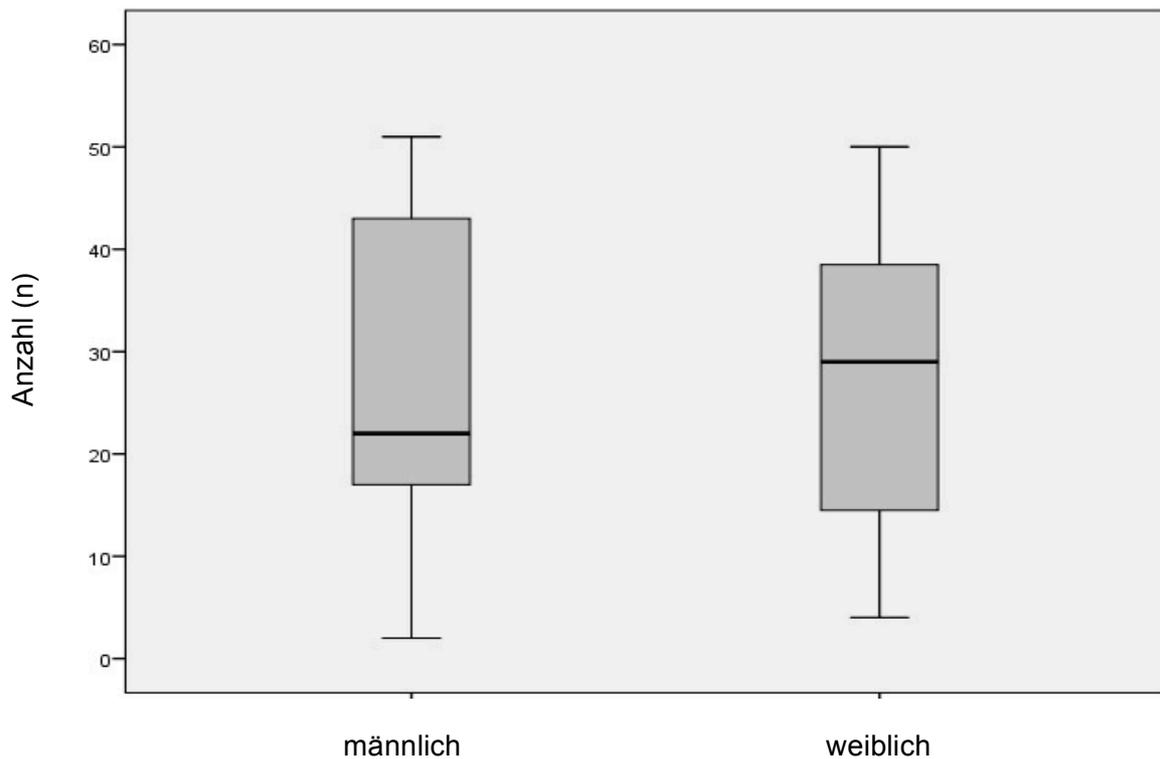
#### **4.5 Dehiszenzen in Abhängigkeit vom Geschlecht des Patienten**

Das gesamte Patientengut setzte sich aus 52 (34,9%) männlichen und 97 (65,1%) weiblichen Patienten zusammen. Die weiblichen Patienten wiesen prätherapeutisch im Mittel 26,47 Dehiszenzen auf. Die männlichen Patienten hatten durchschnittlich 27,62 Knochendehiszenzen. Die statistische Verteilung der Dehiszenzen verdeutlichen die Box-Whisker-Plots in Abbildung 33. Der Unterschied zwischen den beiden Geschlechtern war statistisch nicht signifikant ( $p= 0.74$ ).

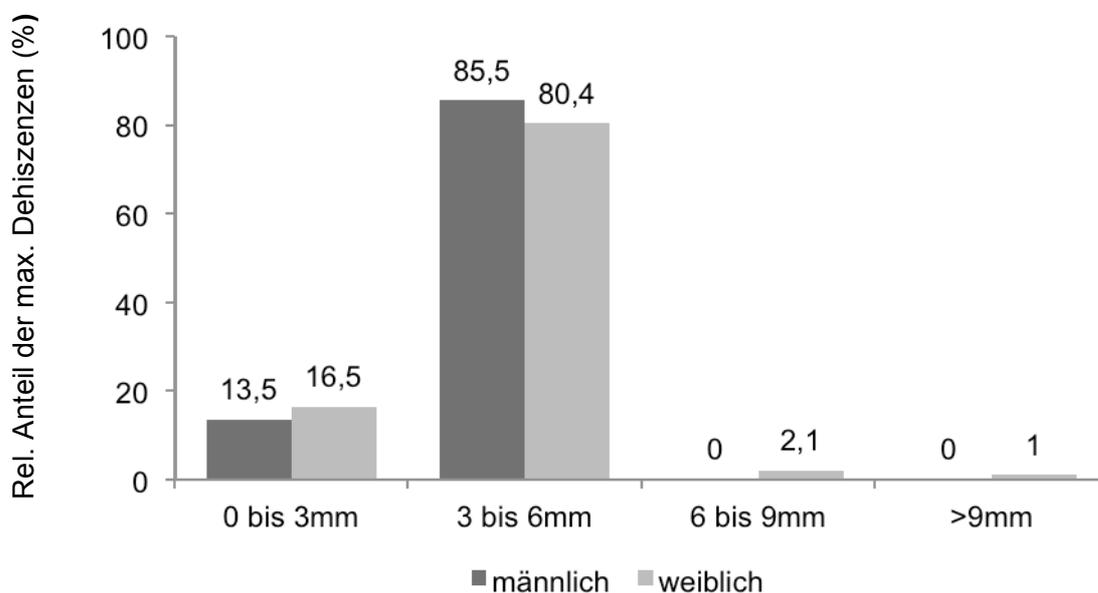
Für männliche Patienten konnten Defekthöhen zwischen 0,42 mm und 5,93 mm gemessen werden. Der Mittelwert der männlichen Patienten betrug 2,18 mm. Weibliche Patienten wiesen Defekthöhen zwischen 0,21 mm und 9,19 mm auf. Daraus konnte ein Mittelwert von 2,10 mm ermittelt werden. Schon der Vergleich der Mittelwerte genügt, um die Aussage zu treffen, dass Die Hypothese „Das Ausmaß der Dehiszenzen ist bei weiblichen Patienten größer als bei männlichen.“ anhand der vorliegenden Studie statistisch nicht bestätigt werden kann. Der t-Test für unabhängige Stichproben weist sogar ein hoch signifikantes Ergebnis für den umgekehrten Zusammenhang auf – Männliche Patienten wiesen prätherapeutisch im Durchschnitt größere Defekte auf als weibliche Patienten ( $p<.001$ ).

In Abhängigkeit vom Ausmaß der maximalen Knochendehiszenz wurden alle männlichen und weiblichen Patienten in vier Gruppen eingeteilt: 0 bis 3 mm, 3 bis 6 mm, 6 bis 9 mm und >9 mm. 13,5% der männlichen Patienten hatten an mindestens einem Zahn eine Dehiszenz von 0 bis 3 mm und 85,5% eine Dehiszenz zwischen 3 und 6 mm. Die beiden weiteren Gruppen waren nicht besetzt.

16,5% der weiblichen Patienten hatten mindestens an einem Zahn eine Dehiszenz von 0 bis 3 mm, 80,4% eine Dehiszenz zwischen 3 und 6 mm, 2,1% eine Dehiszenz von 6 bis 9 mm und 1,0% mindestens eine Dehiszenz von >9 mm (Abb. 34). Der Unterschied zwischen männlichen und weiblichen Patienten in Hinblick auf die Verteilung in den vier Gruppen war statistisch nicht signifikant ( $p= 0.58$ ).



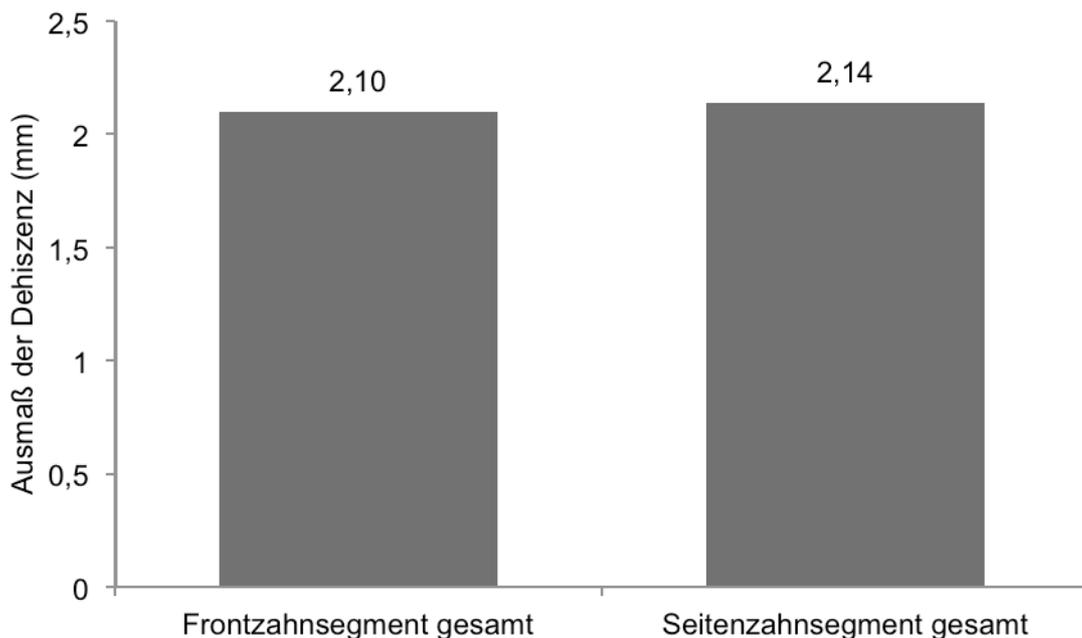
**Abb. 33** Box-Whisker-Plots zur prätherapeutischen Anzahl von Dehiszenzen in Abhängigkeit vom Geschlecht. Der Unterschied war statistisch nicht signifikant ( $p=0.74$ ).



**Abb. 34** Prozentuale Verteilung der maximalen Knochendehiszenzen in Abhängigkeit vom Ausmaß. Der Unterschied zwischen männlichen und weiblichen Patienten im Hinblick auf die Verteilung innerhalb der Gruppen war statistisch nicht signifikant ( $p=0.58$ ).

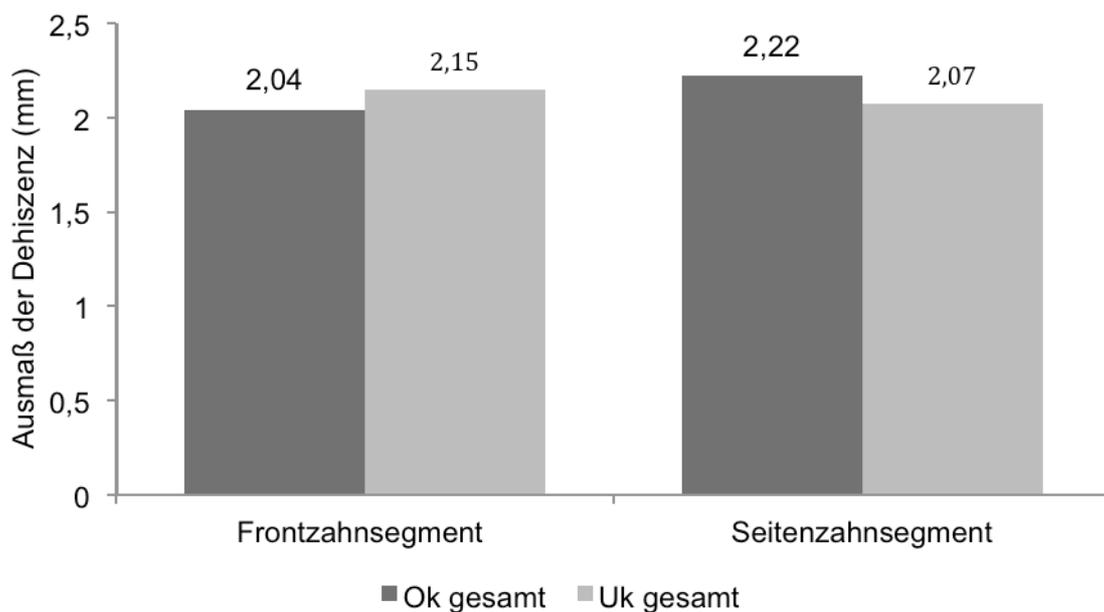
#### 4.6 Dehiszenzen in Abhängigkeit von der Lokalisation im Zahnbogen

Im Folgenden wurden die Messwerte der 149 Patienten getrennt nach dem Front- und dem Seitenzahnsegment untersucht. Es konnten 3525 Messwerte im Frontzahnsegment aufgenommen werden und 4411 im Seitenzahnsegment. Das Ausmaß der Knochendefekte lag im Frontzahnsegment zwischen 0,34 mm und 9,19 mm. Der Mittelwert betrug 2,10 mm. Im Seitenzahnsegment wurden Werte zwischen 0,21 mm und 7,4 mm gemessen. Der Mittelwert wurde mit 2,14 mm errechnet. Somit konnte die Hypothese „Im Frontzahnsegment ist das Ausmaß der Dehiszenzen ausgeprägter als im Seitenzahnsegment“ anhand der vorliegenden Ergebnisse (Ober- und Unterkiefer sowie Angle-Klasse I und II/1) nicht bestätigt werden. Der t-Test für unabhängige Stichproben wies sogar ein hoch signifikantes Ergebnis für den umgekehrten Zusammenhang auf ( $p=0.008$ ). Die Zähne der Seitenzahnsegmente wiesen im Durchschnitt prätherapeutisch größere Knochendefekte auf als Zähne der Frontzahnsegmente (Abb. 35)



**Abb. 35** Ausmaß der prätherapeutischen Knochendehiszenzen unterteilt nach Front- und Seitenzahnsegment. Die Parodontien im Seitenzahnsegment wiesen statistisch signifikant höhere Dehiszenzen auf ( $p=0.008$ ).

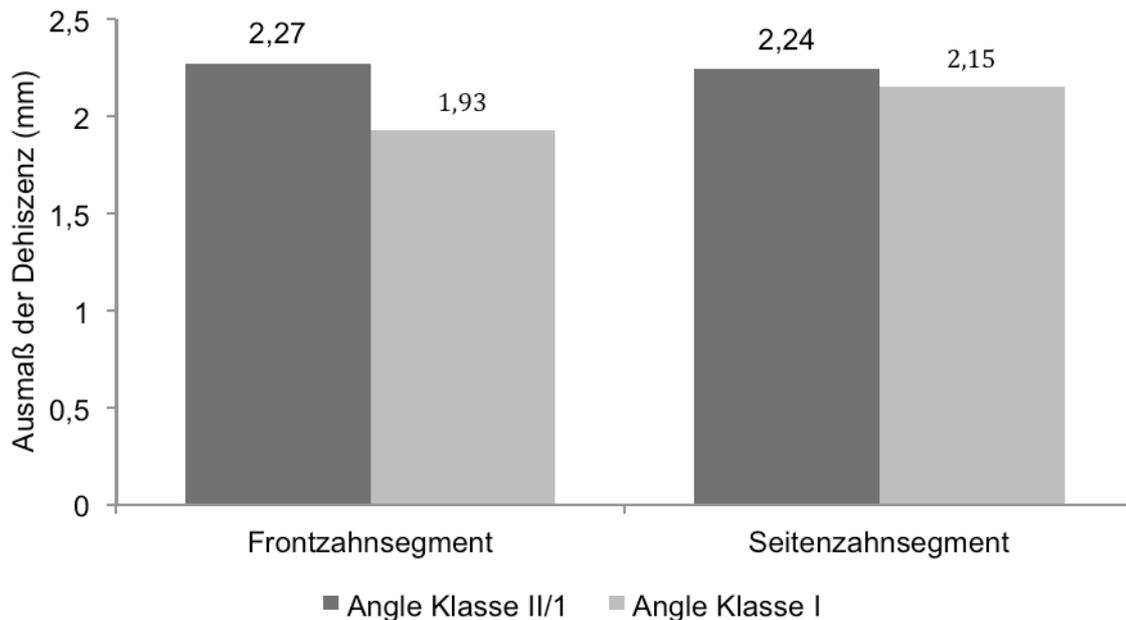
Bei der getrennten Betrachtung von Ober- und Unterkiefer ergeben sich folgende Verhältnisse. Im Oberkiefer wurden im Frontzahnsegment Defekte zwischen 0,34 mm und 6,6 mm festgestellt. Der Mittelwert betrug 2,04 mm. Im Seitenzahnsegment lagen die Werte zwischen 0,21 mm und 7,4 mm, mit einem Mittelwert von 2,22 mm. Der Unterschied dieser beiden Mittelwerte ist statistisch hoch signifikant ( $p < .001$ ). Im Unterkiefer-Frontzahnsegment wurden Messwerte zwischen 0,59 mm und 9,19 mm aufgenommen. Der Mittelwert lag bei 2,15 mm. Hingegen wurden im Unterkieferseitenzahnsegment Messwerte zwischen 0,4 mm und 6,93 mm aufgenommen. Der Mittelwert konnte mit 2,07 mm errechnet werden. Auch der Unterschied dieser Mittelwerte ist statistisch hoch signifikant ( $p = .001$ ) (Abb. 36).



**Abb. 36** Ausmaß der prätherapeutischen Knochendehiszenzen unterteilt nach Front- und Seitenzahnsegment sowie Ober- und Unterkiefer aller Patienten. Im Unterkiefer wiesen die Parodontien im Seitenzahnsegment statistisch signifikant höhere Dehiszenzen auf ( $p = .001$ ). Im Oberkiefer wies das Frontzahnsegment statistisch signifikant höhere Werte auf ( $p = .001$ ).

Nach Unterteilung der Patienten in Angle-Klasse I und Angle-Klasse II/1 ergaben sich unterschiedliche Ergebnisse. Das Ausmaß der Knochendefekte bei Patienten mit Angle-Klasse I lag im Frontzahnsegment zwischen 0,34 mm und 5,73 mm. Der Mittelwert betrug 1,92 mm. Im Seitenzahnsegment wurden Werte zwischen 0,21 mm und 5,22 mm gemessen. Hier betrug der Mittelwert 2,05 mm. Der Unterschied

der Mittelwerte war statistisch hoch signifikant ( $p < 0.001$ ). Bei den Patienten der Angle Klasse II/1 konnten im Frontzahnsegment Defekte zwischen 0,49 mm und 9,19 mm festgestellt werden. Der Mittelwert betrug 2,27 mm. Im Seitensegment bewegten sich die Messwerte zwischen 0,4 mm und 7,4 mm mit einem Mittelwert von 2,25 mm. Der Unterschied der Mittelwerte war statistisch nicht signifikant ( $p = .311$ ) (Abb. 37).



**Abb. 37** Ausmaß der prätherapeutischen Knochendehiszenzen unterteilt nach Front- und Seitenzahnsegment sowie Angle Klasse I und Angle Klasse II/1. Bei Patienten der Angle Klasse II/1 wiesen die Parodontien keinen statistisch signifikanten Unterschied auf ( $p = .311$ ). Patienten der Angle Klasse I wiesen im Seitenzahnbereich statistisch signifikant höhere Werte auf ( $p = .001$ ).

Bei weiterer Betrachtung der Dehiszenzen des Front- und Seitenzahnsegments, differenziert nach Ober- Unterkiefer sowie Angle Klasse I und Angle Klasse II/1, ergaben sich folgende Ergebnisse:

Im Frontzahnsegment des Oberkiefers lagen die Werte der Patienten der Angle Klasse I zwischen 0,34 mm und 5,73 mm. Der Mittelwert betrug 1,87 mm. Im Seitenzahnsegment konnten Werte zwischen 0,21 mm und 5,22 mm ermittelt werden, wobei der Mittelwert mit 2,15 mm errechnet wurde. Der Unterschied der Mittelwerte war statistisch hoch signifikant ( $p < .001$ ). Patienten der Angle Klasse II/1 wiesen im Oberkiefer-Frontzahnsegment Werte zwischen 0,49 mm und 6,6 mm auf. Der Mittelwert lag bei 2,21 mm. Die Werte im Oberkiefer-

Seitenzahnsegment lagen zwischen 0,4mm und 7,4mm, wobei ein Mittelwert von 2,29mm errechnet wurde. Der Unterschied der Mittelwerte war statistisch signifikant ( $p=.027$ ). Im Unterkiefer-Frontzahnsegment der Angle Klasse I Patienten lagen die Werte zwischen 0,59 mm und 4,59 mm. Der Mittelwert konnte mit 1,98 mm ermittelt werden. Im Unterkiefer-Seitenzahnsegment der Angle Klasse I Patienten lagen die Werte zwischen 0,4 mm und 4,46 mm. Der Mittelwert betrug 1,94 mm. Der Unterschied der Mittelwerte war nicht statistisch signifikant ( $p=.227$ ). Die Werte des Unterkiefer-Frontzahnsegments der Angle Klasse II/1 Patienten lagen zwischen 0,79 mm und 9,19 mm. Der Mittelwert betrug 2,33 mm. Im Unterkiefer-Seitenzahnsegment der Angle Klasse II/1 Patienten lagen die Werte zwischen 0,71 mm und 6,93 mm, wobei der Mittelwert 2,20 mm betrug. Der Unterschied der Mittelwerte war statistisch hoch signifikant ( $p<.001$ ). In Tabelle 8 sind die Mittelwerte und Signifikanzen noch einmal zusammenfassend dargestellt.

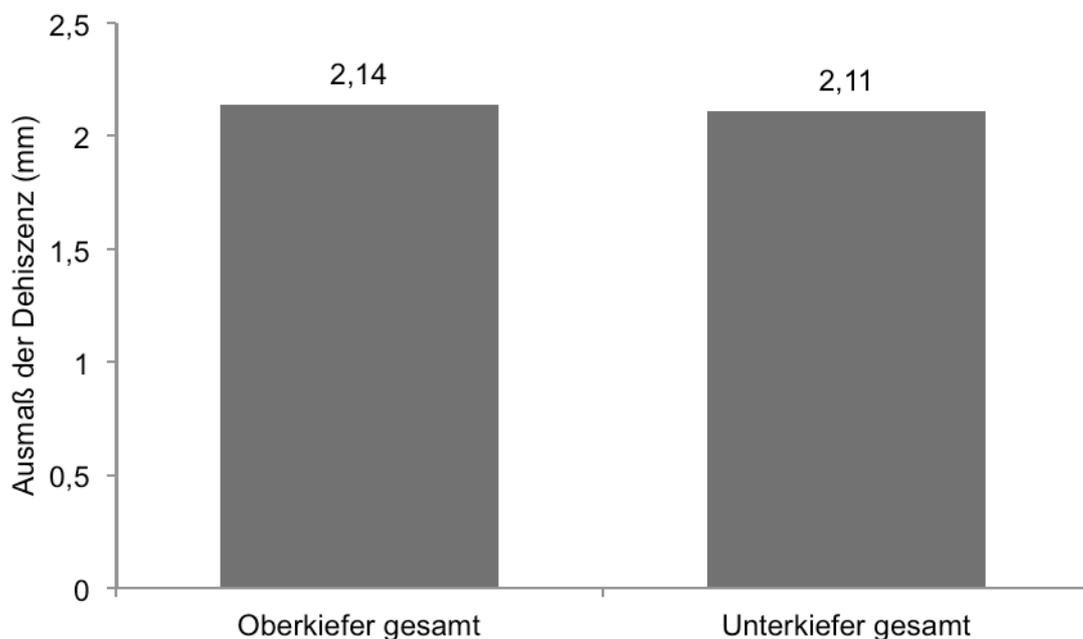
**Tab. 8** Zusammenfassende Darstellung der Mittelwerte der Knochendehiszenzen im Frontzahn- und Seitenzahnsegment und der jeweiligen Signifikanzen. Die Segmente wurden miteinander sowohl insgesamt als auch differenziert nach Ober- bzw. Unterkiefer sowie Angle-Klasse I bzw. Angle Angle-Klasse II/1 verglichen. Die Ergebnisse zeigten deutliche Unterschiede bei Betrachtung der Einzelkiefer und bei den Angle-Klassen (Die höheren Mittelwerte sind gelb markiert. Die nicht signifikanten Unterschiede sind rot markiert)

Bereich	Vergleich der Knochendehiszenzen zwischen Front- und Seitenzahnsegment		
	Frontzahnsegment	Seitenzahnsegment	Signifikanz
Gesamte Parodontien	2,10 mm	2,14 mm	$p = .008$
Parodontien Oberkiefer	2,04 mm	2,22 mm	$P < .001$
Parodontien Unterkiefer	2,15 mm	2,07 mm	$P = .001$
Parodontien Klasse I	1,92 mm	2,05 mm	$P < .001$
Parodontien Klasse II/1	2,27 mm	2,25 mm	$P = .311$
Parodontien Oberkiefer Klasse I	1,87 mm	2,15 mm	$P < .001$
Parodontien	2,21 mm	2,29 mm	$P = .027$

<b>Oberkiefer Klasse II/1</b>			
<b>Parodontien Unterkiefer Klasse I</b>	<b>1,98 mm</b>	<b>1,94 mm</b>	<b>P=.227</b>
<b>Parodontien Unterkiefer Klasse II/1</b>	<b>2,33 mm</b>	<b>2,2 mm</b>	<b>P&lt;.001</b>

#### 4.7 Dehiszenzen in Abhängigkeit zum Kiefer

In diesem Abschnitt wurden die Messwerte der 149 Ober- und Unterkiefer gegenübergestellt. Es wurden 3947 Messwerte im Oberkiefer und 3962 Messwerte im Unterkiefer aufgenommen. Der Mittelwert der Dehiszenzen für die Oberkieferzähne des gesamten Patientenguts betrug 2,14 mm. Im Unterkiefer konnte ein Wert von 2,11 mm ermittelt werden. Der Unterschied der Mittelwerte war statistisch signifikant ( $p=.042$ ) (Abb. 38).



**Abb. 38** Ausmaß der prätherapeutischen Knochendehiszenzen, unterteilt nach Ober- und Unterkiefer. Die Parodontien im Oberkiefer wiesen statistisch signifikant höhere Dehiszenzen auf ( $p=0.042$ ).

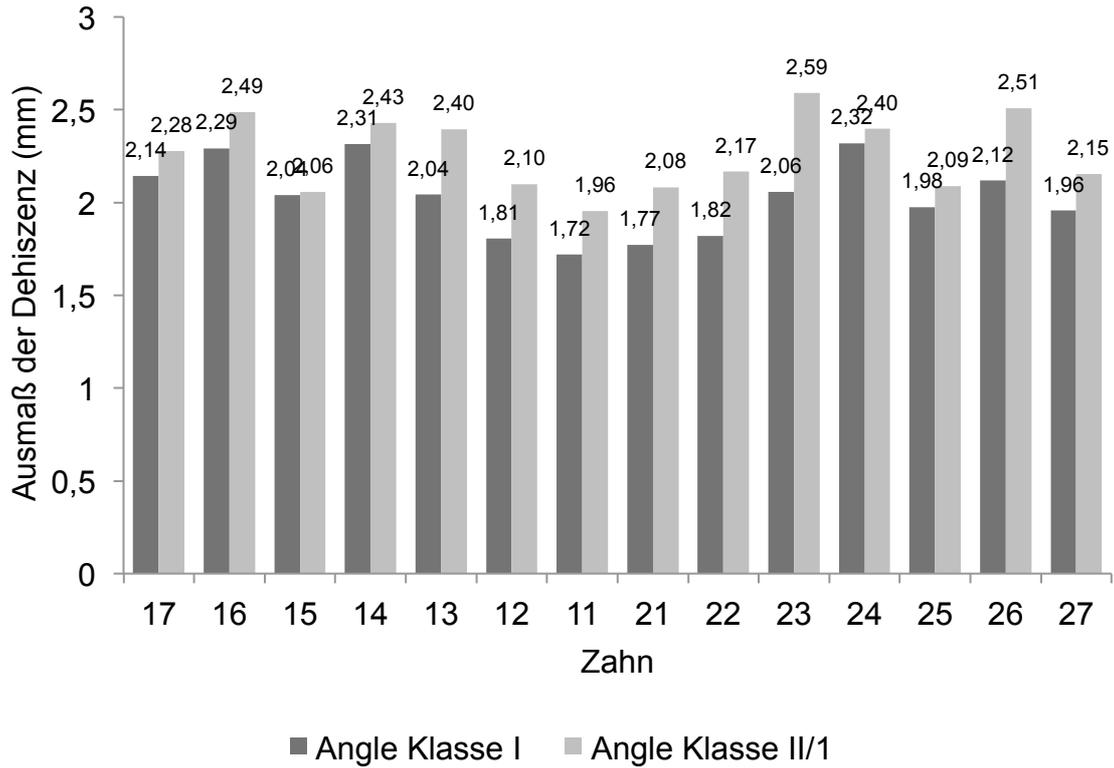
Differenzierte man nun zwischen Front- und Seitenzahnsegment, konnten, wie in Kapitel 4.6 beschrieben, für das Frontzahnsegment Mittelwerte von 2,04 mm (Ok) und 2,15 mm (Uk) ermittelt werden. Der Unterschied dieser Mittelwerte war statistisch hoch signifikant. Im Seitenzahnbereich wurde im Oberkiefer ein

Mittelwert von 2,22 mm und im Unterkiefer ein Mittelwert von 2,07 mm errechnet. Auch dieser Unterschied zwischen Ober- und Unterkieferwerten war statistisch hoch signifikant ( $p < .001$ ).

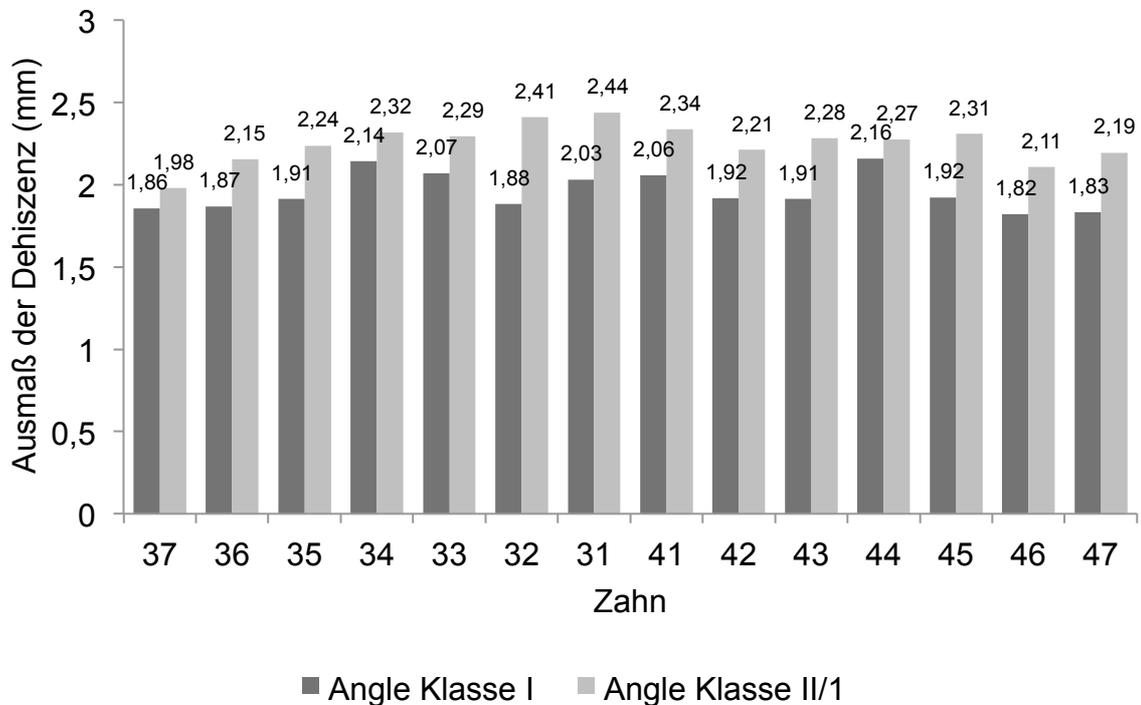
Bei der Unterscheidung zwischen Angle Klasse I und Angle Klasse II/1, wie bereits in Kapitel 4.1 beschrieben, ergaben sich für Angle Klasse I Mittelwerte von 2,03 mm (Ok) und 1,96 mm (Uk). Der Unterschied dieser Mittelwerte war statistisch signifikant ( $p = .005$ ). Die Patienten der Angle Klasse II/1 wiesen im Oberkiefer einen Mittelwert von 2,26 mm und im Unterkiefer einen Mittelwert von 2,25 mm auf. Der Unterschied dieser Mittelwerte war statistisch nicht signifikant ( $p = .875$ ). Abbildung 39 und 40 schlüsseln noch einmal die Mittelwerte der Dehiszenzen nach Angle Klasse I und II/1 für jeden einzelnen Zahn (17-27, 37-47) des Ober- und Unterkiefers auf. Im Oberkiefer konnten für Angle Klasse II/1 die größten mittleren Dehiszenzen an Zahn 23 festgestellt werden (2,59 mm). Die Patienten der Angle Klasse I zeigten an 24 den höchsten Mittelwert (2,32 mm). Im Unterkiefer wurden bei Patienten der Angle Klasse II/1 im Durchschnitt die größten Werte an 31 ermittelt (2,44 mm). In der Angle Klasse I zeigte 44 die größte mittlere Ausprägung (2,16 mm).

Bei weiterer Differenzierung nach Angle Klasse und Front- oder Seitenzahnsegment kam es zu folgenden Ergebnissen:

Patienten der Angle Klasse I wiesen im Frontzahnsegment des Oberkiefers einen Mittelwert von 1,87 mm auf. Im Unterkiefer lag der Mittelwert bei 1,98 mm. Der Unterschied dieser Mittelwerte war statistisch hoch signifikant ( $p < .001$ ). Im Seitenzahnsegment des Oberkiefers wiesen die Patienten der Angle Klasse I einen Mittelwert von 2,15 mm auf. Der entsprechende Wert im Unterkiefer betrug 1,94 mm. Auch dieser Unterschied war statistisch hoch signifikant ( $p < .001$ ). Patienten der Angle Klasse II/1 wiesen im Frontzahnsegment des Oberkiefers einen Mittelwert von 2,21 mm auf. Im Unterkiefer lag der Mittelwert bei 2,33 mm. Der Unterschied dieser Mittelwerte war statistisch signifikant ( $p = .004$ ). Im Seitenzahnsegment des Oberkiefers wiesen die Patienten der Angle Klasse II/1 einen Mittelwert von 2,29 mm auf. Der entsprechende Wert im Unterkiefer betrug 2,20 mm. Auch dieser Unterschied war statistisch signifikant ( $p = .003$ ). Diese Zusammenhänge sind in Tabelle 9 noch einmal zusammengefasst.



**Abb. 39** Ausmaß der prätherapeutischen Knochendehiszenzen der Oberkieferzähne 17-27, unterteilt nach Angle Klasse I und II/1. Die Zähne der Angle Klasse II/1 weisen durchweg höhere Werte auf.



**Abb. 40** Ausmaß der prätherapeutischen Knochendehiszenzen der Unterkieferzähne 37-47, unterteilt nach Angle Klasse I und II/1. Die Zähne der Angle Klasse II/1 weisen durchweg höhere Werte auf.

**Tab. 9** Zusammenfassende Darstellung der Mittelwerte der Knochendehiszenzen im Ober- und Unterkiefer und der jeweiligen Signifikanzen. Die Kiefer wurden miteinander sowohl insgesamt als auch differenziert nach Front- bzw. Seitenzahnsegment sowie Angle-Klasse I bzw. Angle Angle-Klasse II/1 verglichen. Die Ergebnisse zeigten deutliche Unterschiede bei Betrachtung der Zahnsegmente und bei den Angle-Klassen (Die höheren Mittelwerte sind gelb markiert.)

	<b>Vergleich der Knochendehiszenzen zwischen Ober- und Unterkiefer</b>		
<b>Bereich</b>	<b>Oberkiefer</b>	<b>Unterkiefer</b>	<b>Signifikanz</b>
<b>Gesamte Parodontien</b>	<b>2,14 mm</b>	2,11 mm	<b>P=.042</b>
<b>Parodontien Frontzahnsegment</b>	2,04 mm	<b>2,15 mm</b>	<b>P&lt;.001</b>
<b>Parodontien Seitenzahnsegment</b>	<b>2,22 mm</b>	2,07 mm	<b>P&lt;.001</b>
<b>Parodontien Klasse I</b>	2,03 mm	<b>1,96 mm</b>	<b>P=.005</b>
<b>Parodontien Klasse II/1</b>	<b>2,26 mm</b>	2,25 mm	<b>P=.875</b>
<b>Parodontien Frontzahnsegment Klasse I</b>	1,87 mm	<b>1,98 mm</b>	<b>P=.001</b>
<b>Parodontien Frontzahnsegment Klasse II/1</b>	2,21 mm	<b>2,33 mm</b>	<b>P=.004</b>
<b>Parodontien Seitenzahnsegment Klasse I</b>	<b>2,15 mm</b>	1,94 mm	<b>P&lt;.001</b>
<b>Parodontien Seitenzahnsegment Klasse II/1</b>	<b>2,29 mm</b>	2,2 mm	<b>P=.003</b>

## **5 Diskussion**

### **5.1 Diskussion der Methoden**

#### **5.1.1 Diskussion der Materialien und des Patientenguts**

Die vorliegende Studie beschäftigt sich mit der quantitativen Analyse parodontaler Defekte in Zusammenhang mit kieferorthopädischen Fehlstellungen. Die Untersuchung erfolgte an 149 prätherapeutisch aufgenommenen DVT-Datensätzen aus dem Archiv des MESANTIS<sup>®</sup>-Instituts. Diese Gruppenstärke von 3966 vestibulären, 3966 oralen Messwerten und 3966 Messwerten der Zahnangulation schafft eine gute Basis für statistisch signifikante Ergebnisse. Während der Auswahl des Patientenguts wurde auf eine gleichmäßige Verteilung auf Angle Klasse I und II/1, männlich und weiblich sowie eine homogene Altersverteilung geachtet.

Die erste Fehlerquelle ist die Aufnahme an sich. Der Patient könnte bei der Aufnahme falsch positioniert worden sein. Es könnten ungeeignete Aufnahmeeinstellungen gewählt worden sein. Oder der Patient hat sich während der Aufnahme bewegt. Um dieses Problem zu minimieren, werden alle Aufnahmen im MESANTIS<sup>®</sup>-Institut standardisiert durchgeführt. Die Patienten werden nach einem eindeutigen Protokoll positioniert und geröntgt. Zusätzlich wurden nur artefaktfreie DVTs für die vorliegende Studie ausgewählt.

Die DVT-Datensätze wiesen eine Auflösung von 0,25 bis 0,4 Voxeln auf. 2010 untersuchten Leung et al. (78) die Genauigkeit von DVT-Aufnahmen, in Bezug auf Fenestrationsen und Dehiszenzen. 13 präparierte Schädel mit 334 Zähnen wurden zum Einen im Volume-Render-Mode, zum Anderen erneut mit einer elektronischen Schiebelehre vermessen. Ergebnis war, dass Fenestrationsen besser dargestellt werden konnten als Dehiszenzen. Zudem ist bei einer Voxelgröße von 0,38 mm, unter einer Knochendicke von 0,6 mm keine akkurate Messung möglich.

Sun et al. bewerteten 2011 verschiedene Voxel-Größen in Bezug auf die Vermessung der Knochendicke. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass Aufnahmen mit einer Auflösung von 0,25 Voxel eine höhere Genauigkeit aufweisen als DVTs mit 0,4 Voxel (79). Patcas et al., welche die Voxelgröße in Bezug auf Höhe und Breite des Alveolarknochens testeten, kamen 2012 jedoch zu dem Ergebnis, dass 0,4 Voxel genauso akkurate Ergebnisse liefern, wie Aufnahmen mit 0,125 Voxel. Im selben Jahr konnten auch Torres et al. keinen signifikanten Unterschied

zwischen 0,2 Voxel, 0,3 Voxel und 0,4 Voxel bezüglich linearer Knochenvermessung feststellen (80, 81). Auf Basis der verschiedenen genannten Studien kann die Aussage getroffen werden, dass die vorliegenden Digitalen Volumentomogramme in den Auflösungen von 0,25 bis 04 Voxeln für die Auswertung parodontaler Defekte geeignet sind.

Die Auswertung erfolgte in der 3D-Imaging-Software InVivo 5 (Anatomage, San Jose, California), welche in der Literatur gute Ergebnisse in der Vermessung linearer Strecken lieferte (75, 82).

### **5.1.2 Diskussion der Messverfahren**

Eine strikte, standardisierte Messmethodik gewährleistet die Reproduzierbarkeit der Messungen. Der zu vermessende Zahn wurde stets in allen drei Raumebenen so ausgerichtet, dass die lineare Messstrecke entlang der Zahnachse verlief. Als Schichtebene wurde je nach Messung die vestibuläre oder orale Mitte des Zahnes festgelegt. Kim et al. richteten 2009 ihre zu vermessenden Zähne auf eine vergleichbare Weise aus.

Als Referenzpunkte dienten in der Folge die koronale Alveolarknochenkante sowie die Schmelz-Zement-Grenze (SZG). Auch hier waren es unter anderem Kim et al., die sich für die selben Referenzpunkte entschieden. Sie wiederholten ihre Dehiszenz- und Knochendickenmessungen nach zwei Wochen und verglichen diese beiden Messungen miteinander. Der systematische Fehler wurde mittels eines t-Tests berechnet, lag bei  $p < .05$  und war damit statistisch nicht signifikant (83). Auch die Studien von Evangelista et al., Yagci et al. sowie Schattman et al. nutzten die SZG als Referenzpunkte und führten durch verschiedene statistische Analysen an, dass auf diese Weise genaue, reproduzierbare Ergebnisse möglich sind (32, 33, 75). Kritiker dieses Verfahrens bemängeln, dass die SZG einen girlandenförmigen Verlauf nimmt und ihre Darstellbarkeit von der Dicke der Knochenlamelle abhängt. Gomolka empfiehlt daher, die Zahnoberkante als Referenzpunkt festzulegen (82). Doch auch dies ist vor allem im Seitenzahnggebiet keine eindeutige Struktur. Aufgrund der Literatur und einer Pilotmesserei, in der ein Patientenfall im jeweiligen Abstand von mehreren Wochen zehn mal vermessen worden ist, wurde sich auch in dieser Studie für die SZG als Referenzpunkt entschieden.

Als Referenzebene für die Zahnangulation-Messungen wurde die Okklusalebene genutzt. Diese wurde, wie in der Literatur definiert, durch Verbinden des Inzisalpunktes und den mesio-bukkalen Höckern von 36 und 46 konstruiert. Ebenfalls unter Zuhilfenahme der Okklusalebene vermaßen Bouwens et al. 2011 verschiedene Wurzelangulationen (84). Die statistische Auswertung zeigte keinen signifikanten Unterschied zwischen der Ausgangsmessung und einer Wiederholungsmessung ( $p < .05$ ). Auch Liu et al. nutzten 2013 unter anderem die Okklusalebene für ihre Vermessungen der Wurzelangulationen und kamen zu einem ähnlich gutem Ergebnis. In beiden Studien stellte sich das Winkelwerkzeug von Invivo (4.1 & 5) als effizientes Messinstrument heraus (85).

Der Frage, ob Digitale Volumetomogramme generell für die Vermessung von Kronen- und Wurzelangulationen geeignet sind, haben sich van Elslande et. al schon 2010 angenommen (85). Sie verglichen die Vermessung eines Typodontmodells im DVT mit einer Goldstandardmessung durch eine Koordinatenmessmaschine. Es wurden zwar bei 16 von 28 Zähnen statistisch signifikante Unterschiede gefunden, allerdings lagen die Unterschiede nur bei drei Zähnen über dem Toleranzwert von  $2,5^\circ$ . Aufgrund dessen sind die Autoren zu dem Schluss gekommen, dass die Vermessung im DVT ein nützliches Werkzeug für den klinischen Alltag darstellt.

2012 haben die Amerikaner der University of Southern California ihr eigenes „root vector analysis program“ entwickelt. Der Grundgedanke dieses Programms war es, die mesio-distale und vestibulo-orale Angulation des ganzen Zahnes direkt und einfach aus dem DVT entnehmen zu können. Das Programm definiert das Kronen- und das Wurzelzentrum und bildet daraus die Längsachse des Zahnes. Tong et al. führten eine Studie zur Genauigkeitsbestimmung dieses Systems durch. 5 von 28 Zähnen zeigten eine statistisch signifikante Differenz, aber nur der rechte obere Schneidezahn zeigte eine Abweichung von mehr als  $2,5^\circ$ . Es zeigt sich also, dass dieses Programm akkurate Achsmessungen auf einem klinisch signifikanten Level liefert (86).

Auf Basis der genannten Studien und einer Pilotmessserie mit sehr guten Ergebnissen, wurde sich in der vorliegenden Studie für die Nutzung der Okklusalebene als Referenzebene und die Messung mittels des Winkelwerkzeugs von Invivo 5 entschieden.

## **5.2 Diskussion der Ergebnisse**

### **5.2.1 Dehiszenzen in Abhängigkeit zur Angle Klasse**

Die anfangs postulierte Hypothese „Das Ausmaß der Dehiszenzen ist bei Patienten mit Angle-Klasse I höher als bei Patienten mit Angle-Klasse II/1“ kann anhand der vorliegenden Stichprobe nicht bestätigt werden. Patienten der Angle Klasse II/1 wiesen gegenüber Patienten der Angle Klasse I statistisch signifikant mehr ( $31,56 > 22,03$ ) und im Durchschnitt statistisch signifikant höhere ( $2,25 \text{ mm} > 1,99 \text{ mm}$ ) Dehiszenzen auf. Auch die getrennte Betrachtung von Ober- und Unterkiefer führte zu einem vergleichbarem Ergebnis. Die Patienten der Angle Klasse II/1 zeigten jeweils eine statistisch signifikante, höhere mittlere Dehiszenz (Abb.20). Die Unterteilung nach dem Ausmaß der Dehiszenzen führte zu keinem signifikanten Unterschied in der Gruppenstärke. Ober- und Unterkiefer sowie Angle Klasse I und Angle Klasse II/1 zeigten die größten Häufigkeiten in der Dehiszenzgruppe von 3 bis 6 mm (Tab.7). Evangelista et al. führten 2010 eine vergleichbare Studie zur Prävalenz von Dehiszenzen bei Patienten mit Angle Klasse I und Angle Klasse II/1 durch. Sie kamen zu einem beinahe gegensätzlichen Ergebnis. Sie vermaßen 79 Patienten der Angle Klasse I und 80 Patienten der Klasse II/1. Die Prävalenz von Dehiszenzen bei Patienten der Angle Klasse I war statistisch signifikant ( $p < .01$ ) um 35% höher, als bei Patienten der Angle Klasse II/1 (32).

Yagci et al. haben 2012 Patienten der Angle Klassen I (41 Patienten), II (42 Patienten) und III (40 Patienten) bezüglich ihrer Prävalenzen von Fenestrationen und Dehiszenzen untersucht. Sie konnten hinsichtlich der Prävalenz der Dehiszenzen keinen statistisch signifikanten Zusammenhang ermitteln (33).

Da sich Patientengut sowie die Messmethodiken der vorliegenden Studie und der beiden genannten Studien sehr ähneln, lassen sich diese gut vergleichen. Jeder Studie liegt eine ausreichende Gruppenstärke zugrunde, um ein statistisch aussagekräftiges Ergebnis zu erhalten. Ebenso hat jede der drei Studien die Reproduzierbarkeit ihrer Messmethodik bewiesen. Warum die Studien zu drei verschiedenen Ergebnissen gelangen ist zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht zu eruieren.

In Hinblick auf die quantitativen Aussagen über die Dehiszenzen hat die vorliegende Studie aktuell noch ein Alleinstellungsmerkmal. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt findet sich keine Literatur hinsichtlich dieser Thematik. Das mittlere

Ausmaß der Dehiszenzen der Angle Klasse II/1 von 2,25mm erscheint zunächst keine imposante Erhöhung zum physiologischen Alveolarknochenniveau von 2mm. Hinterfragt man diesen Wert jedoch, stößt man auf die Arbeit von Persson et al.. Abbildung 41 zeigt 2 Box-Whisker-Plots aus ihrer epidemiologischen Studie. Es sind die Knochenniveaus an einem mesialen und einem distalen Messpunkt für unterschiedliche Altersgruppen dargestellt. 3 Altersgruppen sind mit der vorliegenden Studie vergleichbar (Patientengut: 13 bis 44 Jahre). Die Mediane dieser Altersgruppen liegen klar unter 2 mm. Der Wert von 2 mm ist für die Altersklasse des verwendeten Patientenguts ein verhältnismäßig hoher Referenzwert. Würde eine epidemiologische Studie in nur diesen Altersgruppen durchgeführt werden, läge der Wert deutlich tiefer. Dies ist einer der Gründe, warum 2,25 mm schon als eine deutliche Pathologie wahrgenommen werden sollten. Die Studiengröße von rund 8000 Messwerten mildert die Mittelwerte zusätzlich ab. Abbildung 19 veranschaulicht die Verteilung für die Angle Klasse II/1. Zwar liegen 79,1% bis 88,7% (je nach Gruppe) der Werte zwischen 0 und 3 mm, jedoch zeigt eine nicht unerheblichen Menge von 10,7% bis 20,2% (je nach Gruppe) der Messwerte auch ein mittleres Ausmaß von 3 bis 6mm. Bis zu 0,7% der Messwerte liegen sogar über 6 mm. Nicht jeder Zahn ist durch die Zahnfehlstellung gleich belastet. Auch die Zähne, auf die wenig Einfluss genommen wird, mildern den Mittelwert ab. Der Frage nach dem Einfluss auf die einzelnen Zähne wird in 4.6/5.6 und 4.7/5.7 nachgegangen.

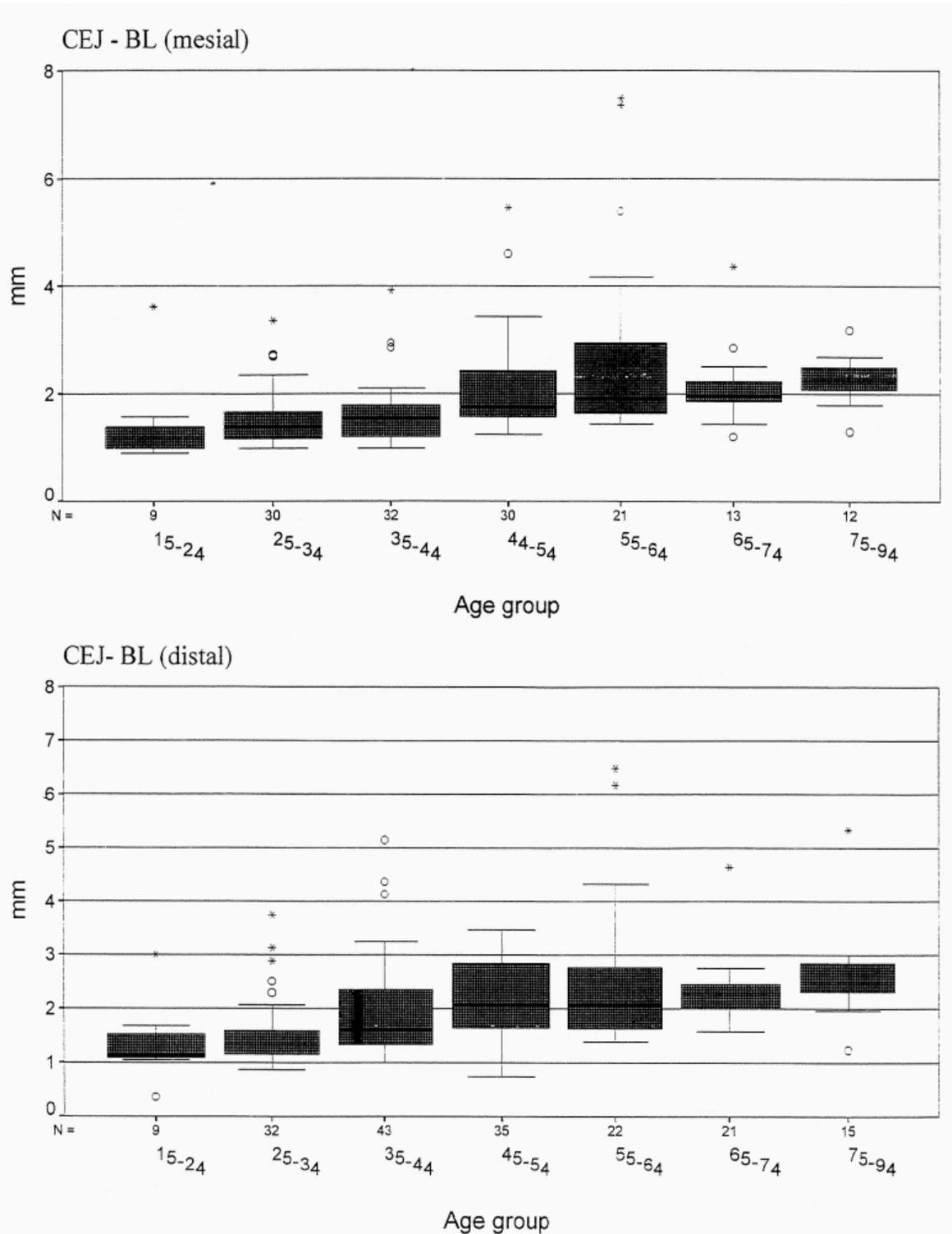


Figure 2. A. Box-plot diagram presenting descriptive statistics for mesial bone height values. The annotated sketch of the boxplot includes the median, the 25th and 75th percentiles, values more than 1.5 box lengths from 25th and 75th percentiles (outliers) and values more than 3 box lengths from 25th and 75th percentiles (extremes). B. Box-plot diagram presenting descriptive statistics for distal bone height values.

**Abb. 41** Box-Whisker Plots zur Darstellung des Knochenneiveaus an einer mesialen und einer distalen Messstelle, unterteilt nach Altersgruppen aus der Arbeit „Horizontal Alveolar Bone Loss and Vertical Bone Defects in an Adult Patient Population“ von Persson et al. (1998). (87)

### **5.2.2 Vergleich oraler und vestibulärer Dehiszenzen**

In der vorliegenden Studie wurden von den 149 Patienten 3966 vestibuläre und ebenso viele orale Messwerte aufgenommen. Aufgrund dieser erheblichen Gruppenstärke konnten hinsichtlich Prävalenz und Ausprägung statistisch hoch signifikante Ergebnisse erzielt werden ( $p < .001$ ). Im Mittel zeigten 14,45 von 28 Parodontien vestibuläre Dehiszenzen auf. Im Vergleich wiesen nur 12,40 von 28 Parodontien orale Dehiszenzen. Auch bezüglich der Ausprägung konnten im vestibulären Parodont deutlich höhere Werte gemessen werden ( $2,20 \text{ mm} < 2,05 \text{ mm}$ ). Die in Kapitel 2 postulierte Hypothese „Dehiszenzen sind vestibulär stärker ausgeprägt als oral“ kann somit, anhand dieser Stichprobe eindeutig bestätigt werden. Das Ergebnis der vorliegenden Studie deckt sich mit der aktuellen Literatur. Evangelista et. al fanden 2010 69,43% ihrer Dehiszenzen auf der vestibulären Seite des Parodonts (32). In der Studie von Enhos et al. fanden sich 2012 je nach Gruppe und Kiefer 77,59% bis sogar 100% aller Dehiszenzen auf der vestibulären Seite des Parodonts (88). Diese Arbeiten beziehen sich ausschließlich auf die Prävalenz von knöchernen Defekten im Alveolarknochen. Auf Basis der vorliegenden Studie lässt sich die ergänzende Aussage formulieren, dass die Dehiszenzen vestibulär nicht nur gehäuft, sondern auch in einer größeren Ausprägung vorkommen.

### **5.2.3 Dehiszenzen in Abhängigkeit zur Angulation**

Aufgabe der vorliegenden Studie war es, unter Anderem den aktuellen wissenschaftlichen Kenntnisstand, hinsichtlich des Einflusses der Zahnangulation auf das Parodont zu erweitern. Nimigean et al. machten die Erkenntnis, dass jeder Zahn mit Dehiszenzen oder Fenestrationsen auch gleichzeitig eine Modifikation in der bucco-lingualen Angulation aufwies. Dieser Zusammenhang war mit  $p < .05$  statistisch signifikant. Es wurde jedoch keine Aussage getroffen, wie genau sich dieser Zusammenhang darstellt (16).

In dieser Studie wurde das Ausmaß der Angulation der Höhe der Dehiszenz gegenübergestellt. Jedoch konnten weder die Scatterplots noch die SpearmanRho-Korrelation einen statistisch signifikanten linearen oder nicht linearen Zusammenhang darstellen.

An diesem Punkt muss die Fragestellung durch weiterführende Studien beleuchtet werden.

#### **5.2.4 Dehiszenzen in Abhängigkeit zum Alter des Patienten**

Die Zeit als Parameter für die Entstehung der Parodontitis wird schon seit 1971 in der Literatur diskutiert. Verschiedene klinische Studien haben einen jährlichen Knochenrückgang von 0,08 mm bis 0,3 mm feststellen können. Haas et al. stellten in ihrer Studie heraus, dass die Knochenverlustrate in der Altersgruppe von 40 bis 49 am höchsten war und in höheren Altersgruppen wieder abnahm (89). In Abbildung 41 sind die Ergebnisse der epidemiologischen Studie von Persson et al. veranschaulicht. Auch hier ist eine deutliche Steigerung des Ausmaßes der Dehiszenzen mit steigendem Alter abzulesen (87).

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie fügen sich in dieses Bild. Die in der Fragestellung postulierte Hypothese „Mit dem Alter der Patienten steigt das Ausmaß der Dehiszenzen“ kann eindeutig bestätigt werden. Die zu Hilfe genommene Pearson Korrelationsanalyse zeigte für die vestibulären und oralen Messwerte moderate, positive Zusammenhänge zum Alter der Patienten. Diese Zusammenhänge waren wiederum statistisch hoch signifikant ( $p < .001$ ).

Die bestätigte Hypothese deckt sich mit der aktuell geltenden wissenschaftlichen Meinung. Dehiszenzen sind im Alter oftmals Teil einer generalisierten Parodontitis. Diese ist eine chronisch entzündliche Erkrankung, die der Ausgangspunkt möglicher anderer Erkrankungen, wie beispielsweise einer Endokarditis ist, gleichzeitig aber auch durch systemische Erkrankungen und Parameter verstärkt oder hervorgerufen werden kann. Studien wie die von Reynolds et al. 2014 beschäftigen sich mit der Modifikationen der verschiedenen Risikofaktoren der entzündlichen Parodontitis (Diabetes, Rauchen, Osteoporose etc.) (90). Aufgabe der vorliegenden Studie soll es grundsätzlich sein, zur Aufklärung der Rolle der nicht-entzündlichen Ursachen der knöchernen Defekte beizutragen. Das Alter, als potentieller Einflussfaktor, ist jedoch universell anzusiedeln. Es nimmt Einfluss auf unzählige systemische und funktionelle Parameter. Die Patienten dieser Studie lagen in einer Altersklasse von 13 bis 44. In der vorliegenden Stichprobe ist die Rolle der allgemeinen Gesundheit als untergeordnet anzusiedeln. Dennoch nahm die Ausprägung der Dehiszenzen kontinuierlich mit dem Alter des Patienten zu. Dies ist auf die Einwirkzeit der kieferorthopädischen Fehlstellung auf das Parodont zurückzuführen.

### **5.2.5 Dehiszenzen in Abhängigkeit zum Geschlecht des Patienten**

Hinsichtlich der Prävalenz von Dehiszenzen konnte auf Basis der vorliegenden Stichprobe kein statistisch signifikanter Unterschied festgestellt werden. Männer wiesen jedoch statistisch signifikant höhere Dehiszenzen auf als Frauen (Mittelwerte: Männer: 2,18 mm > Frauen: 2,10 mm) ( $p < .001$ ). Die in Kapitel 2 postulierte Hypothese „Das Ausmaß der Dehiszenzen ist weiblichen Patienten größer als bei männlich“ konnte in dieser Studie nicht bestätigt werden. Es ergab sich sogar ein statistisch hoch signifikantes Ergebnis für den umgekehrten Zusammenhang. Shiao et al. haben die Literatur zu diesem Thema bis zum Jahre 2010 analysiert. Aus ihrer Arbeit geht hervor, dass eine Fülle von epidemiologische Studien ebenfalls zu diesem Ergebnis gekommen sind (91). Männer setzen sich größeren Risikofaktoren für Parodontitis aus. Umgebungs- und Verhaltensfaktoren wie Körperhygiene und Rauchen tragen ihren Teil dazu bei. Speziell hat sich ihre Studie mit der Auswirkung von Sexualhormonen auf die Immunreaktion beschäftigt. Es fanden sich starke Beweise, dass bei Männern verstärkt Immunzellen auf Verletzungs- oder Entzündungsreize hin ausgeschüttet wurden. Dies erklärt eine verstärkte entzündliche Reaktion und einen damit einhergehenden stärkeren Knochenabbau.

Die Sonderrolle der postmenopausalen Frau mit Osteoporose wird in diesem Zusammenhang in anderen Studien betrachtet (92).

Aufgabe dieser Studie war es, das Ausmaß von knöchernen Dehiszenzen mit verschiedenen Faktoren in Relation zu bringen. Das männliche Geschlecht hat einen eindeutig positiven Einfluss auf die Ausprägung von knöchernen Defekten. Die genauen Mechanismen sind noch zu erforschen.

### **5.2.6. Dehiszenzen in Abhängigkeit von der Lokalisation im Zahnbogen**

Die aufgenommenen Daten wurden nach Front- und Seitenzahnsegment getrennt untersucht. Das Seitenzahnsegment wies statistisch signifikant höhere Werte auf (Mittelwert: SZS=2,14 mm > FZS=2,10 mm) ( $p = .008$ ). Bei isolierter Betrachtung des Oberkiefers viel dieses Ergebnis noch höher aus (Mittelwerte: SZS=2,22 mm > FZS=2,04 mm) ( $p < .001$ ). In vergleichbaren Untersuchungen kamen Enhos et al. sowie Evangelista et al. zu ähnlichen Ergebnissen. Im Oberkiefer fanden Evangelista et al., neben dem Eckzahn (18,73%) die meisten Dehiszenzen am ersten Prämolaren (18,45%) und am ersten Molaren (18,27%) (32). In der

Untersuchung von Enhos et al. zeigte ebenfalls der erste Molar die größte Anzahl von Dehiszenzen im Oberkiefer (88).

Die isolierte Betrachtung des Unterkiefers zeigte statistisch signifikant höhere Werte im Frontzahnsegment (Mittelwert: FZS=2,15 mm > SZS=2,07 mm) ( $p=.001$ ). Auch bei Evangelista et al. wurden die meisten Dehiszenzen am ersten Frontzahn (24,33%) festgestellt. Der zweite Frontzahn (17,51%) und der Eckzahn (17,13%) wiesen ebenso deutlich mehr Dehiszenzen auf als die Zähne des Seitenzahnsegments (32). Enhos et al. stellten ebenfalls die höchste Prävalenz am ersten Frontzahn heraus (25% bis 30,55%) (88).

Enhos et al. sowie Evangelista et al. bezogen sich nur auf die Prävalenz von Dehiszenzen. Die Analyse des vorliegenden Patientenguts bezog sich für diese Hypothese jedoch auf das Ausmaß der Dehiszenzen. Es ist dennoch eine deutliche Übereinstimmung zu erkennen.

Weiterführend wurden Front- und Seitenzahnsegment getrennt nach Angle Klasse I und Angle Klasse II/1 untersucht. Die Ergebnisse der Angle Klasse I korrelieren mit den Ergebnissen des gesamten Patientenguts. Die Ergebnisse für Angle Klasse II/1 sind jedoch statistisch nicht signifikant. Genaue Ergebnisse ließen sich erst durch weitere Aufschlüsselung nach Kiefer und Angle Klasse erzielen. Die isolierte Betrachtung der Daten der Unterkiefer Angle Klasse II/1 zeigten statistisch signifikant höhere Werte im Frontzahnsegment ( $p<.001$ ). Die Unterkieferergebnisse der Angle Klasse I sind statistisch nicht signifikant ( $p=.227$ ). Dieses Ergebnis stellt die Daten des gesamten Patientenguts und die in der Literatur beschriebenen Ergebnisse in ein anderes Licht. Die statistisch signifikant höheren Werte im Unterkiefer-Frontzahnsegment des gesamten Patientenguts sind stark durch die Werte der Patienten der Angle Klasse II/1 verschoben. Im Oberkiefer weist das Seitenzahnsegment in allen Untergruppen signifikant höhere Werte auf als das Frontzahnsegment.

Demnach wird das Unterkiefer-Frontzahnsegment vergleichsweise am meisten durch die kieferorthopädische Fehlstellung der Angle Klasse II/1 in Mitleidenschaft gezogen.

### **5.2.7 Dehiszenzen in Abhängigkeit zum Kiefer**

Es wurden 3947 Messwerte im Oberkiefer und 3962 Messwerte im Unterkiefer aufgenommen. Im Mittel wurden statistisch signifikant ( $p=.42$ ) höhere Dehiszenzen

im Oberkiefer (2,14 mm) als im Unterkiefer ermittelt (2,11 mm). Dieses Ergebnis fügt sich zunächst nicht in die in der Literatur geschilderten Ergebnisse ein. Evangelista et. al, Urbani et al, Rupprecht et al., Nimigean et al., Yagci et al. und Enhos et al. stellten jeweils höhere Prävalenzen im Unterkiefer heraus (14-16, 32, 33, 88).

Die isolierte Betrachtung des Seitenzahnsegments zeigte ebenfalls statistisch signifikant höhere Dehiszenzen im Oberkiefer (Mittelwerte: OK 2,22 mm > UK 2,07 mm) ( $p < .001$ ). Erst die alleinige Betrachtung des Frontzahnsegments nähert sich der Literatur an. Hier weist der Unterkiefer signifikant höhere Dehiszenzen auf als der Oberkiefer (Mittelwerte: OK 2,04 mm < UK 2,15 mm) ( $p < .001$ ). Die isolierte Betrachtung der Front- und Seitenzahnsegmente, getrennt nach Angle Klasse I und Angle Klasse II/1 führt zu dem gleichen Ergebnis. Dies ist in Tabelle 9 zusammenfassend dargestellt.

Die Aussagen der genannten Literatur beziehen sich auf die Prävalenz von knöchernen Defekten. Die vorliegende Studie untersucht die Ausprägung der Dehiszenzen. Aus diesem Grund lassen sie sich nur begrenzt vergleichen. Es wird jedoch deutlich, dass Aussagen über die Ausprägung und vermutlich auch über die Prävalenz nicht pauschal zu tätigen sind. Um genaue Ergebnisse zu erzielen, muss nach Front- und Seitenzahnsegment differenziert werden. Die Einzelaufschlüsselung der Zähne in Abbildung 39 und 40 verdeutlicht dies erneut. Im Oberkiefer werden die größten Werte vom Eckzahn (2,59 mm), dem ersten Prämolare (2,43 mm) und dem ersten Molare (2,51 mm) erzielt. Im Unterkiefer ist das Frontzahnsegment dominierend (erster Frontzahn: 2,44 mm, zweiter Frontzahn: 2,41 mm).

### **5.3 Schlussfolgerungen**

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie müssen differenziert betrachtet werden. Aussagen über den Einfluss von Alter und Geschlecht auf die Veränderungen des Parodonts sind pauschal möglich. Das Alter und das männliche Geschlecht haben statistisch signifikant einen positiven Einfluss auf das Ausmaß von Dehiszenzen. Dies bestätigt die aktuelle wissenschaftliche Literatur.

Betrachtet man jedoch die Ergebnisse hinsichtlich des Einflusses der Angle Klassen, wird zunächst kein großer Unterschied deutlich.

Die Angle Klasse II/1 hat generell einen positiven Einfluss auf die Höhe der Dehiszenzen. Der Informationsgewinn dieser Studie liegt jedoch in der getrennten Betrachtung.

Erst die Differenzierung nach Ober- und Unterkiefer, sowie Front- und Seitenzahnsegment offenbart den wahren Einfluss der kieferorthopädischen Fehlstellung.

Im Oberkiefer wiesen alle Gruppen im Seitenzahnsegment die höchsten Dehiszenzen auf. Die Werte der Angle Klasse II/1 fielen noch höher aus als die der Angle Klasse I.

Im Unterkiefer zeigten die Werte der Angle Klasse I keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen Front- und Seitenzahnsegment. Vergleichend dazu ist der Einfluss der Angle Klasse II/1 im Frontzahnsegment am ausgeprägtesten. Hier fielen die Werte im Schnitt 0,35 mm höher aus als bei Patienten der Angle Klasse I. Schlussfolgernd hat die Angle Klasse II/1 die größten Auswirkungen auf die Parodontien des Unterkiefer-Frontzahnsegments.

Zusätzlich fanden sich im vestibulären Parodont statistisch signifikant mehr und höhere Defekte. Im Schnitt zeigten 51,8% der Parodontien vestibulär eine Dehiszenz auf. Bis zu 20,9% (3er) der Parodontien wiesen dabei Ausprägungen von mehr als 3 mm auf. Die Qualität der knöchernen Struktur ist jedoch als entscheidender Limitationsfaktor bei der Festlegung von Art und Umfang der kieferorthopädischen Therapie zu betrachten. Insbesondere Bewegungen der Wurzeln aus dem Zentrum des alveolären Knochens hinaus sind als mögliche Provokation knöcherner und mukogingivaler Defekte zu betrachten (29, 87, 93). Aufgrund der hohen Prävalenz von ausgeprägten Dehiszenzen ist die Abklärung des parodontalen Status vor der kieferorthopädischen Therapie unabdingbar. Konventionelle zweidimensionale Röntgenbilder liefern hier keinen Informationsgewinn. Die Diagnostik mittels individuell angepassten dosisreduzierten DVT (IADR DVT) ist hier das Mittel der Wahl. Die individuelle Anpassung des Aufnahmeprotokolls und des Field of Views bietet die Möglichkeit, ein dreidimensionales Bild zu moderaten Strahlungswerten zu erhalten. Währisch et al. erzielten in ihrer Arbeit je nach Protokoll effektive Strahlendosen von 12,3 $\mu$ Sv bis 58,1 $\mu$ Sv (64).

Die vorliegende Studie liefert die rechtfertigende Indikation für ein DVT vor kieferorthopädischer Therapie. Angesichts der geringen effektiven Strahlendosen

sollte dieses hilfreiche Instrument einen festen Platz in der kieferorthopädischen Behandlungsplanung erhalten.

## 6 Literaturverzeichnis

1. Schroeder HE, Listgarten MA. The gingival tissues: the architecture of periodontal protection. *Periodontol 2000* 1997;13:91-120.
2. Wolf HF, Rateitschak E, Rateitschak K. Parodontologie. Farbatlanten der Zahnmedizin Band 1. 3 ed. Stuttgart, Germany: Georg Thieme Verlag; 2004. p. 8-9.
3. Van der Weijden F, Dell'Acqua F, Slot DE. Alveolar bone dimensional changes of post-extraction sockets in humans: a systematic review. *J Clin Periodontol* 2009;36(12):1048-58.
4. Araujo MG, Lindhe J. Dimensional ridge alterations following tooth extraction. An experimental study in the dog. *J Clin Periodontol* 2005;32(2):212-8.
5. Samandari F, Mai JK. Zähne und Gebiss. Funktionelle Anatomie: Quintessenz; 1995. p. 134-38.
6. Bosshardt DD, Schroeder HE. Establishment of acellular extrinsic fiber cementum on human teeth. A light- and electron-microscopic study. *Cell Tissue Res* 1991;263(2):325-36.
7. Bosshardt DD, Schroeder HE. Initial formation of cellular intrinsic fiber cementum in developing human teeth. A light- and electron-microscopic study. *Cell Tissue Res* 1992;267(2):321-35.
8. Lehmann K, Hellwig E. Aufbau der Zähne und der Zahnreihen. Zahnärztliche Propädeutik: Urban & Fischer; 2005. p. 35-41.
9. Schopf P. Eugnathie/Indikation und Zeitpunkt. Kieferorthopädie Band 1. 4 ed: Quintessenz Verlags-GmbH; 2008. p. 59-62.
10. Schopf P. Dysgnathien in Stichworten. Kieferorthopädie Band 2. 4 ed: Quintessenz Verlags-GmbH; 2008. p. 581-83.

11. Angle Klasse I. [cited; Available from: [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/5/59/Zahnfehlstellung\\_Angle-Klasse\\_II-1.jpg/220px-Zahnfehlstellung\\_Angle-Klasse\\_II-1.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/5/59/Zahnfehlstellung_Angle-Klasse_II-1.jpg/220px-Zahnfehlstellung_Angle-Klasse_II-1.jpg)]
12. Angle Klasse II/1. [cited; Available from: [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/5/59/Zahnfehlstellung\\_Angle-Klasse\\_II-1.jpg/220px-Zahnfehlstellung\\_Angle-Klasse\\_II-1.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/5/59/Zahnfehlstellung_Angle-Klasse_II-1.jpg/220px-Zahnfehlstellung_Angle-Klasse_II-1.jpg)]
13. Lindhe J, Karring T, Lang N. Anatomy. Clinical periodontology and implant dentistry. 4 ed; 2003. p. 3-48.
14. Urbani G, Lombardo G, Filippini P, Nocini FP. [Dehiscence and fenestration: study of distribution and incidence in a homogeneous population model]. *Stomatol Mediterr* 1991;11(2):113-8.
15. Rupprecht RD, Horning GM, Nicoll BK, Cohen ME. Prevalence of dehiscences and fenestrations in modern American skulls. *J Periodontol* 2001;72(6):722-9.
16. Nimigean VR, Nimigean V, Bencze MA, Dimcevic-Poesina N, Cergan R, Moraru S. Alveolar bone dehiscences and fenestrations: an anatomical study and review. *Rom J Morphol Embryol* 2009;50(3):391-7.
17. Lost C. Depth of alveolar bone dehiscences in relation to gingival recessions. *J Clin Periodontol* 1984;11(9):583-9.
18. Bernimoulin J, Curilovic Z. Gingival recession and tooth mobility. *J Clin Periodontol* 1977;4(2):107-14.
19. Kallestal C, Uhlin S. Buccal attachment loss in Swedish adolescents. *J Clin Periodontol* 1992;19(7):485-91.
20. Moskow BS, Bressman E. LOCALIZED GINGIVAL RECESSION. ETIOLOGY AND TREATMENT. *Dent Radiogr Photogr* 1965;38:3-8 PASSIM.
21. Mierau HD, Fiebig A. [Epidemiology of gingiva recession and potential accompanying clinical phenomena. Study of 2410 recruits between 18 and 20 years of age]. *Dtsch Zahnarztl Z* 1987;42(5):512-20.

22. Sangnes G, Gjermo P. Prevalence of oral soft and hard tissue lesions related to mechanical toothcleansing procedures. *Community Dent Oral Epidemiol* 1976;4(2):77-83.
23. Hickey BM, Schoch EA, Bigeard L, Musset AM. Complications following oral piercing. A study among 201 young adults in Strasbourg, France. *Community Dent Health* 2010;27(1):35-40.
24. Valderhaug J. Periodontal conditions and carious lesions following the insertion of fixed prostheses: a 10-year follow-up study. *Int Dent J* 1980;30(4):296-304.
25. Yoneyama T, Okamoto H, Lindhe J, Socransky SS, Haffajee AD. Probing depth, attachment loss and gingival recession. Findings from a clinical examination in Ushiku, Japan. *J Clin Periodontol* 1988;15(9):581-91.
26. Serino G, Wennstrom JL, Lindhe J, Eneroth L. The prevalence and distribution of gingival recession in subjects with a high standard of oral hygiene. *J Clin Periodontol* 1994;21(1):57-63.
27. Lund H. Cone beam computed tomography in evaluations of some side effects of orthodontic treatment. *Swed Dent J Suppl* 2011(219):4-78.
28. Lee KM, Kim YI, Park SB, Son WS. Alveolar bone loss around lower incisors during surgical orthodontic treatment in mandibular prognathism. *Angle Orthod* 2012;82(4):637-44.
29. Artun J, Urbye KS. The effect of orthodontic treatment on periodontal bone support in patients with advanced loss of marginal periodontium. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1988;93(2):143-8.
30. Shi J, Zhou Y, Fu M. [Computer tomography study on periodontal patients with anterior displaced teeth before and after combined orthodontic-periodontal treatment]. *Beijing Da Xue Xue Bao* 2003;35(6):659-62.

31. Gkantidis N, Christou P, Topouzelis N. The orthodontic-periodontic interrelationship in integrated treatment challenges: a systematic review. *J Oral Rehabil* 2010;37(5):377-90.
32. Evangelista K, Vasconcelos Kde F, Bumann A, Hirsch E, Nitka M, Silva MA. Dehiscence and fenestration in patients with Class I and Class II Division 1 malocclusion assessed with cone-beam computed tomography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2010;138(2):133 e1-7; discussion 33-5.
33. Yagci A, Veli I, Uysal T, Ucar FI, Ozer T, Enhos S. Dehiscence and fenestration in skeletal Class I, II, and III malocclusions assessed with cone-beam computed tomography. *Angle Orthod* 2012;82(1):67-74.
34. Kook YA, Kim G, Kim Y. Comparison of alveolar bone loss around incisors in normal occlusion samples and surgical skeletal class III patients. *Angle Orthod* 2012;82(4):645-52.
35. Van Tiggelen R. Since 1895, orthopaedic surgery needs X-ray imaging: a historical overview from discovery to computed tomography. *JBR-BTR* 2001;84(5):204-13.
36. Huang J, Bumann A, Mah J. Three-dimensional radiographic analysis in orthodontics. *J Clin Orthod* 2005;39(7):421-8.
37. Stockburger WT. CT imaging, then and now: a 30-year review of the economics of computed tomography. *Radiol Manage* 2004;26(6):20-2, 24-7; quiz 28-30.
38. Ohman A, Kull L, Andersson J, Flygare L. Radiation doses in examination of lower third molars with computed tomography and conventional radiography. *Dentomaxillofac Radiol* 2008;37(8):445-52.
39. Cohnen M, Kemper J, Mobes O, Pawelzik J, Modder U. Radiation dose in dental radiology. *Eur Radiol* 2002;12(3):634-7.

40. 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(4):229-34.
41. 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(4):219-26.
42. Ludlow JB, Ivanovic M. Comparative dosimetry of dental CBCT devices and 64-slice CT for oral and maxillofacial radiology. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2008;106(1):106-14.
43. Silva MAG, Wolf U, Heinicke F, Bumann A, Visser H, Hirsch E. Cone-beam computed tomography for routine orthodontic treatment planning: A radiation dose evaluation. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 2008;133(5):640.e1-40.e5.
44. 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; 2010.
45. Arai Y, Tammsalo E, Iwai K, Hashimoto K, Shinoda K. Development of a compact computed tomographic apparatus for dental use. *Dentomaxillofac Radiol* 1999;28(4):245-8.
46. Hashimoto K, Kawashima S, Kameoka S, Akiyama Y, Honjaya T, Ejima K, et al. Comparison of image validity between cone beam computed tomography for dental use and multidetector row helical computed tomography. *Dentomaxillofac Radiol* 2007;36(8):465-71.
47. Mozzo P, Procacci C, Tacconi A, Martini PT, Andreis IA. A new volumetric CT machine for dental imaging based on the cone-beam technique: preliminary results. *Eur Radiol* 1998;8(9):1558-64.
48. Scarfe WC, Farman AG, Sukovic P. Clinical applications of cone-beam computed tomography in dental practice. *J Can Dent Assoc* 2006;72(1):75-80.

49. Lascala CA, Panella J, Marques MM. Analysis of the accuracy of linear measurements obtained by cone beam computed tomography (CBCT-NewTom). *Dentomaxillofac Radiol* 2004;33(5):291-4.
50. Sukovic P. Cone beam computed tomography in craniofacial imaging. *Orthod Craniofac Res* 2003;6 Suppl 1:31-6; discussion 179-82.
51. Schema\_DVT-CT.[cited; Available from: [http://dvt-akademie.de/wp-content/uploads/2012/12/Schema\\_DVT-CT.png](http://dvt-akademie.de/wp-content/uploads/2012/12/Schema_DVT-CT.png)
52. Xiao S, Bresler Y, Munson DC. Fast Feldkamp Algorithm For Cone-Beam Tomography: University of Illinois; 2003.
53. 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(2):83-6.
54. 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(1):27-34.
55. Hamada Y, Kondoh T, Noguchi K, Iino M, Isono H, Ishii H, et al. Application of limited cone beam computed tomography to clinical assessment of alveolar bone grafting: a preliminary report. *Cleft Palate Craniofac J* 2005;42(2):128-37.
56. Kim TS, Obst C, Zehaczek S, Geenen C. Detection of bone loss with different X-ray techniques in periodontal patients. *J Periodontol* 2008;79(7):1141-9.
57. Suomalainen A, Kiljunen T, Kaser Y, Peltola J, Kortensniemi M. Dosimetry and image quality of four dental cone beam computed tomography scanners compared with multislice computed tomography scanners. *Dentomaxillofac Radiol* 2009;38(6):367-78.
58. Grunheid T, Kolbeck Schieck JR, Pliska BT, Ahmad M, Larson BE. Dosimetry of a cone-beam computed tomography machine compared with a digital

x-ray machine in orthodontic imaging. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2012;141(4):436-43.

59. Clarke R, Valentin J. ICRP publication 109. Application of the Commission's Recommendations for the protection of people in emergency exposure situations. *Ann ICRP* 2009;39(1):1-110.

60. 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(9):1237-43.

61. Qu XM, Li G, Ludlow JB, Zhang ZY, Ma XC. Effective radiation dose of ProMax 3D cone-beam computerized tomography scanner with different dental protocols. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2010;110(6):770-6.

62. Ludlow JB, Walker C. Assessment of phantom dosimetry and image quality of i-CAT FLX cone-beam computed tomography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2013;144(6):802-17.

63. Spin-Neto R, Gotfredsen E, Wenzel A. Impact of voxel size variation on CBCT-based diagnostic outcome in dentistry: a systematic review. *J Digit Imaging* 2013;26(4):813-20.

64. Währisch KA. Effektive Dosen von DVT-Protokollen für die kieferorthopädische Behandlungsplanung nach dem IADR-Prinzip [Med. Diss. Berlin (in Vorbereitung)]: Charite Berlin; 2014.

65. Honey OB, Scarfe WC, Hilgers MJ, Klueber K, Silveira AM, Haskell BS, et al. Accuracy of cone-beam computed tomography imaging of the temporomandibular joint: comparisons with panoramic radiology and linear tomography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2007;132(4):429-38.

66. Angelopoulos C, Thomas SL, Hechler S, Parissis N, Hlavacek M. Comparison between digital panoramic radiography and cone-beam computed tomography for the identification of the mandibular canal as part of presurgical dental implant assessment. *J Oral Maxillofac Surg* 2008;66(10):2130-5.

67. Matherne RP, Angelopoulos C, Kulild JC, Tira D. Use of cone-beam computed tomography to identify root canal systems in vitro. *J Endod* 2008;34(1):87-9.
68. de Paula-Silva FW, Wu MK, Leonardo MR, da Silva LA, Wesselink PR. Accuracy of periapical radiography and cone-beam computed tomography scans in diagnosing apical periodontitis using histopathological findings as a gold standard. *J Endod* 2009;35(7):1009-12.
69. Connert T, Hulber JM, Godt A, Lost C, Elayouti A. Accuracy of endodontic working length determination using cone beam computed tomography. *Int Endod J* 2013.
70. Misch KA, Yi ES, Sarment DP. Accuracy of cone beam computed tomography for periodontal defect measurements. *J Periodontol* 2006;77(7):1261-6.
71. Fienitz T, Schwarz F, Ritter L, Dreiseidler T, Becker J, Rothamel D. Accuracy of cone beam computed tomography in assessing peri-implant bone defect regeneration: a histologically controlled study in dogs. *Clin Oral Implants Res* 2012;23(7):882-7.
72. Vandenberghe B, Jacobs R, Yang J. Diagnostic validity (or acuity) of 2D CCD versus 3D CBCT-images for assessing periodontal breakdown. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2007;104(3):395-401.
73. Mol A, Balasundaram A. In vitro cone beam computed tomography imaging of periodontal bone. *Dentomaxillofac Radiol* 2008;37(6):319-24.
74. Ong G. Periodontal disease and tooth loss. *Int Dent J* 1998;48(3 Suppl 1):233-8.
75. Schattmann S. Dentale Volumetomographie in der Diagnostik vestibulärer parodontaler Defekte. Experimentelle Untersuchungen an Formalin - fixierten menschlichen Unterkiefern [Dissertation]. Berlin: Universitätsmedizin Berlin; 2011.
76. Bortz J. Statistik für Sozialwissenschaftler. 5 ed: Springer; 1999.

77. Cohen J. *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. 2 ed: Lawrence Erlbaum Assoc Inc; 1988.
78. Leung CC, Palomo L, Griffith R, Hans MG. Accuracy and reliability of cone-beam computed tomography for measuring alveolar bone height and detecting bony dehiscences and fenestrations. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2010;137(4 Suppl):S109-19.
79. Sun Z, Smith T, Kortam S, Kim DG, Tee BC, Fields H. Effect of bone thickness on alveolar bone-height measurements from cone-beam computed tomography images. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2011;139(2):e117-27.
80. Patcas R, Muller L, Ullrich O, Peltomaki T. Accuracy of cone-beam computed tomography at different resolutions assessed on the bony covering of the mandibular anterior teeth. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2012;141(1):41-50.
81. Torres MG, Campos PS, Segundo NP, Navarro M, Crusoe-Rebello I. Accuracy of linear measurements in cone beam computed tomography with different voxel sizes. *Implant Dent* 2012;21(2):150-5.
82. Gomolka K. Nebenbefunde im Sinus maxillaris im Rahmen der kieferorthopädischen Behandlungsplanung eine retrospektive Transversalstudie anhand von dentalen Volumentomographien [Dissertation]. Berlin: Universitätsmedizin Berlin; 2012.
83. Kim Y, Park JU, Kook YA. Alveolar bone loss around incisors in surgical skeletal Class III patients. *Angle Orthod* 2009;79(4):676-82.
84. Bouwens DG, Cevitanes L, Ludlow JB, Phillips C. Comparison of mesiodistal root angulation with posttreatment panoramic radiographs and cone-beam computed tomography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2011;139(1):126-32.
85. Liu SQ, Wen FJ, Chen H, Liu Y. Variation in mesiodistal root angulation of panoramic images generated from cone-beam computed tomography. *Chin J Dent Res* 2013;16(2):101-10.

86. Tong H, Enciso R, Van Elslande D, Major PW, Sameshima GT. A new method to measure mesiodistal angulation and faciolingual inclination of each whole tooth with volumetric cone-beam computed tomography images. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2012;142(1):133-43.
87. Meeran NA. Iatrogenic possibilities of orthodontic treatment and modalities of prevention. *J Orthod Sci* 2013;2(3):73-86.
88. Enhos S, Uysal T, Yagci A, Veli I, Ucar FI, Ozer T. Dehiscence and fenestration in patients with different vertical growth patterns assessed with cone-beam computed tomography. *Angle Orthod* 2012;82(5):868-74.
89. Haas AN, Gaio EJ, Oppermann RV, Rosing CK, Albandar JM, Susin C. Pattern and rate of progression of periodontal attachment loss in an urban population of South Brazil: a 5-years population-based prospective study. *J Clin Periodontol* 2012;39(1):1-9.
90. Reynolds MA. Modifiable risk factors in periodontitis: at the intersection of aging and disease. *Periodontol 2000* 2014;64(1):7-19.
91. Shiau HJ, Reynolds MA. Sex differences in destructive periodontal disease: exploring the biologic basis. *J Periodontol* 2010;81(11):1505-17.
92. Gera I. [Osteoporosis: a risk factor for periodontal disease (literature review)]. *Fogorv Sz* 2002;95(2):49-54.
93. Wehrbein H, Bauer W, Diedrich P. Mandibular incisors, alveolar bone, and symphysis after orthodontic treatment. A retrospective study. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 1996;110(3):239-46.

## **7 Eidesstattliche Erklärung**

Ich, Johannes Weigang, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: „Quantitative Untersuchungen zur Prävalenz von dentoalveolären Dehiszenzen in Abhängigkeit von Zahn-und Kieferfehlstellungen“,

selbstständig und ohne nicht offengelegte Hilfe Dritter verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel genutzt habe.

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

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

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

12.10.2014

Johannes Weigang

## **8 Lebenslauf**

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

## 9 Danksagung

Zunächst gilt mein herzlicher Dank Herrn Prof. Dr. Axel Bumann für die Überlassung des Promotionsthemas und sein Vertrauen. Ohne seine zielführende und geduldige Betreuung wäre die Fertigstellung dieser Arbeit kaum möglich gewesen.

Ein weiterer Dank gebührt den Mitarbeitern des MESANTIS® Röntgeninstituts Berlin, welche durch Softwareschulung und Beistand in technischen Fragen einen wesentlichen Beitrag zur Auswertung der DVTs beigetragen haben.

Herrn Erik Kirst gilt großer Dank für seine umfangreiche statistische Beratung, sowie zahlreiche Anregung hinsichtlich der Konzeption einer wissenschaftlichen Arbeit.

Abschließend möchte ich mich für den stets bedingungslosen Rückhalt meiner Familie bedanken.

In besonderem Maße danke ich Josephine Fehrmann für Geduld, Unterstützung und nicht zuletzt für ihre neue, großartige Funktion als Mutter meines Sohnes.

## 10 Anhang

### 10.1 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1	Aufbau des Parodonts (2) .....	7
Abb. 2	Schematische Darstellung der Verzahnung bei Angle Klasse I (11).....	11
Abb. 3	Schematische Darstellung der Verzahnung bei Angle Klasse II/1 (12)...	12
Abb. 4	Schematische Darstellung der Funktionsprinzipien von CT und DVT (51) . .....	17
Abb. 5	Darstellung der Altersverteilung aller untersuchten Patienten (n=149)...	24
Abb. 6	Ausrichtung des Zahnes in der Saggitalebene. Zahnachse(ZA) und Horizontalebene(HE) stehen nun in der Saggitalebene senkrecht zueinander. .....	28
Abb. 7	Ausrichtung des Zahnes in der Transversalebene. Zahnachse(ZA) und Horizontalebene(HE) stehen nun in der Transversalebene senkrecht zueinander. ....	28
Abb. 8	Ausrichtung des Zahnes in der Horizontalebene. Durch Rotation des Zahnes in der Horizontalebene kann der Zahn so eigestellt werden, dass ihn die Saggitalebene(SE) oral und vestibulär mittig durchquert. (TE = Transversalebene) .....	29
Abb. 9	Vertical Range and Orientation – Darstellung des Messbereiches innerhalb der kranialen (krG) und kaudalen Grenze (kaG). ....	30
Abb. 10	Einschränkung des Messbereiches in der Horizontalebene. Mit Hilfe des justierbaren Bogens (jB) kann die Darstellung in den einzelnen Cross- Sections (CS) begrenzt werden. ....	30
Abb. 11	Vermessung des Abstandes von der Schmelz-Zement-Grenze (SZG) zur koronalen Alveolarknochenkante (AK) am Beispiel eines Ok-Molaren. Vestibulär ist die Defekthöhe 0,32mm ausgeprägter als oral.....	31
Abb. 12	Festlegung des Inzisalpunktes (IP) zur Definierung der Okklusionsebene als Bezugsebene. Die Okklusionsebene ist durch den Inzisalpunkt und die zwei höchsten bukkalen Höcker der 2. Unterkiefermolaren definiert. Darstellung in der horizontalen Schnittebene. (OW= Orientierungswerkzeug).. .....	33
Abb. 13	Festlegung des Inzisalpunktes (IP) zur Definierung der Okklusionsebene als Bezugsebene. Die Okklusionsebene ist durch den Inzisalpunkt und die	

	zwei höchsten bukkalen Höcker der 2. Unterkiefermolaren definiert. Darstellung in der sagittalenebene. (OW= Orientierungswerkzeug). 33	
Abb. 14	Festlegung der höchsten bukkalen Höcker es 2. Unterkiefermolaren (bH) zur Definierung der Okklusionsebene als Bezugsebene. Die Okklusionsebene ist durch den Inzisalpunkt und die zwei höchsten bukkalen Höcker der 2. Unterkiefermolaren definiert. Darstellung in der transversalen Schnittebene.(OW= Orientierungswerkzeug).....	34
Abb. 15	Vermessung des Winkels zwischen Zahnachse und Okklusionsebene am Beispiel des Zahnes 21. Die Okklusionsebene (OE) ist parallel zu dem unteren Schenkel des Winkelwerkzeuges (WW). Der Winkel beträgt 59,1°..	35
Abb. 16	Box-Whisker-Plots zur Darstellung der prätherapeutischen Anzahl an Dehiszenzen pro Patient in Abhängigkeit von der Angle Klasse. Die Patienten mit Angle Klasse II/1 wiesen signifikant höhere Werte auf (p=0.003).....	41
Abb. 17	Mittelwerte zum Ausmaß der Knochendehiszenzen in Abhängigkeit von der Angle-Klasse. Patienten mit Angle-Klasse II/1 wiesen statistisch signifikant größere Knochendehiszenzen auf. ....	42
Abb. 18	Prozentuale Verteilung der Dehiszenzen der Zähne 1-7 in die Gruppen 0-3mm, 3 6mm und >6mm für Patienten der Angle Klasse I. Der eindeutig größte Anteil entfiel für alle Zähne auf die Gruppe von 0-3mm. ....	43
Abb. 19	Prozentuale Verteilung der Dehiszenzen der Zähne 1-7 in die Gruppen 0-3mm, 3 6mm und >6mm für Patienten der Angle Klasse II/1. Der eindeutig größte Anteil entfiel für alle Zähne auf die Gruppe von 0-3mm. ....	43
Abb. 20	Prozentuale Verteilung des Ausmaßes der maximalen Knochendehiszenzen für das gesamte Patientengut. Die meisten Patienten wiesen eine maximale Dehiszenz von 3 bis 6 mm auf.....	44
Abb. 21	Prozentuale Verteilung der maximalen Knochendehiszenzen in Abhängigkeit vom Ausmaß. Patienten mit Angle-Klasse II/1 wiesen in den Intervallen von 3 bis 6 mm, 6 bis 9 mm und >9 mm statistisch signifikant mehr Knochendehiszenzen auf.....	45
Abb. 22	Balkendiagramm zum Ausmaß der Knochendehiszenzen getrennt nach Ober- und Unterkiefer in Abhängigkeit von der Angle-Klasse. Patienten mit Angle-Klasse II/1 wiesen sowohl im Oberkiefer als auch im Unterkiefer statistisch signifikant größere Knochendehiszenzen auf. ....	46

Abb. 23	Prozentuale Verteilung der Knochendehiszenzen im Oberkiefer in Abhängigkeit vom Ausmaß. Patienten mit Angle-Klasse II/1 wiesen in den Intervallen 3 bis 6mm und 6 bis 9mm statistisch signifikant mehr Knochendehiszenzen auf. ....	47
Abb. 24	Box-Whisker-Plots zur prätherapeutischen Anzahl an Dehiszenzen unterteilt nach oral und vestibulär. Vestibulär waren statistisch hoch signifikant mehr Dehiszenzen zu verzeichnen ( $p < 0.001$ ). ....	48
Abb. 25	Mittelwerte zum Ausmaß der Knochendehiszenzen unterteilt nach vestibulärer und oraler Lokalisation. Die vestibulären Parodontien wiesen statistisch signifikant größere Knochendehiszenzen auf ( $p < 0.001$ ). ....	48
Abb. 26	Box-Whisker-Plots zur Darstellung des Ausmaßes der vestibulären Dehiszenzen der Zähne 1-7. (* Extremwerte, ° Ausreißerwerte) ....	49
Abb. 27	Box-Whisker-Plots zur Darstellung des Ausmaßes der oralen Dehiszenzen der Zähne 1-7. (* Extremwerte, ° Ausreißerwerte) ....	49
Abb. 28	Balkendiagramm zur Verdeutlichung der homogenen Verteilung der Zahnachsenangulationen im gesamten Patientengut ( $n=149$ ). ....	51
Abb. 29	Scatterplott zur Darstellung eines Zusammenhangs zwischen Zahnangulation und dem Ausmaß der dazugehörigen Knochendehiszenz am Beispiel der zentralen Schneidezähne der Ober- und Unterkiefer ( $n= 590$ ). Es war kein signifikanter Zusammenhang nachweisbar. ....	51
Abb. 30	Scatterplott zur Darstellung eines Zusammenhangs zwischen Zahnangulation und dem Ausmaß der dazugehörigen Knochendehiszenz am Beispiel der ersten Molaren der Ober- und Unterkiefer ( $n= 550$ ). Es war kein signifikanter Zusammenhang nachweisbar. ....	52
Abb. 31	Zusammenhang zwischen vestibulären Dehiszenzen und dem Alter der Patienten ( $n=149$ ). Es war ein moderater linearer Zusammenhang nachweisbar (gelbe Hilfslinie). Das Ausmaß der vestibulären Dehiszenzen stieg statistisch signifikant mit dem Alter der Patienten. ....	53
Abb. 32	Zusammenhang zwischen oralen Dehiszenzen und dem Alter der Patienten ( $n=149$ ). Es war ein moderater linearer Zusammenhang nachweisbar (gelbe Hilfslinie). Das Ausmaß der vestibulären Dehiszenzen stieg statistisch signifikant mit dem Alter der Patienten. ....	53

Abb. 33	Box-Whisker-Plots zur prätherapeutischen Anzahl von Dehiszenzen in Abhängigkeit vom Geschlecht. Der Unterschied war statistisch nicht signifikant ( $p= 0.74$ ).....	55
Abb. 34	Prozentuale Verteilung der maximalen Knochendehiszenzen in Abhängigkeit vom Ausmaß. Der Unterschied zwischen männlichen und weiblichen Patienten im Hinblick auf die Verteilung innerhalb der Gruppen war statistisch nicht signifikant ( $p= 0.58$ ) .....	55
Abb. 35	Ausmaß der prätherapeutischen Knochendehiszenzen unterteilt nach Front- und Seitenzahnsegment. Die Parodontien im Seitenzahnsegment wiesen statistisch signifikant höhere Dehiszenzen auf ( $p=0.008$ ).....	56
Abb. 36	Ausmaß der prätherapeutischen Knochendehiszenzen unterteilt nach Front- und Seitenzahnsegment, sowie Ober- und Oberkiefer aller Patienten. Im Unterkiefer wiesen die Parodontien im Seitenzahnsegment statistisch signifikant höhere Dehiszenzen auf ( $p=.001$ ). Im Oberkiefer wies das Frontzahnsegment statistisch signifikant höhere Werte auf ( $p=.001$ ). .....	57
Abb. 37	Ausmaß der prätherapeutischen Knochendehiszenzen unterteilt nach Front- und Seitenzahnsegment, sowie Angle Klasse I und Angle Klasse II/1. Bei Patienten der Angle Klasse II/1 wiesen die Parodontien keinen statistisch signifikanten Unterschied auf( $p=.311$ ). Patienten der Angle Klasse I wiesen im Seitenzahnbereich statistisch signifikant höhere Werte auf ( $p=.001$ ). .....	58
Abb. 38	Ausmaß der prätherapeutischen Knochendehiszenzen unterteilt nach Ober- und Unterkiefer. Die Parodontien im Oberkiefer wiesen statistisch signifikant höhere Dehiszenzen auf ( $p=0.042$ ).....	60
Abb. 39	Ausmaß der prätherapeutischen Knochendehiszenzen der Oberkieferzähne 17-27 unterteilt nach Angle Klasse I und II/1. Die Zähne der Angle Klasse II/1 weisen durchweg höhere Werte auf.....	62
Abb. 40	Ausmaß der prätherapeutischen Knochendehiszenzen der Unterkieferzähne 37-47 unterteilt nach Angle Klasse I und II/1. Die Zähne der Angle Klasse II/1 weisen durchweg höhere Werte auf.....	62
Abb. 41	Box-Whisker Plots zu Darstellung des Knochenniveaus an einer mesialen und einer distalen Messtelle unterteilt nach Altersgruppen aus der Arbeit „Horizontal Alveolar Bone Loss and Vertical Bone Defects in an Adult Patient Population“ von Persson et al. (1998).(87) .....	69

## 10. 2 Tabellenverzeichnis

Tab. 1	Beispielhafter Vergleich einiger effektiver Dosen Deff in $\mu\text{Sv}$ aus den genannten .....	16
Tab. 2	Darstellung der Alters- und Angle-Klasse-Verteilung der untersuchten Patienten.....	24
Tab. 3	Darstellung der Geschlechts- und Angle-Klasse-Verteilung der untersuchten Patienten. Auch wenn insgesamt annähernd die doppelte Anzahl weiblicher zu männlichen Probanden vermessen wurde, ist die Verteilung auf die Angle Klassen I und II/1 jedoch homogen.....	25
Tab. 4	Technische Daten der vorhandenen DVT-Geräte .....	26
Tab. 5	Technische Daten des Befundungsmonitors .....	27
Tab. 6	Relativer Anteil des Ausmaßes der maximalen Dehiszenz unterteilt nach Kiefer und Angle Klasse. In beiden Kiefern und Klassen ist der größte Anteil der Dehiszenzen der Gruppe von 3 bis 6mm zuzuordnen (gelb). UK= Unterkiefer, OK= Oberkiefer.....	46
Tab. 7	Verteilung des Ausmaßes der Zahnangulationen der Zähne 1 bis 7. Hinsichtlich der Angulation lassen sich grob zwei Gruppen unterscheiden: im Frontzahnsegment betrug die Angulation $\approx 70^\circ$ und im Seitenzahnsegment $\approx 90^\circ$ ).....	50
Tab. 8	Zusammenfassende Darstellung der Mittelwerte der Knochendehiszenzen im Frontzahn- und Seitenzahnsegment und der jeweiligen Signifikanzen. Die Segmente wurden miteinander sowohl insgesamt als auch differenziert nach Ober- bzw. Unterkiefer sowie Angle-Klasse I bzw. Angle Angle-Klasse II/1 verglichen. Die Ergebnisse zeigten deutliche Unterschiede bei Betrachtung der Einzelkiefer und bei den Angle-Klassen (Die höheren Mittelwerte sind gelb markiert. Die nicht signifikanten Unterschiede sind rot markiert).....	59
Tab. 9	Zusammenfassende Darstellung der Mittelwerte der Knochendehiszenzen im Ober- und Unterkiefer und der jeweiligen Signifikanzen. Die Kiefer wurden miteinander sowohl insgesamt als auch differenziert nach Front- bzw. Seitenzahnsegment sowie Angle-Klasse I bzw. Angle Angle-Klasse II/1 verglichen. Die Ergebnisse zeigten deutliche Unterschiede bei Betrachtung der Zahnsegmente und bei den Angle-Klassen	

(Die höheren Mittelwerte sind gelb markiert. Die nicht signifikanten  
Unterschiede sind rot markiert)..... 63