

Aus dem Institut MESANTIS 3D DENTAL-RADIOLOGIE Berlin

DISSERTATION

Quantitative Untersuchung zur Prävalenz von dentoalveolären
Dehiszenzen bei Patienten mit einer Angle-Klasse II/2 Malokklusion

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

vorgelegt der Medizinischen Fakultät
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von
Oliver Paul Allemann
aus Nürnberg

Datum der Promotion:
13.12.2019

Für meine Eltern Liliana und Paul

Inhaltsverzeichnis	
Inhaltsverzeichnis	3
Abkürzungsverzeichnis	6
Abbildungsverzeichnis	7
Tabellen- und Diagrammverzeichnis	7
1 Zusammenfassung	11
2 Abstract	13
3 Einleitung	14
3.1 Kieferorthopädische Fehlstellungen	15
3.1.1 Angle-Klassifikation	15
3.1.2 Angle-Klasse I und Eugnathie	15
3.1.3 Angle-Klassen II/1 und II/2	16
3.1.4 Ätiologie, Prävalenz und Therapie der Angle-Klasse II	16
3.2 Strukturen des Zahnhalteapparates (Parodontiums)	17
3.2.1 Der Alveolarknochen	18
3.2.2 Dehiszenzen des Alveolarknochens und deren Folgen	19
3.3 Digitale Volumentomografie (DVT)	21
3.3.1 DVT in der Kieferorthopädie	23
3.3.2 Dehiszenzvermessung im DVT und dessen technische Limitationen	25
4 Fragestellung	29
5 Material und Methodik	30
5.1 Allgemeine Methodik	30
5.1.1 Patientengut	30
5.1.2 Einschlusskriterien der untersuchten Patienten	31
5.1.3 DVT-Aufnahme	32
5.1.4 Auswertungssoftware und Befundungsmonitor	34
5.2 Messmethodik	34
5.2.1 Vermessung der Dehiszenzen	34
5.2.2 Reproduzierbarkeit der Messmethodik	39
5.2.3 Kalibrierung der Untersucher	39
5.2.4 Statistische Analyse	40
5.3 Spezielle Methodik	41

5.3.1	Dehiszenzen in Abhängigkeit von der Angle-Klasse des Patienten	41
5.3.2	Dehiszenzen in Abhängigkeit von der vestibulären oder oralen Lokalisation	42
5.3.3	Dehiszenzen in Abhängigkeit von der Lokalisation im Zahnbogen.....	42
5.3.4	Dehiszenzen in Abhängigkeit von dem Alter des Patienten	43
5.3.5	Dehiszenzen in Abhängigkeit von dem Geschlecht der Patienten	43
6	Ergebnisse.....	44
6.1	Dehiszenzen in Abhängigkeit von der Angle-Klasse des Patienten	44
6.1.1	Prävalenz von Dehiszenzen bei Patienten mit einer AK II/2, I und II/1	44
6.1.2	Ausmaß von Dehiszenzen bei Patienten mit einer AK II/2, I und II/1	45
6.2	Dehiszenzen in Abhängigkeit von der vestibulären / oralen Lokalisation .	46
6.2.1	Prävalenz von vestibulären / oralen Dehiszenzen bei Patienten mit einer AK II/2 ..	46
6.2.2	Ausmaß von vestibulären / oralen Dehiszenzen bei Patienten mit einer AK II/2	47
6.2.3	Prävalenz von vestibulären / oralen Dehiszenzen der mittleren Inzisivi im Oberkiefer bei Patienten mit einer AK II/2 und II/1	47
6.2.4	Ausmaß von vestibulären / oralen Dehiszenzen der mittleren Inzisivi im Oberkiefer bei Patienten mit einer AK II/2 und II/1	48
6.2.5	Prävalenz von vestibulären / oralen Dehiszenzen bei Patienten mit einer AK II/2, I und II/1	48
6.2.6	Ausmaß von vestibulären / oralen Dehiszenzen bei Patienten mit einer AK II/2, I und II/1	49
6.3	Dehiszenzen in Abhängigkeit von der Lokalisation im Zahnbogen	51
6.3.1	Prävalenz und Ausmaß von Dehiszenzen im Ober- und Unterkiefer bei Patienten mit einer AK II/2.....	51
6.3.2	Prävalenz und Ausmaß von Dehiszenzen im Front- und Seitenzahnsegment des jeweiligen Kiefers bei Patienten mit einer AK II/2.....	51
6.3.3	Prävalenz und Ausmaß von Dehiszenzen für jede Zahngruppe des Ober- und Unterkiefers bei Patienten mit einer AK II/2	52
6.3.4	Vergleich der Prävalenz von Dehiszenzen zwischen Patienten mit einer AK II/2, I und II/1 in Ober- und Unterkiefer.....	55
6.3.5	Vergleich der Prävalenz der Dehiszenzen einzelner Zahnsegmente der Patienten mit einer AK II/2, I und II/1	56
6.4	Dehiszenzen in Abhängigkeit vom Alter des Patienten	58
6.4.1	Prävalenz von Dehiszenzen in Abhängigkeit vom Alter bei Patienten mit einer AK II/2	58
6.4.2	Ausmaß von Dehiszenzen in Abhängigkeit vom Alter bei Patienten mit einer AK II/2	59

6.4.3	Vergleich der Prävalenz von Dehiszenzen in Abhängigkeit vom Alter zwischen Patienten mit einer AK II/2, I und II/1.....	61
6.4.4	Vergleich des Ausmaßes von Dehiszenzen in Abhängigkeit vom Alter zwischen Patienten mit einer AK II/2, I und II/1.....	62
6.5	Dehiszenzen in Abhängigkeit vom Geschlecht des Patienten.....	63
6.5.1	Patienten mit einer AK II/2	63
6.5.2	Vergleich zwischen Patienten mit einer AK II/2, I und II/1	63
7	Diskussion.....	67
7.1	Diskussion der Methoden	67
7.2	Klassifizierung von Dehiszenzen	68
7.3	Diskussion der Ergebnisse.....	69
7.3.1	Dehiszenzen in Abhängigkeit von der Angle-Klasse des Patienten	69
7.3.2	Dehiszenzen in Abhängigkeit von der vestibulären / oralen Lokalisation	70
7.3.3	Dehiszenzen in Abhängigkeit von der Lokalisation im Zahnbogen.....	71
7.3.4	Dehiszenzen in Abhängigkeit vom Alter des Patienten	73
7.3.5	Dehiszenzen in Abhängigkeit vom Geschlecht des Patienten.....	74
7.4	Diskussion zur Anwendung von DVT-Geräten in der Kieferorthopädie.....	74
7.5	Schlussfolgerungen	76
8	Literaturverzeichnis.....	79
9	Eidesstattliche Erklärung.....	90
10	Lebenslauf.....	91
11	Danksagung	92

Abkürzungsverzeichnis

<i>A / mA</i>	<i>Ampère / Milliampère</i>
<i>mAs</i>	<i>Milliampère Sekunde</i>
<i>ALARA</i>	<i>As Low As Reasonably Achievable</i>
<i>AK</i>	<i>Angle-Klasse</i>
<i>CBCT</i>	<i>Cone-Beam Computerized Tomography</i>
<i>cm</i>	<i>Zentimeter</i>
<i>CT</i>	<i>Computertomographie</i>
<i>CS</i>	<i>Cross Section</i>
<i>DVT</i>	<i>Digitale Volumetomographie</i>
<i>FoV</i>	<i>Field of View</i>
<i>FRS</i>	<i>Fernröntgenseitenaufnahme</i>
<i>FZ</i>	<i>Frontzahnsegment</i>
<i>IADR</i>	<i>indikations-abhängige Dosisreduktion</i>
<i>ICRP2007</i>	<i>ICRP 103 aus dem Jahr 2007</i>
<i>KFO</i>	<i>Kieferorthopädie</i>
<i>KOR</i>	<i>conventional othodontic radiographs</i>
<i>kKG</i>	<i>krestale Knochengrenze</i>
<i>o</i>	<i>oral</i>
<i>OK</i>	<i>Oberkiefer</i>
<i>PSA</i>	<i>Panoramaschichtaufnahme</i>
<i>s / Sek</i>	<i>Sekunde</i>
<i>Sv /mSv/μS</i>	<i>Sievert /Millisievert/Mikrosievert</i>
<i>SZ</i>	<i>Seitenzahnsegment</i>
<i>SD</i>	<i>Standardabweichung</i>
<i>SZG</i>	<i>Schmelz-Zement-Grenze</i>
<i>UK</i>	<i>Unterkiefer</i>
<i>v</i>	<i>vestibulär</i>
<i>V / kV</i>	<i>Volt / Kilovolt</i>
<i>2D</i>	<i>zweidimensional</i>
<i>3D</i>	<i>dreidimensional</i>

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Darstellung eines Angle-Klasse II/2 Gebisses mit typisch retroinklinierten mittleren Inzisivi und anteinklinierten seitlichen Inzisivi (17)	15
Abbildung 2: Schematische Darstellung der Verzahnung bei Angle Klasse I (19)	16
Abbildung 3: Schematische Darstellung der Angle-Klasse II/1 (rechts) und Angle-Klasse II/2 (links) (19, 20).....	16
Abbildung 4: Aufbau des Parodonts (39).....	18
Abbildung 5: Die Biologische Breite nach Gargulio (modifiziert) (41).....	19
Abbildung 6: Darstellung knöcherner Dehiszenzen am getrockneten Schädel (links) und mit einhergehenden Rezessionen in vivo (rechts) (2).....	19
Abbildung 7: Darstellung der Funktionsweise eines CTs und eines DVTs (79)	23
Abbildung 8: Ausrichtung des Zahnes 21 in der Sagittalebene	36
Abbildung 9: Ausrichtung des Zahnes 21 in der Transversalebene	36
Abbildung 10: Ausrichtung des Zahnes 21 in der Horizontalebene (grob)	37
Abbildung 11: Ausrichtung des Zahnes 21 in der Horizontalebene (fein) und Einstellung des Messbereichs in der Horizontalebene	37
Abbildung 12: Einstellung des Messbereiches in der Vertikalen	38
Abbildung 13: Messaufnahme des Zahnes 21	39

Tabellen- und Diagrammverzeichnis

Tabelle 1: Darstellung der Altersverteilung bei Patienten mit einer Angle-Klasse I, II/1 und II/2	30
Tabelle 2: Geschlechterverteilung innerhalb des Patientenguts bei Patienten mit einer Angle-Klasse I, II/1 und II/2. Auffällig war die Mehrverteilung zugunsten der weiblichen Patienten, trotzdem war die Verteilung Klassenübergreifend homogen	31
Tabelle 3: Technische Daten der genutzten DVT-Geräte (4).....	33
Tabelle 4: Mesantis Aufnahmeprotokoll: standardisierte Geräteeinstellungen.....	33
Tabelle 5: Auflistung der Anzahl der Patienten und Anzahl der Messungen bei Patienten mit einer Angle-Klasse I, II/1 und II/2	44
Tabelle 6: Durchschnittliche Anzahl und prozentualer Anteil der Dehiszenzen > 2 mm und > 3 mm pro Patient bei Patienten mit einer Angle-Klasse I, II/1 und II/2	45
Tabelle 7: Signifikanzniveaus (p) beim Vergleich der Anzahl der Dehiszenzen > 2 mm und > 3 mm bei Patienten mit einer Angle-Klasse I, II/1 und II/2	45

Tabelle 8: Signifikanzniveaus (p) beim Vergleich der mittleren Dehiszenzgrößen zwischen Patienten mit einer Angle-Klasse I, II/1 und II/2	46
Tabelle 9: Prävalenz von vestibulären und oralen Dehiszenzen bei Patienten mit einer Angle-Klasse II/2	47
Tabelle 10: Mittlerer Abstand des krestalen Knochenrandes von der SZG auf vestibulärer und oraler Seite bei Patienten mit einer Angle-Klasse II/2	47
Tabelle 11: Vestibuläre Dehiszenzen bei Patienten mit einer Angle-Klasse I, II/1 und II/2	49
Tabelle 12: Orale Dehiszenzen bei Patienten mit einer Angle-Klasse I, II/1 und II/2	49
Tabelle 13: Vergleich vestibulärer und oraler Dehiszenzen bei Patienten mit einer Angle-Klasse I, II/1 und II/2	50
Tabelle 14: Signifikanzniveaus (p) beim Vergleich vestibulären und oralen Knochenausmaßes bei Patienten mit einer Angle-Klasse I, II/1 und II/2	50
Tabelle 15: Prozentuale Verteilung der Dehiszenzen > 2 mm für jedes Zahnpaar im Oberkiefer bei Patienten mit einer Angle-Klasse II/2.....	52
Tabelle 16: Durchschnittliches Dehiszenzausmaß mit Standardabweichung für jede Zahngruppe im OK bei Patienten mit einer Angle-Klasse II/2	53
Tabelle 17: Prozentuale Verteilung der Dehiszenzen > 2 mm für jedes Zahnpaar im Unterkiefer bei Patienten mit einer Angle-Klasse II/2.....	54
Tabelle 18: Durchschnittliches Dehiszenzausmaß mit Standardabweichung für jede Zahngruppe im UK bei Patienten mit einer Angle-Klasse II/2	55
Tabelle 19: Signifikanzniveaus (p) beim Vergleich der Prävalenzen von Dehiszenzen zwischen Ober- und Unterkiefer bei Patienten mit einer Angle-Klasse I, II/1 und II/2	56
Tabelle 20: Durchschnittliche Dehiszenzanzahl in dem jeweiligen Zahnsegment bei Patienten mit einer Angle-Klasse I, II/1 und II/2	57
Tabelle 21: Signifikanzniveaus (p) beim Vergleich von Ober- und Unterkiefer der verglichenen Angle-Klassen I, II/1 und II/2.....	57
Tabelle 22: Korrelation der vestibulären Dehiszenzgröße mit dem Alter bei Patienten mit einer Angle-Klasse II/2	61
Tabelle 23: Korrelation der oralen Dehiszenzgröße mit dem Alter bei Patienten mit einer Angle-Klasse II/2	61
Tabelle 24: Verteilung der Dehiszenzen bei männlichen und weiblichen Patienten	63

Tabelle 25: Durchschnittliche Dehiszenzgröße bei männlichen und weiblichen Patienten mit einer Angle-Klasse II/2	63
Tabelle 26: Geschlechtsabhängige Verteilung der Patienten mit einer Angle-Klasse I, II/1 und II/2	64
Tabelle 27: Geschlechtsabhängige Verteilung der Dehiszenzanzahl bei der Gesamtbetrachtung von Patienten mit einer Angle-Klasse I, II/1 und II/2	64
Tabelle 28: Geschlechtsabhängige Verteilung der Dehiszenzanzahl bei Patienten mit einer Angle-Klasse I, II/1 und II/2	65
Tabelle 29: Geschlechtsabhängige Verteilung der durchschnittlichen Dehiszenzgröße bei Patienten mit einer Angle-Klasse I, II/1 und II/2	66
Diagramm 1: Darstellung der Altersverteilung aller untersuchten Patienten mit einer Angle-Klasse I, II/1 und II/2 (n = 207).....	30
Diagramm 2: Mittelwerte des Ausmaßes der Dehiszenzen in bei Patienten mit einer Angle-Klasse I, II/1 und II/2	46
Diagramm 3: Vestibuläre und orale mittlere Dehiszenzgröße bei der jeweiligen Angle-Klasse Dargestellt sind die vestibulären und oralen mittleren Dehiszenzgrößen in mm bei Patienten mit einer Angle-Klasse I, II/1 und II/2	50
Diagramm 4: Verteilung der Dehiszenzen pro Zahntyp im Oberkiefer bei Patienten mit einer Angle – Klasse II/2 (Hellgrau: Dehiszenzen > 2 mm pro Zahn)	52
Diagramm 5: Durchschnittliche Größe von Dehiszenzen bei den jeweiligen Zahngruppen im OK bei Patienten mit einer Angle-Klasse II/2	53
Diagramm 6: Verteilung der Dehiszenzen pro Zahnpaar im Unterkiefer bei Patienten mit einer Angle-Klasse II/2 (Hellgrau: Dehiszenzen > 2 mm pro Zahn)	54
Diagramm 8: Durchschnittliche Anzahl von Dehiszenzen im Ober- und Unterkiefer bei Patienten mit einer Angle-Klasse I, II/1 und II/2	56
Diagramm 9: Altersverteilung bei Patienten mit einer Angle-Klasse II/2	58
Diagramm 10: Dehiszenzen und ihre Korrelation zum Alter der Patienten mit einer Angle-Klasse II/2	59
Diagramm 11: Scatter-Plot zur Darstellung des mittleren vestibulären Dehiszenzausmaßes in Relation zum Alter bei Patienten mit einer Angle-Klasse II/2	60
Diagramm 12: Scatter-Plot zur Darstellung des mittleren oralen Dehiszenzausmaßes in Relation zum Alter bei Patienten mit einer Angle-Klasse II/2	60

Diagramm 13: Korrelation zwischen Prävalenz von Dehiszenzen und Alter bei Patienten mit einer Angle-Klasse I, II/1 und II/2 62

Diagramm 14: Korrelation zwischen Ausmaß von Dehiszenzen und Alter bei Patienten mit einer Angle-Klasse I, II/1 und II/2 62

1 Zusammenfassung

Einleitung: Kieferorthopädische Zahnbewegung erfordert peridentalen Knochen. Die vorliegende Studie diente der Evaluation des peridentalen Knochenangebots bei Patienten mit einer kieferorthopädischen Fehlstellung der Angle-Klasse (AK) II/2. Die Ergebnisse wurden mit Messungen von Patienten mit einer AK I bzw. II/1 der gleichen Arbeitsgruppe verglichen. **Material und Methodik:** 58 anonymisierte DVT-Datensätze (Voxelgröße 250 - 300 μm) aus der radiologischen Datenbank MESANTIS® 3D DENTAL-RADIOLOGICUMS Berlin, bildeten die Grundlage dieser Studie. Die Vermessung des peridentalen Knochenangebots erfolgte mittels einer DICOM-Software (InVivo 5, Anatomage Inc., San Jose, Californien) an jedem Parodont jeweils vestibulär (v) und oral (o) zwischen der Schmelz-Zement-Grenze und dem krestalen Alveolarknochenrand. Eine Dehiszenz bestand wenn die Distanz > 2 mm war. **Ergebnisse:** 100 % der untersuchten Patienten mit einer AK II/2 wiesen an mindestens einem Parodont eine Dehiszenz auf. 49,10 % der Parodontien wiesen Dehiszenzen auf. Das Ausmaß variierte zwischen 0,16 mm und 10,75 mm. Die AK II/1 wies die signifikant größten Dehiszenzen auf (v: $p < .001$; o: $p < .01$). Die AK II/2 wies als einzige keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen der Prävalenz von v und o Dehiszenzen auf ($p > .420$). Die AK II/2 wies keinen signifikanten Unterschied hinsichtlich der Prävalenz von Dehiszenzen zwischen Ober- und Unterkiefer auf ($p > .96$). Im OK konnte kein signifikanter Unterschied zwischen Front- und Seitenzahnsegment nachgewiesen werden (FZ/SZ: 5,91 / 5,45; $p > .47$). Im UK wies das Frontzahnsegment eine hoch signifikant höhere Prävalenz an Dehiszenzen auf als das Seitenzahnsegment (FZ/SZ: 7,59 / 3,95; $p < .001$). Die Zähne mit den meisten Dehiszenzen waren Canini im OK (62,5 %) sowie Inzisivi und Canini (61,21 – 64,94 %) im UK. Mit steigendem Alter nahm die Prävalenz und das Ausmaß der Dehiszenzen bei der AK II/2 signifikant zu (Prävalenz: $r = .55$, $p < .05$; Ausmaß: $r = .59$, $p < .001$). 49,72 % der Parodontien von Männern und 48,79 % von Frauen mit einer AK II/2 wiesen Dehiszenzen auf. **Schlussfolgerung:** 44,3 bis 58,2 % aller untersuchten Parodontien wiesen Dehiszenzen vor kieferorthopädischer Zahnbewegung auf. Während die gepoolten Daten der verschiedenen AK keine großen Differenzen aufwiesen, ergaben Vergleiche verschiedener Kieferregionen signifikante Unterschiede. Zwei wichtige klinische Erkenntnisse lassen sich daraus ableiten: Untersuchungen zum peridentalen Knochenangebot sollten sehr differenziert und nicht global betrachtet werden. Aufgrund der hohen Prävalenz von Dehiszenzen kann eine prätherapeutische Abklärung des peridentalen Knochenangebotes indiziert sein. Weitere 3D-

Untersuchungen zum Einfluss kieferorthopädischer Behandlungsmaßnahmen auf existente Dehiszenzen sind erforderlich.

2 Abstract

Objective: Peridental bone is required for orthodontic movement of teeth. In this study peridental bone of patients with an orthodontic Angle-Class (AC) II/2 was evaluated. The results were compared with measurements from patients with an AC I respectively II/1 of the same study group. **Materials and methods:** 58 anonymous CBCT-Data-Sets (Voxel-Size 250 – 300 μm) from the database of MESANTIS[®] 3D DENTAL-RADIOLOGICUMS in Berlin, Germany formed the base of this study. The measurements of the periodontal bone were realized with the DICOM-Software InVivo 5 (Anatomage Inc., San Jose, Californien) for each periodont buccal (b) and oral (o) between cemento-enamel-junction (CEJ) and crestal alveolar bone. The distance was classified a dehiscence when it exceeded 2 mm. **Results:** 100 % of the examined patients with an AC II/2 had at least one periodont with a dehiscence. 49,10 % out of the total 1624 examined periodonts showed dehiscences. Their size varied between 0.16 mm and 10.75 mm. AC II/1 had the significantly greatest dehiscences (b: $p < .001$; o: $p < .01$). Only AC II/2 showed no statistical significant difference between the prevalence of b and o dehiscences ($p > .420$). AC II/2 showed no statistical significant differences between maxilla (MX) and mandibula (MD) (MX/MD: 13.36 / 13.4; $p > .96$). In the MX no significant difference was determined between the prevalence of dehiscences of frontal teeth and lateral teeth segment (FTS/LTS: 5.91 / 5.45; $p > .47$). In the MD, the frontal teeth segment showed a highly significant larger prevalence of dehiscences than lateral teeth segment (F/L: 7.59 / 3.95; $p < .001$). In the MX, canini showed the highest prevalence of dehiscences (62.5 %). In the MD incisivi and canini were the most affected teeth (61.21 – 64.94 %). With older age the prevalence and the size of dehiscences grew significantly (prevalence: $r = .55$, $p < .05$; size: $r = .59$, $p < .001$). Within the AC II/2, 49.72 % of the examined periodonts of men and 48,79 % of women showed dehiscences. **Conclusion:** 44.3 % to 58.2 % of all examined periodonts had bony dehiscences before orthodontic movement. While the pooled data from the different ACs shows no great differences, the comparison of different teeth-segments was significant. Two important clinical conclusions are to be drawn: Examinations of the periodontal bone should be viewed very differentiated and not globally. Due to the high prevalence of bony dehiscences a therapeutically beneficial three-dimensional diagnostic may be indicated. Further 3D-analyzes of the influences of orthodontics on pretherapeutical existent dehiscences are required.

3 Einleitung

Edward H. Angle teilte kieferorthopädische Fehlstellungen in vier Klassen ein (1). Sie sind heute als Angle-Klassen (AK) I, II/1, II/2 und III bekannt.

Ist ein Knochenverlust auf der fazialen oder lingualen Seite des Zahnes von über 2 mm vorhanden, spricht man von einer Dehiszenz (2, 3). Patientinnen und Patienten mit einer AK I, II/1 und III wiesen in vergangenen Studien schon vor einer kieferorthopädischen Behandlung eine hohe Prävalenz an Dehiszenzen auf (3-6). Bis heute existiert jedoch noch keine Studie die Patientinnen und Patienten mit einer Fehlstellung der AK II/2 auf die Prävalenz von Dehiszenzen untersucht.

Hauptproblem der AK II/2 ist das Platzangebot im Oberkiefer (7, 8). Um genügend Platz im OK zu schaffen, stehen dem Kieferorthopäden drei Möglichkeiten zur Auswahl: die Extraktion von Zähnen, das Beschleifen gesunder Zähne oder die Expansion des Zahnbogens durch eine transversale Erweiterung. Diesen Methoden ist die atraumatische transversale Erweiterung vorzuziehen. Dabei werden jedoch die Zähne im Knochen nach vestibulär verschoben, was bei zu geringem Knochenangebot zur Entstehung und Aggravation von knöchernen Dehiszenzen führt (9-12).

Vor jeder kieferorthopädischen Behandlung erfolgt eine ausführliche klinische und röntgenologische Diagnostik um den Behandlungsbedarf zu ermitteln. Während die klassischen zweidimensionale Röntgendiagnostik (COR) nicht die genaue Darstellung der peridental knöchernen Verhältnisse erlaubt (13), ist die Diagnose mit Hilfe moderner dreidimensionaler Röntgentechnologien möglich (14-16).

In dieser Studie soll anhand prätherapeutischer dreidimensionaler Aufnahmen von Patienten mit einer AK II/2 ermittelt werden, ob diese auch ein erhöhtes Aufkommen an Dehiszenzen aufweisen und eine Indikation zur dreidimensionalen Diagnostik besteht.

Die Messungen dieser Studie wurden direkt mit den Messungen von Johannes Weigang von Patienten mit einer AK I bzw. II/1 aus der selben Arbeitsgruppe vergleichen (4).



Abbildung 1: Darstellung eines Angle-Klasse II/2 Gebisses mit typisch retroinklinierten mittleren Inzisivi und anteinklinierten seitlichen Inzisivi (17)

3.1 Kieferorthopädische Fehlstellungen

3.1.1 Angle-Klassifikation

Edward H. Angle teilte die häufigsten Okklusionsmuster in vier Klassen ein (Klasse I, II/1, II/2 und III). Sie sind heute als international anerkannte „Angle-Klassen“ bekannt. Dabei orientierte sich Angle an der Verzahnung des ersten Molaren der Maxilla mit dem ersten Molaren der Mandibula (1).

3.1.2 Angle-Klasse I und Eugnathie

Die Angle-Klasse I beschreibt die neutrale Okklusion, die allgemein als ideale und anzustrebende Verzahnung betrachtet wird. Dabei greift die mesiobukkale Höckerspitze des ersten oberen Molaren in die Querfissur zwischen dem mesio- und mediobukkalen Höcker des ersten unteren Molaren (Abbildung 2)(1). Die Klasse I beschreibt nicht die Eugnathie, sondern ist lediglich eines von mehreren Kriterien, die ein eugnathes Gebiss ausmachen. Von einem eugnathen Gebiss spricht man bei einer vollständigen, normal geformten Bezahnung ohne Vorhandensein von Nichtanlagen oder Zahnüberzahlen. Die Zahnbögen sollten physiologisch ausgeformt sein und kein Engstand, Weitstand oder Einzelzahnabweichungen bestehen sowie eine ausgewogene Größe der Kieferbasen vorherrschen, welche korrekt im Schädel eingelagert sind (18).

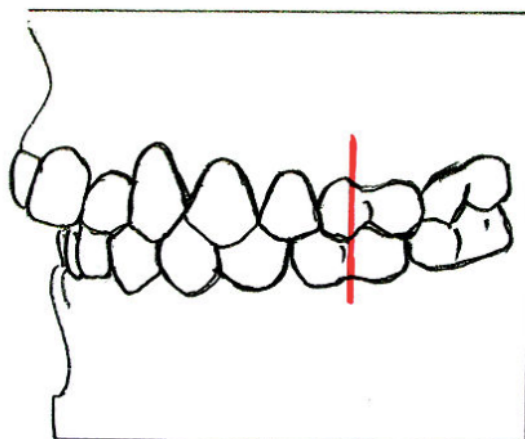


Abbildung 2: Schematische Darstellung der Verzahnung bei Angle Klasse I (19)

3.1.3 Angle-Klassen II/1 und II/2

Die „Klasse-II-Verzahnung“ ist durch eine sogenannte Distalverzahnung charakterisiert. Darunter versteht man, dass der mesiobukkale Höcker des ersten oberen Sechsjahrmolaren mesial der Querfissur des unteren ersten Sechsjahrmolaren steht. Man spricht auch von einem „Distalbiss“. Des Weiteren unterteilt man die Angle-Klasse II in die Klassen II/1 und II/2. Bei zusätzlich proklinierten Oberkieferinzisiven (Spitzfront) handelt es sich um eine Klasse II/1 und bei zusätzlich retroinklinierten Oberkieferinzisiven (Flachfront) und meist tiefem Biss um eine Klasse II/2 (Abbildung 3).

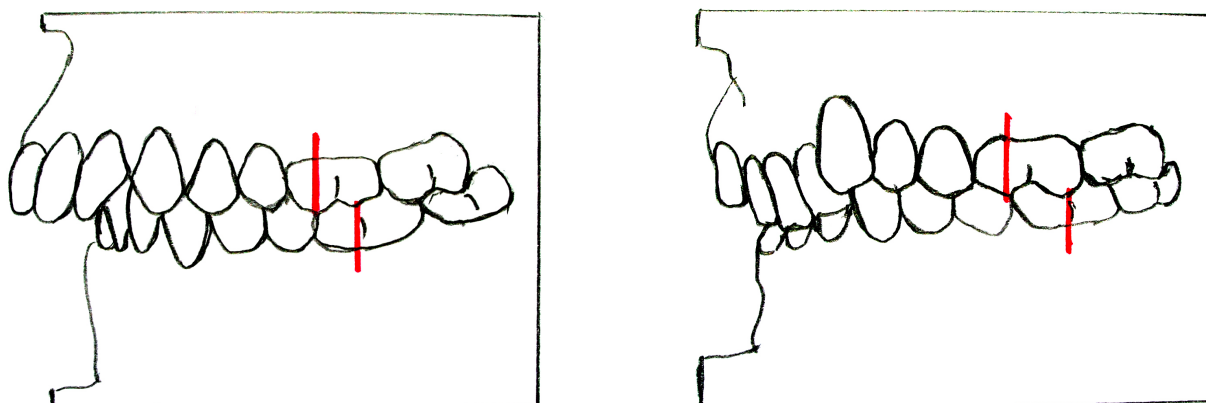


Abbildung 3: Schematische Darstellung der Angle-Klasse II/1 (rechts) und Angle-Klasse II/2 (links) (19, 20)

3.1.4 Ätiologie, Prävalenz und Therapie der Angle-Klasse II

Erbe et al. stellten in einer Übersicht die Häufigkeit der AK II unter Berücksichtigung einer Vielzahl von Studien zwischen 1907 und 1994 dar. Die AK II trat mit einer Häufigkeit zwischen 5 % und 34 % auf (21). In einer aktuelleren Studie konnte anhand von Langzeitbeobachtungen an schwedischen Kindern zwischen drei und sieben Jahren

eine Prävalenz der AK II von 28 % festgestellt werden (22). Die AK II Malokklusion stellt die häufigste behandlungsbedürftige Malokklusionen dar (23).

In der Literatur ist eine Fülle von Erklärungsversuchen für die Entstehung der Angle-Klasse II Verzahnung zu finden (24-29). Exogene Faktoren haben einen größeren Einfluss auf dentoalveoläre Anomalien, während endogene Faktoren bei skelettalen Anomalien dominieren (17). Die AK II ist eine dentoalveoläre Anomalie und wird hauptsächlich von exogenen Faktoren beeinflusst. Hierzu zählen Habits wie Daumenlutschen, Lippensaugen und -beißen (17, 30, 31). Es konnte eine hohe Korrelation zwischen Lutschhabits, Mundatmung und der Entwicklung eines vergrößerten Overjets (AK II/1) festgestellt werden (32). Schlafposition und die Mundatmung werden ebenfalls als Ursache diskutiert (1, 33). Dennoch konnten Lundström et al. in einer Zwillingsstudie auch den Einfluss endogener Faktoren nachweisen (26). Zwar konnten bisher noch nicht alle Ursachen für die Entstehung dieser Form der Malokklusion ausreichend geklärt werden, die Therapie, die meist eine Expansion des Oberkiefers beinhaltet, gehört jedoch zum kieferorthopädischen Alltag, sodass die genaue Kenntnis der Besonderheiten dieser Anomalie von hoher Relevanz ist. Es konnte mehrfach nachgewiesen werden, dass gängige Expansionsmethoden zu einer Reduktion des peridental Knochens führen (34-36). Als Alternativen zur Platzschaffung die nicht die Gefahr der Dehiszenzbildung mit sich bringen, bieten sich implantatunterstützte Gaumennahterweiterung (37), Extraktion von Prämolaren oder proximale Schmelzreduktion an.

3.2 Strukturen des Zahnhalteapparates (Parodontiums)

Während Zähne primär zum Abbeißen und Zerkleinern der Nahrung dienen, erfüllt der Zahnhalteapparat (das Parodont) zahlreiche Aufgaben. Neben der Verankerung der Zähne im Alveolarfortsatz des Kieferknochens und der Abfederung der Kaubelastung, ist er bei der Stellungsänderung von Zähnen maßgeblich beteiligt und somit für die Kieferorthopädie von besonderer Bedeutung (38). Das Parodont (aus dem Griechischen παρά (paro): bei, neben; ὀδόντος (odontos): Zahn) umfasst vier Strukturen: die Gingiva, den Alveolarknochen, das Desmodont und das Zement (Abbildung 4). Im Folgenden soll insbesondere auf den Alveolarknochen und alveoläre Dehiszenzen eingegangen werden.

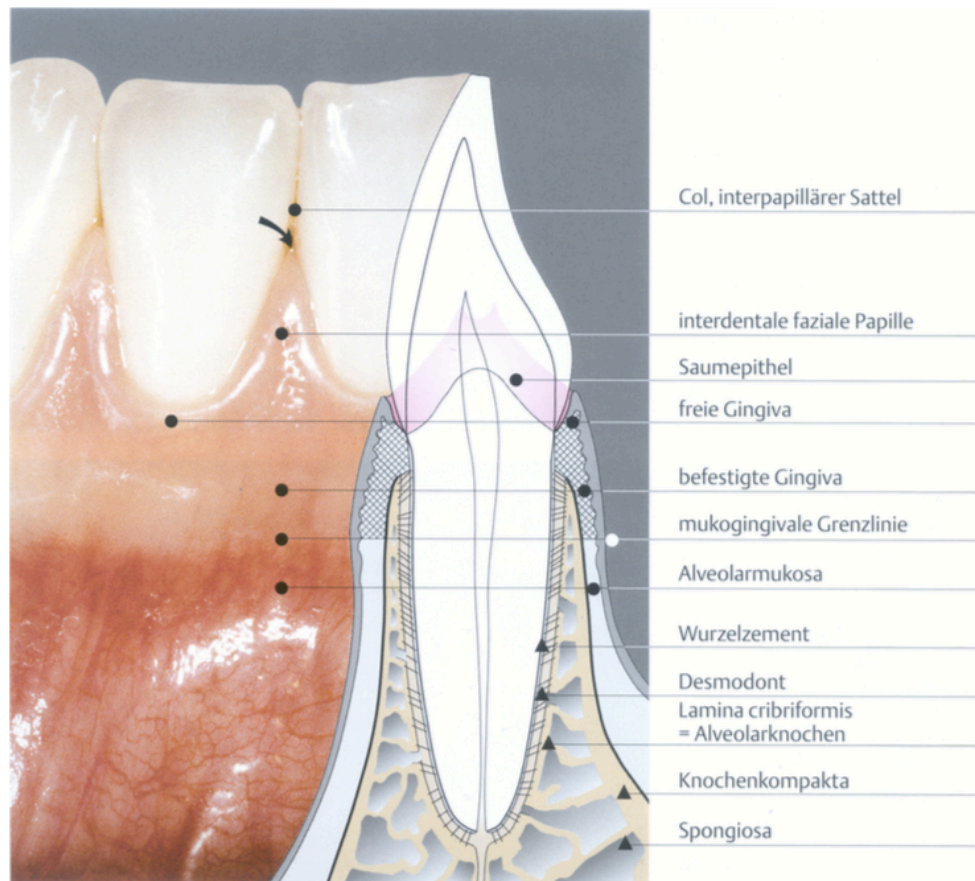


Abbildung 4: Aufbau des Parodonts (39)

3.2.1 Der Alveolarknochen

Der Alveolarknochen besteht aus der äußeren Kompakta des Alveolarfortsatzes und der Lamina cribiformis. Er ist von kollagenen Fasern (Sharpey'sche Fasern), Nerv-, Lymph- und Blutgefäßen durchzogen und von ca. 0,1 - 0,4 mm Dicke (39). Die bindegewebige Befestigung zwischen dem Zement des Zahnes und dem Alveolarknochen beginnt durchschnittlich 1 - 2 mm unterhalb der Schmelz-Zement-Grenze (SZG) (40). Abbildung 5 verschafft einen Überblick über die physiologischen Dimensionen des Alveolarapparats.

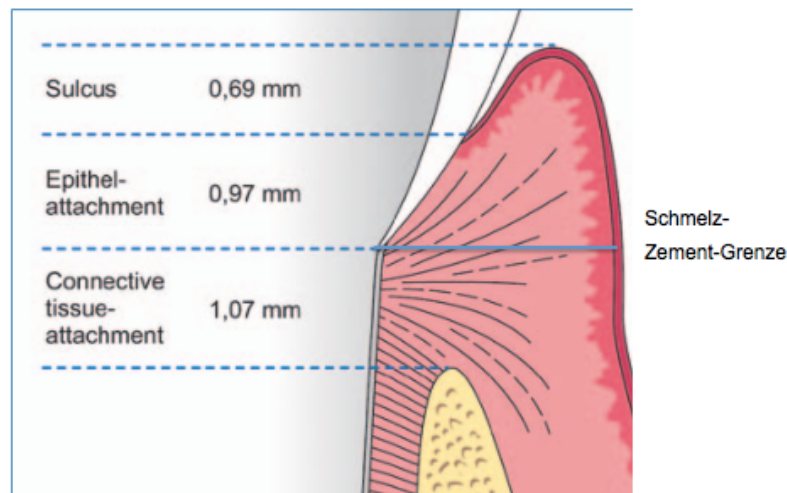


Abbildung 5: Die Biologische Breite nach Gargulio (modifiziert) (41)

3.2.2 Dehiszenzen des Alveolarknochens und deren Folgen

Man spricht von einer Dehiszenz, wenn vestibulär oder oral eines Zahnes, der krestale Alveolarknochenrand mehr als 2 mm apikal der SZG liegt (Abbildung 6 links) (2, 3). Klinisch sind knöcherner Dehiszenzen nicht direkt sichtbar, korrelieren jedoch mit den klinisch sichtbaren gingivalen Rezessionen (Abbildung 6 rechts) (42). Die befestigte Gingiva benötigt als Unterlage den Knochen und bildet sich zurück, falls dieser nicht mehr vorhanden ist (43). Die Ursachen für die Entstehung von Dehiszenzen und deren Folgen werden im Weiteren erläutert.



Abbildung 6: Darstellung knöcherner Dehiszenzen am getrockneten Schädel (links) und mit einhergehenden Rezessionen in vivo (rechts) (2).

In erster Linie führen schlechte Mundhygiene und daraus resultierende Entzündungen zu Destruktionen des Alveolarapparats (44, 45), doch auch mechanische Faktoren wie

zum Beispiel übermäßige (46) oder falsch durchgeführte Mundhygiene (47) spielen eine Rolle. In einer Studie aus dem Jahr 1986 von Mierau et al. (48) wurden 2410 18- bis 22-Jährige mit guter Mundhygiene auf die Prävalenz von Rezessionen untersucht. 19,3 % der untersuchten Personen wiesen vor allem an den prominent im Zahnbogen stehenden Eckzähnen und Prämolaren entzündungsfreie Rezessionen auf, die aufgrund falscher Putztechnik auftraten.

Als weitere Ursache ist die kieferorthopädische Zahnbewegung zu nennen (49, 50). Werden Zähne körperlich in Bereiche bewegt, in denen die Knochenlamelle besonders dünn ist, kommt es zur Dehiszenzbildung. Bereits vorhandene Defekte können vergrößert werden. (11, 51, 52) Jäger und Renkema et al. konnten bei Patienten vor und nach kieferorthopädischer Therapie eine Zunahme von bis zu 38 % der untersuchten Zähne nachweisen (49, 53). Patienten ohne kieferorthopädische Fehlstellungen wiesen vor einer kieferorthopädischen Therapie, Prävalenzen zwischen 4,1% – 7,3% bei den untersuchten Zähne auf (54-57). Patienten mit einer kieferorthopädischen Fehlstellung wiesen eine erhöhte Prävalenz von Dehiszenzen bereits vor kieferorthopädischer Therapie auf. Bei der Untersuchung von 4319 Zähnen von Patienten der AK I oder II/1, stellten Evangelista et al. eine durchschnittliche Prävalenz von 51,09 % bei den untersuchten Zähnen fest (3). Yagci et al. untersuchten Patienten der AK I, II und III. Sie stellten eine durchschnittliche Prävalenz von 8,25 % bis hin zu 42,64 % fest (6), wobei AK II Patienten die statistisch größte Prävalenz mit 42,64 % aufwiesen ($p < .001$). Weigang stellte bei 83,3 % der untersuchten Patienten mit einer AK I oder II/1 mindestens eine Dehiszenz fest (58). Vestibulär wiesen Patienten der AK II eine signifikant höhere Prävalenz von Dehiszenzen als oral auf (3, 4, 6). Dies kann allgemein auf die zu geringe Kiefer-Zahn-Relation bei der AK II zurückgeführt werden (7). Die Zähne finden nicht genug Platz im Kieferknochen und werden nach außen, aus dem Knochen heraus, gedrückt. Bei der AK II/1 stehen die Oberkieferinzisiven nach labial anguliert und somit noch weiter aus dem Knochen heraus, was als Ursache für die höhere Prävalenz angenommen werden kann. Bei der AK II/2 stehen die Inzisiven der Maxilla nach palatinal geneigt und sollten somit ausreichend von Knochen umgeben sein.

Der Großteil der Studien belegt, dass Dehiszenzen häufiger in der Mandibula als in der Maxilla vorkommen (3, 51, 54, 56, 57, 59-61). Lediglich in einer Studie von Bajoon et al. konnten keinen Unterschied zwischen Ober- und Unterkiefer nachgewiesen werden (62). Die Zahngruppe mit den meisten Dehiszenzen sind die Inzisiven im Unterkiefer (3, 53). Im Oberkiefer wiesen die Eckzähne, Prämolaren und Molaren die meisten Dehis-

zenzen auf (3, 6, 53). Weigang und Evangelista et al. fanden bei der Betrachtung von AK I und II/1 Patienten die meisten Dehiszenzen im Oberkiefer bei den Eck- und Seitenzähnen und im Unterkiefer bei den Inzisiven (3, 4).

Mit steigendem Alter nimmt die Prävalenz von Dehiszenzen zu (4, 53, 62, 63). Obwohl die Mineralisation des Knochens im Alter zunimmt, konnten Løe et al. einen Abbau von 0,1 mm pro Jahr bei gesunden Studenten und Akademikern ohne parodontale Erkrankungen messen (64).

Das Geschlecht der Patienten als ausschlaggebender Faktor für die Prävalenz von Dehiszenzen konnte bisher nur in einer Studie nachgewiesen werden. Männer wiesen dabei eine höhere Prävalenz auf (65). Nowzari et al., Nahm et al., Weigang und Jäger konnten keinen Zusammenhang zwischen Geschlecht und der Prävalenz von Dehiszenzen nachweisen (58, 66-68). Weigang konnte allerdings statistisch signifikant größere Dehiszenzen bei Männern nachweisen (4).

Die Kippung von Zähnen kann die Entstehung von Dehiszenzen und Rezessionen begünstigen (69). Tian et al. konnten zudem belegen, dass gekippte Zähne allgemein eine höhere Prävalenz von Dehiszenzen aufweisen (8).

Als weitere Faktoren für die Entstehung von Dehiszenzen sind in erster Linie parodontale Erkrankungen wie die Parodontitis zu nennen. Nikotinabusus, hormonelle Schwankungen sowie einige Nahrungsmittel werden ebenfalls als Ursachen diskutiert (70).

3.3 Digitale Volumentomografie (DVT)

Die Entdeckung der Röntgenstrahlen 1895 durch Wilhelm Conrad Röntgen revolutionierte die Medizin, da man Strukturen im Inneren des Organismus visualisieren konnte ohne diesen zu verletzen. Die organschädigende Wirkung der ionisierenden Strahlung wurde erst im Laufe der Zeit entdeckt. Sie kann zu Veränderungen der Zellen und ihrer Funktion führen.

Erste Anwendungen der Röntgenstrahlung in der Zahnmedizin fanden bereits 14 Tage nach ihrer Entdeckung statt (71). Der Zahnarzt und Wissenschaftler Dr. Friedrich Otto Walkhoff legte sich dafür eine einfache fotografische Glasplatte in den Mund und ließ sich für 25 Minuten bestrahlen. Damit die Aufnahme verwacklungsfrei wurde, musste er sich mit dem Kopf dabei auf den Boden legen. Trotz des großen Interesses kamen die ersten zahnärztlichen Röntgengeräte erst fast zwanzig Jahre später (1904) auf den Markt (72).

Die ersten Schnitt- und Schichtbildverfahren stellte Bocage 1921 vor (73). Dabei handelte es sich jedoch nicht um das uns heute geläufige Verfahren der Panoramaschichtaufnahme. Der Film wurde intraoral eingelegt und die Röntgenröhre um den Mund des Patienten herumgeführt. Es entstand ein sogenanntes Summationsbild, bei dem mehrere Strukturen an gleicher Stelle abgebildet wurden (74). Erst 1951 konnte Paatero ein extraorales Panoramaschichtgerät entwickeln mit dem die orthoradiale, zweidimensionale Aufnahme des gesamten Zahnbogens, der Kiefergelenke, der Speicheldrüsen und des Sinus maxillares möglich war (75).

Durch die Entwicklung der digitalen Volumentomografie (DVT) 1972 von Godfrey N. Hounsfield wurde neben der damals bereits existierenden Computertomografie (CT) eine strahlenärmeres, speziell für die Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde geeignetes, dreidimensionales Schichtbildverfahren eingeführt. Ende der 1990er Jahre stand es in Form des NewTom-Volumentomografen für die Anwendung in der Praxis bereit (72, 76).

DVT-Geräte basieren auf dem sogenannten Cone-Beam-Prinzip. Dabei rotieren die Röntgenröhre und der auf der gegenüberliegenden Seite positionierte Sensor (CCD-Chip) synchron um das Objekt. Während einer einzigen Umdrehung werden mehrere konusförmige (Cone) Strahlenbündel (Beam) ausgesendet und vom CCD-Chip empfangen, sodass innerhalb eines Umlaufes das gesamte Volumen durchleuchtet werden kann. Diese durch die Rotation leicht versetzten zweidimensionale Bilder werden im Anschluss mittels eines modifizierten Feldkamp-Algorithmus zu einem dreidimensionalen Bild zusammengesetzt (77) (Abbildung 7). Im Gegensatz zum CT bietet das DVT die Vorteile einer verkürzten Belichtungszeit und eine geringere Strahlenexposition (76). Zwar werden bei DVT-Aufnahmen nicht die Detailschärfe und Qualität erreicht, die mit CT-Aufnahmen möglich sind, jedoch haben sie durch die niedrigeren Gerätekosten, die bessere Auflösung in der Vertikalen und die niedrige Strahlendosis einen festen Platz in der Zahnmedizin und Kieferorthopädie gefunden (78).

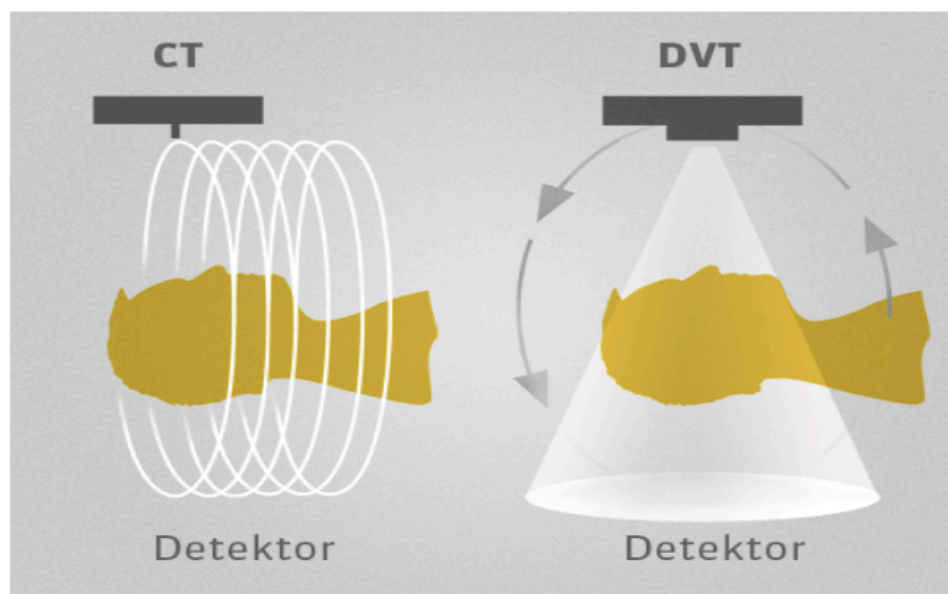


Abbildung 7: Darstellung der Funktionsweise eines CTs und eines DVTs (79)

3.3.1 DVT in der Kieferorthopädie

Röntgendiagnostik ist ein fester Bestandteil der kieferorthopädischen Therapieplanung. In Deutschland werden hierfür immer noch sogenannte konventionelle orthodontische Aufnahmen (COR) angefertigt. Hierzu gehören eine Panoramaschichtaufnahme und ein Fernröntgenseitenbild. Sie ermöglichen u. a. die Einschätzung der dentoalveolären, skelettalen und weichteiligen Verhältnisse des kranio-mandibulären Systems.

Allgemeine Nutzungshinweise liefern hierbei die Richtlinie N° 172 des von der Europäischen Atomgemeinschaft (Euratom) unterstützten Projekts SEDENTEXCT zur Durchführung einer DVT-Diagnostik bei speziellen klinischen Fragestellungen aus dem Jahr 2012 (80) und die s2k -Leitlinie der DGZMK zur konkreten Anwendungsempfehlung der DVT-Diagnostik aus dem Jahr 2013 (81). Auf die Anwendungsmöglichkeiten des DVTs in der KFO und dessen Vor- und Nachteile soll im Weiteren eingegangen werden.

Zweidimensionale Aufnahmen bilden dreidimensionale Strukturen in einer flachen Ebene ab. Dabei kommt es zu Überlagerungseffekten und Größenverzerrungen. Das DVT ermöglicht eine Überlagerungs- und Verzerrungsfreie Darstellung anatomischer Strukturen. Eine nochmalige Diagnostik mittels konventioneller zweidimensionaler Aufnahmen ist bei vorhandener DVT-Aufnahme nicht notwendig, da zephalometrische Messungen im DVT stattfinden können und genauer sind. (81-83) Auch herkömmliche COR können aus DVT-Datensätzen herausgerechnet werden, falls eine konventionelle Zephalometrische Vermessung erfolgen soll (84).

Mittels DVT-Aufnahmen können Position impaktierter Zähne, Platzverhältnisse, Follikelgröße und Vorhandensein von Pathologien wie Resorptionen, akkurat und reproduzierbar diagnostiziert werden. Ein Vorteil für die angewandte Therapie konnte nachgewiesen werden. (85-88) Wurzelresorptionen treten häufig während kieferorthopädischer Bewegung von Zähnen auf. Durch regelmäßige Verlaufskontrollen können diese im DVT effizienter diagnostiziert werden und die kieferorthopädische Therapie angepasst oder rechtzeitig abgebrochen werden (89).

Bei der Kiefergelenksdiagnostik liefert das Volumentomogramm genauere Darstellungen der Morphologie des knöchernen Kiefergelenks (TMJ) und eventuell vorhandener Erosionen (90). Es bietet den Vorteil beide Kiefergelenke in der selben Aufnahme betrachten zu können, was eine Mehrfachexposition des Patienten überflüssig macht und sogar zu einer reduzierten Strahlenbelastung führen kann (91). Trotz des höheren Informationsgehalts fehlt es jedoch an Evidenz, dass die Therapie der Kiefergelenksbeschwerden maßgeblich davon profitiert (92). Im Gegensatz zu der häufig angewandten Magnetresonanztomographie, weist das DVT eine bessere Darstellung knöcherner Strukturen auf, ist jedoch für die Darstellung des weichgewebigen Discus und seiner Anhangsgewebe weniger geeignet (93).

Bei der Insertion von Miniimplantaten zur temporären Verankerung kieferorthopädischer Apparaturen, kann man durch vorherige Planung im DVT eine sichere Positionierung der Schrauben gewährleisten und das Risiko Zahnwurzeln zu verletzen deutlich reduzieren (94).

Eine genauere Diagnostik von Atemwegsmalformationen konnte mittels DVT gegenüber konventionellen zweidimensionalen Methoden nachgewiesen werden (95).

Besonders bei Kindern mit einer Lippen-Kiefer-Gaumenspalte hat die dreidimensionale Darstellung des Defekts große Vorteile für die chirurgische wie auch kieferorthopädische Therapieplanung. Knochenvolumen, Lokalisation des Knochendefekts, Lokalisation vorhandener permanenter und überzähliger Zahnanlagen und die genaue Darstellung der Knochenmorphologie sind möglich (96, 97). Albuquerque et al. konnten nachweisen, dass die Diagnose mittels DVT - bei signifikant geringerer Strahlenbelastung - dem CT nicht nachsteht (96).

In Deutschland ist bisher die Anfertigung einer DVT-Aufnahme im Rahmen einer kieferorthopädischen Behandlung auf eine Reihe von Indikationen beschränkt.

In einer Stellungnahme der DGKFO von 2008 werden unter anderem Anomalien des Zahnbestandes wie Hyperdontie und Mesiodontes, Anomalien und Dysplasien der

Zahnwurzeln, Zahndurchbruchsstörungen, retinierte und verlagerte Zahnkeime, pathologische Knochenstrukturen, kraniofaziale Fehlbildungen, Gesichts- und Kieferasymmetrien und Lippen-Kiefer-Gaumenspalten (LKG) genannt (98). Eine weitere wichtige Indikation ist die Darstellung des peridentalen Knochenangebots zur prognostischen Bewertung geplanter Zahnbewegungen (98) (siehe Kapitel 3.3.2).

Abschließend muss jedoch gesagt werden, dass die Datenlage zum diagnostischen Mehrwert für die Therapie des Patienten für viele Fragestellungen noch nicht ausreichend ist, sodass keine allgemeine Indikation für die Anfertigung eines DVTs ausgesprochen werden kann (81, 99).

3.3.2 Dehiszenzvermessung im DVT und dessen technische Limitationen

In der Vergangenheit wurde vor allem im Fachbereich der Parodontologie versucht, die peridentalen Knochenverhältnisse akkurat und reproduzierbar zu diagnostizieren (100). 2D Diagnostik ermöglicht eine genaue Darstellung des interdentalen Knochenangebots und steht einer 3D Diagnostik nicht nach (101). Die Darstellung der vestibulären und oralen Knochenverhältnisse ist mit konventioneller 2D-Diagnostik jedoch nicht möglich (13, 101). Die Genauigkeit von DVT-Messungen soll im Weiteren kritisch geprüft werden. Es soll explizit auf Studien eingegangen werden, die sich mit der Vermessung von vestibulären und oralen Dehiszenzen beschäftigt haben. Zudem sollen Limitationen von DVT-Geräten unter besonderer Berücksichtigung der Auflösung aufgezeigt werden. Allgemeine technische Limitationen aktueller Geräte sind die begrenzte Darstellung der Kontrast-Auflösung aufgrund hoher Streustrahlung (Signal-Rauschen) und Artefaktentwicklung der genutzten Flach-Sensoren (102). Hinzu kommt eine noch nicht ausreichend geklärte Qualitätsminderung durch die angewandten mathematischen Algorithmen zur Umwandlung zweidimensionaler Daten in ein dreidimensionales Bild und die Herausrechnung von Fehlern die durch Bewegungen und sog. Streaking entstehen (103).

Bildqualität, Auflösung, Strahlendosis und deren Einfluss auf die Vermessung von Dehiszenzen

Die Bildqualität wird durch die Parameter Umlaufzeit, Rotationsgeschwindigkeit, Anzahl der Projektionen pro Zeit (Frame Rate), Rotationswinkel, Stromstärke und Spannung bestimmt (80). Eine größere Datenmenge kann durch eine längere Scanzeit, einer höheren Frame Rate, einem vergrößerten Rotationswinkel und einer angepassten Stromstärke und Spannung generiert werden. Deren aufeinander abgestimmte Einstellung,

erhöhen die Auflösung und ermöglichen damit einhergehend die Darstellung und Differenzierung kleinerer Objekte.

In der dreidimensionalen Bildgebung unterscheidet man zwischen "Voxel" und "räumlicher Auflösung (Syn.: Ortsfrequenz)", wobei diese Begriffe fälschlicherweise häufig als Synonyme verwendet werden. Die traditionelle Messeinheit der räumlichen Auflösung ist "line -pairs per millimetre" ($lp\ mm^{-1}$) und beschreibt den geringsten Abstand zwischen zwei Objekten, bei dem ein Gerät diese noch als separate Einheiten darstellt. Bei einer räumlichen Auflösung von $100\ lp\ mm^{-1}$ kann man demnach 100 schwarze und 100 weiße Linien innerhalb eines Quadratmillimeters voneinander differenzieren. Sie kann objektiv gemessen werden und wird als Modulation Transfer Funktion (MTF) angegeben. Je höher die Schärfe und die Detailgetreue eines Bildes, desto höher das $lp\ mm^{-1}$ -Verhältnis und die MTF (104). Moderne DVT-Geräte erbringen eine tatsächliche Auflösung von ca. $1\ lp\ mm^{-1}$ (103). Voxel hingegen geben nicht die Fähigkeit des Gerätes an Objekte räumlich getrennt darzustellen, sondern beschreiben die Größe der Objektdetails die abgebildet werden können (105). Dennoch kommt es zu Verzerrungen, sodass die Größe eines Voxels nicht immer genau dem kleinsten abzubildenden Objekt entspricht. Zum Beispiel wiesen Leung et al. (15) nach, dass bei einer Voxelgröße von 0,38 mm, Knochendicken unter 0,6 mm im DVT häufig nicht mehr nachgewiesen werden konnten. Aus diesem Grund sollte die Voxelgröße nicht die zu untersuchende Objektgröße unterschreiten oder sogar etwas kleiner als diese gewählt werden. Im Weiteren wird hier die Voxelgröße als Maß für das Auflösungsvermögen der generierten Bilder verwandt.

Mehrere Studien konnten zeigen, dass durch eine individuelle Einstellung der oben genannten Parameter, die effektive Dosis bis zu einem Minimum von 11 - 85 Mikrosievert (bei Kindern 18 - 120 Mikrosievert) verringert werden konnte (106). Somit konnte in dieser Studie eine Minimierung im Vergleich zur Standardeinstellung (153 - 215 Mikrosievert) von durchschnittlich 77 % erreicht werden (107). Selbstverständlich ging dies auch mit einer Reduktion der Bildqualität einher (106). Dies führte zu einer Reihe weiterer Studien, die die Auswirkungen eines Detailverlustes auf die diagnostische Relevanz bei verschiedenen Fragestellungen untersuchten (104, 108, 109, 110, 111). Um eine Vergleichbarkeit mit der Knochendicke des Alveoleneingangs von 0,1 - 0,4 mm (112) zu schaffen wurden im Rahmen dieser Untersuchung nur Studien herangezogen, in denen die betrachteten Hartgewebsstrukturen eine Dicke von 0,4 mm nicht überschritten. Dalili et al. untersuchten in einer in vitro Messung 0,25 x 0,5 mm (Tiefe x Durchmesser) gro-

ße Hartgewebsdefekte unter Verwendung einer hochauflösenden (110kV, 7mA, 5,4 sec, 0,125 - 0,15 Voxel) als auch einer dosisreduzierten Einstellung (110kV, 5 mA, 3,6 sec, 0,2 - 0,25 Voxel). Sie konnten in 85,4 - 89,6 % bzw. 78,5 - 91,7 % der Fälle alle Knochendefekte akkurat erkennen. Der Unterschied in der Erkennungswahrscheinlichkeit war jedoch zugunsten hochauflösender Aufnahmen signifikant. Dieses Ergebnis deckt sich mit anderen Studien dieser Art (110, 113, 114). Özer et al. wiesen bei einer in vitro Studie, in der es galt Zahnfrakturen von 0,2 mm, 0,4 mm und < 0,2 mm Breite mittels DVT und unterschiedlicher Auflösung (0,125 - 400 mm Voxel) zu diagnostizieren, dass diese bei einer geringeren Voxelgröße besser erkennbar waren aber in allen Fällen mit einer Genauigkeit von 70 - 90 % korrekt erkannt wurden (111). Auch Gama-che et al. untersuchten die Diagnosegenauigkeit von Wurzelresorptionen mittels DVT unter Variierung vierer Stromstärke-Spannungseinstellungen (85 kV × 12 mA, 90 kV × 4.0 mA, 60 kV × 6.3 mA, 65 kV × 2.5 mA). Sie kamen zu dem Ergebnis, dass eine signifikante Reduzierung der Strahlendosis unter Beibehaltung ausreichender Bildqualität möglich ist (104). Die tatsächliche Objektgröße und die im DVT gemessene Objektgröße korrespondierten in der Studie mit einer hervorragenden ICC-Reliabilität von 0,95 - 0,98.

Im Folgenden soll speziell auf Studien eingegangen werden die sich mit der Messung von alveolären Knochendehiszenzen beschäftigt haben. Pinsky et al. (13), Leung et al. (15) und Misch et al. (101) führten unabhängig voneinander Messungen mittels DVT und digitaler Messleere (GS) an getrockneten Schädeln durch. Die Studien unterscheiden sich lediglich im Ursprung der Dehiszenzen. Während Pinsky et al. und Misch et al. die Dehiszenzen künstlich erzeugten, vermaßen Leung et al. bereits vorhandene Dehiszenzen. In allen drei Studien wurde keine signifikante Abweichung zwischen DVT-Vermessung und GS-Messung ermittelt. Sun et al. (115) führten eine In-vivo-Studie zur Dehiszenzvermessung durch. Dabei vermaßen sie bei 122 Patienten die Dehiszenzen vor einem operativen Eingriff im DVT und während des Eingriffes mittels GS-Messung. Sie konnten eine gute Übereinstimmung für das Vorhandensein einer Dehiszenz feststellen. Zusammenfassend kann man sagen, dass bei geeigneter Wahl der Einstellungsparameter Umlaufzeit, Rotationsgeschwindigkeit, Frame-Rate, Rotationswinkel, Stromstärke und Spannung, Dehiszenzen akkurat mittels DVT diagnostizierbar sind. Die Darstellung bestehender Dehiszenzen kann zur Therapieplanung sowie zur Risikoaufklärung des Patienten wesentlich beitragen. Eine allgemeine Indikation der Anwen-

dung des DVTs in der Kieferorthopädie ist bislang jedoch aufgrund fehlender empirisch nachgewiesener Vorteile für den Therapieerfolg nicht ausgesprochen worden (81, 99).

4 Fragestellung

Die Angle-Klasse II ist die häufigste Indikation für eine kieferorthopädische Therapie. Sie ist in eine Angle-Klasse II/1 und eine Angle-Klasse II/2 unterteilt. Bisherige Studien konnten zeigen, dass bei Patienten mit Angle-Klasse II/1 ca. 40 bis 45 % der Parodontien bereits vor einer kieferorthopädischen Therapie knöcherne Dehiszenzen aufwiesen (3) (6) (4). Prävalenz und Ausmaß von knöchernen Dehiszenzen nahmen durch kieferorthopädische Behandlungsmaßnahmen häufig zu. Da sich die Angle-Klasse II/2 lediglich durch einen Steilstand der oberen Frontzähne von der Angle-Klasse II/1 unterscheidet, stellt sich die Frage, ob sie eine ähnlich hohe Prävalenz an knöchernen Dehiszenzen mit sich bringt. Bisher wurde noch keine Studie durchgeführt, die das Knochenangebot bei Patienten mit einer Angle-Klasse II/2 untersucht.

Eine dreidimensionale DVT-Aufnahme ist heutzutage für die Feindiagnostik des periodontalen Knochenangebotes die Methode der Wahl. Prätherapeutisch vorhandene knöcherne Dehiszenzen können damit verlässlich dargestellt werden und eine Aggravation vorhandener Dehiszenzen kann durch geeignete kieferorthopädische Maßnahmen vermieden werden. Ziel dieser Untersuchung war es, neue Erkenntnisse über die Prävalenz und das Ausmaß knöcherner Dehiszenzen bei Patienten mit einer kieferorthopädischen Fehlstellung der Angle Klasse II/2 zu erarbeiten. Zusätzlich sollte geprüft werden ob ein Zusammenhang zwischen Dehiszenzen und der Lokalisation im Kiefer, der Zahngruppe, dem Alter oder dem Geschlecht der Patienten besteht.

Mit der vorliegenden Arbeit sollten insbesondere folgende Fragestellungen beantwortet werden:

1. Die Prävalenz und das Ausmaß von knöchernen Dehiszenzen sind bei Patienten mit einer Angle-Klasse II/2 größer als bei Patienten mit einer Angle-Klasse I bzw. II/1.
2. Die Prävalenz und das Ausmaß von Dehiszenzen sind bei der Angle-Klasse II/2 vestibulär stärker ausgeprägt als oral.
3. Die Prävalenz und das Ausmaß von Dehiszenzen ist bei Patienten mit einer Angle-Klasse II/2 im Frontzahnbereich höher und größer als im Seitenzahnbereich.
4. Die Prävalenz und das Ausmaß von Dehiszenzen bei Patienten mit Angle-Klasse II/2 nehmen mit zunehmendem Alter der Patienten zu.
5. Die Prävalenz und das Ausmaß von Dehiszenzen sind bei weiblichen Patienten mit einer Angle-Klasse II/2 größer als bei männlichen Patienten.

5 Material und Methodik

5.1 Allgemeine Methodik

5.1.1 Patientengut

In dieser Studie wurden $N = 58$ Patienten mit einer AK II/2 untersucht. Zum Zeitpunkt der Untersuchung waren sie zwischen 10 und 51 Jahre alt. Das Durchschnittsalter betrug $22,06 \pm 10,41$ Jahre.

In derselben Arbeitsgruppe wurden im Rahmen einer anderen Studie durch den Untersucher Johannes Weigang weitere $N = 75$ Patienten mit einer Angle-Klasse I und $N = 74$ Patienten mit einer Angle-Klasse II/1 untersucht. Insgesamt wurden demzufolge die DVT-Datensätze von $N = 207$ Patienten im Alter zwischen 10 und 51 Jahren betrachtet. Das mittlere Alter aller untersuchten Patienten der Angle-Klasse I, II/1 und II/2 betrug $25,34 \pm 8,71$ Jahre (Abbildung 1 und Diagramm 1).

	Anzahl (n)	Alter	Mittelwert	SD
Angle I	75	13-41	27,05	7,29
Angle II/1	74	13-44	26,18	7,95
Angle II/2	58	10-51	22,07	10,41
Gesamt	207	10-51	25,34	8,71

Tabelle 1: Darstellung der Altersverteilung bei Patienten mit einer Angle-Klasse I, II/1 und II/2

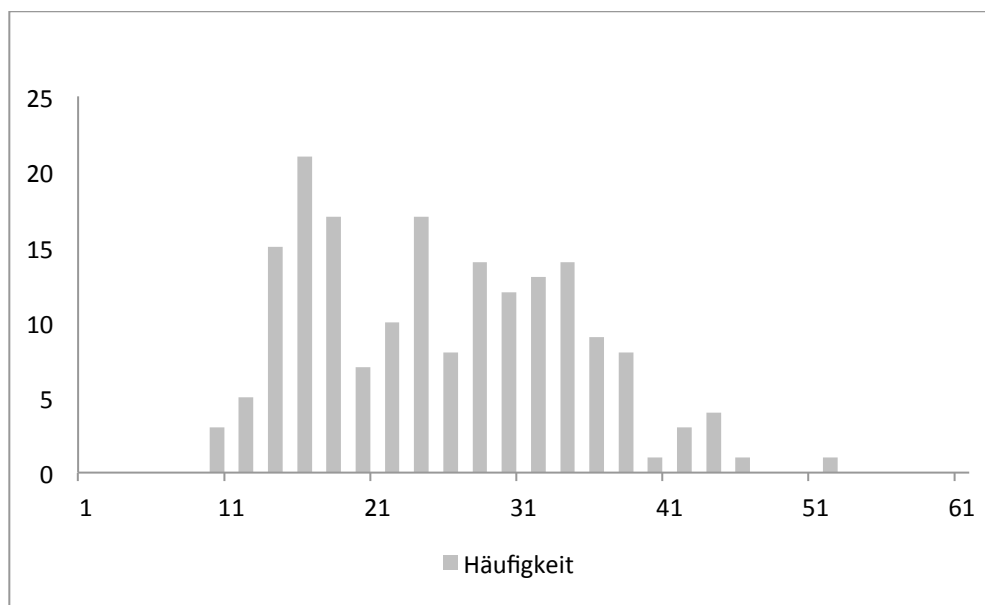


Diagramm 1: Darstellung der Altersverteilung aller untersuchten Patienten mit einer Angle-Klasse I, II/1 und II/2 (n = 207)

Zur genaueren Beurteilung wurden die Patienten mit einer Angle-Klasse I, II/1 und II/2 zusätzlich nach ihrem Geschlecht unterteilt (Tabelle 2).

	Gesamtanzahl (n)	Angle I	Angle II/1	Angle II/2
Männlich	71	31	21	19
Weiblich	135	44	53	38

Tabelle 2: Geschlechterverteilung innerhalb des Patientenguts bei Patienten mit einer Angle-Klasse I, II/1 und II/2. Auffällig war die Mehrverteilung zugunsten der weiblichen Patienten, trotzdem war die Verteilung Klassenübergreifend homogen.

5.1.2 Einschlusskriterien der untersuchten Patienten

Alle Patienten wurden anhand einer Vorauswahl von Anfangs-Gipsmodellen getroffen um deren Okklusion zu bestimmen. Hierbei muss beachtet werden, dass weder bei Patienten der Angle-Klasse II/2 noch bei Patienten mit einer Angle-Klasse I oder II/1 eine Rekonstruktion der Okklusion erfolgte. Engstände und Rotationen der Zähne wurden somit bei der Okklusionsdefinition nicht berücksichtigt.

Einschlusskriterien für Patienten mit einer Angle-Klasse II/2

Bei Patienten mit einer Angle-Klasse II/2 musste eine ein- oder beidseitige Distalokklusion im Bereich der ersten Molaren von mindestens $\frac{1}{4}$ Prämolarenbreite (≈ 2 mm) und eine eindeutige Retroinklination der mittlere Inzisiven im Oberkiefer vorliegen (Abbildung 3). Im zweiten Schritt wurde eine zephalometrische Analyse im Fern-Röntgen-Seitenbild durchgeführt. OK1-SN nach Schwarz beschreibt den Winkel zwischen der Verbindungslinie der Inzisalkante des am weitesten anterior stehenden Oberkieferinzisiven und dessen Apex (OK1) und der Verbindung zwischen Sella und Nasion (SN). War der Winkel $< 102 \pm 2^\circ$, wurde eine Retroinklination diagnostiziert.

OK1-NA ist der Winkel zwischen den OK-I und der Linie zwischen den Punkten Nasion und dem tiefsten Punkt der Prämaxilla zwischen Spina nasalis anterior und Prosthion (116). War dieser $< 22^\circ$, wurde von einer Retroinklination der Oberkieferinzisivi gesprochen. Der Overjet (deutsch: Überbiss) beschreibt den Abstand zwischen den Inzisiven in der Sagittalebene und wird von der Inzisalkante des am weitesten anterior stehenden Inzisiven im Oberkiefer zum antagonistischen Unterkieferinzisiven gemessen. Bei Patienten mit einer Angle-Klasse II/2 musste dieser positiv sein.

5.1.3 DVT-Aufnahme

Alle Aufnahmen stammen aus dem Röntgenarchiv des MESANTIS[®]-Institutes (Standorte: Berlin, Hamburg, Heilbronn, Leonberg, Mayen, München und Wiesbaden).

Die Selektion der 207 Datensätze erfolgte nach folgenden Kriterien:

1. Patienten mit Angle-Klasse I, II/1 oder II/2.
2. Die bleibende Dentition muss vollständig durchgebrochen und komplett vorhanden sein. Es durften keine Zähne fehlen oder Milchzähne sein.
3. Das standardisierte MESANTIS-Protokoll bei der Einstellung des Patienten im DVT-Gerät musste eingehalten worden sein (siehe Tabelle 4).
4. Weisheitszähne wurden allgemein nicht berücksichtigt, für die Klasse II/2 wurden das Vorhandensein und die Lokalisation von Weisheitszähnen gesondert dokumentiert.
5. Zähne mit nicht klar erkennbarer Schmelz-Zement-Grenze aufgrund von Defekten oder Restaurationen werden nicht vermessen.
6. Die Auflösung der DVT-Aufnahmen darf nicht niedriger als 0,3 mm Voxel sein.
7. Zum Zeitpunkt der Aufnahme darf noch keine kieferorthopädische Behandlung stattgefunden haben oder begonnen worden sein.

Die hier angegebenen Kriterien stimmen mit den in Weigangs (58) Arbeit aufgeführten überein. Für DVT-Aufnahmen lag eine eindeutige, rechtfertigende Indikation nach der S1-Leitlinie der DGZMK vor und wurde von einer fachkundigen Ärztin oder einem fachkundigen Arzt gestellt. Alle Aufnahmen wurden mit den DVT-Geräten "i-CAT classic" (Imaging Sciences International, Inc., Hatfield, USA) oder der i-CaT Sonderedition MESANTIS Line (Imaging Sciences International, Inc., Hatfield, USA) angefertigt. Die Auswertung erfolgte mithilfe des Auswertungsprogrammes 3D-Imaging-Software InVivo 5 (Anatomage Inc., San Jose, Californien). Die genauen technischen Daten der Geräte können Tabelle 3 entnommen werden. Das genutzte standardisierte Aufnahmeprotokoll ist in Tabelle 4 und nachfolgendem Text geschildert.

	iCat Classic	MESANTIS® Line
Bilddetektor	Flachfeld, amorphes Silizium (ablesbarer Bereich) 23,8 cm x 19,2 cm (Breite x Höhe)	Flachfeld, amorphes Silizium (ablesbarer Bereich) 23,8 cm x 19,2 cm (Breite x Höhe)
Voxelgröße	0,3, 0,25 oder 0,20 mm	0,3 mm oder 0,25 mm
Graustufen	12 Bit	14 Bit
Bilderfassung	Maximale Einzelrotation um 360°	Maximale Einzelrotation um 360°
Bilderfassungsdauer	20 - 40 Sekunden	8,9 oder 26,9 Sekunden
Sichtfeld (Field of View)	16 cm x 13 cm	16,50 cm x 13,50 cm
Röntgenröhrenspannung	120 kV	120 kV
Stromstärke	3-8 mA	3-7 mA

Tabelle 3: Technische Daten der genutzten DVT-Geräte (4)

Mesantis Aufnahmeprotokoll	iCat Classic	MESANTIS® Line
Erwachsene		
FOV	13 x 16 cm	13 x 16 cm
Auflösung	0,20 vox	0,25 vox
Rotationszeit	40 s	26,9 s
Angelegte Spannung	120 kV	120 kV
Stromstärke	46,72 mAs	37,07 mAs
Kinder		
FOV	13 x 16 cm	13 x 16 cm
Auflösung	0,20 vox	0,25 vox
Rotationszeit	20 s	14,7 s
Angelegte Spannung	120 kV	120 kV
Stromstärke	23,87 mAs	20,27 mAs

Tabelle 4: Mesantis Aufnahmeprotokoll - standardisierte Geräteeinstellungen

In beiden Geräten sitzen die Patienten aufrecht und sind an einer Kopfstütze fixiert. Je nach Aufnahme und Konstitution des Patienten wird zusätzlich noch eine Kinnstütze verwendet.

5.1.4 Auswertungssoftware und Befundungsmonitor

Die Messungen wurden von zwei unterschiedlichen Untersuchern (O.A. und J.W.) durchgeführt, sodass eine Kalibrierung notwendig war.

Alle Untersuchungen wurden an speziellen DIN-genormten Befundungsmonitoren in einem abdunkelbaren Raum des MESANTIS[®]-Institutes Berlin durchgeführt. Die genauen Parameter des Monitors sind der Tabelle 5 zu entnehmen. Mithilfe 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.

Produktbezeichnung	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	400 cd/m ²

Tabelle 5: Technische Daten des Befundungsmonitors (4)
Maßeinheiten: cd/m² = Candela/Quadratmeter

5.2 Messmethodik

Zur Analyse der DICOM-Datensätze wurde das Programm InVivo 5 der Firma Anatomage für Windows verwendet. Im Folgenden wird die genaue und kalibrierte Vorgehensweise zur Vermessung der Dehiszenzen und Angulationen beschrieben.

5.2.1 Vermessung der Dehiszenzen

Die Messungen der Patienten mit einer Angle-Klasse I und II/1 fanden durch J. Weigang statt, die der Patienten mit einer Angle-Klasse II/2 durch den Autor (O.A.). Die Kalibrierung der beiden Untersucher fand statt und wird im Kapitel 5.2.3 beschrieben. Zur reproduzierbaren Vermessung der Dehiszenzen musste jeder Zahn in allen drei Raumebenen (sagittal, transversal und horizontal) einzeln ausgerichtet werden. Nach dem Import der DICOM-Datensätze in die Auswertungssoftware wurde zum Programmpunkt „Sections“ gewechselt, um den zu vermessenden Zahn in seiner Längsachse (von koronal nach apikal) auszurichten (Abbildungen 8 und 9). Im Anschluss

wurde durch Rotation des Objektes in der Horizontalansicht (Ansicht von unten) der Zahn in seiner mesiodistalen Achse parallel zur Tischebene ausgerichtet, um die Schnittebene (Cross Section; CS) voreinzustellen. Nun musste zu dem Programmpunkt „ArchSection“ gewechselt werden, um den Messbereich in der Horizontalen und Vertikalen zu definieren und die Feineinstellung der CS vorzunehmen (Abbildungen 10 - 12). Hierzu wurde zuerst der Messbereich in der Horizontalebene und anschließend in der Transversalebene eingestellt, wobei diese beiden Schritte auch in umgekehrter Reihenfolge stattfinden können ohne die Ergebnisse zu beeinflussen. Bei der Einstellung in der Horizontalebene war zu beachten, dass jeder Zahn mittig getroffen wird, denn dies beeinflusst die anschließende Ansicht der CS. Bei Zähnen, die um ihre vertikale Achse rotiert sind, war besonders darauf zu achten, dass die mit grün eingezeichneten Schnittebenen (CS) einen 90-Grad-Winkel zur mesiodistalen Achse des Zahnes bildeten (Abbildung 11).

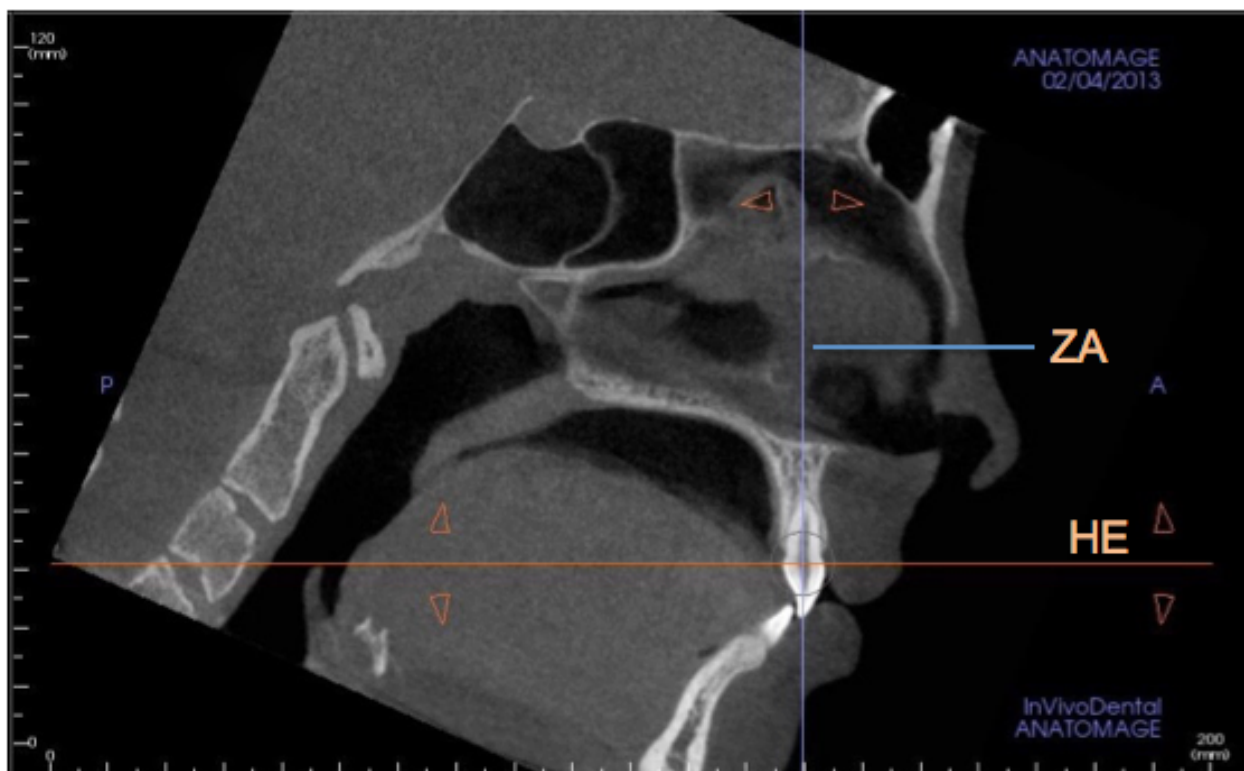


Abbildung 8: Ausrichtung des Zahnes 21 in der Sagittalebene
(ZA = Zahnachse; HE = Horizontalebene)

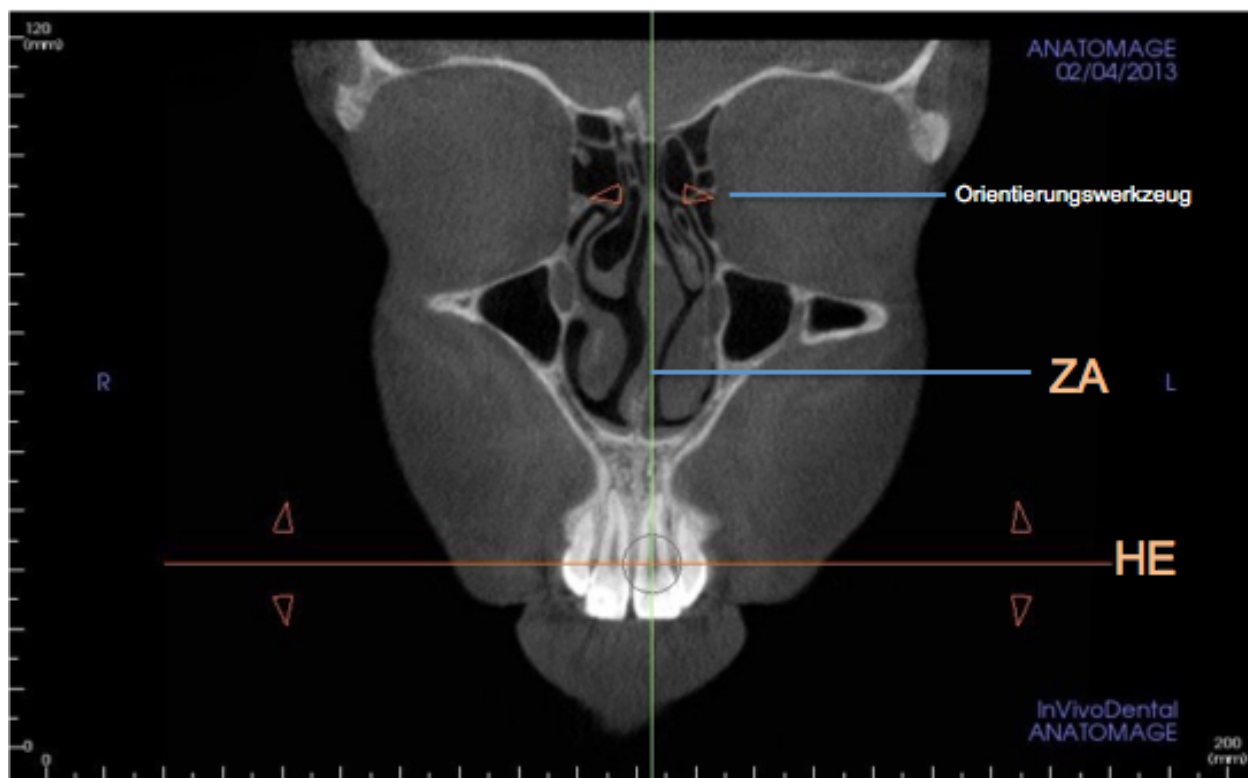


Abbildung 9: Ausrichtung des Zahnes 21 in der Transversalebene
(ZA = Zahnachse; HE = Horizontalebene)

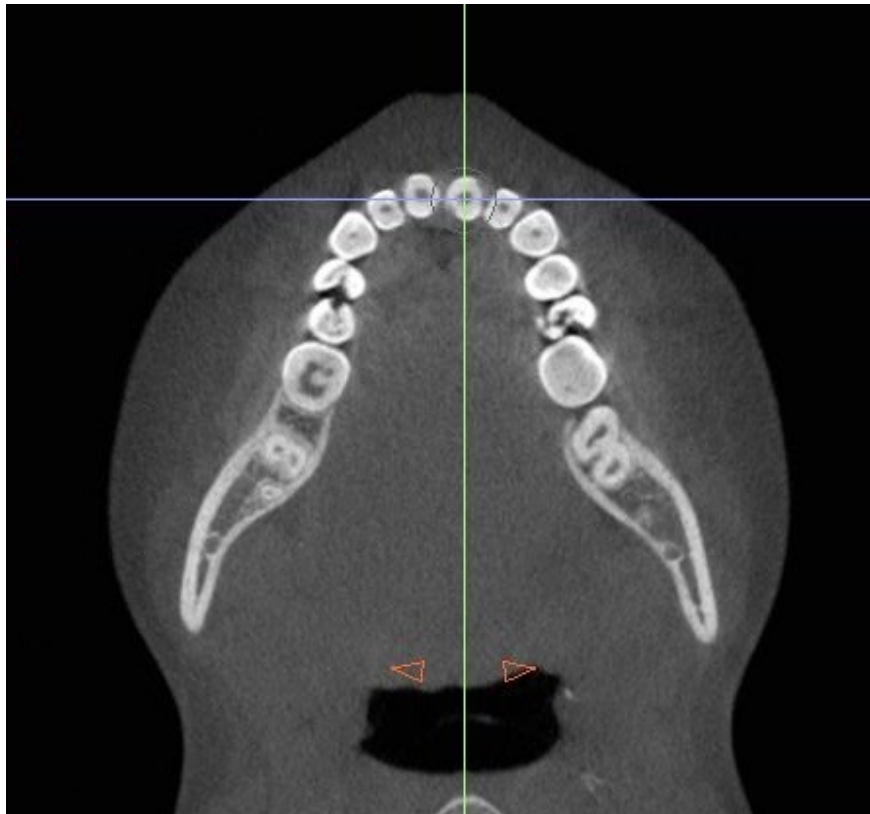


Abbildung 10: Ausrichtung des Zahnes 21 in der Horizontalebene (grob)

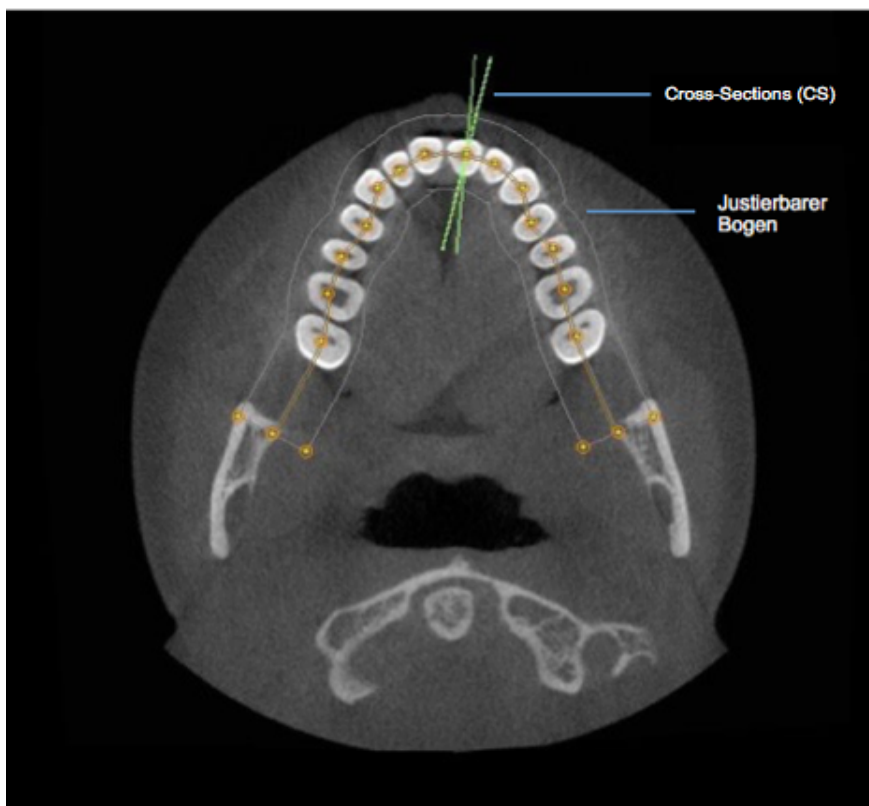


Abbildung 11: Ausrichtung des Zahnes 21 in der Horizontalebene (fein) und Einstellung des Messbereichs in der Horizontalebene

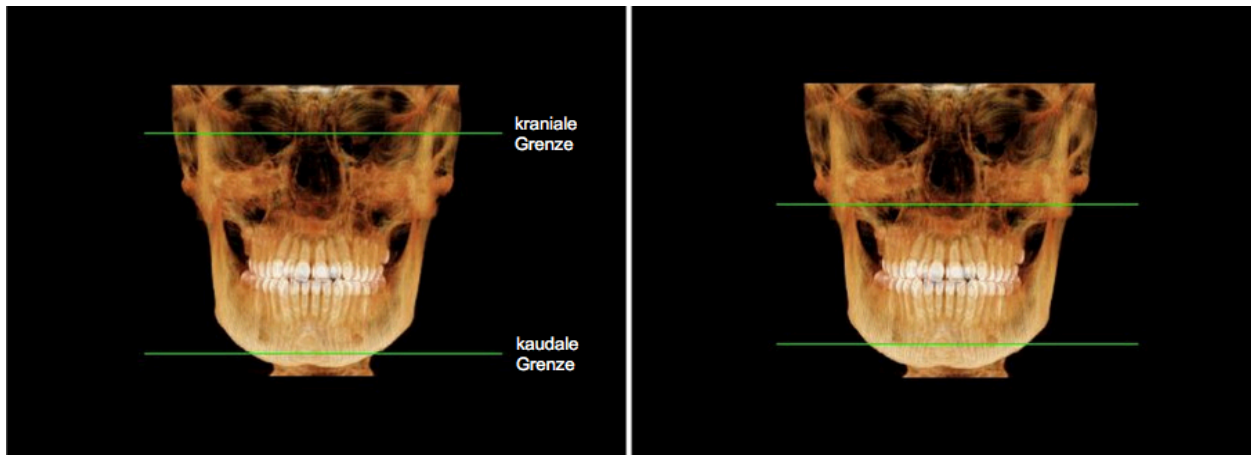


Abbildung 12: Einstellung des Messbereiches in der Vertikalen

Die eigentliche Vermessung konnte nun stattfinden. Diese erfolgte lediglich im Sagittalschnitt und einer Schichtdicke von 0,1 mm.

Wechselte man wieder zur Darstellung „ArchSection“, wurden in separaten Fenstern drei aufeinanderfolgende Schnittebenen (CS) angezeigt. Von Interesse war lediglich die mittlere, da die anderen beiden eine davor- beziehungsweise dahinterliegende CS darstellen. Durch Veränderung des Kontrastes und der Helligkeit konnten die Schmelz-Zement-Grenze (SZG) und die krestale (Alveolar-)Knochengrenze (kKG) klar dargestellt werden. Die Schmelz-Zement-Grenze war entweder als Ende des opakeren (Schmelz-)Kronenanteils oder als Übergang zwischen dem konvexen Schmelz und dem geraden oder sogar leicht konkaven Wurzelanteil erkennbar. Durch Vergrößerung der Ansicht konnte eine genaue Ermittlung dieses Punktes stattfinden.

Die Bestimmung des krestalen Alveolarrands erwies sich als schwieriger, da oft kein eindeutiger Transluzenzunterschied zwischen Zahnwurzel und Alveolarknochen bestand. Hier wurde der Punkt ausgewählt, ab dem eine eindeutige Kontur des Knochens erkennbar war (meist zu erkennen als keilförmige Anlagerung). Zur Abstandsmessung wurde das Werkzeug „Lineal“ angewählt und die beschriebenen Punkte wurden jeweils auf der vestibulären und der oralen Zahnseite verknüpft (Abbildung 13). Ein Screenshot wurde nach jeder Messung als Evidenz angefertigt und archiviert.



Abbildung 13: Messaufnahme des Zahnes 21
In allen drei Raumebenen ausgerichtet. Die Schmelz-Zement-Grenzen (SZG) sowie krestale Knochengrenze (kKG) sind markiert.

5.2.2 Reproduzierbarkeit der Messmethodik

Zur Reproduzierbarkeitsprüfung der Messmethodik wurden zehn Messreihen am gleichen Patienten vom selben Untersucher (O. A.) an verschiedenen Tagen innerhalb einer Woche durchgeführt. Die Ergebnisse wurden in einer Excel-Tabelle aufgelistet und ihre Standardabweichung für jeden Zahn berechnet. Bei einer mittleren Abweichung von 0,3 mm kann man von einer Vergleichbarkeit der Messergebnisse sprechen. Der Vergleich der Messungen wies keinen signifikanten Unterschied auf ($p > 0,38$).

5.2.3 Kalibrierung der Untersucher

Da die Messergebnisse beider Untersucher direkt miteinander verglichen wurden, musste im Vorfeld die Kalibrierung der Messmethodik der beiden Beobachter Johannes Weigang und Oliver Allemann stattfinden. Es erfolgte ein direkter Vergleich der gemessenen Angulationen und Dehiszenzen an gleichen Patienten. Insgesamt wurden Angulation und Dehiszenzen von randomisiert gewählten Zähnen an zehn randomisiert ausgewählten Patienten von beiden Untersuchern unabhängig vermessen.

Die Übereinstimmung von zwei Messungen am gleichen Objekt kann durch die Intra-Klasse-Korrelation (ICC) beurteilt werden. Je näher der ICC am Wert 1 liegt, desto größer ist die Übereinstimmung, wobei bei einem ICC von 1 vollständige Übereinstimmung besteht. Ein ICC von 0 oder sogar im negativem Bereich weist auf eine niedrige bis keine Übereinstimmung hin. Es gilt:

- ICC < .5 niedrige Reliabilität
- ICC = .50 - .75 moderate Reliabilität
- ICC = .75 - .90 gute Reliabilität
- ICC > .90 hervorragende Reliabilität

Das Konfidenzintervall wurde bei 95 % festgelegt.

Für die Angulation wurde ein ICC von 0,980 und für die Dehiszenzen ein ICC von 0,973 ermittelt. Somit sind die Ergebnisse beider Behandler direkt miteinander vergleichbar.

5.2.4 Statistische Analyse

Mittels des Tabellenkalkulationsprogrammes Excel der Firma Microsoft (Redmond, WA, USA, Version 2016 für Windows) wurden die erhobenen Werte erfasst und je nach Fragestellung spezifisch geordnet. Die statistische Analyse erfolgte sowohl mit Excel als auch mit dem Programm SPSS Version 24 (IBM[®], SPSS[®], Statistics Premium Grad Pack 24). Zur Prüfung der Signifikanz der Messwertunterschiede für die Fragestellungen 1, 2, 3 und 5 wurde der T-Test für unabhängige Stichproben angewandt. Zur Überprüfung von Unterschiedshypothesen stellt sich der T-Test als eines der wichtigsten Verfahren dar und eignet sich bei der Ermittlung von Unterschieden unter gleichwertigen Prüfungsgruppen. Je nach Fragestellung (gerichtet oder ungerichtet) kann der Test einseitig oder zweiseitig angewandt werden. Das hierzu notwendige Intervallskalenniveau für die zu untersuchenden Werte wurde in dieser Studie eindeutig erfüllt. Auch die Homogenität der Gruppen in Unabhängigkeit von deren Varianzen (z.B. Frontzahn / Seitenzahn) wurde eindeutig gewährleistet. Die Varianzhomogenität wurde mit dem Levene-Test ermittelt und überprüft. Bei nicht signifikantem Testergebnis, konnte von ausreichender Varianzhomogenität ausgegangen werden. Bei vorliegender Signifikanz musste ein korrigierter T-Wert berechnet werden, um der mangelnden Varianzhomogenität entgegenzuwirken. Aufgrund der nahezu gleichen Gruppengrößen und der Größe der Stichproben, konnte von einer hohen Zuverlässigkeit des angewandten Tests ausgegangen werden (117). Aus der Prüfgröße T wurde die Signifikanz errechnet und als p-Wert angegeben. Bei gerichtet formulierter Fragestellung, wurde einseitig getestet.

Aufgrund der Symmetrie der Prüfgröße T und der daraus resultierenden Symmetrie der T-Verteilung, wurde im Anschluss der empirisch ermittelte p-Wert, halbiert, da sich dieser stets auf zweiseitige Tests bezieht. Bei gerichteten Fragestellungen fand zusätzlich vor der Prüfung die Betrachtung der Mittelwerte statt um eine Redundanz des Ergebnisses auszuschließen.

Zur Beurteilung des Signifikanzniveaus wurde festgelegt:

$p > .05$ nicht signifikant

$p \leq .05$ signifikant

$p \leq .01$ sehr signifikant

$p < .001$ hoch signifikant

Das Alpha-Niveau wurde bei 5 % festgelegt und beschreibt den Fehler 1. Art, also die Irrtumswahrscheinlichkeit bei einem signifikanten Ergebnis.

Fragestellung 4 behandelt den Zusammenhang zwischen Vorkommen der Dehiszenzen und dem Alter der Patienten. Hierbei wurde von einem linearen Zusammenhang ausgegangen und auf die Korrelation nach Pearson (Produkt-Moment-Korrelation) zurückgegriffen. Zur Visualisierung der Beziehung wurden zuvor Scatterplots berechnet.

Zur Beurteilung der Korrelation wurde festgelegt:

$r = .10$ → kein Effekt

$r = .30$ → kleiner Effekt

$r = .50$ → mittlerer Effekt

$r = .70$ → starker Effekt

Der Korrelationskoeffizient ist normiert und liegt in einem Wertebereich von -1 bis +1. Je näher der Wert 0 ist, desto geringer ist die Korrelation der verglichenen Wertepaare. Liegt der Wert bei 1 oder -1, so ist eine absolute positive beziehungsweise negative Korrelation vorhanden. Ein Wert von $r = 0$ bedeutet, dass keinerlei Korrelation vorhanden ist.

5.3 Spezielle Methodik

5.3.1 Dehiszenzen in Abhängigkeit von der Angle-Klasse des Patienten

Zur Ermittlung der Dehiszenzgröße wurde das im Kapitel 5.2.1 beschriebene Verfahren angewandt. Die Ergebnisse wurden in Excel tabelliert und nach Angle-Klassen sortiert. Zur Prüfung der Fragestellung 1 *„Die Prävalenz und das Ausmaß von knöchernen Dehiszenzen sind bei Patienten mit einer Angle-Klasse II/2 größer als bei Patienten mit*

einer Angle-Klasse I bzw. II/1“ wurden die Ergebnisse direkt mit denen Weigangs von Patienten mit einer Angle-Klasse I und II/1 verglichen. Es wurden sowohl alveoläre Defekte einer Größe > 2 mm betrachtet und als Dehiszenz kategorisiert als auch Defekte > 3 mm, um zu prüfen, ob Defekte unterschiedlicher Größe das gleiche Verteilungsmuster aufweisen. Der Signifikanzunterschied wurde mittels T-Test für unabhängige Stichproben untersucht. Die statistische Untersuchung fand mithilfe von SPSS und Excel statt.

5.3.2 Dehiszenzen in Abhängigkeit von der vestibulären oder oralen Lokalisation

Es wurde zwischen der Prävalenz und dem Ausmaß der Dehiszenzen unterschieden. Nur alveoläre Defekte von > 2 mm wurden als pathologische Dehiszenzen gewertet. Für die Untersuchung der Dehiszenzgröße wurde ein Durchschnitt der betrachteten Messungen gebildet. Zuerst wurden Patienten mit einer Angle-Klasse II/2 auf die Prävalenz und das Ausmaß der vestibulären bzw. oralen Dehiszenzen untersucht. Anschließend fand der Vergleich mit den vestibulären bzw. oralen Messungen von Weigang von Patienten mit einer Angle-Klasse I und II/1 statt. Zur Ermittlung der Dehiszenzgröße wurde das im Kapitel 5.2.1 beschriebene Verfahren angewandt. Die Messergebnisse wurden in Excel der zugehörigen Angle-Klasse und Lokalisation am Zahn entsprechend tabelliert. Zur Überprüfung des Signifikanzniveaus der zweiten Fragestellung „Die Prävalenz und das Ausmaß von Dehiszenzen sind bei der Angle-Klasse II/2 stärker ausgeprägt als oral“ wurde der T-Test für unabhängige Stichproben in Excel durchgeführt.

5.3.3 Dehiszenzen in Abhängigkeit von der Lokalisation im Zahnbogen

Zur Messung der Dehiszenzen wurde das im Kapitel 5.2.1 beschriebene Verfahren angewandt. Die Messergebnisse wurden nach zugehörigem Kiefer, der Lokalisation im Zahnbogen und der Angle-Klasse in Excel tabelliert. Dabei entsprachen die Zähne 18 - 28 den Oberkieferzähnen und 38 - 48 den Unterkieferzähnen. Unter dem Begriff „Frontzähne“ wurden die Inzisivi und Canini verstanden, unter „Seitenzähne“ die Prämolaren und Molaren. Es wurde zuerst die Prävalenz von Dehiszenzen und die durchschnittliche Alveolarknochenhöhe in Abhängigkeit zum Ober- und Unterkiefer, von der Lokalisation im Kiefer und der einzelnen Zahnpaare bei Patienten mit einer Angle-Klasse II/2 untersucht. Anschließend fand ein Vergleich zwischen den Patienten mit einer Angle-Klasse II/2 und den Patienten mit einer Angle-Klasse I und II/2 statt. Der Zahn mit der höchsten

Prävalenz an Dehiszenzen wurde in jeder Angle-Klasse ermittelt. Zur Prüfung der Fragestellung 3 „Die Prävalenz von Dehiszenzen ist bei Patienten mit einer Angle-Klasse II/2 im Frontzahnbereich höher als im Seitenzahnbereich“ wurde in SPSS der T-Tests für unabhängige Stichproben angewandt.

5.3.4 Dehiszenzen in Abhängigkeit von dem Alter des Patienten

Zur Messung der Dehiszenzen wurde das im Kapitel 5.2.1 beschriebene Verfahren angewandt. Die Messergebnisse wurden entsprechend dem Alter des Patienten in Excel tabelliert. Die Fragestellung 4 „Die Prävalenz und das Ausmaß von Dehiszenzen bei Patienten mit Angle-Klasse II/2 nimmt mit zunehmendem Alter der Patienten zu“ wurde mittels Streudiagrammen und parametrischer Korrelation nach Pearson in SPSS überprüft. Zuerst erfolgte die Betrachtung der Dehiszenzen und deren Abhängigkeit vom Alter bei Patienten mit einer Angle-Klasse II/2. Die vestibulären und oralen Dehiszenzen wurden getrennt auf eine mögliche Korrelation zum Alter untersucht. Es fand sowohl die Untersuchung der Abhängigkeit der Prävalenz der Dehiszenzen vom Alter als auch des Ausmaßes statt. Im Anschluss wurden die Ergebnisse mit denen Weigangs von Angle-Klasse I und II/2 Patienten verglichen.

5.3.5 Dehiszenzen in Abhängigkeit von dem Geschlecht der Patienten

Zur Messung der Dehiszenzen wurde das im Kapitel 5.2.1 beschriebene Verfahren angewandt. Die Messergebnisse wurden in Excel entsprechend dem zugehörigen Geschlecht (männlich/weiblich) und der Angle-Klasse tabelliert. Zuerst wurden die Patienten mit einer Angle-Klasse II/2 auf eine Korrelation der Prävalenz der Dehiszenzen zum Geschlecht und des Dehiszenzausmaßes zum Geschlecht untersucht. Anschließend fand der Vergleich mit Weigangs Messungen der Patienten mit einer Angle-Klasse I und II/1 statt. Zur Prüfung der Fragestellung 5 „Die Prävalenz und das Ausmaß von Dehiszenzen ist bei weiblichen Patienten mit Angle-Klasse II/2 größer als bei männlichen Patienten“ wurde in SPSS die Korrelation nach Pearson und zur Signifikanzprüfung der T-Test für unabhängige Stichproben angewandt.

6 Ergebnisse

6.1 Dehiszenzen in Abhängigkeit von der Angle-Klasse des Patienten

Die Prävalenz von Dehiszenzen wurde bei 3161 Zähnen von 58 Patienten mit einer Angle-Klasse II/2 untersucht. Es wurden die vestibulären und oralen Dehiszenzen aller Zähne 1-7 in jedem Quadranten gemessen. Insgesamt konnten somit maximal 56 Messungen pro Patient durchgeführt werden. Weigang untersuchte zusätzlich 149 Patienten mit einer Angle-Klasse I (75) und II/1 (74) nach gleichem Verfahren. Zusammengefasst wurden im Rahmen dieser Arbeitsgruppe 11097 Parodontien von 207 Patienten anhand ihrer DVT-Datensätze gemessen (Tabelle 5).

	Anzahl der Patienten	Anzahl der Messungen
Klasse I	75	3997
Klasse II/1	74	3939
Klasse II/2	58	3161
Gesamtanzahl	207	11097

Tabelle 5: Auflistung der Anzahl der Patienten und Anzahl der Messungen bei Patienten mit einer Angle-Klasse I, II/1 und II/2

6.1.1 Prävalenz von Dehiszenzen bei Patienten mit einer AK II/2, I und II/1

Bei der AK II/2 wurden insgesamt 3161 Parodontien vermessen. 1552 wiesen ein Ausmaß > 2 mm auf. Im Mittel wiesen Patienten der Klasse II/2 mit $26,76 \pm 13,69$ (49,10 %) Dehiszenzen pro Patient, die zweithäufigsten auf. Patienten mit einer Angle-Klasse II/1 wiesen mit $31,05 \pm 13,12$ (58,21 %) Dehiszenzen pro Patient, die meisten auf. Die wenigsten wiesen Klasse I Patienten mit durchschnittlich $23,77 \pm 13,25$ (44,30 %) Dehiszenzen pro Patient (Tabelle 6) auf. Der Unterschied der Prävalenzen zwischen den drei Angle-Klassen war zwischen Patienten der AK II/1 und I signifikant ($p > .003$). Zwischen der AK II/2 und I und zwischen Patienten der AK II/2 und II/1 war er nicht signifikant ($p > .21$ und $p > .07$) (Tabelle 7).

Betrachtung der Prävalenz von Defekten > 3 mm

AK II/2 Patienten wiesen durchschnittlich $9,33 \pm 8,12$ (16,99 %) pro Patient auf. AK II/1 wiesen durchschnittlich $8,45 \pm 7,45$ (15,49 %) pro Patient ($5,03 \pm 5,30$) auf. AK I Patienten wiesen durchschnittlich $5,04 \pm 5,30$ Dehiszenzen pro Patient auf. Zwischen den Klassen II/2 und II/1 war der Unterschied nicht signifikant ($p > .05$). Patienten der AK

II/2 und AK II/1 wiesen sehr signifikant ($p < .002$) mehr Defekte einer Größe > 3 mm auf, als AK I Patienten. In Tabelle 6 und Tabelle 7 sind die Ergebnisse anschaulich wiedergegeben.

	Durchschnittliche Anzahl > 2 mm	Prozentualer Anteil innerhalb der Klasse > 2 mm	Durchschnittliche Anzahl > 3 mm	Prozentualer Anteil innerhalb der Klasse > 3 mm
Klasse II/2	26,76 \pm 13,69	49,10 %	9,33 \pm 8,12	16,99 %
Klasse I	23,77 \pm 13,12	44,30 %	5,03 \pm 3,30	9,63 %
Klasse II/1	31,05 \pm 13,25	58,21 %	8,45 \pm 7,45	15,49 %

Tabelle 6: Durchschnittliche Anzahl und prozentualer Anteil der Dehiszenzen > 2 mm und > 3 mm pro Patient bei Patienten mit einer Angle-Klasse I, II/1 und II/2

Verglichene Klassen	Signifikanz (p) > 2 mm	Signifikanz (p) > 3 mm
AK I zu AK II/1	$\approx 0,003$	$\approx 0,002$
AK I zu AK II/2	$\approx 0,21$	$\approx 0,001$
AK II/1 und AK II/2	$\approx 0,07$	$\approx 0,528$

Tabelle 7: Signifikanzniveaus (p) beim Vergleich der Anzahl der Dehiszenzen > 2 mm und > 3 mm bei Patienten mit einer Angle-Klasse I, II/1 und II/2

6.1.2 Ausmaß von Dehiszenzen bei Patienten mit einer AK II/2, I und II/1

Bei Patienten der II/2 lagen die Messungen zwischen 0,16 mm und 10,75 mm. Der Mittelwert betrug $2,18 \pm 0,80$ mm. Bei Patienten mit einer AK I lagen die Messungen zwischen 0,21 mm und 5,73 mm. Der Mittelwert betrug $1,99 \pm 1,18$ mm. Bei Patienten der Klasse II/1 lagen die Messungen zwischen 0,4 mm und 9,19 mm. Der Mittelwert betrug $2,26 \pm 0,74$ mm. Die Daten sind in Diagramm 2 übersichtlich abgebildet. Der Vergleich ergab einen sehr signifikanten bis hoch signifikanten Unterschied der mittleren Dehiszenzgröße zwischen allen drei Klassen ($.01 > p < .001$) (Tabelle 8). Insgesamt wiesen Klasse II/1 Patienten die signifikant größten Dehiszenzen innerhalb der drei Klassen auf.

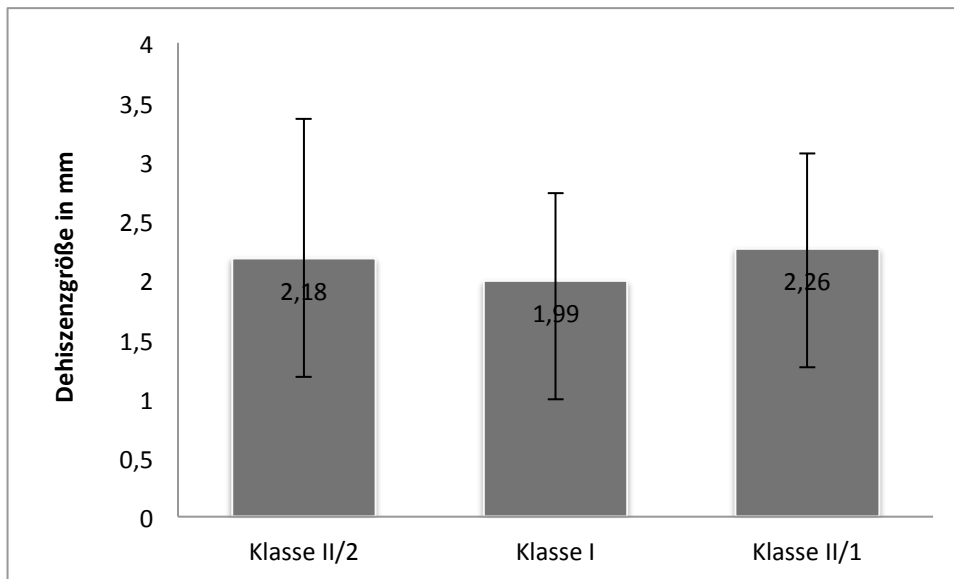


Diagramm 2: Mittelwerte des Ausmaßes der Dehiszenzen in bei Patienten mit einer Angle-Klasse I, II/1 und II/2

Verglichene Klassen	Signifikanz (p)
I mit II/1	< .001
I mit II/2	< .001
II/1 mit II/2	< .01

Tabelle 8: Singifikanzniveaus (p) beim Vergleich der mittleren Dehiszenzgrößen zwischen Patienten mit einer Angle-Klasse I, II/1 und II/2

6.2 Dehiszenzen in Abhängigkeit von der vestibulären / oralen Lokalisation

Es wurden 58 Datensätze von Patienten mit einer AK II/2 untersucht und die vestibulären und oralen Knochenverhältnisse für jeden Zahn ermittelt. Anschließend wurden die mittleren Inzisiven im Oberkiefer gesondert betrachtet. Ein Vergleich mit den Ergebnissen Weigangs von Patienten mit einer AK I bzw. AK II/1 fand im Anschluss statt.

6.2.1 Prävalenz von vestibulären / oralen Dehiszenzen bei Patienten mit einer AK II/2

Insgesamt wurden 3161 Messungen durchgeführt. Vestibulär wurden insgesamt 1581 Zähne vermessen, davon wiesen 746 (47,19 %) eine Dehiszenz auf. Im Durchschnitt wies vestibulär jeder Patient $13,90 \pm 7,01$ Dehiszenzen auf (Tabelle 9).

Oral wurden insgesamt 1580 Zähne vermessen, von denen 806 (51,01 %) Dehiszenzen aufwiesen. Im Durchschnitt wies jeder Patient auf oraler Seite $12,86 \pm 7,00$ Dehiszenzen auf. Es konnte kein statistischer Unterschied zwischen der Prävalenz von Dehiszenzen der beiden Seiten ermittelt werden ($p > .42$).

Tabelle 9 stellt die Verteilung übersichtlich dar.

Klasse II/2	Gesamtanzahl Messungen	Anzahl Messungen > 2 mm	Anteil > 2 mm	Durchschnittlicher Anteil pro Patient
Vestibulär	1581	746	47,19 %	13,90 ± 7,01
Oral	1580	806	51,01 %	12,86 ± 7,00

Tabelle 9: Prävalenz von vestibulären und oralen Dehiszenzen bei Patienten mit einer Angle-Klasse II/2

6.2.2 Ausmaß von vestibulären / oralen Dehiszenzen bei Patienten mit einer AK II/2

Vestibulär betrug der Abstand durchschnittlich $2,27 \pm 1,24$ mm. Oral betrug er $2,11 \pm 1,1$ mm. Der Unterschied zwischen dem durchschnittlichen vestibulären und oralen Knochenniveau war hoch signifikant ($p < .001$). Klasse II/2 Patienten wiesen vestibulär hoch signifikant größere Dehiszenzen auf als oral.

Klasse II/2	Mittelwert Knochenniveau in mm
Vestibulär	$2,27 \pm 1,24$
Oral	$2,11 \pm 1,1$

Tabelle 10: Mittlerer Abstand des krestalen Knochenrandes von der SZG auf vestibulärer und oraler Seite bei Patienten mit einer Angle-Klasse II/2

6.2.3 Prävalenz von vestibulären / oralen Dehiszenzen der mittleren Inzisivi im Oberkiefer bei Patienten mit einer AK II/2 und II/1

Vestibulär wiesen bei der AK II/2 39 der 116 (33,63 %) vermessenen mittleren Inzisiven eine Dehiszenz auf. Auf oraler Seite wiesen lediglich 21 Zähne (18,10 %) eine Dehiszenz auf. Vestibulär waren hoch signifikant mehr Dehiszenzen vorhanden als oral ($p < .001$). Der Vergleich der Anzahl vestibulärer Dehiszenzen bei AK II/2 mit AK II/1 war statistisch signifikant ($p < .05$). AK II/1 Patienten wiesen im Bereich der mittleren Inzisiven vestibulär bei 61 von 145 (43,06 %) vermessenen Zähnen Dehiszenzen auf und somit mehr als AK II/2 Patienten. Oral war der Vergleich nicht signifikant ($p > .05$).

Der Vergleich der vestibulären und oralen Dehiszenzen bei den mittleren Inzisiven innerhalb der AK II/1 war hoch signifikant ($p < .001$). Vestibulär wiesen 43,06 % der untersuchten Parodontien Dehiszenzen auf, oral waren es lediglich 16,55 %.

6.2.4 Ausmaß von vestibulären / oralen Dehiszenzen der mittleren Inzisivi im Oberkiefer bei Patienten mit einer AK II/2 und II/1

Bei der AK II/2 wiesen vestibuläre Dehiszenzen ein mittleres Ausmaß von $2,21 \pm 0,98$ mm auf. Oral fielen sie mit $1,65 \pm 0,64$ mm deutlich kleiner aus. Der Unterschied war statistisch hoch signifikant ($p < .001$). Im Vergleich wies die AK II/1, vestibulär und oral größere Dehiszenzen auf als die AK II/2 (vestibulär: $2,32 \pm 0,7$ mm; oral: $1,72 \pm 0,64$ mm). Der Unterschied war statistisch nicht signifikant ($p > .308$; $p > .05$). Der Vergleich der vestibulären und oralen Dehiszenzen bei den mittleren Inzisiven innerhalb der AK II/1 war hoch signifikant ($p < .001$).

6.2.5 Prävalenz von vestibulären / oralen Dehiszenzen bei Patienten mit einer AK II/2, I und II/1

Bei der AK II/2 konnte kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen der Prävalenz von Dehiszenzen auf oraler und vestibulärer Seite ermittelt werden (siehe Ergebnisse in Kapitel 6.2.1) Hinsichtlich ihrer Prävalenz waren Dehiszenzen einer Größe > 2 mm bei Patienten mit einer Angle-Klasse I und II/1 auf vestibulärer Seite hoch signifikant häufiger als oral vorzufinden ($p < .001$). Patienten der AK I wiesen vestibulär durchschnittlich $13,01 \pm 7,06$ Dehiszenzen pro Patient auf. 48,85 % der vestibulären Parodontien wiesen eine Dehiszenz auf. Oral wiesen durchschnittlich $10,76 \pm 6,42$ Parodontien pro Patient Dehiszenzen auf. 40,37% der oralen Parodontien wiesen eine Dehiszenz auf.

Patienten der AK II/1 wiesen vestibulär durchschnittlich $16,35 \pm 7,24$ Dehiszenzen pro Patient auf. 61,48 % der vestibulären Parodontien wiesen eine Dehiszenz auf. Oral wiesen durchschnittlich $14,70 \pm 6,48$ Parodontien pro Patient Dehiszenzen auf. 47,19 % der oralen Parodontien wiesen eine Dehiszenz auf. Tabelle 11 und Tabelle 12 geben die Ergebnisse von Messungen bei Patienten aller Angle-Klasse anschaulich wieder.

Vestibulär war der Vergleich zwischen Dehiszenzen der AK I und II/1 hoch signifikant ($p < .001$). Zwischen AK I und II/2 sowie AK II/1 und II/2 war der Vergleich nicht signifikant ($p > .05$ und $p > .05$).

Oral war der Vergleich zwischen Dehiszenzen der AK I und II/2 hoch signifikant ($p < .001$ und zwischen AK II/1 und II/2 sehr signifikant ($p < .01$). Zwischen AK I und II/1 war der Vergleich nicht signifikant ($p > .05$).

Zwischen den drei AK konnten keine signifikanten Unterschiede beim Vergleich vestibulärer oder oraler Dehiszenzen festgestellt werden.

Klasse	Gesamtanzahl Messungen vestibulär	Anzahl Messungen > 2 mm	Durchschnittliche Anzahl > 2mm pro Patient	Anteil > 2 mm
I	1998	976	13,01 ± 7,06	48,85 %
II/1	1968	1210	16,35 ± 7,24	61,48 %
II/2	1581	746	13,90 ± 7,01	47,19 %

Tabelle 11: Vestibuläre Dehiszenzen bei Patienten mit einer Angle-Klasse I, II/1 und II/2
Die Tabelle gibt die Anzahl vestibulärer Messungen, die Anzahl von Messungen >2mm, den relativen Anteil in Prozent (gebildet aus der Gesamtanzahl vestibulärer Messungen und den vestibulären Messungen > 2 mm) und den Mittelwert des vestibulären Dehiszenzausmaßes in Bezug auf die jeweiligen Klasse wieder.

Klasse	Gesamtanzahl Messungen oral	Anzahl Messungen > 2 mm	Durchschnittliche Anzahl > 2mm pro Patient	Anteil > 2 mm
I	1999	807	10,76 ± 6,42	40,37 %
II/1	1971	1088	14,70 ± 6,48	55,20 %
II/2	1580	806	12,86 ± 7,00	51,01 %

Tabelle 12: Orale Dehiszenzen bei Patienten mit einer Angle-Klasse I, II/1 und II/2
Die Tabelle gibt die Anzahl oraler Messungen, die Anzahl von Messungen > 2 mm, den relativen Anteil in Prozent (gebildet aus der Gesamtanzahl oraler Messungen und den vestibulären Messungen > 2 mm) und den Mittelwert des oralen Dehiszenzausmaßes in Bezug auf die jeweiligen Klasse wieder.

6.2.6 Ausmaß von vestibulären / oralen Dehiszenzen bei Patienten mit einer AK II/2, I und II/1

Betrachtete man jede Angle-Klasse gesondert und vergleicht das Ausmaß des oralen mit dem Ausmaß des vestibulären Dehiszenzen, so stellte man fest, dass vestibulär in jeder Angle-Klasse das Dehiszenzausmaß hoch signifikant größer war als oral ($p < .001$) (Diagramm 3 und Tabelle 13).

Ein Vergleich des vestibulären und oralen Knochenausmaßes zwischen den Patienten der einzelnen Angle-Klassen brachte folgende Ergebnisse:

Das vestibuläre Knochenausmaß wies bei Patienten der AK II/1 ein hoch signifikant größere Dehiszenzen auf als bei Patienten mit einer AK I oder AK II/2 ($p < .001$ und $p < .001$). Das orale Knochenausmaß wies bei AK II/1 Patienten hoch signifikant größere Dehiszenzen als bei Patienten der AK I auf ($p < .001$ und signifikant größere als bei AK II/2 Patienten ($p < .01$). Tabelle 14 gibt die Signifikanzunterschiede des Knochenausmaßes übersichtlich wieder.

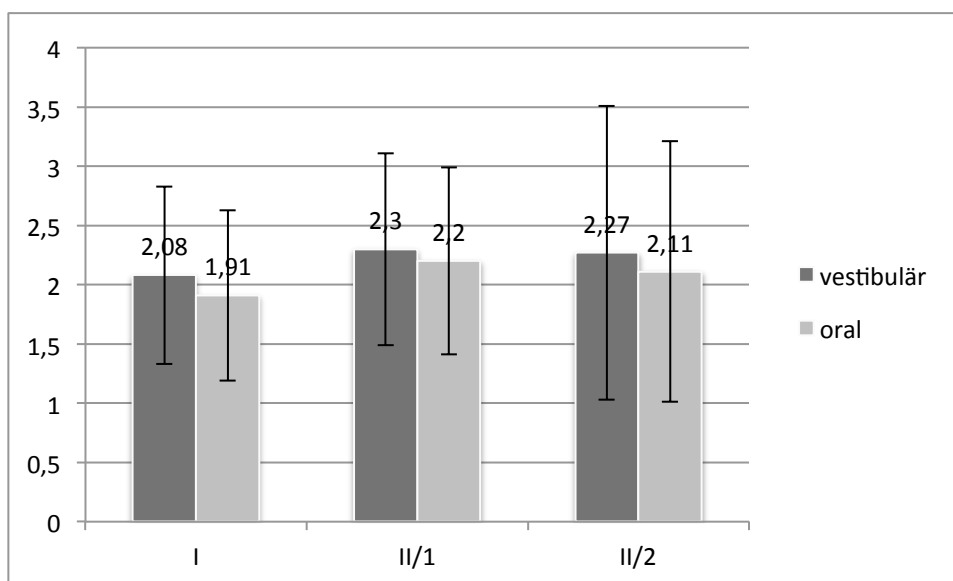


Diagramm 3: Vestibuläre und orale mittlere Dehiszenzgröße bei der jeweiligen Angle-Klasse
Dargestellt sind die vestibulären und oralen mittleren Dehiszenzgrößen in mm bei Patienten mit einer Angle-Klasse I, II/1 und II/2

Klasse	Mittelwert vestibulär in mm	Mittelwert oral in mm	Signifikanz p
I	2,08 ± 0,75	1,91 ± 0,72	< 0,001
II/1	2,30 ± 0,81	2,20 ± 0,79	< 0,001
II/2	2,27 ± 1,24	2,11 ± 1,10	< 0,001

Tabelle 13: Vergleich vestibulärer und oraler Dehiszenzen bei Patienten mit einer Angle-Klasse I, II/1 und II/2
Die Tabelle stellt die im Diagramm 3 dargestellten Mittelwerte des Dehiszenzausmaßes dar und das Signifikanzniveau beim Vergleich vestibulären zur oralen Dehiszenzgröße. Es fällt auf, dass in allen drei Klassen die vestibulären Dehiszenzen hoch signifikant größer sind.

Vergleich der Klassen	p vestibulär	p oral
I mit II/1	< 0,001	≈ 0,536
I mit II/2	≈ 0,425	< 0,001
II/1 mit II/2	≈ 0,244	< 0,01

Tabelle 14: Signifikanzniveaus (p) beim Vergleich vestibulären und oralen Knochenausmaßes bei Patienten mit einer Angle-Klasse I, II/1 und II/2

Anmerkung: Es wurde jeweils das vestibuläre oder orale Knochenausmaß der in der ersten Spalte genannten Angle-Klassen miteinander verglichen. Spalte 2 gibt also die Signifikanz zwischen vestibulärem Knochenmaß der AK I und den vestibulärem Knochenmaß der AK II/1 wieder. Die Dehiszenzgrößen können dem Diagramm 3 entnommen werden.

6.3 Dehiszenzen in Abhängigkeit von der Lokalisation im Zahnbogen

6.3.1 Prävalenz und Ausmaß von Dehiszenzen im Ober- und Unterkiefer bei Patienten mit einer AK II/2

Die Verteilung der Dehiszenzen im Ober- und Unterkiefer wurde bei 58 Patienten mit einer Angle-Klasse II/2 untersucht. Im Oberkiefer wiesen im Durchschnitt $13,36 \pm 7,7$ der untersuchten Parodontien Dehiszenzen > 2 mm auf. Das mittlere Dehiszenzausmaß betrug $2,15 \pm 1,14$ mm. Im Unterkiefer waren es $13,4 \pm 6,59$ Dehiszenzen mit einer Mindestgröße von > 2 mm. Das mittlere Dehiszenzausmaß betrug $2,23 \pm 1,21$ mm. Zwischen Ober- und Unterkiefer bestand kein signifikanter Unterschied bei der Prävalenz der Dehiszenzen oder dem mittleren Ausmaß der Defekte ($p > .96$; $p > .06$).

6.3.2 Prävalenz und Ausmaß von Dehiszenzen im Front- und Seitenzahnsegment des jeweiligen Kiefers bei Patienten mit einer AK II/2

Oberkiefer

Es wurden 694 Messungen im Oberkiefer-Frontzahnsegment (Zähne 1-3) und 898 Messungen im Oberkiefer-Seitenzahnsegment (Zähne 4-7) erhoben. Im Frontzahnsegment wiesen Patienten mit einer Angle-Klasse II/2 durchschnittlich $5,91 \pm 3,55$ Dehiszenzen > 2 mm auf. Im Seitenzahnsegment waren es durchschnittlich $5,45 \pm 3,66$. Die Prävalenz zwischen den beiden Segmenten wies keinen signifikanten Unterschied auf ($p > .47$). Das mittlere Dehiszenzausmaß betrug im Frontzahnsegment $2,19 \pm 1,07$ mm und im Seitenzahnsegment $2,13 \pm 1,19$ mm. Das Ausmaß zwischen den beiden Segmenten wies keinen signifikanten Unterschied auf ($p > .30$).

Unterkiefer

Es wurden 689 Messungen im Unterkiefer-Frontzahnsegment (Zähne 1-3) und 876 Messungen im Unterkiefer-Seitenzahnsegment (Zähne 4-7) erhoben. Im Frontzahnsegment wiesen Patienten mit einer Angle-Klasse II/2 durchschnittlich $7,59 \pm 3,24$ Dehiszenzen > 2 mm auf, im Seitenzahnsegment (Zähne 4-7) waren es durchschnittlich $3,95 \pm 2,92$. Die Prävalenz der Dehiszenzen zwischen den beiden Segmenten war hoch signifikant unterschiedlich ($p < .001$). Das mittlere Dehiszenzausmaß betrug im Frontzahnsegment $2,59 \pm 1,33$ mm und im Seitenzahnsegment $1,89 \pm 1,01$ mm. Das Ausmaß zwischen den beiden Segmenten war hoch signifikant ($p < .001$).

6.3.3 Prävalenz und Ausmaß von Dehiszenzen für jede Zahngruppe des Ober- und Unterkiefers bei Patienten mit einer AK II/2

Des Weiteren wurden bei Angle-Klasse II/2 Patienten jeweils für Ober- und Unterkiefer getrennt, einzelne Zahntypen die Prävalenz und das Ausmaß von Dehiszenzen > 2 mm untersucht.

Oberkiefer

Die Betrachtung der Prävalenz von Dehiszenzen > 2 mm für jede Zahngruppe ergibt im Oberkiefer die im Diagramm 4 und in der Tabelle 15 dargestellte Verteilung. 145 (62,5 %) der 232 untersuchten Eckzähne wiesen Dehiszenzen > 2mm auf. Eckzähne waren die Zahngruppe mit den meisten Dehiszenzen im Oberkiefer.

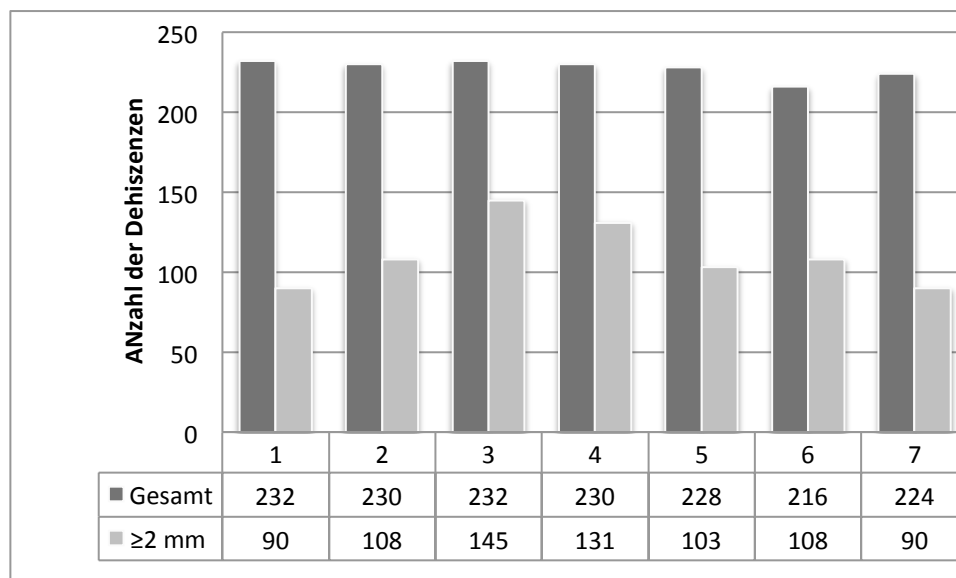


Diagramm 4: Verteilung der Dehiszenzen pro Zahntyp im Oberkiefer bei Patienten mit einer Angle – Klasse II/2 (Hellgrau: Dehiszenzen > 2 mm pro Zahn)

OK	1er	2er	3er	4er	5er	6er	7er
> 2 mm in %	38,79	46,96	62,50	56,96	45,18	50,00	40,18

Tabelle 15: Prozentuale Verteilung der Dehiszenzen > 2 mm für jedes Zahnpaar im Oberkiefer bei Patienten mit einer Angle-Klasse II/2

Das durchschnittliche Ausmaßes von Dehiszenzen für jede Zahngruppe im OK ist in Diagramm 5 und Tabelle 16 dargestellt. Eckzähne waren mit einem durchschnittlichen Dehiszenzausmaß von $2,52 \pm 1,21$ mm, die Zahngruppe mit den größten Dehiszenzen im Oberkiefer.

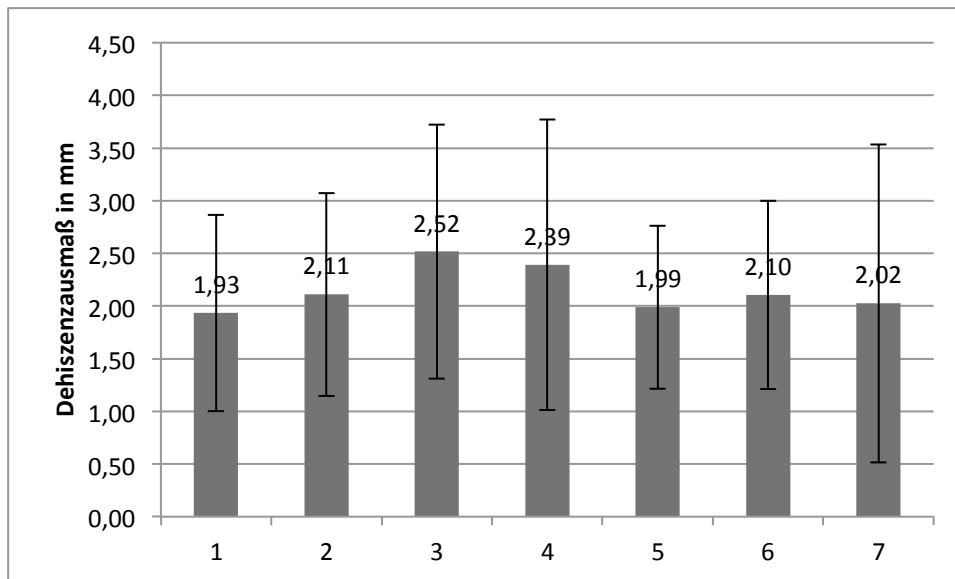


Diagramm 5: Durchschnittliche Größe von Dehiszenzen bei den jeweiligen Zahngruppen im OK bei Patienten mit einer Angle-Klasse II/2

OK	1er	2er	3er	4er	5er	6er	7er
Ausmaß in mm	1,93 ± 0,93	2,11 ± 0,96	2,52 ± 1,20	2,39 ± 1,21	1,99 ± 0,77	2,1 ± 0,89	2,02 ± 1,51

Tabelle 16: Durchschnittliches Dehiszenzausmaß mit Standardabweichung für jede Zahngruppe im OK bei Patienten mit einer Angle-Klasse II/2

Unterkiefer

Die Verteilung der Dehiszenzen im Unterkiefer bei Angle-Klasse II/2 Patienten zeigt eine hohe Prävalenz an Dehiszenzen im Bereich der Inzisiven (64,35 % – 61,21 %), der Eckzähne (64,94 %) und der ersten Prämolaren (54,35%) und nimmt im Seitenzahnbereich deutlich ab (45,09% - 22,74 %) (Diagramm 6 und Tabelle 17).

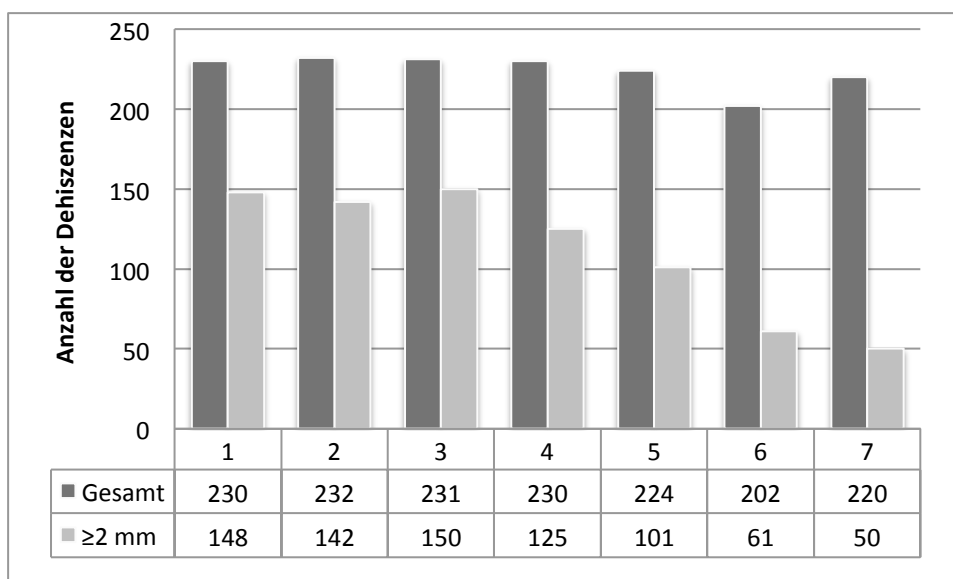


Diagramm 6: Verteilung der Dehiszenzen pro Zahnpaar im Unterkiefer bei Patienten mit einer Angle-Klasse II/2 (Hellgrau: Dehiszenzen > 2 mm pro Zahn)

UK	1er	2er	3er	4er	5er	6er	7er
≥2 mm in %	64,35	61,21	64,94	54,35	45,09	30,2	22,73

Tabelle 17: Prozentuale Verteilung der Dehiszenzen > 2 mm für jedes Zahnpaar im Unterkiefer bei Patienten mit einer Angle-Klasse II/2

Das durchschnittliche Ausmaßes von Dehiszenzen für jede Zahngruppe im UK ist in Diagramm 7 dargestellt. Eckzähne waren mit einem durchschnittlichen Dehiszenzausmaß von $2,69 \pm 1,57$ mm, die Zahngruppe mit den größten Dehiszenzen im Unterkiefer. Es ist eine deutliche Abnahme der Dehiszenzgröße im Seitenzahnbereich erkennbar (Diagramm 7 und Tabelle 18)

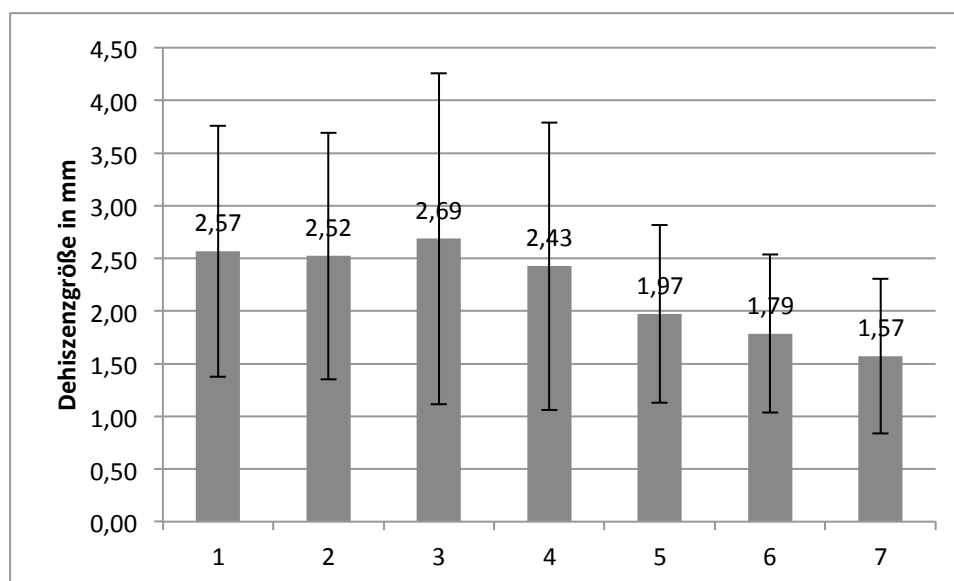


Diagramm 7: Durchschnittliche Größe von Dehiszenzen bei den jeweiligen Zahngruppen im UK bei Patienten mit einer Angle-Klasse II/2

UK	1er	2er	3er	4er	5er	6er	7er
Ausmaß in mm	2,57 ± 1,19	2,52 ± 1,17	2,69 ± 1,57	2,43 ± 1,37	1,97 ± 0,84	1,79 ± 0,75	1,57 ± 0,73

Tabelle 18: Durchschnittliches Dehiszenzausmaß mit Standardabweichung für jede Zahngruppe im UK bei Patienten mit einer Angle-Klasse II/2

6.3.4 Vergleich der Prävalenz von Dehiszenzen zwischen Patienten mit einer AK II/2, I und II/1 in Ober- und Unterkiefer

Der Vergleich der Prävalenz der Dehiszenzen > 2 mm im Ober- und Unterkiefer der Patienten mit einer Angle-Klasse I, II/1 und II/2 ergab keinen signifikanten Unterschied zwischen den Kiefern in jeder Klasse. Klasse I Patienten wiesen im Oberkiefer durchschnittlich $12,05 \pm 6,6$ Dehiszenzen auf, im Unterkiefer waren es $11,72 \pm 7,3$. Der Unterschied war statistisch nicht signifikant ($p > .70$). Patienten der Klasse II/1 wiesen im Oberkiefer durchschnittlich $16,64 \pm 6,89$ Dehiszenzen auf, im Unterkiefer waren es $16,41 \pm 7,11$. Der Unterschied war statistisch nicht signifikant ($p > .82$). Patienten der Klasse II/2 wiesen im Oberkiefer im Durchschnitt $13,36 \pm 7,7$ und im Unterkiefer $13,4 \pm 6,59$ Dehiszenzen auf. Der Unterschied war statistisch nicht signifikant ($p > .97$). Diagramm 8 gibt die Unterschiede anschaulich wieder. Patienten mit einer AK II/1 weisen sowohl im OK als auch im UK die signifikant größte Prävalenz an Dehiszenzen zwischen den drei AK auf (Signifikanzwerte können Tabelle 19 entnommen werden).

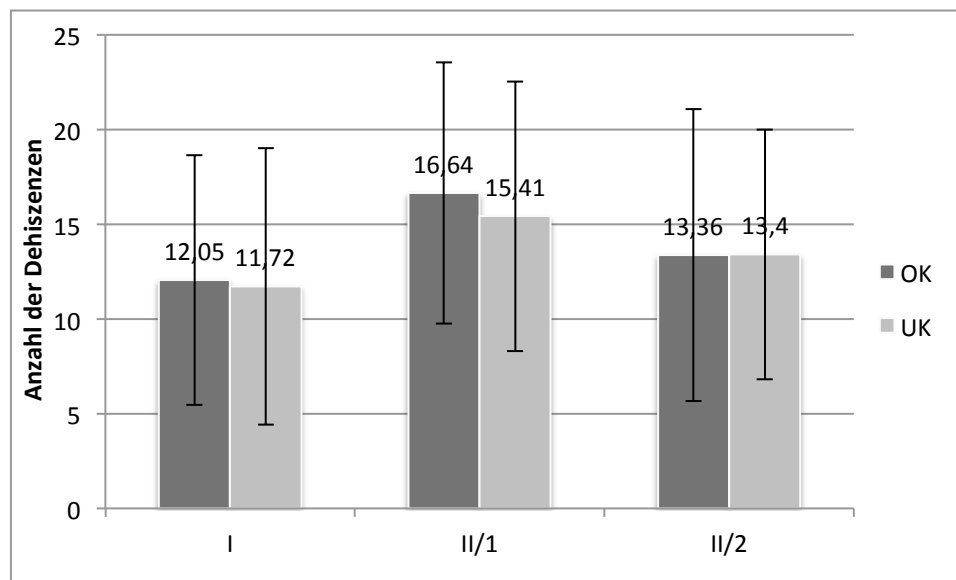


Diagramm 8: Durchschnittliche Anzahl von Dehiszenzen im Ober- und Unterkiefer bei Patienten mit einer Angle-Klasse I, II/1 und II/2

Vergleich	Signifikanz im OK	Signifikanz im UK
II/1 mit I	$p < .001$	$p < .001$
II/1 mit II/2	$p < .05$	$p < .05$
I mit II/2	$p \approx .06$	$p \approx .98$

Tabelle 19: Signifikanzniveaus (p) beim Vergleich der Prävalenzen von Dehiszenzen zwischen Ober- und Unterkiefer bei Patienten mit einer Angle-Klasse I, II/1 und II/2

6.3.5 Vergleich der Prävalenz der Dehiszenzen einzelner Zahnsegmente der Patienten mit einer AK II/2, I und II/1

Die untersuchten Zähne wurden nach ihrer Lokalisation eingeteilt. Es wurde zwischen Frontzahnsegment (FZ) (Zähne 1-3) und Seitenzahnsegment (SZ) (Zähne 4-7) unterschieden. Oberkiefer und Unterkiefer wurden getrennt betrachtet.

Oberkiefer

Patienten der Klasse I wiesen durchschnittlich $4,25 \pm 2,89$ Dehiszenzen im Frontzahnbereich und $7,01 \pm 3,49$ im Seitenzahnbereich auf. Der Unterschied war statistisch signifikant ($p \leq .05$). Klasse II/1 Patienten wiesen durchschnittlich $6,33 \pm 3,22$ Dehiszenzen im Frontzahnbereich und $7,01 \pm 3,49$ im Seitenzahnbereich auf. Der Unterschied war statistisch nicht signifikant ($p > .05$).

Der Vergleich der Frontzahnsegmente bei den Patienten der einzelnen Angle-Klassen war zwischen Patienten mit einer Angle-Klasse II/2 und I im Frontzahnsegment sehr signifikant ($p \geq .01$). Der Vollständigkeit halber sei erwähnt, dass Patienten mit einer Angle-Klasse II/1 hoch signifikant mehr Dehiszenzen im FZ aufwiesen als AK I Patienten.

ten. Im Seitenzahnsegment bestand ein sehr signifikanter Unterschied zwischen Patienten mit einer Angle-Klasse II/2 und II/1 ($p \geq .01$).

Die Signifikanzwerte für alle Vergleiche sind Tabelle 21 zu entnehmen.

Unterkiefer

Patienten mit einer AK I wiesen durchschnittlich $5,45 \pm 3,46$ Dehiszenzen im Frontzahnbereich und $4,49 \pm 3,4$ im Seitenzahnbereich auf. Der Unterschied war statistisch nicht signifikant ($p > .05$). Patienten mit einer AK II/1 wiesen durchschnittlich $7,33 \pm 3,38$ Dehiszenzen im Frontzahnbereich und $5,81 \pm 3,45$ im Seitenzahnbereich auf. Der Unterschied war statistisch sehr signifikant ($p \leq .01$).

Im Frontzahnsegment waren signifikante Unterschiede zwischen Patienten mit einer AK II/2 Patienten und Patienten mit einer AK I festzustellen ($p < .001$). Im Seitenzahnsegment waren signifikante Unterschiede zwischen AK II/2 Patienten und AK II/1 Patienten festzustellen. Die Signifikanzwerte für alle Vergleiche sind der Tabelle 21 zu entnehmen.

Klasse	Oberkiefer				Unterkiefer			
	FZ	SD (\pm)	SZ	SD (\pm)	FZ	SD (\pm)	SZ	SD (\pm)
I	4,25	2,89	5,87	3,58	5,45	3,46	4,49	3,4
II/1	6,33	3,22	7,01	3,49	7,33	3,38	5,81	3,45
II/2	5,91	3,55	5,45	3,66	7,59	3,24	3,95	2,92

Tabelle 20: Durchschnittliche Dehiszenzanzahl in dem jeweiligen Zahnsegment bei Patienten mit einer Angle-Klasse I, II/1 und II/2
(FZ = Frontzahnsegment; SZ = Seitenzahnsegment; SD = Standardabweichung)

Verglichene Angle-Klassen	Oberkiefer		Unterkiefer	
	FZ	SZ	FZ	SZ
II/2 mit I	$\approx 0,004$	$\approx 0,511$	$< 0,001$	$\approx 0,322$
II/2 mit II/1	$\approx 0,482$	$\approx 0,009$	$\approx 0,662$	$< 0,001$
I mit II/1	$< 0,001$	$\approx 0,032$	$< 0,001$	$\approx 0,020$

Tabelle 21: Signifikanzniveaus (p) beim Vergleich von Ober- und Unterkiefer der verglichenen Angle-Klassen I, II/1 und II/2.

Es wurden jeweils die gleichen Segmente der unterschiedlichen Klassen miteinander verglichen. Die signifikanten p -Werte sind jeweils markiert.

6.4 Dehiszenzen in Abhängigkeit vom Alter des Patienten

Die 58 untersuchten Patienten mit einer AK II/2 wiesen ein Alter von zehn bis 51 Jahren auf. Das durchschnittliche Alter war $22,07 \pm 10,42$ Jahre. Diagramm 9 gibt die Altersverteilung anschaulich wieder.

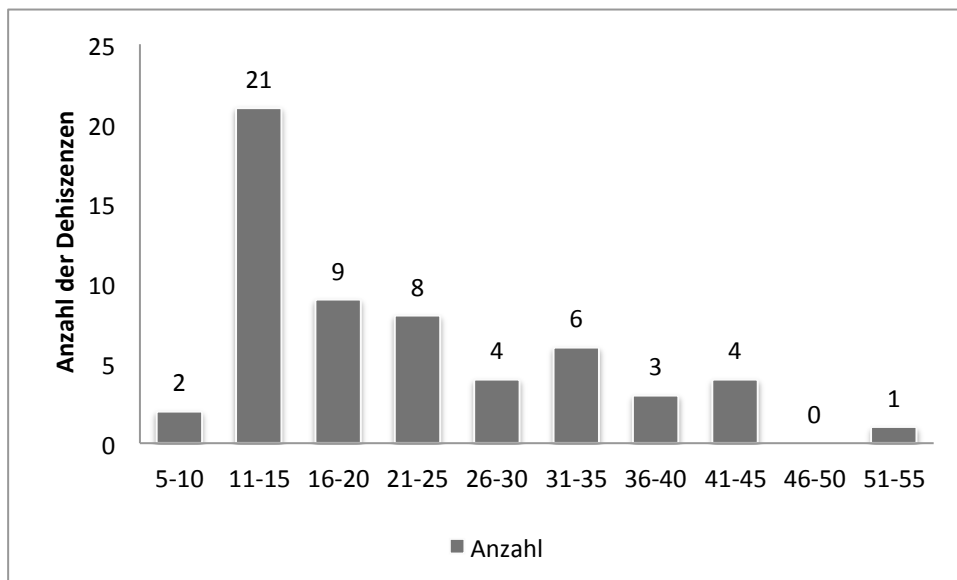


Diagramm 9: Altersverteilung bei Patienten mit einer Angle-Klasse II/2

6.4.1 Prävalenz von Dehiszenzen in Abhängigkeit vom Alter bei Patienten mit einer AK II/2

Es konnte eine signifikante, starke positive Korrelation ($p < .05$; $r = .55$) zwischen Alter und Prävalenz der Dehiszenzen ermittelt werden. Mit steigendem Alter nimmt die Anzahl der Dehiszenzen zu Diagramm 10.

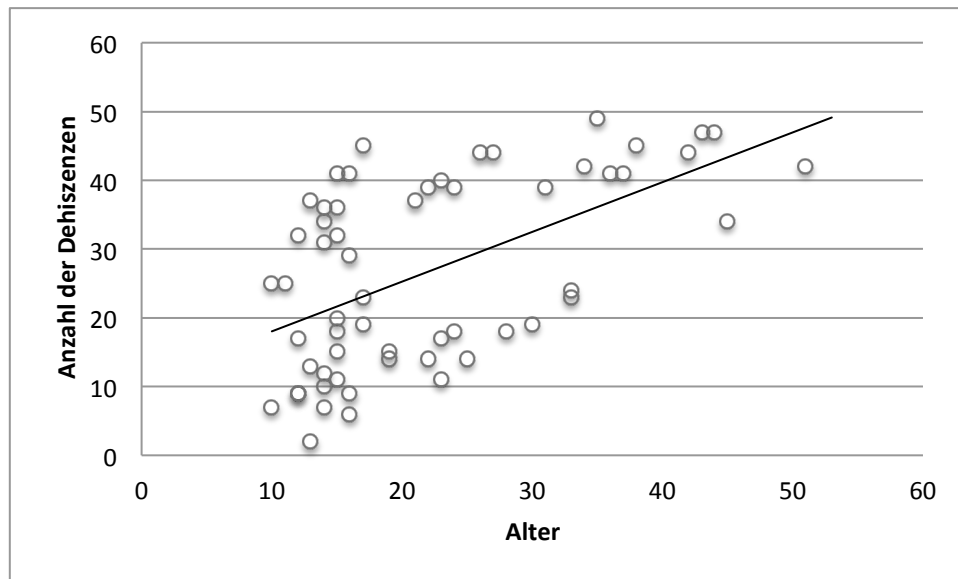


Diagramm 10: Dehiszenzen und ihre Korrelation zum Alter der Patienten mit einer Angle-Klasse II/2

Die gesonderte Betrachtung der Korrelation der vestibulären und oralen Dehiszenzen > 2 mm zeigt, dass sowohl die vestibulären als auch oralen Dehiszenzen mit dem Alter hoch signifikant zunehmen (vestibulär: $r = .54$; $p < .001$; oral: $r = .53$; $p < .001$).

6.4.2 Ausmaß von Dehiszenzen in Abhängigkeit vom Alter bei Patienten mit einer AK II/2

Es konnte eine hoch signifikante positive Korrelation ($p < .001$; $r = .59$) zwischen Defektgröße und Alter festgestellt werden. Mit zunehmendem Alter nahm die Defektgröße zu. Es fand eine weitere Unterteilung der Dehiszenzen der Patienten nach der Lokalisation der Defekte statt. Die Korrelation zwischen vestibulärem/oralem sowie Front- und Seitenzahnsegment wurde durchgeführt.

Es wurde ein signifikanter ($p < .05$) mittlerer positiver Zusammenhang zwischen der oralen Dehiszenz und dem Alter, jedoch ein nicht signifikanter ($p > .05$), mittlerer positiver Zusammenhang zwischen der vestibulären Dehiszenz und dem Alter festgestellt. Diese Ergebnisse werden im Diagramm 11 und Diagramm 12 anschaulich dargestellt.

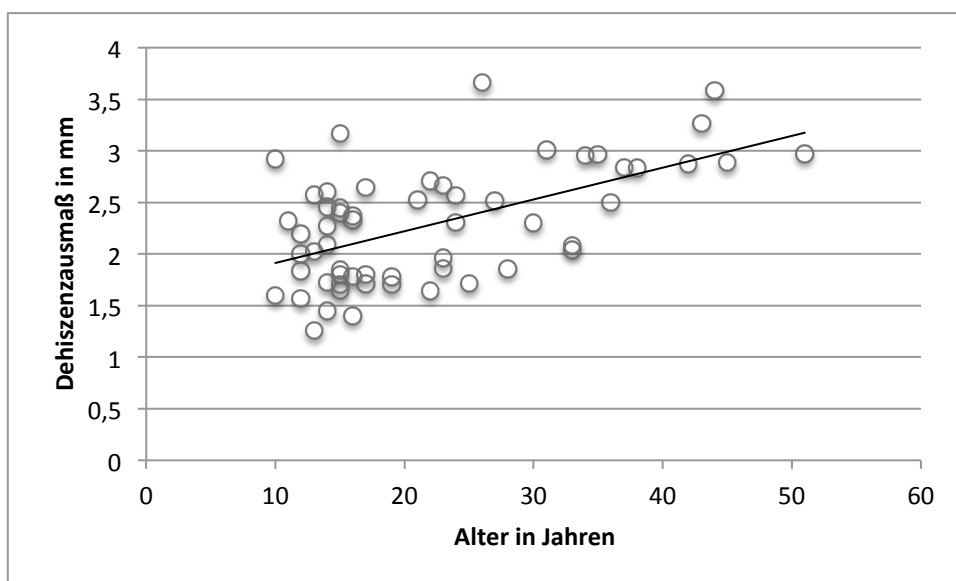


Diagramm 11: Scatter-Plot zur Darstellung des mittleren vestibulären Dehiscenzmaßes in Relation zum Alter bei Patienten mit einer Angle-Klasse II/2

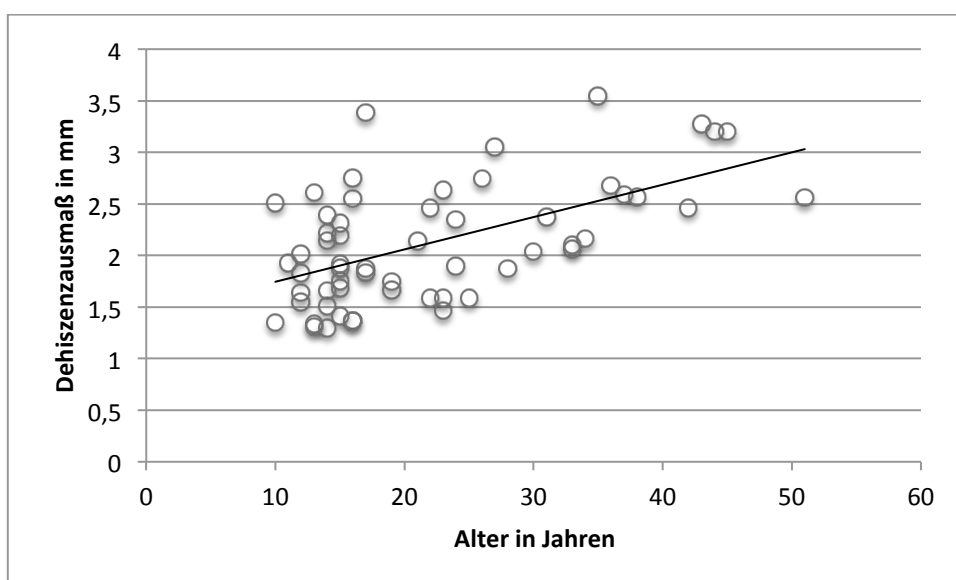


Diagramm 12: Scatter-Plot zur Darstellung des mittleren oralen Dehiscenzmaßes in Relation zum Alter bei Patienten mit einer Angle-Klasse II/2

Bei zusätzlicher Betrachtung der Lokalisation in den Kiefern, zeigten mit Ausnahme der vestibulären Dehiszenzen im UK-SZ-Bereich, die vestibulären, als auch die oralen Dehiszenzen im Seitenzahnbereich (Zähne 4-7) eine signifikante bis hoch signifikante mittlere Korrelation mit dem Alter auf, während Frontzähne weder oral noch vestibulär eine signifikante Korrelation zum Alter aufweisen (Tabelle 22 und Tabelle 23)

Vestibuläre Dehiszenzen	Seitenzahnbereich	Frontzahnbereich
OK	$r = 0,48$	$r = 0,3$
	$p < .001$	$p \approx 0,06$
UK	$r = 0,9$	$r = 0,$
	$p > .05$	$p \approx 0,13$

Tabelle 22: Korrelation der vestibulären Dehiszenzgröße mit dem Alter bei Patienten mit einer Angle-Klasse II/2

Orale Dehiszenzen	Seitenzahnbereich	Frontzahnbereich
OK	$r = 0,396$	$r = 0,233$
	$p \approx 0,005$	$p \approx 0,$
UK	$r = 0,365$	$r = 0,345$
	$p \approx 0,010$	$p \approx 0,144$

Tabelle 23: Korrelation der oralen Dehiszenzgröße mit dem Alter bei Patienten mit einer Angle-Klasse II/2

Tabelle 22 und 23 geben den Korrelationskoeffizienten (r) und die Signifikanz der Korrelation (p) für einzelne Zahngruppen der Klasse II/2-Patienten wieder.

OK = Oberkiefer, UK = Unterkiefer, Seitenzahnbereich = Zähne 4-7, Frontzahnbereich = Zähne 1-3

6.4.3 Vergleich der Prävalenz von Dehiszenzen in Abhängigkeit vom Alter zwischen Patienten mit einer AK II/2, I und II/1

Die Betrachtung aller 207 Patienten erbrachte eine nicht signifikante starke Korrelation zwischen der Prävalenz der Dehiszenzen und dem Alter des Patienten ($p < .05$; $r = .50$). Diagramm 13 gibt den Zusammenhang in Form eines Scatter-Plots wieder.

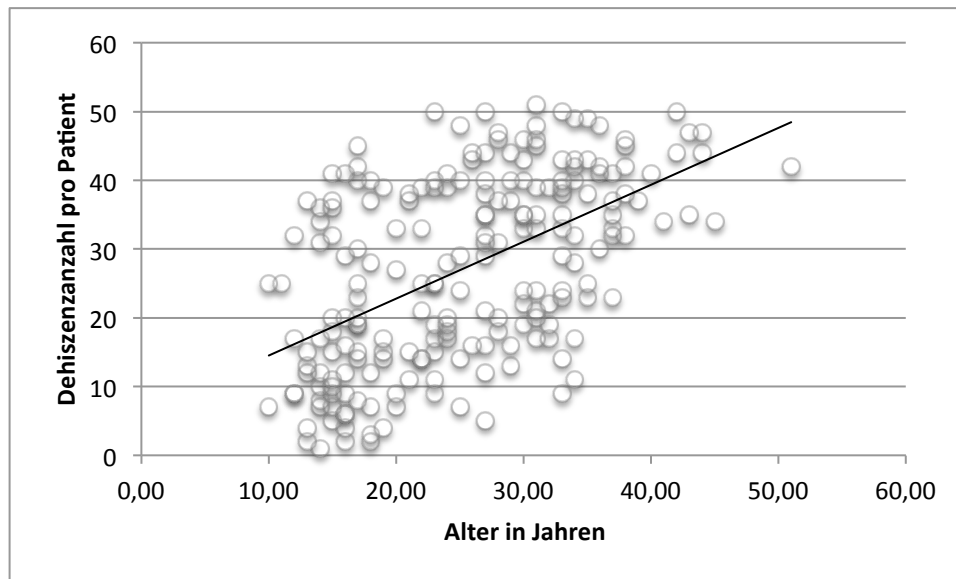


Diagramm 13: Korrelation zwischen Prävalenz von Dehisenzen und Alter bei Patienten mit einer Angle-Klasse I, II/1 und II/2

6.4.4 Vergleich des Ausmaßes von Dehisenzen in Abhängigkeit vom Alter zwischen Patienten mit einer AK II/2, I und II/1

Das Ausmaß der Dehisenzen wies eine hoch signifikante positive Korrelation zum Alter auf ($p < .001$; $r = .53$). Diagramm 14 stellt den linearen Zusammenhang zwischen Defektausmaß und Alter dar.

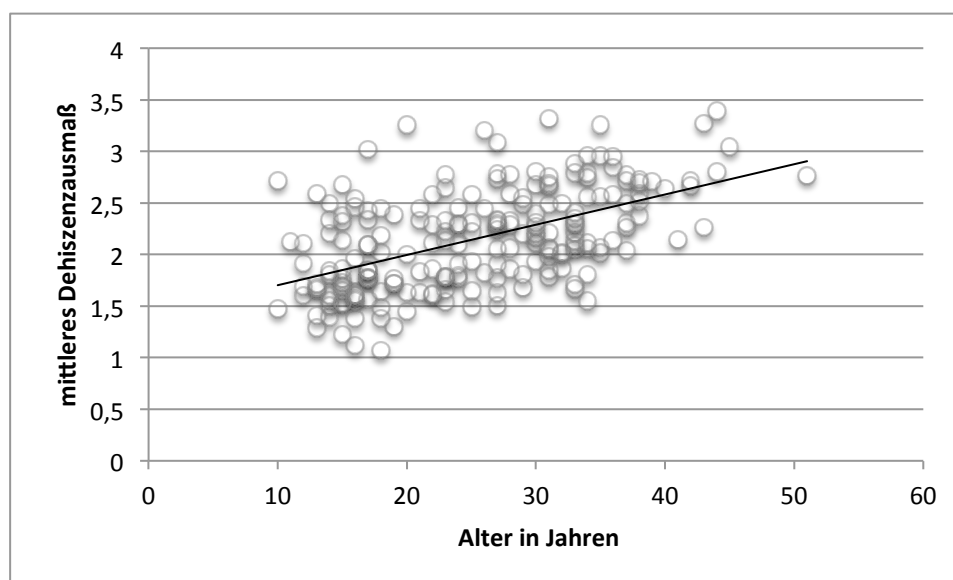


Diagramm 14: Korrelation zwischen Ausmaß von Dehisenzen und Alter bei Patienten mit einer Angle-Klasse I, II/1 und II/2

6.5 Dehiszenzen in Abhängigkeit vom Geschlecht des Patienten

6.5.1 Patienten mit einer AK II/2

Unter den 58 Patienten mit einer AK II/2 befanden sich 38 weibliche und 20 männliche. Insgesamt fanden 1056 Messungen an männlichen und 2105 Messungen an weiblichen Patienten statt. Davon wiesen 525 \pm 13,19 der Messungen bei männlichen Patienten ein Ausmaß > 2 mm auf und 1027 \pm 14,08 der Messungen bei weiblichen Patienten ein Ausmaß > 2 mm auf. Der Unterschied der Prävalenz der Dehiszenzen war statistisch nicht signifikant ($p > 0,73$).

	Gesamtanzahl der Messungen	Anzahl > 2	SD (\pm) in mm	%	SD (\pm) in %
Männlich	1056	525	13,19	49,72	1,25
Weiblich	2105	1027	14,08	48,79	0,67

Tabelle 24: Verteilung der Dehiszenzen bei männlichen und weiblichen Patienten

Die Betrachtung des mittleren Dehiszenzausmaßes ergab einen Wert von 2,23 \pm 1,18 mm bei männlichen Patienten 2,17 \pm 1,17 mm bei weiblichen. Es war kein statistischer Unterschied festzustellen ($p > .77$).

Geschlecht	Durchschnittliches Ausmaß in mm	SD (\pm) in mm
Männlich	2,23	1,18
Weiblich	2,17	1,17

Tabelle 25: Durchschnittliche Dehiszenzgröße bei männlichen und weiblichen Patienten mit einer Angle-Klasse II/2

6.5.2 Vergleich zwischen Patienten mit einer AK II/2, I und II/1

Insgesamt wurden 207 Patienten-Datensätze befundet, davon waren 135 weiblich und 72 männlich. Die Geschlechterverteilung innerhalb der Angle-Klassen war für die Klasse II/2 38 weibliche und 20 männliche Patienten, für die Klasse II/1 53 weibliche und 21 männliche Patienten und für die Klasse I 44 weibliche und 31 männliche Patienten (Tabelle 26). Insgesamt betrug der Anteil weiblicher Patienten 65,22 %, der männlichen Patienten 34,78 %.

Angle-Klasse	Weiblich	Männlich
II/2	38	20
II/1	53	21
I	44	31
gesamt	135	72

Tabelle 26: Geschlechtsabhängige Verteilung der Patienten mit einer Angle-Klasse I, II/1 und II/2
Das Diagramm stellt die Anzahl der Patienten männlichen bzw. weiblichen Geschlechtes innerhalb der Angle-Klassen und insgesamt dar.

Bezüglich der Anzahl der Dehiszenzen war keine Geschlechtsspezifität erkennbar. Weder die Betrachtung des gesamten Patientengutes noch innerhalb einzelner Angle-Klassen ergab eine signifikante Häufigkeitsverteilung der Dehiszenzen. Zwar wiesen männliche Patienten insgesamt prozentual mehr Dehiszenzen > 2 mm auf (51,39 % $>$ 48,49 %), jedoch war der Vergleich nicht signifikant ($p > .05$). Auch bei Dehiszenzen > 4 mm und > 6 mm waren weder in der Gesamtverteilung noch in der Verteilung innerhalb der einzelnen Angle-Klassen signifikante Unterschiede feststellbar ($p > .05$). Tabelle 27 und Tabelle 28 geben die Ergebnisse anschaulich wieder.

GESAMT	Messungen gesamt	Anzahl > 2 mm	Anzahl > 2 mm in %	> 4 mm	> 6 mm
Männlich	3897	2003	51,39	144	28
Weiblich	7407	3592	48,49	100	48
Signifikanz p		0,295	0,295	0,179	0,3385

Tabelle 27: Geschlechtsabhängige Verteilung der Dehiszenzanzahl bei der Gesamtbetrachtung von Patienten mit einer Angle-Klasse I, II/1 und II/2

Klasse	Geschlecht	Messungen gesamt	> 2 mm	%	> 2 mm	> 4 mm	> 6 mm
I	M	1671	744	44,52	744	37	0
	W	2326	1021	43,90	1021	18	0
Signifikanz p				>.05	0,843	0,066	!
II/1	M	1099	741	67,42	741	37	0
	W	2840	1553	54,68	1553	70	26
Signifikanz p				>.05	0,074	0,373	0,096
II/2	M	1056	518	49,05	518	70	28
	W	2105	1018	48,36	1018	120	48
Signifikanz p				>.05	0,762	0,524	0,955

Tabelle 28: Geschlechtsabhängige Verteilung der Dehiszenzanzahl bei Patienten mit einer Angle-Klasse I, II/1 und II/2

Die Tabelle gibt die geschlechtsspezifische Verteilung des Dehiszenzen im gesamten Patientengut und die Signifikanz der Verteilung wieder. Es ist zu erkennen, dass männliche Patienten prozentual mehr Dehiszenzen, die größer als 2 mm sind, aufweisen, jedoch ist der Unterschied nicht signifikant. Auch für die Anzahl der Dehiszenzen > 4 mm und > 6 mm ist kein signifikanter Unterschied erkennbar (M = männlich, W = weiblich)

Die Betrachtung des mittleren Dehiszenzausmaßes bei allen drei Klassen ergab einen Wert von $2,11 \pm 0,92$ mm bei weiblichen Patienten $2,19 \pm 0,92$ mm bei männlichen. Es war ein hoch signifikanter statistischer Unterschied festzustellen ($p < .001$). Die Werte sind in Diagramm 15 und Tabelle 29 dargestellt.

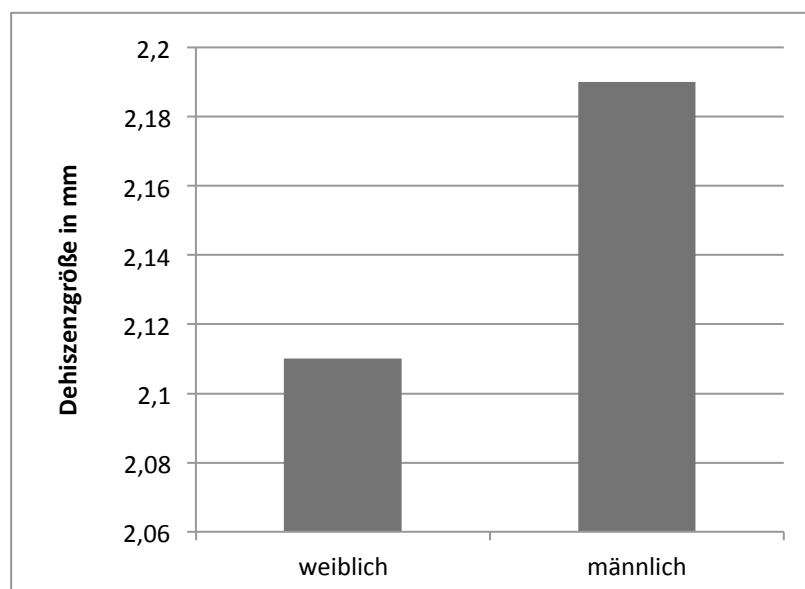


Diagramm 15: Geschlechtsabhängige Verteilung der durchschnittlichen Dehiszenzgröße bei Patienten mit einer Angle-Klasse I, II/1 und II/2

	Durchschnittliche Dehiszenzgröße in mm
Weiblich	2,11 ± 0,92
Männlich	2,19 ± 0,92
Signifikanz p	< .001

Tabelle 29: Geschlechtsabhängige Verteilung der durchschnittlichen Dehiszenzgröße bei Patienten mit einer Angle-Klasse I, II/1 und II/2

7 Diskussion

7.1 Diskussion der Methoden

Patientengut und Messmethodik

In der vorliegenden Studie wurden Patienten mit einer Angle-Klasse II/2 auf die Prävalenz und das Ausmaß von knöchernen Dehiszenzen des Alveolarkamms untersucht. 58 DVT-Aufnahmen von Angle-Klasse II/2 Patienten wurden ausgewertet. Die Gruppenstärke von 3161 vestibulären und 3161 oralen Messwerten ermöglichen statistisch signifikante Aussagen. Die Ergebnisse wurden mit J. Weingangs Messungen von Patienten mit einer Angle-Klasse I oder II/1 verglichen und statistisch ausgewertet. Insgesamt wurden 207 Patienten mit einer AK I, II/1 oder II/2 untersucht.

Um die Reproduzierbarkeit der Messungen zu ermöglichen, wurden eindeutig bestimmbare Referenzpunkte gewählt. Kook et al., Evangelista et al., Yagci et al. sowie Santos et al. wählten die Schmelz-Zement-Grenze (SZG) als koronalen Referenzpunkt (3, 5, 6, 118). Leung et al. konnten anhand von Messungen am Skelett und anschließend im DVT-Datensatz zeigen, dass die SZG als Referenzpunkt eindeutig reproduzierbar ist (15). An der SZG bilden Zahnschmelz, Dentin und Zement aufgrund des starken Dichteunterschieds eine deutlich erkennbare Grenze. Diese ist im DVT besonders gut erkennbar. Als Kritikpunkt bei der Wahl der SZG als Referenzpunkt gilt, dass diese girlandenförmig um den Zahn verläuft und nicht an jedem Punkt den gleichen Abstand zum Alveolarknochen hat. Aus diesem Grund wählten andere Autoren die Zahnoberkante als Referenzpunkt. Bei dieser Methode stellte es sich jedoch als schwierig heraus im Seitenzahnbereich die Zahnoberkante reproduzierbar auszuwählen. In dieser Studie wurde ein Punkt an der SZG gewählt, der sich stets in der Mitte des größten horizontalen Durchmessers des Zahnes befand. Dieser Punkt war genau reproduzierbar und eignete sich um eine statistisch aussagekräftige Analyse durchzuführen.

Eine Vorauswahl der Patienten fand anhand der Gipsmodelle statt. Alle Patienten mussten mindestens eine einseitige Distalokklusion von $\frac{1}{4}$ Prämolarenbreite aufweisen. Die Retroinklination der Oberkieferinzisivi wurde mithilfe der zephalometrischen Analyse bestimmt ($OK1-SN < 102 \pm 2^\circ$; $OK1-NA < 22^\circ$). Alle DVT-Datensätze wurden mit einem modernen Volumentomographen (i-Cat Classic) aufgenommen. Sie befanden sich zum Zeitpunkt der Patientenauswahl für diese Studie bereits in Form von DICOM-Datensätzen in der MESANTIS-Datenbank. Nach dem Import in die Diagnostiksoftware InVivo 5 (Anatomage Inc., San Jose California) konnten sie vermessen werden.

Die Aufnahmen wiesen eine Voxelgröße zwischen 0,2 mm und 0,3 mm auf. Die Voxelgröße spielt eine wesentliche Rolle bei der Messgenauigkeit. Es können Überlagerungseffekte entstehen, wenn die gemessene Struktur die Dimension eines Voxels unterschreitet. Liegt ein Voxel auf zwei „Objekten“, wird die mittlere Dichte der beiden Objekte anstelle der Dichte jedes einzelnen Objektes reflektiert. Dieser mittelnde Effekt bewirkt eine Unterschätzung der eigentlichen Knochenhöhe und -dicke (119, 120). Laut einer Studie von Leung et al. entstehen dadurch Abweichungen in der DVT-Aufnahme von bis zu $\pm 0,6$ mm (15).

Leung et al. (15) wiesen 2010 außerdem nach, dass bei einer Voxelgröße von 0,38 mm, Knochendicken unter 0,6 mm im DVT nicht mehr nachgewiesen werden konnten. In einer anderen Messung wiesen Sun et al. nach, dass eine Voxelgröße $< 0,4$ genauere Werte für die Knochendicke liefern, als Messungen mit einer Voxelgröße von 0,4 (119). Patcas et al. und Torres et al. konnten keinen signifikanten Unterschied zwischen den Voxelgrößen 0,125 und 0,4 (121) respektive 0,2, 0,3, und 0,4 (122) feststellen. Aufgrund der kontroversen Studienlage ist es schwierig zu beurteilen, inwieweit die Genauigkeit der Messungen darunter litt.

Als weitere mögliche Fehlerquellen sind die Positionierung des Patienten im DVT-Gerät, die Einstellung des Gerätes und mögliche Bewegungen des Patienten während der Aufnahme anzuführen. Durch ein standardisiertes Protokoll wird bei MESANTIS versucht, diese Aufnahmefehler möglichst gering zu halten.

7.2 Klassifizierung von Dehiszenzen

Nimigean et al. und Rupprecht et al. wählten als Referenzpunkt den approximal-krestalen Knochenrand. Sie sprachen von einer Dehiszenz, wenn der fazialen Knochensverlust 4 mm gegenüber dem Referenzpunkt aufwies (54, 55). Davies et al. ermittelten in einer Studie an trockenen Schädeln einen Abstand unter 2,5 mm zur SZG als physiologisch (123). Ein Großteil der Studien definiert einen Knochenverlust von > 2 mm von der Schmelz-Zement-Grenze (SZG) als Dehiszenz (3, 115, 124-126). Auch in dieser Studie wurde ein Knochenverlust > 2 mm zum Knochenrand als Dehiszenz gewertet. Consolaro stellt die Frage, warum in Studien in denen Dehiszenzen mittels radiologischer Verfahren oder an getrockneten Schädeln vermessen wurden, diese verhältnismäßig häufig auftreten, während im kieferorthopädisch-klinischen Alltag, die eigentlich dazugehörigen gingivalen Rezessionen oft fehlen (127). Eine Erklärung ist, dass vestibulärer Alveolarknochen extrem dünne Durchmesser von nur 0,2 – 0,4 mm aufwei-

sen kann. Sehr dünne Knochenlamellen sind häufig im DVT nicht erkennbar (128). Faziale Knochenlamellen weisen aufgrund ständiger Umbauprozesse häufig einen geringeren Mineralisationsgrad auf und erschweren deren genaue Darstellung mittels röntgenologischer Methoden zusätzlich (127). Somit besteht in einigen Fällen die Möglichkeit einer falsch-positiven Diagnostik (43). Sun et al. konnten in einer Studie nachweisen, dass Dehiszenzen im CBCT in 80 % der Fälle mit in vivo Messungen am Patienten übereinstimmen. In den übrigen 20 % der Fälle wurden Dehiszenzen im CBCT überproportioniert, also vergrößert, dargestellt (115).

Das allgemein häufige Auftreten von Dehiszenzen im DVT bei Patienten vor kieferorthopädischer Behandlung wurde bereits in mehreren Studien nachgewiesen (3, 6, 115). Auch in dieser Studie wiesen über 40 % der untersuchten Zähne von Patienten mit einer AK II/2 knöcherne Dehiszenzen im DVT auf.

7.3 Diskussion der Ergebnisse

Voraussetzung für diese Studie war die Definition der Angle-Klassen. Edward Angle definierte 1899 die dentalen Fehlstellungen nach der Lagebeziehung des mesiobukkalen Höckers des bleibenden 1. Oberkiefermolaren zur anterioren, bukkalen Einziehung (zwischen dem mesialen und medialen Höcker) des 1. bleibenden Unterkiefermolaren. Die Unterscheidung zwischen Klasse II/1 (Anteinklination der Oberkieferinzisiven) und Klasse II/2 (Deckbiss) erfolgt eher subjektiv (1).

Tatsächlich bietet diese Klassifikation eine einfach übertragbare und reproduzierbare Einteilung. Die skelettale Komponente wird dabei jedoch außer Acht gelassen und fand auch in dieser Studie keine Berücksichtigung.

7.3.1 Dehiszenzen in Abhängigkeit von der Angle-Klasse des Patienten

Der Unterschied der Dehiszenzanzahl zwischen den drei Angle-Klassen war lediglich für die Klasse I und II/1 signifikant ($p < .003$). Sowohl zwischen AK I und AK II/2 als auch zwischen AK II/1 und AK II/2 bestand kein signifikanter Unterschied ($p = .21$ und $p = .07$). Somit kann man lediglich die Aussage treffen, dass Patienten der Klasse II/1 mit durchschnittlich 31,05 Dehiszenzen pro Patient, signifikant mehr Dehiszenzen aufwiesen als Klasse I Patienten (26,76). Sie weisen jedoch nicht allgemein die meisten Dehiszenzen aller drei Klassen auf.

Bei einem Vergleich der Ergebnisse aus dieser und Weigangs Studie mit Studien von Evangelista et al. und Yagci et al. kommt man zu kontroversen Ergebnissen. Evangelis-

ta et al. stellten beim Vergleich von Klasse I und II/1 Patienten hinsichtlich der Anzahl der Dehiszenzen fest, dass Klasse I Patienten 35 % mehr Dehiszenzen aufwiesen als Klasse II/1 Patienten ($p > .01$) (3). Yagci et al. hingegen, konnten beim Vergleich von Patienten der Klassen I, II und III keinen statistischen Unterschied hinsichtlich der Anzahl der Dehiszenzen ermitteln (6).

Bezüglich des Ausmaßes der Dehiszenzen wiesen Patienten mit einer AK I im Durchschnitt Dehiszenzen einer Größe von 1,99 mm auf, Patienten mit einer AK II/1 von 2,25 mm und Patienten mit einer AK II/2 von 2,18 mm. Patienten mit einer AK II/1 wiesen das signifikant größte Dehiszenzausmaß auf ($p < .01$) und Patienten mit einer AK I das signifikant geringste Dehiszenzausmaß ($p < .01$).

Auf das Ausmaß der Dehiszenzen bei verschiedenen Angle-Klassen nimmt bisher lediglich Weigang Bezug. Er stellte eine durchschnittliche Defektgröße von 2,25 mm bei Patienten der Klasse I fest. In dieser Studie konnte bei Klasse II/2 Patienten eine durchschnittliche Defektgröße von 2,18 mm ermittelt werden. Der Vergleich mit Studien, die sich mit dem Knochenniveau bei Patienten mit Normalokklusion befassen, lässt darauf schließen, dass Werte > 2 mm deutlich über dem Durchschnitt (2 mm) liegen (4, 129).

Die starke Abweichung zwischen den Studien könnte durch die Patientenauswahl bedingt sein. Es wurden Patienten sehr variablen Alters untersucht. Weitere Untersuchungen sollten zur eindeutigen Klärung dieser Fragen erfolgen.

Zusammenfassend ist zu sagen, dass durchschnittliche Defektgrößen von 2,25 mm beziehungsweise 2,18 mm als deutliche Pathologien anzusehen sind.

7.3.2 Dehiszenzen in Abhängigkeit von der vestibulären / oralen Lokalisation

Bei der Untersuchung der 58 Patienten mit einer Angle-Klasse II/2 in dieser Studie und der 149 Patienten mit einer AK I oder II/1 durch Weigang, wiesen die Patienten mit einer AK I und II/1 hoch signifikant mehr Dehiszenzen vestibulär als oral auf. Bei Patienten mit einer AK II/2 konnte kein signifikanter Unterscheid zwischen vestibulärer und oraler Dehiszenzanzahl ermittelt werden.

Evangelista et al. konnten nachweisen, dass 69,43 % aller Dehiszenzen auf der vestibulären Seite aufzufinden sind (3). Auch Enhos et al. kamen in einer Studie zu dem Ergebnis, dass 77,59 - 100 % aller Dehiszenzen auf der vestibulären Seite liegen (130). Der Vergleich der mittleren Dehiszenzgröße bei Patienten mit den einzelnen AK zeigte, dass AK I Patienten die kleinsten Dehiszenzen (vestibulär 2,08 mm; oral 1,91 mm) aller

drei Klassen aufwiesen. Die Signifikanzprüfung ergab lediglich für den Vergleich der vestibulären Dehiszenzen zwischen AK I und II/1 (2,30 mm) ($p > .001$) und zwischen den oralen Dehiszenzen der AK I und II/2 (2,11 mm) einen signifikanten Unterschied ($p > .001$). Beim Vergleich der AK II/1 und II/2 ergaben nur die oralen Dehiszenzen einen signifikanten Unterschied ($p < .01$), dabei fielen die Dehiszenzen der Klasse II/1 (2,20 mm) größer aus.

Schlussfolgernd kann man sagen, dass Patienten mit einer Distalokklusion nach Angle (AK II) durchschnittlich mehr und größere Dehiszenzen aufwiesen als Patienten mit einer Normokklusion (AK I). Zusätzlich wiesen Patienten mit einer AK II/1, deren Oberkieferfrontzähne anteinkliniert waren, vestibulär mehr und größere Dehiszenzen auf. Patienten der Klasse II/2, also mit einem frontalen Deckbiss, wiesen hingegen oral mehr und größere Dehiszenzen auf. Es konnten keine weiteren Studien gefunden werden, die das peridentale Knochenangebot speziell bei anteinklinierten beziehungsweise retroinklinierten Zähnen untersuchen.

7.3.3 Dehiszenzen in Abhängigkeit von der Lokalisation im Zahnbogen

In dieser Studie wurden die Daten der Patienten mit einer Angle-Klasse II/2 zunächst im Ober- und Unterkiefer betrachtet. Hinsichtlich ihrer Anzahl und ihres Ausmaßes wies keiner der Kiefer eine statistisch signifikant höhere Prävalenz oder ein höheres Ausmaß der Dehiszenzen auf. Keine weitere Studie, in der eine Untersuchung von Patienten mit Angle-Klasse II/2 Malokklusion stattfand ist bisher vorhanden. Yagci et al. konnten in ihrer Untersuchung von Angle-Klasse II Patienten eine höhere Prävalenz von Dehiszenzen im Unterkiefer als im Oberkiefer nachweisen (22,77 % : 10,24 %), allerdings fand keine Unterteilung in Klasse II/1 und II/2 statt (6). Weigang ermittelte bei Patienten mit einer Angle-Klasse I und II/1 eine höhere Prävalenz von Dehiszenzen im Oberkiefer als im Unterkiefer (4). Evangelista et al., Urbani et al., Rupprecht et al., Nimigean et al., Yagci et al. und Enhos et al. berichten von einer höheren Prävalenz von Dehiszenzen im Unterkiefer als im Oberkiefer (3, 6, 54-56, 130).

Eine Unterscheidung der Zahnbogensegmente des Ober- und Unterkiefers in Frontzähne (Inzisivi und Canini) und Seitenzähne (Prämolaren und Molaren), ergab bei Klasse II/2 Patienten keinen signifikanten Unterschied der Prävalenz der Dehiszenzen im Oberkiefer (Frontzähne: $5,91 \pm 3,55$; Seitenzähne $5,45 \pm 3,66$; $p > .47$). Im Unterkiefer war der Unterschied signifikant (Frontzähne: $7,59 \pm 3,24$; Seitenzähne $3,95 \pm 2,92$; $p < .001$). Die Betrachtung des Ausmaßes der Dehiszenzen zwischen FZ und SZ- Segment

war im OK ebenfalls nicht signifikant ($p > .30$) und im UK ebenfalls hoch signifikant ($p < .001$). UK-FZ wiesen in dieser Studie hoch signifikant mehr und größere Dehiszenzen als UK-SZ auf.

Die Untersuchung der Messungen Weigangs zeigte für Angle-Klasse I Patienten hoch signifikant mehr Dehiszenzen im Oberkiefer-Seitenzahnsegment als im OK-Frontzahnsegment ($p < .001$). Im Unterkiefer konnte er jedoch keinen statistisch nachweisbaren Unterschied feststellen ($p > .05$). Klasse II/1 Patienten wiesen in Weigangs Untersuchung im Oberkiefer keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den Segmenten auf ($p > .05$). Im Unterkiefer wies das Frontzahnsegment signifikant mehr Dehiszenzen auf ($p < .01$). In einer Untersuchung von Patienten mit einer Angle-Klasse I und II/1 von Evangelista et al. wurden die meisten Dehiszenzen am ersten Frontzahn (24,33 %) diagnostiziert. Der zweite Schneidezahn (17,51 %) und der Eckzahn (17,13 %) wiesen ebenso deutlich mehr Dehiszenzen auf als die Zähne des Seitenzahnsegmentes (3). Auch Enhos et al. konnten eine höhere Prävalenz von 25 % - 30,55 % aller Dehiszenzen im Frontzahnsegment feststellen (130). Yagci et al. konnten bei AK II Patienten sowohl im Ober- als auch im Unterkiefer mehr Dehiszenzen im Frontzahnsegment als im Seitenzahnsegment nachweisen (6). Zusammenfassend kann man sagen, dass das Segment mit der größten Prävalenz an Dehiszenzen das Unterkiefer-Frontzahn-Segment ist, während für den Oberkiefer keine eindeutige Aussage getroffen werden kann.

Die Betrachtung der einzelnen Zahngruppen (1er, 2er, 3er etc.) für den Ober- und Unterkiefer, zeigte bei Patienten mit einer AK II/2 für den Eckzahn die höchste Prävalenz an Dehiszenzen (62,5 %). Im Unterkiefer waren es die Inzisiven, Eckzähne und Prämolaren gleichermaßen. Die Untersuchung der Messungen von Weigang zeigte bei Patienten mit einer AK I bei Zahn 16 (63,83 %) und bei Patienten mit einer AK II/1 bei Zahn 26 (72,92 %) die meisten Dehiszenzen. Diese Ergebnisse sind mit den Ergebnissen von Enhos et al. und Evangelista et al. vergleichbar (3, 130). Evangelista et al. ermittelten bei Patienten der Klassen I und II/1 bei den OK-Eckzähnen (18,73 %), den ersten OK-Prämolaren (18,45 %) und den ersten OK-Molaren die meisten Dehiszenzen (3). Enhos et al. wiesen ebenfalls bei Patienten der Klasse I beim ersten OK-Molaren die meisten Dehiszenzen nach (130).

Zusammenfassend ist zu sagen, dass Unterkieferfrontzähne und insbesondere Eckzähne die größte Prävalenz von Dehiszenzen aufweisen.

7.3.4 Dehiszenzen in Abhängigkeit vom Alter des Patienten

Die allgemeine Annahme eines Knochenabbaus über die Zeit wurde bereits in mehreren Studien bestätigt. Es konnte ein jährlicher Knochenrückgang von 0,04 mm bei einer nordamerikanischen Subpopulation (131), bis zu 0,3 mm bei brasilianischen Patienten (63) ermittelt werden. Orale Dehiszenzen bei Patienten mit einer AK II/2 korrelierten signifikant positiv mit dem Alter ($p < .05$; $r = .50$). Die vestibulären Dehiszenzen wiesen keine signifikante Korrelation auf ($p > .05$; $r = .50$). Weigang konnte in einer Studie, in der AK I und II/1 Patienten gemeinsam betrachtet wurden, eine hoch signifikante ($p < .001$) moderate positive Korrelation zwischen Alter und Dehiszenz nachweisen (vestibulär $r = .336$; oral $r = .283$) (4). Den Zusammenhang zwischen Alter und parodontalen Abbau wurde auch von Halling et al. in weiteren radiologischen und klinischen Studien bestätigt (132). Auch Lund et al. konnten in einer Studie bei Patienten mit einer AK I anhand von CBCT-Aufnahmen eine leichte Korrelation zwischen Alter und Dehiszenzgröße feststellen (133).

In einer Langzeitstudie in Nordamerika bei gesunden Patienten und einer ähnlichen japanischen Studie, konnte jedoch keine Korrelation zwischen Knochenabbau und Patientenalter nachgewiesen werden (134, 135).

Die weitere Unterteilung der Klasse II/2 Patienten nach Zahnregion ergab im Seitenzahnbereich sowohl vestibulär als auch oral eine signifikante positive Korrelation zum Alter während die Frontzähne (Zähne 1-3) weder vestibulär noch oral eine signifikante Korrelation zum Alter aufwiesen. Ähnliches wird auch in einer Schweizer Studie bestätigt, in der über einen Zeitraum von 26 Jahren der Attachment-Status bei 565 gesunden männlichen Patienten gemessen wurde. Es konnte gezeigt werden, dass parodontale Läsionen im Seitenzahngebiet früher auftraten und bis zum 60. Lebensjahr an Dimension und Anzahl zunehmen, während Attachment-Verluste im Frontzahnbereich erst ab einem späteren Alter auftraten und ab dem 50. Lebensjahr deutlich zunahmen (136).

Zusammenfassend ist zu sagen, dass auch diese Studie die allgemeine wissenschaftliche Meinung bestätigt. Mit dem Alter verändern sich Strukturen und Funktionen unseres Organismus, der Stoffwechsel verlangsamt sich und die Regenerationsfähigkeit körperlicher Zellen nimmt ab. Dies ist auch in Bezug auf das Parodont der Fall.

7.3.5 Dehiszenzen in Abhängigkeit vom Geschlecht des Patienten

In dieser Studie konnte die Fragestellung „Die Prävalenz und das Ausmaß von Dehiszenzen sind bei weiblichen Patienten mit einer Angle-Klasse II/2 größer als bei männlichen Patienten“ nicht bestätigt werden. Weder die Prävalenz von $49,72 \pm 1,25$ % bei männlichen zu $48,79 \pm 0,67$ % bei weiblichen Patienten noch ihre Größe von $2,33 \pm 1,18$ mm bei männlichen zu $2,17 \pm 1,17$ mm bei weiblichen, wies einen signifikanten Unterschied auf ($p > .73$ bzw. $p > .77$). Weigang konnte bei der Betrachtung der Patienten mit einer Angle-Klasse I und II/1 ebenfalls keinen Unterschied in der Prävalenz der Dehiszenz feststellen (4). Er konnte jedoch einen hoch signifikanten Unterschied zwischen der Dehiszenzgröße bei weiblichen und männlichen Patienten nachweisen (Männer $2,18$ mm > Frauen $2,10$ mm; $p < .001$) (4). Auch in dieser Studie konnte bei der Betrachtung aller Patienten (also AK I, AK II/1 und AK II/2) ein statistisch signifikant größeres mittleres Dehiszenzausmaß bei männlichen als bei weiblichen Patienten ermittelt werden (Männer: $2,19 \pm 0,92$ mm; Frauen: $2,11 \pm 0,92$ mm; $p < .001$). Aufgrund der höheren Anzahl an Frauen, die sich in kieferorthopädische Behandlung begeben (137), liegt die Verteilung der untersuchten Personen deutlich aufseiten der weiblichen Patienten.

Ziel dieser Studie war es, den Zusammenhang zwischen Dehiszenzen und der Angle-Klasse unter Einbeziehung verschiedener Parameter zu prüfen. Das Ergebnis dieser Studie ist, dass hinsichtlich der Größe der Dehiszenzen das Geschlecht eine Rolle zu spielen scheint, jedoch nicht hinsichtlich der Anzahl. Dies widerspricht teilweise der aktuellen Studienlage, die bei männlichen Patienten von einem höheren Defektaufkommen berichtet. Genauere Betrachtungen der Dehiszenzverteilung bezüglich des Geschlechtes innerhalb einzelner Angle-Klassen finden in anderen Studien bisher keine Erwähnung und bieten Raum für weitere Nachforschungen.

7.4 Diskussion zur Anwendung von DVT-Geräten in der Kieferorthopädie

Aus Gründen des Strahlenschutzes ist die Standarddiagnose jedes Patienten mittels DVT noch nicht vertretbar. Die Prinzipien ALARA (as low as reasonably possible) und ALAP (as low as practical) sollten als Auswahlkriterien der gewählten Diagnosemethode stets im Vordergrund stehen. In einer Metaanalyse von 15 ICRP – 2007 (International Commission of Radiological Protection) konformen Studien, wurden pro DVT-Aufnahme mittlere Strahlendosen von $92 - 114$ μ Sv ermittelt (81). Herkömmliche zweidimensionale Aufnahmen, wie sie in der KFO standardmäßig durchgeführt werden,

wiesen im Gegensatz dazu laut ICRP-2007 konformen Studien, effektive Dosen von lediglich 26.0 - 35.8 μSv auf (138, 139). Bei Kindern und Jugendlichen, der größten kieferorthopädischen Patientengruppe, potenziert sich der schädigende Effekt von Röntgenstrahlen zusätzlich (140).

Jedoch sind weder OPG noch DVT-Geräte als homogene Geräteklasse zu betrachten. Sie unterscheiden sich unter anderem in der Positionierung des Patienten (sitzend/stehend/liegend), ihrem Anwendungsbereich und den Einstellungs-möglichkeiten einzelner Parameter wie Stromstärke (mA), Field of View (FoV), Expositions-dauer (s) und Ladung (mA) (141). Moderne Geräte ermöglichen eine indikationsabhängige Einstellung einzelner Parameter und dadurch eine signifikante Dosisreduktion (142).

Währisch konnte 2015 durch die Anwendung indikationsabhängiger dosisreduzierender Aufnahmeprotokolle (IADR) bei in vitro Messungen am Gerät *ProMax 3D MID®* (*Planmeca*, Helsinki, Finnland) bei einem FoV von 20 x 17 cm effektive Dosen zwischen 10,9 und 63,9 μSv erreichen (142). Dabei schränkten sie nicht nur den Aufnahmebereich (FoV), sondern auch die Stromstärke (mA) erheblich ein. Auch Ludlow et al. konnten ähnliche Werte bei sogenannten „low-dose“ Messungen am *i-CAT FLX* DVT-Gerät und einem FoV von 13 x 16 cm nachweisen. Messungen am Phantomkopf eines Kindes ergaben Dosen zwischen 18 μSv und 120 μSv und beim Phantom eines Erwachsenen zwischen 11 μSv und 85 μSv (106). Die brandneue Studie von Oenning et al. aus dem Jahr 2019 verglich die Qualität der Aufnahmen mit der dafür notwendigen effektiven Dosis anhand von Messungen an SEDENTEXCT-konformen Kinder-Phantomköpfen. Die niedrigsten Dosen mit für die klinische Diagnostik ausreichender Bildqualität betragen 9,8 - 14,6 μSv . Die nächsthöhere Qualitätsstufe lieferte immer noch Werte zwischen 17,5 μSv und 27,8 μSv . (143)

Es ist weder anzuzweifeln, dass eine höhere Strahlendosis mit einer besseren Bildqualität einhergeht, noch, dass eine höhere Bildqualität mit einer akkurateren Erkennung kleinster Hartgewebsstrukturen übereinstimmt, dennoch konnte in mehreren Studien gezeigt werden, dass die Unterschiede der allgemeinen Diagnostizierung dieser Strukturen, gering sind (110, 113, 114). Diese Erkenntnis stellt die Wichtigkeit der individualisierten Geräteeinstellung in den Vordergrund und fordert vom Behandler eine auf die spezifische Fragestellung abgestimmte Qualität zu wählen um den Patienten einer möglichst geringen Dosis ionisierender Strahlung auszusetzen.

Schließlich sollte beachtet werden, dass auch herkömmliche 2D-Geräte Unterschiede hinsichtlich ihrer effektiven Dosis aufweisen. In einer Studie von 2018 verglich Schwabl

die Dosis bei zwei- und dreidimensionalen Aufnahmen zweier Geräte. OPG-Aufnahmen wiesen Dosen zwischen 10 - 127 μSv auf während CBCT-Aufnahmen für einen ähnlichen Aufnahmebereich bei akzeptabler Bildqualität zwischen 5 - 171 μSv schwankten (144).

Eine dreidimensionale Aufnahme erbringt einen weitaus größeren Informationsgewinn als herkömmliche zweidimensionale Aufnahmen. Es sollte zudem nicht vergessen werden, dass die Möglichkeit besteht überlagerungsfreie, individuell einstellbare PSA und FRS Bilder aus einer DVT-Aufnahme zu generieren (145), welche auch beispielsweise eine klassische kieferorthopädische Diagnostik ermöglichen.

Falls ein modernes, individuell einstellbares DVT Gerät zur Verfügung steht und ein dreidimensionales Bild eine therapierelevante Information liefern kann, kann durch die Anwendung eines Strahlendosis-reduzierten Protokolls eine DVT-Aufnahme einer zweidimensionalen Aufnahme vorgezogen werden. So kann bei gleicher bzw. geringerer Strahlendosis eine erweiterte Diagnostik durchgeführt werden ohne den Patienten einer zusätzlichen Gefährdung auszusetzen. (146-148) Es ist jedoch noch nicht ausreichend geklärt, ob dieser Informationszugewinn auch als allgemeine Indikation zur Anfertigung eines DVTs angesehen werden kann, da der Mehrwert für den Therapieverlauf noch nicht empirisch zu Genüge nachgewiesen wurde (80).

7.5 Schlussfolgerungen

Abschließend soll anhand der Ergebnisse eine eindeutige Beantwortung der Fragestellungen stattfinden und eine zusammenfassende Bewertung abgegeben werden.

1. *Die Prävalenz und das Ausmaß von knöchernen Dehiszenzen sind bei Patienten mit einer Angle-Klasse II/2 größer als bei Patienten mit einer Angle-Klasse I bzw. II/1.*

Patienten mit einer Angle-Klasse II/2 waren mit durchschnittlich 49,10 % die Klasse mit der zweithäufigsten Anzahl von Dehiszenzen. Sie wiesen mehr Dehiszenzen als Patienten mit einer Angle-Klasse I auf (44,30 %), jedoch weniger als Angle-Klasse II/1 Patienten. Die Prävalenzunterschiede zwischen Angle-Klasse II/2 Patienten und den anderen Klasse waren nicht signifikant ($p = .21$ und $p = .07$).

Hinsichtlich des Ausmaßes der Dehiszenzen wiesen Patienten der Klasse II/2 die zweitgrößten Dehiszenzen ($2,18 \pm 0,80$ mm) der drei verglichenen Klassen auf. Die Un-

terschiede des Ausmaßes der Dehiszenzen zwischen den Patienten der drei Angle-Klassen waren signifikant.

Somit konnte die Fragestellung 1 bezüglich der Prävalenz nicht eindeutig verifiziert und bezüglich des Ausmaßes nicht bestätigt werden. Patienten mit einer Angle-Klasse II/2 wiesen weder die höchste Prävalenz an Dehiszenzen noch das größte Ausmaß der Dehiszenzen auf.

2. Die Prävalenz und das Ausmaß von Dehiszenzen sind bei der Angle-Klasse II/2 vestibulär stärker ausgeprägt als oral.

Angle-Klasse II/2 Patienten wiesen durchschnittlich mehr Dehiszenzen vestibulär als oral auf (52,88 : 47,64). Statistisch war kein Unterschied nachweisbar ($p > .42$). Angle-Klasse I und II/1 Patienten wiesen statistisch signifikant mehr Dehiszenzen vestibulär als oral auf ($p < .001$).

Hinsichtlich des Ausmaßes waren die Dehiszenzen bei Angle-Klasse II/2 Patienten vestibulär signifikant größer als oral (2,27 mm : 2,11 mm). Auch Patienten mit einer Angle-Klasse I und II/1 wiesen vestibulär signifikant größere Dehiszenzen als oral auf ($p < .001$).

Die Fragestellung 2 kann nicht bestätigt werden. Angle-Klasse II/2 Patienten wiesen hinsichtlich der Prävalenz der Dehiszenzen keinen statistischen Unterschied zwischen vestibulär und oral auf.

3. Die Prävalenz und das Ausmaß von Dehiszenzen ist bei Patienten mit einer Angle-Klasse II/2 im Frontzahnbereich höher und größer als im Seitenzahnbereich.

Zur Prüfung dieser Fragestellung wurden Oberkieferzähne und Unterkieferzähne getrennt betrachtet. Im Oberkiefer wiesen Patienten mit einer Angle-Klasse II/2 keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen der Prävalenz oder dem Ausmaß der Dehiszenzen im Front- und Seitenzahnbereich auf. Im Unterkiefer wies das Frontzahnsegment statistisch hoch signifikant mehr und hoch signifikant größere Dehiszenzen als im Seitenzahnsegment auf (7,59 > 3,95 und 2,59 mm > 1,89; $p < .001$ und $p < .001$). Die Fragestellung 3 kann somit für den Unterkiefer eindeutig bestätigt werden und für den Oberkiefer eindeutig nicht bestätigt werden.

4. Mit zunehmendem Alter des Patienten nehmen die Prävalenz und das Ausmaß der Dehiszenzen bei Patienten mit einer Angle-Klasse II/2 zu.

Es konnte eine signifikante starke positive Korrelation ($p < .05$; $r = .55$) zwischen Alter und Prävalenz der Dehiszenzen bei Patienten mit einer Angle-Klasse II/2 ermittelt werden. Mit steigendem Alter nahm die Anzahl der Dehiszenzen zu. Hinsichtlich des Ausmaßes konnte eine hoch signifikante positive Korrelation ($p < .001$; $r = .59$) zwischen Defektgröße und Alter festgestellt werden. Mit zunehmendem Alter nahm die Defektgröße zu.

Die Fragestellung 4 ist somit eindeutig bestätigt worden.

5. Bei Angle-Klasse II/2 und bei allen untersuchten Patienten sind das Ausmaß und die Prävalenz von Dehiszenzen bei weiblichen Patienten größer als bei männlichen.

Bezüglich der Prävalenz und des Ausmaßes von Dehiszenzen bei Patientinnen und Patienten mit einer Angle-Klasse II/2 konnte kein statistisch signifikanter Unterschied festgestellt werden ($p > .73$ bzw. $p > .77$). Bei der Gesamtbetrachtung der Patientinnen und Patienten aller Angle-Klassen war bei der Prävalenz der Dehiszenzen keine Geschlechterspezifität erkennbar. Bezüglich des Ausmaßes wiesen männliche Patienten in der Gesamtbetrachtung des Patientengutes durchschnittlich hoch signifikant ($p < .001$) größere Dehiszenzen auf ($2,19 \pm 0,92$ mm) als weibliche ($2,11 \pm 0,92$ mm).

Die Fragestellung 5 konnte somit hinsichtlich der Prävalenz nicht bestätigt werden. Männliche Patienten wiesen in der Gesamtbetrachtung statistisch signifikant größere Dehiszenzen auf als weibliche.

Zusammenfassende Bewertung

Angesichts der sehr hohen Prävalenz von Dehiszenzen (43,59 - 51,8 %) bei Patienten mit einer Fehlstellung nach Angle, kann eine eindeutige Diagnostik indiziert sein. Eine allgemeine Notwendigkeit der dreidimensionalen Bildgebung für die Kieferorthopädie, konnte bisher, aufgrund weniger evidenzbasierter Nachweise über die Vorteile für den Therapieverlauf, noch nicht ausgesprochen werden. Trotz allem sollte beachtet werden, dass durch die Einführung modernster mAs-reduzierter Protokolle eine verlässliche dreidimensionale Diagnostik, bei gleich großer oder sogar geringerer Strahlenbelastung als bei herkömmlicher zweidimensionaler Standarddiagnostik möglich ist. Hinsichtlich der Bewertung des vestibulären und oralen Knochenangebots können DVT-Aufnahmen therapierelevante Informationen liefern und gleichzeitig zur Risikoaufklärung des Pati-

enten über eine mögliche Entstehung oder Aggravierung von Knochendefekten beitragen. So können, zur Platzschaffung statt den klassischen Expansionsmethoden, die gering traumatische proximale Schmelzreduktion oder die Extraktion von Zähnen vorgezogen werden um der Entstehung von Dehiszenzen und Rezessionen vorzubeugen.

Anlässlich der überschaubaren Gruppengröße dieser Studie, sollten diese neuen Erkenntnisse mit weiteren Fallzahlen bestätigt werden. In zukünftigen Studien sollte zusätzlich die Fragestellung beantwortet werden, welchen Einfluss eine prätherapeutische DVT-Diagnostik auf die kieferorthopädischen Behandlungsplanung und das Behandlungsergebnis hat.

8 Literaturverzeichnis

1. Angle EH. Classification of malocclusion. *Dental Cosmos*. 1899;41:248-64.
2. Wolf HF, Rateitschak KH. *Farbatlanten der Zahnmedizin Parodontologie*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 2004.
3. 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 -5.
4. Weigang J. *Quantitative Untersuchungen zur Prävalenz von dentoalveolären Dehiszenzen in Abhängigkeit von Zahn- und Kieferfehlstellungen [Dissertation]*. Berlin: Medizinischen Fakultät Charité Universitätsmedizin Berlin; 2015.
5. 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.
6. 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.
7. Dodda KK, Prasad SE, Kanuru RK, Nalluri S, Mittapalli R, Raghavendra. Diagnostic features of Angle's Class II div 2 malocclusion. *J Int Soc Prev Community Dent*. 2015;5(6):513-7.
8. Tian YL, Zhao ZJ, Han K, Lv P, Cao YM, Sun HJ, Yu M, Yue Y. [The relationship between labial-lingual inclination and the thickness of the alveolar bone in the mandibular central incisors assessed with cone-beam computed tomography]. *Shanghai Kou Qiang Yi Xue*. 2015;24(2):210-4.

9. Morais JF, Melsen B, de Freitas KMS, Castello Branco N, Garib DG, Cattaneo PM. Evaluation of maxillary buccal alveolar bone before and after orthodontic alignment without extractions: A cone beam computed tomographic study. *Angle Orthod.* 2018.
10. Fuhrmann R. Three-dimensional interpretation of periodontal lesions and remodeling during orthodontic treatment. Part III. *J Orofac Orthop.* 1996;57(4):224-37.
11. Wehrbein H, Bauer W, Diedrich P. Mandibular incisors, alveolar bone, and symphysis after orthodontic treatment. A retrospective study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1996;110(3):239-46.
12. Yared KF, Zenobio EG, Pacheco W. Periodontal status of mandibular central incisors after orthodontic proclination in adults. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2006;130(1):6 e1-8.
13. Pinsky HM, Dyda S, Pinsky RW, Misch KA, Sarment DP. Accuracy of three-dimensional measurements using cone-beam CT. *Dentomaxillofac Radiol.* 2006;35(6):410-6.
14. Huang J, Bumann A, Mah J. Three-dimensional radiographic analysis in orthodontics. *J Clin Orthod.* 2005;39(7):421-8.
15. 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.
16. Baumgaertel S, Palomo JM, Palomo L, Hans MG. Reliability and accuracy of cone-beam computed tomography dental measurements. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics.* 2009;136(1):19-25.
17. Wichelhaus A. Farbatlant der Zahnmedizin: Kieferorthopädie - Therapie Band 1. Behandlung der Klasse-II-Malokklusion. 2012:258-9, 361.
18. Schopf P. Curriculum Kieferorthopädie Band 4. Berlin, Germany: Quintessenz Verlags-GmbH; 2008. p. 59.
19. [Available from: Wikipedia: Angle-Klasse II/1, https://de.wikipedia.org/wiki/Zahnfehlstellung_-_/media/File:Zahnfehlstellung_Angle-Klasse_II-1.jpg [23.07.2018].
20. [Available from: Wikipedia: Angle-Klasse II/2, https://de.wikipedia.org/wiki/Zahnfehlstellung_-_/media/File:Zahnfehlstellung_Angle-Klasse_II-2.jpg [23.07.2018].
21. Erbe C. Dentale und skelettofaziale Effekte der kieferorthopädisch-kieferchirurgischen Distalbissbehandlung (Angle-Klasse II:1) von Erwachsenen. Eine röntgenkephalometrische Untersuchung. Giessen, Germany: Justus-Liebig-Universität Gießen; 2004.
22. Dimberg L, Lennartsson B, Soderfeldt B, Bondemark L. Malocclusions in children at 3 and 7 years of age: a longitudinal study. *Eur J Orthod.* 2013;35(1):131-7.

23. Sander FG, Schwenzer N. Vorschubdoppelplatte (S-II-Apparatur nach Sander). Zahn-Mund-Kiefer-Heilkunde Kieferorthopädie. 2. Stuttgart: Thieme Verlag; 2011. p. 149-75.
24. Fränkel R, Flack F. Zahndurchbruch und Vererbung beim Deckbiss. Fortschr Kieferorthop. 1967;28:175-82.
25. Aoyagi F. [Morpho-genetic studies on the similarity of the tooth and dental occlusion in twins. 1. Tooth size projected on the occlusal plane]. Shikwa Gakuho. 1967;67(5):557-605.
26. Lundström AF. Tooth size and occlusion in twins. Basel: Karger; 1948.
27. Mansbach M. Über den Einfluss von Schlaflage auf die Entstehung von Gebissanomalien. Cimmunity Dent Oral Epidemiol. 1929(5):292-300.
28. Tammoscheit UG. Zur Ätiologie und Pathogenese der so genannten Angle Klasse II,1. Berlin: Universitätsmedizin Berlin; 1971.
29. Peck S, Peck L, Kataja M. Class II Division 2 malocclusion: a heritable pattern of small teeth in well-developed jaws. Angle Orthod. 1998;68(1):9-20.
30. Herbst E. Zahnärztliche Orthopädie. München: Lehmanns; 1922.
31. Humphreys HF, Leighton BC. A survey of antero-posterior abnormalities of the jaws in children between the ages of 2 and 5 1/2 years of age. Br Dent J. 1950;88(1):3-15.
32. Moimaz SA, Garbin AJ, Lima AM, Lolli LF, Saliba O, Garbin CA. Longitudinal study of habits leading to malocclusion development in childhood. BMC Oral Health. 2014;14:96.
33. Schulze C. Lehrbuch der Kieferorthopädie. Berlin: Quintessenz; 1982.
34. Digregorio MV, Fastuca R, Zecca PA, Caprioglio A, Lagravere MO. Buccal bone plate thickness after rapid maxillary expansion in mixed and permanent dentitions. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2019;155(2):198-206.
35. Garib DG, Henriques JF, Janson G, de Freitas MR, Fernandes AY. Periodontal effects of rapid maxillary expansion with tooth-tissue-borne and tooth-borne expanders: a computed tomography evaluation. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2006;129(6):749-58.
36. Rungcharassaeng K, Caruso JM, Kan JY, Kim J, Taylor G. Factors affecting buccal bone changes of maxillary posterior teeth after rapid maxillary expansion. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2007;132(4):428 e1-8.
37. Tausche E, Hansen L, Schneider M, Harzer W. [Bone-supported rapid maxillary expansion with an implant-borne Hyrax screw: the Dresden Distractor]. Orthod Fr. 2008;79(2):127-35.

38. Müller H-P. Parodontologie Checklisten der Zahnmedizin. 3 ed. Stuttgart, Germany: Georg Thieme Verlag; 2012. p. 16-22.
39. Wolf HF, Rateitschak E, Rateitschak K. Farbatlanten der Zahnmedizin Parodontologie. Band 1. 3 ed. Stuttgart, Germany: Georg Thieme Verlag; 2004. p. 7, 16-7.
40. Lüllmann-Rauch R, Paulsen R. Taschenlehrbuch Histologie. 4th ed. Stuttgart, Germany: Georg Thieme Verlag; 2012. p. 383–5.
41. Rathe F. Parodontologie von A bis Z Teil 2: Resektive Parodontalchirurgie. zmk. 2015;5:14.
42. Langlais RP, Miller CS. Color Atlas of Common Oral Diseases Web Page [Available from: <http://www.uky.edu/~cmiller/welcome.html>].
43. Jati AS, Furquim LZ, Consolaro A. Gingival recession: its causes and types, and the importance of orthodontic treatment. Dental Press J Orthod. 2016;21(3):18-29.
44. Loe H, Anerud A, Boysen H. The natural history of periodontal disease in man: prevalence, severity, and extent of gingival recession. J Periodontol. 1992;63(6):489-95.
45. Toker H, Ozdemir H. Gingival recession: epidemiology and risk indicators in a university dental hospital in Turkey. Int J Dent Hyg. 2009;7(2):115-20.
46. 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.
47. Heasman PA, Holliday R, Bryant A, Preshaw PM. Evidence for the occurrence of gingival recession and non-carious cervical lesions as a consequence of traumatic toothbrushing. J Clin Periodontol. 2015;42 Suppl 16:S237-55.
48. Mireau HD, T S. Beitrag zur Ätiologie der Gngivarezessionen. Dtsch Zahnärztl Z. 1984(39):634-9.
49. Renkema AM, Fudalej PS, Renkema A, Kiekens R, Katsaros C. Development of labial gingival recessions in orthodontically treated patients. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2013;143(2):206-12.
50. Slutzkey S, Levin L. Gingival recession in young adults: occurrence, severity, and relationship to past orthodontic treatment and oral piercing. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2008;134(5):652-6.
51. Fuhrmann R. Three-dimensional interpretation of periodontal lesions and remodeling during orthodontic treatment. Part III. . J Orofac Orthop. 1996;57:224-37.
52. Reitan F, P R. Biomechanical principles and reactions. Graber TM, Vandarsdall RL, editors. St Louis: Mosby-Year Book; 1994.

53. Jäger F. Veränderung des peridentalen Knochenangebotes in dreidimensionalen Röntgen-bildern während einer festsitzenden Kieferorthopädischen Behandlung. Charité-Universitätsmedizin Berlin.
54. Rupprecht RD, Horning GM, Nicoll BK, Cohen ME. Prevalence of dehiscences and fenestrations in modern American skulls. *J Periodontol.* 2001;72(6):722-9.
55. Nimigean VR, Nimigean V, Bencze MA, Dimcevici-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.
56. Urbani G, Lombardo G, Filippini P, Nocini F. Dehiscence and fenestration: study of distribution and incidence in a homogenous population model. *Stomatol Mediterr.* 1991;11:113-8.
57. Davies RM, C DM, S HP, A LM. Alveolar defects in human skulls. *Journal of Clinical Periodontology.* 1974(1):107-11.
58. Weigang J. Quantitative Untersuchungen zur Prävalenz von dentoalveolären Dehiscenzen in Abhängigkeit von Zahn- und Kieferfehlstellungen 2015.
59. Larato DC, S DD, D MS. Alveolar plate fenestrations and dehiscences of the human skull. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1970;29(6):816-9.
60. Abdelmalek RG, Bissada NF. Incidence and distribution of alveolar bony dehiscence and fenestration in dry human Egyptian jaws. *Journal of Periodontology.* 1973;44(9):586-8
- .
61. Volchansky A, P C-J. Bony defects in dried Bantu mandibles. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1978;46:647-53.
62. Baljoon M, Natto S, Bergstrom J. Occurrence of vertical bone defects in dentally aware individuals. *Acta Odontol Scand.* 2003;61(1):47-51.
63. 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.
64. Loe H, Anerud A, Boysen H, Smith M. The natural history of periodontal disease in man. The rate of periodontal destruction before 40 years of age. *J Periodontol.* 1978;49(12):607-20.
65. Wouters FR, Satonen LE, Hellden LB, Frithiof L. Prevalence of interproximal periodontal intrabony defects in an adult population in Sweden. A radiographic study. *Journal of Clinical Periodontology.* 1989;16:144-9.
66. F J. Veränderung des peridentalen Knochenangebotes in dreidimensionalen Röntgen-bildern während einer festsitzenden Kieferorthopädischen Behandlung. Charité-Universitätsmedizin Berlin
- .

67. Nahm. Alveolar bone loss around incisors in Class I bidentoalveolar protrusion patients: a retrospective three-dimensional cone beam CT study.
68. Nowzari H, Molayem S, Chiu CH, Rich SK. Cone beam computed tomographic measurement of maxillary central incisors to determine prevalence of facial alveolar bone width ≥ 2 mm. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2012;14(4):595-602.
69. Wehrbein H, Fuhrmann RA, Diedrich PR. Periodontal conditions after facial root tipping and palatal root torque of incisors. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1994;106(5):455-62.
70. Melsen B, Allais D. Factors of importance for the development of dehiscences during labial movement of mandibular incisors: a retrospective study of adult orthodontic patients. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2005;127(5):552-61; quiz 625.
71. Sansare K, Khanna V, Karjodkar F. Early victims of X-rays: a tribute and current perception. *Dentomaxillofac Radiol.* 2011;40(2):123-5.
72. Fuhrmann A. *Zahnärztliche Radiologie.* Stuttgart, Germany: Georg Thieme Verlag; 2013. 18-22, 3, 4, 123, 5 p.
73. Hendee WR. Cross sectional medical imaging: a history. *Radiographics.* 1989;9:1155-80.
74. Rother UJ. *Moderne bildgebende Diagnostik in der Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde.* München: Elsevier GmbH Urban und Fischer Verlag; 2006.
75. Pasler FA. *Zahnärztliche Radiologie.* 5 ed. Stuttgart, Germany: Georg Thieme Verlag; 2008.
76. 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.
77. Shih A, Wang G, Cheng PC. Fast Algorithm for X-ray Cone-beam Microtomography. *Microsc Microanal.* 2001;7(1):13-23.
78. Arai Y, Tammisalo E, Hashimoto K, Shinoda K. Development of a computed tomographic apparatus for dental use. *Dentomaxillofac Radiol.* 1999;28:245-8.
79. DVT Akademie: Schema_DVT-CT hd-adw-cuSD-Cp.
80. Commission E. Radiation Protection no 172: Cone beam ct for dental and Maxillofacial radiology. Evidence based guidelines: Evidence based guidelines. a report prepared by the sedentext project. 2012.
81. Schulze R. s2k-Leitlinie Dentale digitale Volumetomographie Version Nr. 9 vom 5. August 2013. 2013.
82. van Vlijmen OJ, Berge SJ, Swennen GR, Bronkhorst EM, Katsaros C, Kuijpers-Jagtman AM. Comparison of cephalometric radiographs obtained from cone-beam

- computed tomography scans and conventional radiographs. *J Oral Maxillofac Surg.* 2009;67(1):92-7.
83. Ludlow JB, Gubler M, Cevidanes L, Mol A. Precision of cephalometric landmark identification: cone-beam computed tomography vs conventional cephalometric views. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2009;136(3):312 e1-10; discussion -3.
84. Luo T, Shi C, Zhao X, Zhao Y, Xu J. Automatic Synthesis of Panoramic Radiographs from Dental Cone Beam Computed Tomography Data. *PLoS One.* 2016;11(6):e0156976.
85. Rischen RJ, Breuning KH, Bronkhorst EM, Kuijpers-Jagtman AM. Records needed for orthodontic diagnosis and treatment planning: a systematic review. *PLoS One.* 2013;8(11):e74186.
86. Botticelli S, Verna C, Cattaneo PM, Heidmann J, Melsen B. Two- versus three-dimensional imaging in subjects with unerupted maxillary canines. *Eur J Orthod.* 2011;33(4):344-9.
87. Lai CS, Suter VG, Katsaros C, Bornstein MM. Localization of impacted maxillary canines and root resorption of neighbouring teeth: a study assessing the diagnostic value of panoramic radiographs in two groups of observers. *Eur J Orthod.* 2014;36(4):450-6.
88. Alqerban A, Jacobs R, Fieuws S, Willems G. Comparison of two cone beam computed tomographic systems versus panoramic imaging for localization of impacted maxillary canines and detection of root resorption. *Eur J Orthod.* 2011;33(1):93-102.
89. Dudic A, Giannopoulou C, Leuzinger M, Kiliaridis S. Detection of apical root resorption after orthodontic treatment by using panoramic radiography and cone-beam computed tomography of super-high resolution. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2009;135(4):434-7.
90. Honey OB, Scarfe WC, Hilgers MJ, Klueber K, Silveira AM, Haskell BS, Farman AG. 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.
91. Hintze H, Wiese M, Wenzel A. Cone beam CT and conventional tomography for the detection of morphological temporomandibular joint changes. *Dentomaxillofac Radiol.* 2007;36(4):192-7.
92. Machado GL. CBCT imaging - A boon to orthodontics. *Saudi Dent J.* 2015;27(1):12-21.
93. Schnabl D, Rottler AK, Schupp W, Boisseree W, Grunert I. CBCT and MRT imaging in patients clinically diagnosed with temporomandibular joint arthralgia. *Heliyon.* 2018;4(6):e00641.
94. Kim SH, Yoon HG, Choi YS, Hwang EH, Kook YA, Nelson G. Evaluation of interdental space of the maxillary posterior area for orthodontic mini-implants with cone-beam computed tomography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2009;135(5):635-41.

95. Vizzotto MB, Liedke GS, Delamare EL, Silveira HD, Dutra V, Silveira HE. A comparative study of lateral cephalograms and cone-beam computed tomographic images in upper airway assessment. *Eur J Orthod.* 2012;34(3):390-3.
96. Albuquerque MA, Gaia BF, G CM. Comparison between multislice and cone-beam computerized tomography in the volumetric assessment of cleft palate. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2011;112(2):249 - 57.
97. Schneiderman ED, Xu H, Salyer KE. Characterization of the maxillary complex in unilateral cleft lip and palate using cone-beam computed tomography: a preliminary study. *J Craniofac Surg.* 2009;20:1699–710.
98. Hirschfelder U. (2008) Stellungnahme der DGKFO zur Radiologischen 3D-Diagnostik in der Kieferorthopädie (CT/DVT) [online] <https://www.dgkfo-vorstand.de/veroeffentlichungen/stellungnahmen.html> [07.08.2018].
99. EUROPEAN COMMISSION. Radiation Protection No 172 Cone beam CT for dental and maxillofacial radiology (Evidence-based guidelines). 2012
100. Mohan R, Singh A, Gundappa M. Three-dimensional imaging in periodontal diagnosis - Utilization of cone beam computed tomography. *J Indian Soc Periodontol.* 2011;15(1):11-7.
101. Misch KA, Yi ES, Sarment DP. Accuracy of cone beam computed tomography for periodontal defect measurements. *J Periodontol.* 2006;77(7):1261-6.
102. 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.
103. Brullmann D, Schulze RK. Spatial resolution in CBCT machines for dental/maxillofacial applications-what do we know today? *Dentomaxillofac Radiol.* 2015;44(1):20140204.
104. Gamache C, English J, Salas-Lopez M, John A, Rong J, Akyalcin S. Assessment of Image Quality in Maxillofacial Cone-Beam Computed Tomography Imaging. *Seminars in Orthodontics.* 2015;21(10.1053/ j.sodo.2015.07.002).
105. Hiller J, Kasperl S. Zum Verhältnis von Bildqualität und Messgenauigkeit in der CT- Metrologie. Österreichische Gesellschaft für zerstörungsfreie Prüfung -ÖGZfP-; FH OÖ Forschungs & Entwicklungs GmbH, Wels: Industrielle Computertomografie Tagung 2010 Proceedings : Zerstörungsfreie Bauteilprüfung, 3D-Materialcharakterisierung und Geometriebestimmung; Fachtagung, 27 - 29 September 2010, FH OÖ Campus Wels/Austria.
106. 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.
107. Ludlow J, Koivisto J. Dosimetry of Orthodontic Diagnostic FOVs Using Low Dose CBCT protocol. 93rd General Session & Exhibition of the International Associate of Dental Research (IADR); 11-14 March Boston, USA2015.

108. Schattmann S. Dentale Volumetomographie in der Diagnostik vestibulärer parodontaler Defekte
Experimentelle Untersuchungen an Formalin - fixierten menschlichen Unterkiefern.
Berlin: Medizinischen Fakultät Charité Universitätsmedizin Berlin; 2011.
109. Al-Okshi A, Theodorakou C, Lindh C. Dose optimization for assessment of periodontal structures in cone beam CT examinations. *Dentomaxillofac Radiol.* 2017;46(3):20160311.
110. Dalili Z, Taramsari M, Mousavi Mehr SZ, Salamat F. Diagnostic value of two modes of cone-beam computed tomography in evaluation of simulated external root resorption: an in vitro study. *Imaging Sci Dent.* 2012;42(1):19-24.
111. Ozer SY. Detection of vertical root fractures of different thicknesses in endodontically enlarged teeth by cone beam computed tomography versus digital radiography. *J Endod.* 2010;36(7):1245-9.
112. Lüllmann-Rauch R. Taschenlehrbuch Histologie. Stuttgart: Thieme Verlag; 2009.
113. Liedke GS, da Silveira HE, da Silveira HL, Dutra V, de Figueiredo JA. Influence of voxel size in the diagnostic ability of cone beam tomography to evaluate simulated external root resorption. *J Endod.* 2009;35(2):233-5.
114. Estrela C, Bueno MR, De Alencar AH, Mattar R, Valladares Neto J, Azevedo BC, De Araujo Estrela CR. Method to evaluate inflammatory root resorption by using cone beam computed tomography. *J Endod.* 2009;35(11):1491-7.
115. Sun L, Zhang L, Shen G, Wang B, Fang B. Accuracy of cone-beam computed tomography in detecting alveolar bone dehiscences and fenestrations. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2015;147(3):313-23.
116. Zimmer M, Miethke R-R. Fernröntgenseitenbildanalyse der Abteilung für Kieferorthopädie und Kinderzahnheilkunde der Polikliniken Nord der Freien Universität Berlin. *Prakt Kieferorthop.* 1989;3:33-48.
117. Bortz J. Statistik für Sozialwissenschaftler. Springer. 1999;5.
118. Santos P, Herrera Sanches FS, Ferreira MC, de Almeida A, Janson G, Garib D. Movement of mandibular molar into edentulous alveolar ridge: A cone-beam computed tomography study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2017;151(5):907-13.
119. 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.
120. Glover GH, Pelc NJ. Nonlinear partial volume artifacts in x-ray computed tomography. *Med Phys.* 1980;7(3):238-48.
121. 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.

122. 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.
123. Davies DM, Picton DCA, Alexander AG. An objective method of assessing the periodontal condition in human skulls. *J Periodontol.* 1969;4:74-7.
124. Jorkjend L, Birkeland JM. Alveolar bone loss in the permanent first molars of Norwegian schoolchildren receiving systematic dental care. *Community Dent Oral Epidemiol.* 1976;4(1):22-4.
125. Hakkarainen K, Ainamo J. Influence of overhanging posterior tooth restorations on alveolar bone height in adults. *J Clin Periodontol.* 1980;7(2):114-20.
126. Hansen BF, Gjermo P, Bergwitz-Larsen KR. Periodontal bone loss in 15-year-old Norwegians. *J Clin Periodontol.* 1984;11(2):125-31.
127. Consolaro A. Dehiscences and fenestrations: methodological care necessary to avoid errors in diagnosis and measurement. *Dental Press J Orthod.* 2017;22(5):25-9.
128. Radlanski RJ. *Orale Struktur- und Entwicklungsbiologie.* Berlin, Germany: Quintessenz Verlag-GmbH; 2011. p. 352-3.
129. Persson RE, Hollender LG, Laurell L, Persson GR. Horizontal alveolar bone loss and vertical bone defects in an adult patient population. *J Periodontol.* 1998;69(3):348-56.
130. 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.
131. Ismail AI, Morrison EC, Burt BA, Caffesse RG, Kavanagh MT. Natural history of periodontal disease in adults: findings from the Tecumseh Periodontal Disease Study, 1959-87. *J Dent Res.* 1990;69(2):430-5.
132. Halling A, Bjorn AL. Periodontal status in relation to age of dentate middle aged women. A 12 year longitudinal and a cross-sectional population study. *Swed Dent J.* 1986;10(6):233-42.
133. Lund H, Grondahl K, Grondahl HG. Cone beam computed tomography evaluations of marginal alveolar bone before and after orthodontic treatment combined with premolar extractions. *Eur J Oral Sci.* 2012;120(3):201-11.
134. Ship JA, Beck JD. Ten-year longitudinal study of periodontal attachment loss in healthy adults. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 1996;81(3):281-90.
135. Ezawa T, Sano H, Kaneko K, Hiruma S, Fujukawa K, Murai S. The Correlation between the Presence of Dehiscence or Fenestration and the Severity of Tooth Attrition in Contemporary Dry Japanese Adult Skulls - Part I. *J Nihon Univ Sch Dent.* 1987;29:27-34.

136. Heitz-Mayfield LJ, Schatzle M, Loe H, Burgin W, Anerud A, Boysen H, Lang NP. Clinical course of chronic periodontitis. II. Incidence, characteristics and time of occurrence of the initial periodontal lesion. *J Clin Periodontol.* 2003;30(10):902-8.
137. Krey KF, Hirsch C. Frequency of orthodontic treatment in German children and adolescents: influence of age, gender, and socio-economic status. *Eur J Orthod.* 2012;34(2):152-7.
138. 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.
139. 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.
140. Horner K, Hirschmann P, van der Stelt P. European guidelines on radiation protection in dental radiology. The safe use of radiographs in dental practice. European Commission. 2004.
141. Al-Rawi WT, Jacobs R, Hassan BA, Sanderink G, Scarfe WC. Evaluation of web-based instruction for anatomical interpretation in maxillofacial cone beam computed tomography. *Dentomaxillofac Radiol.* 2007;36(8):459-64.
142. Waehrisch KA. Vergleich der Strahlenbelastung von konventionellen orthodontischen Röntgenaufnahmen mit konventionellen und indikationsabhängigen dosisreduzierten digitalen Volumentomographien. Berlin: Medizinischen Fakultät Charité Universitätsmedizin Berlin; 2015.
143. Oenning AC, Pauwels R, Stratis A, De Faria Vasconcelos K, Tijskens E, De Grauwe A, Jacobs R, Salmon B, Dimitra research g. Halve the dose while maintaining image quality in paediatric Cone Beam CT. *Sci Rep.* 2019;9(1):5521.
144. Schwabl D. Evaluierung der Effektivdosis verschiedener zahnärztlich radiologischer Verfahren an der Medizinischen Universität Graz. Graz: Medizinische Universität Graz; 2018.
145. Venkatesh E, Elluru SV. Cone beam computed tomography: basics and applications in dentistry. *J Istanb Univ Fac Dent.* 2017;51(3 Suppl 1):S102-S21.
146. Hechler SL. Cone-beam CT: applications in orthodontics. *Dent Clin North Am.* 2008;52(4):809-23, vii.
147. Mah JK, Huang JC, Choo H. Practical applications of cone-beam computed tomography in orthodontics. *J Am Dent Assoc.* 2010;141 Suppl 3:7S-13S.
148. Silva MA, Wolf U, Heinicke F, Bumann A, Visser H, Hirsch E. Cone-beam computed tomography for routine orthodontic treatment planning: a radiation dose evaluation. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2008;133(5):640 e1-5.

9 Eidesstattliche Erklärung

„Ich, Oliver Paul Allemann, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: „**Quantitative Untersuchung zur Prävalenz von dentoalveolären Dehiszenzen bei Patienten mit einer Angle-Klasse II/2 Malokklusion**“ 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) 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.“

Ort/Datum

Unterschrift Doktorand

10 Lebenslauf

Mein Lebenslauf ist in der elektronischen Version der Dissertation aus datenschutzrechtlichen Gründen nicht enthalten.

Ort/Datum

Unterschrift Doktorand

11 Danksagung

Zunächst gilt mein herzlicher Dank Herrn Prof. Dr. Axel Bumann für die Ermöglichung der Promotion an der Charité Universitätsmedizin Berlin. Besonders möchte ich mich für sein Vertrauen, seine stetige Unterstützung und für die Nutzung der Praxiseinrichtung bedanken.

Des Weiteren möchte ich mich bei Herrn Dr. Johannes Weigang für die Bereitstellung seiner Messdaten von Patienten mit einer Angle-Klasse I oder II/1 danken, ohne die der umfangreiche Vergleich nicht möglich gewesen wäre.

Ich möchte dem gesamten MESANTIS-Team danken, für die geduldige Einweisung in das Computersystem und die schnelle Bearbeitung und Lösung aller meiner Fragen und Probleme.

Herrn Murat Karamann möchte ich für die umfangreiche statistische Beratung sowie seine Geduld und Unterstützung bei der Auswertung der Messdaten vielmals danken.

Ganz besonderen Dank möchte ich meiner Familie widmen, ohne deren Unterstützung die Erstellung dieser Arbeit nicht möglich gewesen wäre.