

Aus der Klinik und Poliklinik für Kieferorthopädie

der Universität Würzburg

Direktor: Professor Dr. med. Angelika Stellzig-Eisenhauer

**Die Vermessung einer externen apikalen Wurzelresorption mithilfe von
Panoramaschichtaufnahmen**

Inaugural - Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde der

Medizinischen Fakultät

der

Julius-Maximilians-Universität Würzburg

vorgelegt von

Ulla Berger

aus Kirchdorf an der Krems

Würzburg, Januar 2018

Referent bzw. Referentin: Prof. Dr. Martin Eigenthaler

Korreferent bzw. Korreferentin: Prof. Dr. Thorsten Bley

Dekan: Prof. Dr. Matthias Frosch

Tag der mündlichen Prüfung: 18. September.2018

Die Promovendin ist Zahnärztin

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
1.1 Fragestellung und Zielsetzung.....	3
2. Material und Methodik	4
2.1 Erhebung der Resorptions- und Kontrollgruppe	4
2.1.1 Erhebung der Wurzelresorptionsgruppe	4
2.1.2 Erhebung der Kontrollgruppe.....	5
2.2 Adobe Photoshop.....	5
2.2.1 Das richtige Format und benötigte Voreinstellungen	6
2.2.2 Auswahl und Einteilung der Panoramiaschichtaufnahmen.....	8
2.2.3 Ausschneiden, Transformieren und Skalieren	12
2.2.4 Die Abmessung der externen apikalen Wurzelresorption	20
3. Ergebnisse	23
3.1 Allgemeine Parameter	23
3.2 Gruppeneinteilung	24
3.3 Statistische Parameter	26
3.4 Ergebnisse der einzelnen Gruppen im Oberkiefer	27
3.4.1 Incisivus medialis und lateralis	27
3.4.2 Caninus	29
3.4.3 Dentes Praemolares	30
3.4.4 Dentes Molares	32
3.5 Ergebnisse der einzelnen Gruppen im Unterkiefer.....	35
3.5.1 Incisivus medialis und lateralis	35
3.5.2 Caninus	37
3.5.3 Dentes Praemolares	38
3.5.4 Dentes Molares	40

3.6	Ergebnisse der persistierenden Milchzähne.....	42
3.7	Ausmaß der externen apikalen Wurzelresorption in Prozentangaben	43
3.8	Der statistische Vergleich ausgewählter Zahngruppen	46
4.	Diskussion	49
4.1	Diskussion: Material und Methodik.....	49
4.1.1	Das digitale Bildbearbeitungsprogramm	50
4.2	Diskussion: Ergebnisse	53
5.	Zusammenfassung	56
	Literaturverzeichnis	58

1. Einleitung

Durch die gezielte Anwendung einer festsitzenden kieferorthopädischen Apparatur kann die Ästhetik und die Funktion von Zähnen verbessert werden. Hierfür müssen die Zähne innerhalb des Zahnbogens bewegt werden.

Damit ein Zahn im Knochen bewegt werden kann, müssen die Osteoklasten zuerst die Knochendichte um die Zahnwurzel reduzieren. Diese werden durch die Krafteinwirkung der festsitzenden Apparatur auf den Zahn aktiviert, wodurch ein steriler inflammatorischer Prozess ausgelöst wird [1]. Hierbei werden auch das Wurzelzement und das darunter liegende Dentin durch aktivierte Odonto- und Zementoklasten ab- und wieder aufgebaut [2]. Erst durch diesen Vorgang wird eine erfolgreiche Therapie von Zahnfehlstellungen ermöglicht. Jedoch besteht die Gefahr, dass dieser erwünschte inflammatorischer Prozess ebenso zu einer seltenen, aber gravierenden Komplikation führen kann. In diesem Fall kommt es zu einer externen apikalen Wurzelresorption, was einer Verkürzung an der äußersten Wurzelspitze (Apex) entspricht [3].

Das Auftreten einer externen apikalen Wurzelresorption während der kieferorthopädischen Behandlung mit einer festsitzenden Apparatur ist bis zu einem gewissen Grad durchaus möglich. Ist jedoch der Abbau von dem Zement und dem Dentin intensiver als der Wiederaufbau dieser Strukturen, entsteht ein schwerwiegender Schaden an der Zahnwurzel, der eine nicht zu korrigierende Verkürzung verursacht.

Die Auswirkungen einer solchen Komplikation können von einer minimalen apikalen Wurzelresorption, die kaum eine Beeinträchtigung für den Zahnhalteapparat darstellt, bis hin zu einer stärker ausgeprägten Resorption reichen, bei der mehr als zwei Drittel der Wurzellänge betroffen ist. Letzteres kann im schlimmsten Fall, neben einer erhöhten Trauma Gefahr, zu einem vollständigen Verlust des betroffenen Zahnes führen, insbesondere dann wenn es zusätzlich zu einem zervikalen Knochenabbau kommt. [4]

Dennoch sind nicht alle Patienten von einer externen apikalen Wurzelresorption betroffen und sehr viele Forschungen beschäftigen sich aktuell mit der Frage, welche Faktoren, neben der durch die kieferorthopädische Apparatur ausgelöste

Krafteinwirkung, weitere Fundamente der apikalen Wurzelresorption darstellen und diese verstärken. So gelten unter anderem Umwelteinflüsse, Art der Lebensführung, genetische Prädispositionen und Vorerkrankungen als Risikofaktoren, welche die Knochendichte negativ beeinflussen können [5].

Des Weiteren konnte in einem Versuch mit Ratten festgestellt werden, dass bei einem vorliegenden Vitamin D Mangel und der Einhaltung einer entsprechenden Calcium Diät, es vermehrt zu einer externen apikalen Wurzelresorption kommt. Dies geschieht innerhalb der „Druckzone“ an der Zahnwurzel, wo im Zuge der Mobilisierung des Zahnes die Krafteinwirkung in Form von Druck ausgeübt wird [6][7]. Eine Korrelation zwischen einem Vitamin D Mangel und einer Wurzelverkürzung ist durchaus möglich, zumal Vitamin D einen bedeutenden Einfluss auf die Knochenentwicklung, Immunreaktion, Wachstum und Homöostase hat [8].

Die ersten sichtbaren Anzeichen einer apikalen Wurzelresorption werden meistens mit Hilfe einer Panoramaschichtaufnahme (OPG) festgestellt. Um die tatsächliche Ausdehnung der externen apikalen Wurzelresorption zu ermitteln, wurde in verschiedensten Studien zusätzlich eine Digitale Volumentomographie (DVT) von der betroffenen Wurzel erstellt. Die primäre Rechtfertigung hierfür liegt in der besseren Bildqualität und dem Erhalt von aussagekräftigeren Informationen von der betroffenen Wurzel.

In zwei unterschiedlichen Studien kann diese Behauptung gut nachvollzogen werden [9][10]. Es konnte nachgewiesen werden, dass durch die bessere Auflösung eines DVT mehr Resorptionen an den Zahnwurzeln festgestellt werden konnten als mit Hilfe eines OPG.

Eine weitere Problematik stellen Aufnahmefehler in einem OPG dar und die daraus folgende Fehlinterpretation von externen apikalen Wurzelresorptionen. [11]

Trotz dieser Anhaltspunkte liegt der Nachteil der Verwendung eines DVT, im Gegensatz zu einem OPG, darin, dass eine bis zu sechsfach höhere Strahlenbelastung für den Patienten vorliegt [12].

Deswegen wird für die Anwendung eines DVT eine rechtfertigende medizinische Indikation benötigt und dient nicht als Routinediagnostikmittel [13].

1.1 Fragestellung und Zielsetzung

Beim Auftreten einer ausgeprägten apikalen Wurzelresorption sind die therapeutischen Maßnahmen nur limitiert vorhanden. Somit lag das Ziel dieser Studie darin, eine externe apikale Wurzelresorption anhand von Panoramaschichtaufnahmen frühzeitig erkennen zu können. Hierfür wurde ein bereits bestehendes Bildbearbeitungsprogramm (Adobe Photoshop CS6) angewendet, wobei folgende Fragestellungen berücksichtigt wurden:

- Kann die Bildqualität mit Hilfe des Bildbearbeitungsprogrammes deutlich verbessert werden?
- Ist die Korrektur von Aufnahme Fehlern möglich, insbesondere die unerwünschte Vergrößerung oder Verkleinerung der zu untersuchenden Zahnwurzel?
- Ermöglicht diese neue Art der Anwendung des Bildbearbeitungsprogrammes eine frühzeitige Erkennung von einer minimalen Wurzelresorption ohne eine Digitale Volumentomographie zu benötigen?
- Ist eine realistische Messung der verlorengegangenen (resorbierten) Wurzellänge möglich?

2. Material und Methodik

Für die vorliegende Dissertation wurden alle vorhandenen Zähne der zweiten Dentition (n=530), mit Ausnahme der dritten Molaren, von insgesamt 19 Patienten mit dem Bildbearbeitungsprogramm Adobe Photoshop CS6 vermessen. Damit eine möglichst korrekte Bemessung der externen apikalen Wurzelresorption durchgeführt werden konnte, wurden für die Auswertungen der einzelnen Zähne nur jene Abbildungen aus den Panoramaschichtaufnahmen benötigt, auf denen ein röntgenologisch abgeschlossenes Wurzelwachstum zu erkennen war. Sämtliche verwendeten Panoramaschichtaufnahmen wurden vor, während und nach der Behandlung mit festsitzenden Multiband Apparaturen aufgenommen und in dieser Studie retrospektiv ausgewertet. Alle ausgewerteten Patientendaten und Röntgenaufnahmen wurden im Rahmen einer kieferorthopädischen Behandlung an der Poliklinik für Kieferorthopädie in Würzburg unter der Leitung von Prof. Dr. A. Stellzig-Eisenhauer aufgenommen.

2.1 Erhebung der Resorptions- und Kontrollgruppe

2.1.1 Erhebung der Wurzelresorptionsgruppe

Primär wurden alle Patienten in die Wurzelresorptionsgruppe aufgenommen, bei denen während oder nach der kieferorthopädischen Behandlung mit festsitzender Multiband Apparatur anhand von Panoramaschichtaufnahmen (OPG) eine sichtbare externe apikale Wurzelresorption festgestellt wurde. Jene Patienten mit nur einem vorhandenen OPG, wurden in weiterer Folge ausgeschlossen. Dies galt auch für Patienten, bei denen kein OPG vor Behandlungsbeginn vorhanden war. Betroffen waren meist jene Patienten, die von externen Kieferorthopäden zur Kontrolle oder zur Nachbehandlung in die Poliklinik geschickt worden sind. Ein weiteres Ausschlusskriterium war, dass die Panoramaschichtaufnahmen keine allzu starken Verzerrungen durch Bewegungsartefakte oder eine Auslöschung der Strukturen des Oberkiefers durch fehlerhafte Zungenlagerung aufweisen durften. Infolge dieser Aufnahmefehler waren die für die Vermessung benötigten Zahnstrukturen nicht

mehr zu erkennen und konnten somit auch nicht durch das Bildbearbeitungsprogramm Adobe Photoshop CS6 korrigiert werden.

2.1.2 Erhebung der Kontrollgruppe

Für die Patienten der Kontrollgruppe galten die gleichen Voraussetzungen wie für die Resorptionsgruppe. Auch diese mussten zuvor mit einem festsitzenden Multiband behandelt worden sein. Ebenso galten für die zu vermessenen Panoramaschichtaufnahmen dieselben Ausschlusskriterien wie im vorherigen Kapitel genannt. Der entscheidende Unterschied zur Resorptionsgruppe bestand darin, dass nach dem Abschluss der Behandlung keine sichtbare externe apikale Wurzelresorption auf den Panoramaschichtaufnahmen zu erkennen war.

Eine Sonderstellung nahmen in dieser Untersuchung zwei Patienten ein. Bei ihnen konnte jeweils eine Nichtanlage (Aplasie) von den Zähnen 35 und 45 diagnostiziert werden und an deren insgesamt vier verbleibenden (persistierenden) Milchzähnen waren bereits apikale Wurzelresorptionen erkennbar. Da in diesen Fällen die Wurzelresorption physiologisch bedingt und nicht durch externe Einwirkungen provoziert worden war, wurden beide Patienten nicht aus dieser Studie ausgeschlossen. Zudem wurden diese persistierenden Milchzähne in einem eigenen Verfahren vermessen und deren Ergebnisse separat dargestellt.

2.2 Adobe Photoshop

Adobe Photoshop gilt als ein sehr ausführliches Bildbearbeitungsprogramm und wird vor allem in der bildbearbeitenden Branche, wie zum Beispiel von Webdesignern oder allgemeinen Grafikern, eingesetzt. Da für diese Untersuchung nur ein kleinerer Anteil der zur Verfügung stehenden Tools benötigt wurde, empfiehlt es sich bei der Anwendung von weiteren Instrumentarien, die im Rahmen dieser Studie außerhalb des Bedarfs standen und infolgedessen nicht beschrieben werden, auf das von Adobe System zur Verfügung stehende Handbuch zurückzugreifen.

Für die vorliegende Studie wurde die ältere Version Adobe Photoshop CS6 verwendet. Aus diesem Grund können neuere Versionen von dem im Folgetext beschriebenen Tools und Anwendungsgebieten abweichen.

2.2.1 Das richtige Format und benötigte Voreinstellungen

Alle für die Vermessung der externen apikalen Wurzelresorption benötigten Panoramaschichtaufnahmen wurden an der Poliklinik für Kieferorthopädie durch das digitale Röntgengerät der Firma Sirona Dental angefertigt. Die aufgenommenen Röntgenbilder wurden als JPG-Datei mit den Maßen 2440 x 1292 ppi (Pixel) abgespeichert.

Um Speicherplatz zu sparen, werden die digital aufgenommenen Bilder durch das jeweilige Dateiformat selbst komprimiert. Beim Öffnen der digitalen Panoramaschichtaufnahmen mit dem Bildbearbeitungsprogramm Adobe Photoshop CS6 sollte die Originalgröße des Bildes automatisch übernommen werden. Manche Betriebssysteme öffnen jedoch die abgespeicherte, komprimierte Version der Panoramaschichtaufnahmen, so dass es später bei den Vermessungen zu verkleinerten Ergebnissen kommt. Auf Grund dessen wurde zur Überprüfung der korrekten Übertragung der Originalgröße zuerst die Arbeitsfläche auf das ursprüngliche Bildformat von 2440 x 1292 ppi voreingestellt. Die Panoramaschichtaufnahmen wurden darin geöffnet und sollten automatisch dieselben Pixelmaße wie die voreingestellte Arbeitsfläche aufweisen. Als nächster Schritt erfolgte die Abmessung der Seitenränder der soeben geöffneten Röntgenbilder mit dem Lineal Tool (s.Tab.1). In der Regel stimmten die Seitenränder der Röntgenbilder mit jenen der Arbeitsfläche überein, welches dann der Originalgröße entsprach. In sehr wenigen Fällen waren die Seitenränder der Röntgenbilder kleiner als die der Arbeitsfläche, womit die komprimierte und verkleinerte Größe der Röntgenbilder vorlag. Darauf folgend mussten die betroffenen Röntgenbilder manuell angepasst werden.

Im Anschluss spielte die korrekte, zentrale Platzierung des Röntgenbildes innerhalb der Arbeitsfläche eine essentielle Rolle, wobei zugleich nochmals die Übernahme der richtigen Bildgröße überprüft wurde. Denn bei einer korrekten

Voreinstellung wurde eine zentrale Positionierung automatisch vom Softwareprogramm durchgeführt (s. Abb. 2.1.)



Abbildung 2.1.: Korrekte Einstellung des Begrenzungsrahmen 227x120 mm

War hingegen ein übermäßiger und ungleichmäßiger weißer Rand der Arbeitsfläche zu sehen, lag die komprimierte, verkleinerte Version des zu bearbeitenden Röntgenbildes vor. (s. Abb. 2.2).



Abbildung 2.2.: Falsche, zu kleine Einstellung des Begrenzungsrahmens
210x110 mm

In diesem Fall nahm das Röntgenbild gelegentlich einen inadäquaten Platz innerhalb der Arbeitsfläche ein und war somit seitlich verschoben. Auch kann bei Betrachtung dieser beiden Abbildungen festgestellt werden, dass trotz einer korrekten voreingestellten Arbeitsfläche, im Gegensatz zur Abbildung 2.1., die Abbildung 2.2 deutlich kleiner erscheint und ein großer, ungleichmäßiger weißer Rand zu erkennen ist. Bei diesen beiden Abbildungen wurde zusätzlich ein schwarzer Bilderrahmen eingefügt. Dieser entspricht jedoch nicht der äußersten Grenze der Arbeitsfläche, sondern dient alleine dem Zweck zur besseren Darstellung der richtigen und fehlerhaften Ausführung.

Um im Zuge der Vermessungen nicht zwischen den Einheiten Pixel und Millimeter umrechnen zu müssen, ist das Bildformat auf eine entsprechende Millimeterskalierung eingestellt worden. Das Originalmaß für die Panoramiaschichtaufnahmen betrug für diese Studie 227 x 120 mm. Zusätzlich wurde die Bittiefe (Farbtiefe) auf 8 Bit festgelegt und hatte eine Auflösung von 72 ppi. Die Farboption für die Arbeitsfläche des Hintergrundes wurde auf das Standardweiß eingestellt und die Transparenz für alle Bildflächen vorerst ausgeschaltet.

2.2.2 Auswahl und Einteilung der Panoramiaschichtaufnahmen

Um zu ermitteln, welche der einzelnen Zähne nun eine externe apikale Wurzelresorption nach der kieferorthopädischen Behandlung mit feststehendem Multiband aufweisen, mussten deren Röntgenbilder überarbeitet und miteinander verglichen werden. Dabei spielten vor dem Beginn der Bildbearbeitung zwei weitere Punkte eine wichtige Rolle. Dies waren zum einen die Ermittlung der geeigneten Röntgenbilder und zum anderen die anschließende Einteilung in übereinanderliegenden Arbeitsflächen (Ebenen).

Aussortierung und Ermittlung

Für die Vermessung der verloren gegangenen Wurzellänge wurden von den Mengen an Röntgenbildern insgesamt zwei geeignete Panoramiaschichtaufnahmen pro Patient benötigt. Für beide Aufnahmen galt das Kriterium, dass möglichst klare Umrisse von den Zahnstrukturen zu erkennen

sind. War dies, trotz einer anschließenden Bildbearbeitung, nicht der Fall, konnten diese Aufnahmen nicht weiter verwendet werden.

Das erste Röntgenbild entsprach der aktuellsten Aufnahme nach Abschluss der Behandlung mit Multiband, die zum Beginn dieser Studie zur Verfügung stand. Das zweite Röntgenbild stellte die älteste Aufnahme dar, auf der die ursprüngliche Wurzellänge des zu untersuchenden Zahnes noch vorhanden war. Es musste daher vor Beginn der kieferorthopädischen Behandlung angefertigt worden sein. Für dieses Bild galt als zusätzliches Kriterium, dass die Wurzelspitze (Apex) des betroffenen Zahnes ein röntgenologisches abgeschlossenes Wachstum aufwies. Bei einem offenen Apex ist die Endlänge der Zahnwurzel noch nicht erreicht und würde die spätere Auswertung negativ beeinflussen.

Die Einteilung in Ebenen

Nachdem zwei geeignete Panoramaschichtaufnahmen ausgewählt worden sind, mussten im darauffolgenden Schritt die darauf abgebildeten Zahnwurzeln nun miteinander verglichen werden. Hierfür wurden die Röntgenaufnahmen in je einer Arbeitsfläche (s.Kap.2.2.1.) geöffnet, die auch in diesem Bildbearbeitungsprogramm als Ebenen bezeichnet wurden.

Diese beiden Ebenen sind wie in einem Papierstapel übereinander angeordnet, auf dem der Inhalt der obersten Ebene (Ebene 2) auf die darunter liegende Ebene (Ebene 1) projiziert wird (s. Abb.2.3.). Wie in der Abbildung 2.3. dargestellt, beinhaltete die unterste Ebene die aktuellste Röntgenaufnahme, die zuvor ausgewählt wurde. Demzufolge sind darauf die verkürzten Zahnwurzeln, die während oder nach der Behandlung mit Multiband festgestellt wurden, dargestellt. Demgegenüber beinhaltete die oberste Ebene eine ältere Panoramaschichtaufnahme, auf der noch die ursprünglichen Zahnwurzellängen abgebildet sind.

Zwischen der Ebene 1 und 2 konnten weitere vorhandene Panoramaschichtaufnahmen eingeblendet werden. Dies war dann der Fall, wenn die ältere Röntgenaufnahme (Ebene 2) eine Zahnwurzel beinhaltete, die sich noch im Wachstum befand. Infolgedessen wurde auf eine später aufgenommene

Panoramaschichtaufnahme zurückgegriffen, auf der diese Zahnwurzel ein röntgenologisches abgeschlossenes Wachstum aufwies.

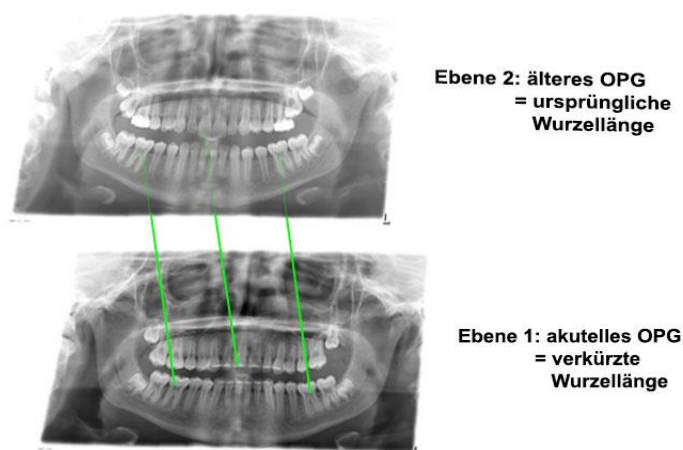


Abbildung 2.3.: Graphische Darstellung der Ebenen. Die Lagerung erfolgt wie in einem Stapel.

Aktivierung der Ebenen und Erstellung von Duplikaten

Damit die Panoramaschichtaufnahmen in den einzelnen Ebenen überarbeitet werden konnten, musste hierfür das jeweilige Röntgenbild aktiviert werden. Dieser Vorgang wird auch als das Anlegen eines Rasters auf der Bildoberfläche bezeichnet. Dieses Raster wird durch die Betätigung eines beliebigen Tools und einem Klicken auf die Bildfläche der Ebene aktiviert. Erst nach der Ausführung dieses Schrittes wurde die aktivierte Ebene von Adobe Photoshop für die Bildbearbeitung freigeschaltet. Wenn ein Raster für eine Ebene nicht angelegt wird, blieb diese für jegliche Bearbeitung gesperrt.

Um die Originalbilder zu erhalten und diese für jede neue Vermessung eines Zahnes in seinem ursprünglichen Zustand wiederverwenden zu können, wurde das Raster für die Originalbilder nicht aktiviert. Stattdessen wurde für jede neue Vermessung eine Kopie der Originalaufnahme (Duplikat) erstellt und für dieses ein Raster angelegt. Diese Vorgehensweise wird als nicht destruktiv bezeichnet und hatte den Vorteil, die Originalbilder vor einer unbeabsichtigten Bearbeitung zu schützen. Denn eine irrtümliche Zerschneidung oder Bemalung der Originalbilder wäre durchaus möglich. Ein Beispiel hierfür wäre die Bearbeitung eines soeben erstellten Duplikates, das automatisch über seinem Originalbild

eingebledet wird. Wenn nun ein Raster sowohl für die Originalaufnahme als auch für sein Duplikat aktiviert wurde, waren beide für die Bearbeitung freigeschaltet. Wird darauf anschließend das Duplikat zerschnitten oder bemalt ohne dabei darauf zu achten, dass dieses nur eingebledet ist, kommt es am Originalbild häufig zu einem irreparablen Schaden, da sich das darunterliegende Originalbild in Bearbeitung befindet. Da dieser Fehler meistens erst zu einem späteren Zeitpunkt bemerkt wurde, musste entweder die ursprüngliche Aufnahme zuerst wieder aufwendig rekonstruiert werden, oder sie wurde unmittelbar danach verworfen und neu erstellt. Da pro Patient mindestens 28 Duplikate benötigt wurden, wurden diese, um den Überblick und die Reihenfolge zu bewahren, in dafür eigens angelegten Ordnern einsortiert.

Zusätzlich zu den Röntgenaufnahmen und deren Duplikate wurde eine weitere Ebene angelegt, die den Namen *Markierungen* bekam. Diese diente ausschließlich als Arbeitsfläche, die kein Röntgenbild enthielt, sondern farbige Begrenzungspunkte auf der Schmelz-Zement-Grenze, der Pulpa, den höchsten Punkt der Okklusionsebene und dem Apex beinhaltete. Diese Arbeitsfläche lag über der obersten Ebene (Ebene 2), da infolgedessen bei einer Einblendung die oben genannten Markierungen auf allen darunterliegenden Ebenen projiziert wurden. Die Ein- und Ausblendung der Maskierungsebene war ausschlaggebend für die anschließende Maskierung.



Abbildung 2.4.: Kontrast, Helligkeit und Opazität eingestellt







Um später bei der Vermessung der externen apikalen Wurzelresorption den röntgenologisch abgeschlossenen Apex möglichst genau festlegen zu können, wurde unter den Eigenschaften der Ebenen der Kontrast auf +100 erhöht, die Opazität auf 100 Prozent gesetzt und die Helligkeit auf 0 belassen (s. Abb. 2.4.). Nach diesen Einstellungen konnte mit dem Ausschneiden, Transformieren und Maskieren der einzelnen Zähne begonnen werden.

2.2.3 Ausschneiden, Transformieren und Skalieren

Die Abfolge von dem Zuschneiden und der Anpassung an den entsprechenden Zahn sowie die Vermessung der externen apikalen Wurzelresorption wurde im Oberkiefer von rechts nach links durchgeführt. Also beginnend mit dem zweiten Molar des ersten Quadranten und der Reihe nach weiter bis zum zweiten Molar des zweiten Quadranten. Die Reihenfolge im Unterkiefer entsprach der entgegengesetzten Richtung von links nach rechts, angefangen beim zweiten Molar des dritten Quadranten und weiter bis zum zweiten Molaren des vierten Quadranten. Die dritten Molaren wurden wegen ihres unregelmäßigen Aufkommens nicht vermessen.

In der unten angeführten Tabelle sind alle verwendeten Werkzeuge (Tools) des Bildbearbeitungsprogrammes, auf die in den folgenden Kapiteln noch einzeln eingegangen wird, mit deren Funktion und Symbol übersichtlich dargestellt.

Tabelle 1: Zusammenstellung der einzelnen Werkzeuge und deren Funktionen.

Werkzeug (Tool)	Symbol	Funktion
Lineal		Messung von Abständen und Strecken
Lasso		Zur Markierung von Auswahlbereiche, die ausgeschnitten werden sollen
Magnetisches Lasso		Ermöglicht ein präzises Ausschneiden von ausgewählten Objekten
Radiergummi		Löschung von Objekten
Verschiebung		Ermöglicht das Erfassen und die Bewegung von einem Objekt
Pinsel		Ermöglicht das Einzeichnen von Begrenzungs- und Orientierungspunkten

Das Ausschneiden eines Objektes

Für das Ausschneiden des zu untersuchenden Zahnes auf der aktivierten, duplizierten Ebene wurde zuerst das Lasso Tool (s.Tab.1) verwendet. Da sich jedoch dieses Instrument nicht an Vektorpunkten orientiert, ist dadurch auch kein Absetzen des Werkzeugs möglich. Deswegen musste der Zahn manuell in einem Stück ausgeschnitten werden und somit wurde mit dem Lasso vorerst nur der grobe Umriss des Zahnes herausgeschnitten (s. Abb. 2.5.). Vektorpunkte dienen in diesem Bildbearbeitungsprogramm als Ankerpunkte und ermöglichen ein präziseres Zuschneiden der Zahnform, da durch das Absetzen des Werkzeuges der Umriss in kürzeren und eher kontrollierbaren Schritten genauer nachgezeichnet werden konnte.

Mit dem Lasso Tool wurde nun die Kronen- und Wurzeloberfläche umrundet und bei Beendigung der Einrahmung musste die soeben gezeichnete Linie gestrichelt aufscheinen. Das Bildbearbeitungsprogramm erkannte dadurch, dass das umgrenzte Objekt ausgeschnitten werden sollte. Damit stattdessen die umliegenden Strukturen weggeschnitten werden, musste in der *Menüleiste* unter *Auswahl* und weiter unter *Auswahl umkehren* diese Einstellung geändert werden. Durch die Betätigung der Entertaste blieb der zu untersuchende Zahn erhalten, während die restliche Panoramaschichtaufnahme weggeschnitten wurde. Bei korrekter Durchführung war diese duplizierte Ebene, mit Ausnahme des einen Zahnes, nun leer (s. Abb. 2.5.).



Abbildung 2.5.: Verwendung des Lasso Tools und Erhalt eines groben Umrisses.

Da die restlichen um den Zahn liegenden Nachbarstrukturen die darauffolgende Transformation und Anpassung an die darunterliegende Ebene erschwerten, wurde ein Werkzeug benötigt, das die oben beschriebenen Vektorpunkte verwendet und somit ein genaueres Ausschneiden des Zahnes ermöglichte. Mit Hilfe des magnetischen Lasso Tools (s.Tab.1) war es möglich, die Nachbarstrukturen um den zu untersuchenden Zahn zu reduzieren ohne die eigentliche Zahnstruktur wegzuschneiden (s. Abb. 2.6.).



Abbildung 2.6.: Richtige Positionierung der Vektorpunkte. Alle für die Vermessung notwendigen Strukturen sind gut zu erkennen.

Bei der Verwendung von Vektor- oder Ankerpunkten war darauf zu achten, den Abstand zwischen zwei Punkten möglichst klein zu halten, da sich das magnetische Lasso beim Setzen seiner Vektorpunkte an der Helligkeit und Sättigung der Pixelwerte orientierte. Je stärker der Übergang und Kontrast von hellen und dunklen Farben zu erkennen war, desto genauer konnten die Ankerpunkte platziert und die Abgrenzungslinie zu der Zahnstruktur gesetzt werden. Waren jedoch die Farbwerte der Pixel zwischen zwei nebeneinanderliegenden Strukturen ähnlich, konnte das Werkzeug keine klare Abgrenzung erfassen. Es kam zu Unstimmigkeiten der Pixel, die zu einem zickzackförmigen Linienverlauf führten. Dadurch wurden wichtige Zahn- und Wurzelstrukturen für die Vermessung der externen apikalen Wurzelresorption ebenfalls weggeschnitten (s. Abb. 2.7).

Um diesen Fehler zu vermeiden, diente der Parodontalspalt als Anhaltspunkt. Dieser bot diesbezüglich einen ausreichenden Kontrast und wurde für die



Abbildung 2.7.: Zickzackförmiger Verlauf der Grenze. Vektorpunkte wurden zu weit auseinander gesetzt und wichtige Strukturen sind deswegen weggeschnitten worden.

Ausrichtung der Vektorpunkte verwendet. Allerdings war an manchen Stellen der Parodontalspalt röntgenologisch nicht zu erkennen, hier wurden die Ankerpunkt sehr dicht aneinandergereiht und sicherheitshalber etwas weiter entfernt von der Zahn- und Wurzeloberfläche gesetzt. Ein dadurch resultierender, zu weit ausgewölbter Hintergrund konnte danach mit dem Radiergummi Tool (s.Tab.1) entfernt werden.

Nachdem das Ausschneiden des zu untersuchenden Zahnes beendet war, musste der ganze Bereich um die Kronen- und Wurzeloberfläche bis hin zum Rand der Ebene mit dem Radiergummi gereinigt werden. Der Grund hierfür war, dass beim Wegschneiden der umliegenden Strukturen einige Artefakte in Form von Pixelgrafiken zurückbleiben können. Dadurch konnte bei der anschließenden Transformation, Drehung und Skalierung des ausgeschnittenen Zahnes kein klarer Begrenzungsrahmen erkannt werden, welches durch das Wegradieren der Artefakte wiederum möglich wurde.

Die Ausrichtung der Rotationsachse und die Transformierung (Bewegung)

Als nächster Schritt musste der duplizierte Zahn aus der zweiten Ebene (s. Abb. 2.8. Rote Umrandung) an seine aktuell bestehende Form aus der ersten Ebene (s. Abb. 2.8. Grüne Umrandung) angepasst werden. Um hierfür eine bessere Übersicht zu bewahren und Fehlprojektionen zu vermeiden, blieben nur das Duplikat der zweiten Ebene und die erste Ebene eingeblendet.

In Abbildung 2.8. ist gut zu erkennen, dass der duplizierte Zahn in seiner Position, Achse und Größe noch nicht seiner späteren Form aus der ersten Ebene entspricht.

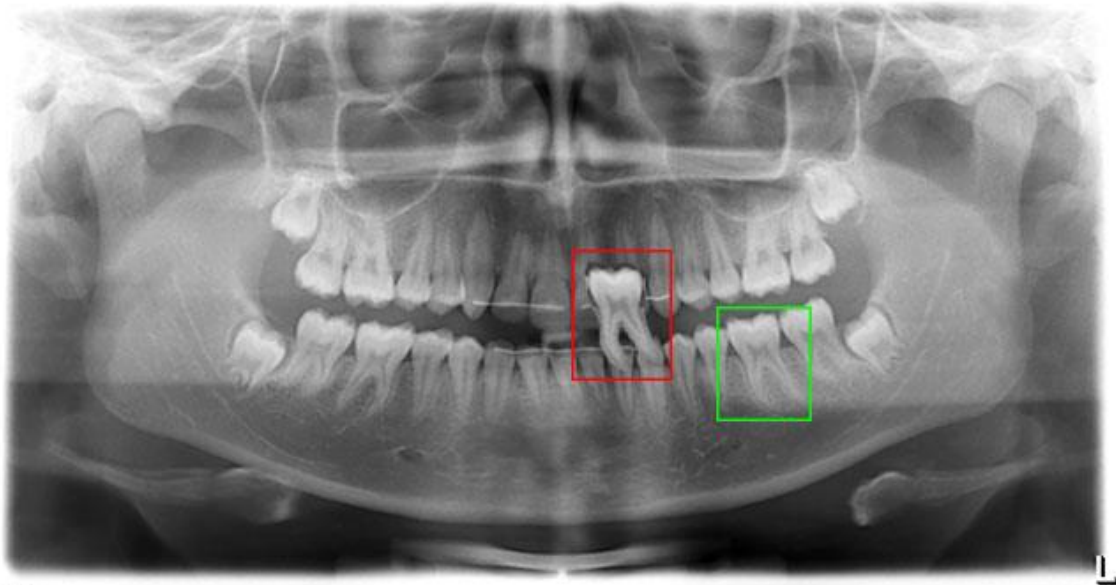





Abbildung 2.8.: Rote Umrandung entspricht der zweiten Ebene, der früheren Form des Zahnes. Grüne Umrandung entspricht der ersten Ebene, der aktuellen Zahnform.

Zuerst wurde das Duplikat durch eine Rotation gedreht, sodass er von der Achse aus betrachtet in etwa mit seiner späteren Form übereinstimmte. Dafür musste ein Begrenzungsrahmen aktiviert werden, was durch die zeitgleiche Betätigung der Tastenkombination *Strg* und dem Buchstaben *T* erfolgte. Als Zeichen der Aktivierung waren an dessen Rahmen jeweils vier Eck- und Balkenpunkte  (Referenzpunkte) zu erkennen. Die Rotation ist durch eine anhaltende Betätigung der linken Maustaste außerhalb eines beliebigen Eckpunktes in jede Richtung möglich. Zusätzlich konnte der Achsenpunkt , um die sich der Zahn drehen soll, in horizontaler und vertikaler Richtung manuell verschoben werden. Hierfür musste mit dem Verschiebwerkzeug (s.Tab.1) der Achsenpunkt, welcher automatisch in der Mitte des Begrenzungsrahmens erscheint, zum neuen Rotationsachsenpunkt geschoben werden.

Für die Feineinstellung konnte per Eingabe in die *Optionsleiste* sowohl die Richtung des Winkels, in der der Zahn gedreht werden sollte, als auch die

Rotationsachse eingegeben werden. Hierfür war neben dem Symbol *Drehen*  die Eingabe eines positiven oder eines negativen Wertes möglich. Ein positiver Wert veranlasste eine Drehung im Uhrzeigersinn und ein negativer Wert eine Drehung gegen den Uhrzeigersinn. Für den neuen Achsenpunkt konnten rechts neben den Buchstaben X und Y die Koordinaten für die horizontale (x) und vertikale (y) Ausrichtung eingegeben werden. Durch Betätigung der Entertaste wurden die geänderten Einstellungen übernommen, womit das Duplikat in seinem neuen Winkelmaß und seiner neuen Drehachse endgültig fixiert war.

Der nächste Schritt war die Transformation, also die lineare Bewegung oder Verschiebung eines ausgewählten Objektes, des Duplikats (rote Markierung, s. Abb. 2.7.) in Richtung seiner aktuellen Zahnform aus der ersten Ebene (grüne Markierung, s. Abb. 2.7.) Hierfür musste der Begrenzungsrahmen wieder mit der bereits vorher genannten Tastenkombination aktiviert werden. Mit Hilfe des Verschiebewerkzeugs konnte das Duplikat in Richtung seiner Endposition(s. Abb. 2.7. grüne Umrandung). bewegt werden.

Die Skalierung eines Objektes

Zuletzt wurde eine Skalierung (Größenveränderung) an dem Duplikat durchgeführt, mit deren Hilfe es möglich war, seine Größe an die ursprüngliche Zahnform aus der ersten Ebene genau anzupassen.

Durch ein wiederholtes Ein- und Ausblenden des duplizierten Zahnes konnte die Zahngröße mit der darunterliegenden ersten Ebene vorerst grob verglichen werden. Für eine präzisere Anpassung der Zahnform wurden zusätzliche Begrenzungspunkte hinzugefügt, die an konstanten und gut erkennbaren Konturen angebracht worden sind. Hierfür wurde bereits bei der Einteilung der Panoramaschichtaufnahmen in die erste und zweite Ebene eine zusätzliche, leere Arbeitsfläche erstellt (s.Kap.2.2.2). Diese *Markierungsebene* wurde über der zweiten Ebene platziert und lag somit an der obersten Stelle des Stapels. Dies bot den Vorteil, dass deren Inhalt gleichzeitig auf das darunterliegende Duplikat und auf die erste Ebene projiziert wurde.

Als Begrenzungspunkte sind die unterhalb der Schmelz–Zement-Grenze liegenden konkaven Einziehungen, der Pulpaverlauf im mittleren Drittel und der

höchste Punkt der Bifurkation bei den Molaren im Unterkiefer ausgewählt worden (s. Abb. 2.9.: Rote Punkte). Des Öfteren dienten auch die beiden höchsten Punkte der okklusalen Ebene und der Umriss des Pulpakavums als weitere Grenzpunkte (s. Abb. 2.9.: Hellblaue Punkte), jedoch nur als Orientierungen, da sich diese Strukturen stärker mit der Zeit veränderten. Für eine bessere Übersicht sind die einzelnen Punkte in Abbildung 2.9. zusätzlich beschriftet worden.

Um die Begrenzungspunkte präzise einzeichnen zu können, musste die Markierungsebene eingeblendet und für die Bearbeitung aktiviert werden. Da die erste Ebene als Vorlage für die Grenzpunkte diente, musste diese ebenso ersichtlich sein. Das Duplikat wurde vorerst ausgeblendet, um eine Verwechslung mit dem Zahn aus der ersten Ebene vorzubeugen. Danach konnten mit Hilfe des Pinsel Tools (s.Tab.1) die Begrenzungs- und Orientierungspunkte an den oben genannten Konturen farbig eingezeichnet werden. Durch einen Rechtsklick innerhalb der Bildfläche wurde zuvor die Pinselgröße auf zwei Pixel eingestellt.



Abbildung 2.9.: Eingzeichnete Begrenzungspunkte mit Beschriftung.

Nach dem Einzeichnen aller Begrenzungs- und Orientierungspunkte, erfolgte im nächsten Schritt die Größenanpassung (Skalierung) des duplizierten Zahnes an seine aktuelle Zahnform. Hierfür wurde das Duplikat wieder eingeblendet und für die Bearbeitung aktiviert. Die erste Ebene und die Markierungsebene blieben ebenfalls eingeblendet. Infolgedessen wurden die Grenzpunkte der Markierungsebene gut sichtbar auf die beiden darunterliegenden Ebenen projiziert.

Der Begrenzungsrahmen ist für den duplizierten Zahn wieder aktiviert worden, womit dieser nun horizontal, vertikal oder gleichzeitig in beiden Richtungen vergrößert oder verkleinert werden konnte. Bei der Anwendung dieses Verfahrens musste besonders darauf geachtet werden, dass bei einer Vergrößerung oder Verkleinerung des Duplikats die Proportionen beibehalten wurden. Dies erforderte eine gleichmäßige Größenveränderung in alle Richtungen.

Durch ein Ziehen an einem beliebigen Eckpunkt des Begrenzungsrahmens und gleichzeitiger Betätigung der Umschalttaste, konnte der duplizierte Zahn in seiner Größe proportional ausgerichtet werden. Dieses Verfahren wurde so lange durchgeführt, bis die Zahngröße des Duplikates mit den Begrenzungspunkten der Markierungsebene übereinstimmte. Nach dem Beenden der Skalierung, wies die duplizierte Zahnform schließlich die gleiche Größe auf wie seine aktuelle Zahnform aus der ersten Ebene (s. Abb. 2.10.).

Dieser gesamte Arbeitsprozess der Skalierung wird in der Bildbearbeitung auch als Maskierung bezeichnet. Wie in Abbildung 2.10. zu erkennen ist, wird die Zahnform aus der ersten Ebene von dem Duplikat vollständig verdeckt (maskiert).

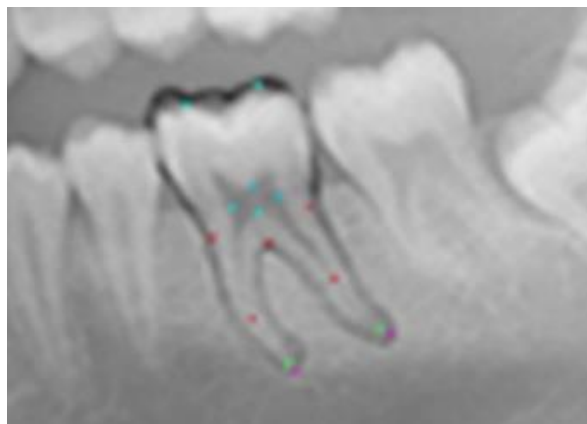



Abbildung 2.10: Das angepasste Duplikat stimmt mit den Begrenzungspunkten überein.

Alternativ zu der proportionalen Größenanpassung konnte die Länge und die Breite des Zahnes einzeln angepasst werden, indem an einem seitlichen Balkenpunkt gezogen und gleichzeitig die Taste *Alt* betätigt wurde. Damit wurde eine gleichmäßige Anpassung entweder in horizontaler oder in vertikaler Richtung erreicht. Beim Ziehen an einem oberen oder unteren Balkenpunkt konnte die Länge (vertikal) neu definiert werden. Die Einstellung der Breite (horizontal) erfolgte durch eine Veränderung des linken oder rechten Balkenpunktes.

Ein Nachteil bei einer Durchführung dieser Methodik ist, dass das ursprüngliche Proportionsverhältnis der Zahnform nur schwer beizubehalten ist. Eine ungenaue Anpassung an die Begrenzungspunkte war somit nicht auszuschließen und führte in späterer Folge zu falschen Messergebnissen.

2.2.4 Die Abmessung der externen apikalen Wurzelresorption

Als letzter Schritt erfolgte die Abmessung der verloren gegangenen Wurzellänge durch die externe apikale Wurzelresorption. Zu diesem Zweck wurden zwei weitere verschiedenfarbige Grenzpunkte benötigt, die sich jeweils an der äußersten konvexen Wölbung des Apex befanden. Der eine Grenzpunkt entsprach dem verkürzten Apex des Zahnes aus der ersten Ebene, also der apikalen Wurzelresorption nach Abschluss der kieferorthopädischen Behandlung (s. Abb. 2.9.: Hellgrüner Punkt). Der andere Grenzpunkt bezog sich auf den Apex des duplizierten Zahnes aus der zweiten Ebene, dessen Röntgenaufnahme vor der kieferorthopädischen Behandlung aufgenommen wurde und das Wachstum der Wurzelspitze röntgenologisch abgeschlossen sein musste (s. Abb. 2.9.: Lila Punkt). Das Einzeichnen der Grenzpunkte funktionierte gleichermaßen wie das oben beschriebene Einzeichnen der Begrenzungs- und Orientierungspunkte.

Um eine Länge abmessen zu können, wurde wieder das Lineal Tool (s. Tab.1) benötigt, welches in der *Werkzeugpalette* unter den *Mess- und Navigationswerkzeuge* zu finden ist. Durch einen Rechtsklick auf das Symbol der Pipette  kann auf das Linealsymbol umgeschaltet werden.

Weil die Grundeinstellung der Maßeinheit Pixel sind, wurde dieses zuvor auf die Maßeinheit Millimeter umgestellt, sodass auf eine Umrechnungsformel verzichtet

werden konnte. In der *Menüleiste* war es möglich unter dem Menüpunkt *Fenster* und weiter unter *Info* ein Bedienfeld für das Lineal Tool zu öffnen. Rechts oben im Bedienfeld ist ein Symbol für Optionen, in diesem ist als dritter Punkt *Linealeinheit* angeführt. Hier wurde die Maßeinheit von dem Pixel auf Millimeter geändert.

Für die Vermessung blieben alle drei Ebenen eingeblendet, jedoch war es nicht nötig eine von diesen für die Bearbeitung zu aktivieren.

Das Lineal ist durch einen anhaltenden Linksklick vom hellgrünen zum lila Grenzpunkt gezogen worden (s. Abb. 2.10.). Das Ergebnis der Abmessung wurde zugleich in der *Optionsleiste* rechts neben dem Buchstaben *L1* angezeigt. Zur Überprüfung, ob die Distanz zwischen den beiden Grenzpunkten der Wurzelspitzen genau abgemessen wurde, ist ein weiteres Messverfahren angewendet worden. Hierfür ist zusätzlich zu den beiden Grenzpunkten am Apex der gegenüberliegende Orientierungspunkt auf der Okklusalebene benötigt worden (s. Abb. 2.9. Hellblauer Punkt). Von diesem ausgehend sind jeweils zwei Strecken abgemessen worden. Die erste Strecke reichte vom Orientierungspunkt bis zum Apex-Grenzpunkt (s. Abb. 2.9. Hellgrün) des Zahnes der ersten Ebene und entsprach somit der Strecke für die verkürzte Zahnwurzellänge. Die zweite Strecke verlief von demselben Orientierungspunkt aus bis zum Apex-Grenzpunkt (s. Abb. 2.9. Lila) des duplizierten Zahnes aus der zweiten Ebene und entsprach damit der Strecke der ursprünglichen Zahnwurzellänge. Die Differenz der beiden Strecken ergab die verloren gegangene Wurzellänge der externen apikalen Wurzelresorption. Das Ergebnis aus dieser Messung musste mit der zuvor abgemessenen Distanz zwischen den beiden Grenzpunkten übereinstimmen. Nach der Überprüfung der beiden separat vermessenen Ergebnisse, wurden diese in einer eigens dafür erstellten Tabelle eingetragen (s.Tab.2.). Die Tabelle ist, abhängig von dem jeweiligen Patienten, der Wurzelresorptionsgruppe oder der Kontrollgruppe zugeordnet worden und diente als Grundlage für weitere Berechnungen und statistischen Erhebungen.

Tabelle 2: Vorlage für die Ergebnisse der externen apikalen Wurzelresorption. Alle Angaben wurden in der Millimetereinheit [mm] angegeben.

Nummer:						
Abkürzungen						
	k.R		m	d	n.V.	
	keine Resorption		mesial	distal	nicht vorhanden	
	W		n.b.			
	im Wachstum		nicht beurteilbar			
Oberkiefer						
	Urspr. Länge (Referenzpkt.)		Endlänge (Referenzpkt.)		Wurzelresorption gesamt	
11						
12						
13						
14						
15						
16	m		m		m	
	d		d		d	
17	m		m		m	
	d		d		d	
21						
22						
23						
24						
25						
26	m		m		m	
	d		d		d	
27	m		m		m	
	d		d		d	
Unterkiefer						
	Urspr. Länge (Referenzpkt.)		Endlänge (Referenzpkt.)		Wurzelresorption gesamt	
31						
32						
33						
34						
35						
36	m		m		m	
	d		d		d	
37	m		m		m	
	d		d		d	
41						
42						
43						
44						
45						
46	m		m		m	
	d		d		d	
47	m		m		m	
	d		d		d	

3. Ergebnisse

Die Messergebnisse der externen apikalen Wurzelresorption mit Hilfe von Adobe Photoshop CS6 gewonnenen Ergebnisse wurden zuerst alle in der oben angeführten Tabelle (s. Tab. 2) festgehalten. Diese wurde nochmals in zwei kleinere Tabellen, jeweils eine für den Oberkiefer und Unterkiefer, unterteilt. So waren alle Ergebnisse der resorbierten Zahnwurzellänge übersichtlich untereinander aufgelistet. Dies vereinfachte die anschließenden Berechnungen für die daraus resultierenden statistischen Parameter.

Um das Ausmaß der externen apikalen Wurzelresorption an den Zähnen leichter erfassen zu können, wurde der Hintergrund einer Tabellenzelle farbig verändert, sobald das darin enthaltene Ergebnis eine zuvor festgelegte verlorengegangene Distanz überschritten hatte. Ab einer Distanz von 0,5 mm erhielt die betreffende Zelle die Hintergrundfarbe Gelb, ab 1 mm die Farbe Rot und ab 3 mm Dunkelrot.

3.1 Allgemeine Parameter

Wurzelresorptionsgruppe (Untersuchungsgruppe)

In der Wurzelresorptionsgruppe waren 55 Prozent der zu untersuchenden Patienten männlich und 45 Prozent der Patienten weiblich.

Das durchschnittliche Alter der Patienten zu Beginn der kieferorthopädischen Behandlung mit festsitzender Multibandapparatur betrug 15,1 Jahre. Hierbei wurde nur das Datum für die Berechnung verwendet, ab dem die Patienten vollbehandelt waren. Das durchschnittliche Alter bei der Entbänderung und damit Beendigung der Behandlung mit festsitzendem Multiband lag bei 17,4 Jahren. Daraus resultierte eine Behandlungsdauer mit einem Durchschnitt von 2,3 Jahren.

Bei wenigen Patienten wurde zu einem früheren Zeitpunkt bereits eine Teilbehandlung durchgeführt, diese wurde jedoch bei den Berechnungen nicht berücksichtigt.

Kontrollgruppe

In der Kontrollgruppe waren 38 Prozent der Patienten männlich und 62 Prozent weiblich. Zu Beginn der kieferorthopädischen Behandlung, also ab dem Datum der Vollbebänderung, betrug das durchschnittliche Alter 13,3 Jahre. Das durchschnittliche Alter bei der Entbänderung und damit am Ende der Behandlung, lag bei 15,2 Jahre. Somit betrug die gesamte durchschnittliche Behandlungsdauer 1,9 Jahre.

3.2 Gruppeneinteilung

Im Rahmen dieser Studie wurden insgesamt 550 Zähne vermessen. Jedoch sind davon 20 Zähne verworfen worden, da hier nur eine einzige Panoramaschichtaufnahme von dem jeweiligen Patienten vorhanden war. Wie bereits in der Methodik erklärt, war es infolgedessen bei diesen 20 Zähnen nicht möglich deren frühere Wurzellänge mit der aktuell vorhandenen Länge zu vergleichen sowie die Distanz der externen apikalen Wurzelresorption zu ermitteln.

Einteilung nach der lateinischen Nomenklatur

Nachdem die Aussortierung und die Zuordnung der einzelnen Patienten in die Wurzelresorptions- oder Kontrollgruppe erfolgt war, wurden im Anschluss die einzelnen Zähne nach deren lateinischen Nomenklatur in Gruppen des Oberkiefers oder des Unterkiefers eingeteilt. Für eine bessere Übersicht erhielten diese Gruppen die Namen Incisivi, Canini, Prämolares und Molares, welche in späterer Folge in weitere Untergruppen (medialis, lateralis, primus und secundus) eingeteilt wurden. Die Untergruppen mit der lateinischen Nomenklatur primus und secundus werden in den folgenden Kapiteln als erster und zweiter Prämolare oder Molare dargelegt, da diese beiden Bezeichnungen sprachlich häufiger in Verwendung sind. Bei den oberen und unteren Frontzähnen (Incisivi mediales und laterales, Canini) ist auf die zusätzliche Bezeichnung Dentes vorerst verzichtet worden.

In der Resorptionsgruppe sind für den Oberkiefer und den Unterkiefer insgesamt 306 Zähne vermessen worden. Davon waren 88 Zähne in der Gruppe der Incisivi,

welche sowohl die medialen als auch die lateralen Schneidezähne von beiden Kiefern beinhaltete. Die Gruppe der Canini umfasste für den Ober- und Unterkiefer insgesamt 44 Zähne. In der Gruppe der Prämolares waren insgesamt 88 Zähne vorhanden und auch hier wurden wie bei den Incisivi die ersten und zweiten Prämolaren von beiden Kiefern zusammengefasst. Auch in der letzten Gruppe wurden die ersten und zweiten Molaren von Ober- und Unterkiefer zusammengelegt, diese umfasste somit eine Gesamtanzahl von 86 Zähnen. Die dritten Molaren wurden wegen ihres unregelmäßigen Auftretens nicht in diese Studie miteingeschlossen. In der zuletzt genannten Gruppe war die Gesamtanzahl der Zähne um zwei vermindert, da bei diesen Patienten die zweiten Molaren im Oberkiefer im Laufe der kieferorthopädischen Behandlung entfernt worden waren. Des Weiteren wurden in der Resorptionsgruppe 20 Zähne aus der Studie ausgeschlossen, da bei diesen nur eine einzige Panoramaschichtaufnahme vorhanden war.

In der Kontrollgruppe betrug die Gesamtanzahl der vermessenen Zähne 224 Stück. Bei der Anzahl der Zähne in den folgenden Gruppen handelt es sich um die Summe von Oberkiefer und Unterkiefer. Die Gruppe der Incisivi, welche wie bei der Resorptionsgruppe die medialen und lateralen Schneidezähne beinhaltete, enthielt insgesamt 64 Frontzähne. In der Gruppe der Canini betrug die Gesamtanzahl 32 Eckzähne und die Gruppe der Prämolaren enthielt 60 Zähne, wobei auch hier die ersten und zweiten Prämolaren zusammengefasst worden waren. Die letzte Gruppe mit den Molaren umfasste 64 Stück und beinhaltete sowohl die ersten als auch die zweiten Molaren. Die dritten Molaren wurden wegen der oben genannten Begründung nicht mitvermessen.

Innerhalb der Kontrollgruppe wiesen zwei Patienten jeweils zwei Nichtanlagen der permanenten zweiten Prämolaren im Unterkiefer auf. Aufgrund des Bestehens der ersten Dentition, wurden deren physiologisch bedingten apikalen Wurzelresorptionen in einem eigenen Verfahren vermessen und deren Ergebnisse separat dokumentiert. Diese persistierenden Milchzähne wurden nicht zu der Gruppe der Praemolares hinzugezählt, sondern stellten eine eigene Gruppe mit einer Anzahl von 4 Zähnen dar.

Darüber hinaus mussten im Gegensatz zur Resorptionsgruppe keine weiteren Zähne aus der Kontrollgruppe ausgeschlossen werden.

3.3 Statistische Parameter

Um die unterschiedlichen Ergebnisse zwischen der Resorptionsgruppe und der Kontrollgruppe grafisch besser darstellen zu können, wurden deren Ergebnisse in Form von Boxplots dargestellt. Diese wurden mit Hilfe des Softwareprogrammes Microsoft Excel 2013 angefertigt. Damit Excel die verschiedenen Boxplots darstellen konnte, mussten zuvor statistische Parameter berechnet werden. Diese waren der Minimalwert, das erste Quartil, der Medianwert, das dritte Quartil und der Maximalwert.

Der Minimalwert gab den kleinsten Zellenwert innerhalb einer Tabelle mit Ergebnissen wieder. Dieser stellte die unterste Grenze für jeden Ausreißer dar und war zugleich das äußere Ende der negativen Antenne des Boxplots.

Das erste Quartil, auch unteres Quartil genannt, stellte den Grenzwert zwischen dem ersten Viertel und dem zweiten Viertel der Ergebnisse dar.

Dies bedeutete, dass 25% der Ergebnisse kleiner oder gleich dem Wert des ersten Quartils waren.

Der Medianwert, der auch manchmal als das zweite Quartil bezeichnet wird, kennzeichnete den Grenzwert zwischen dem zweiten Viertel und dem dritten Viertel. Damit teilte der Medianwert die Datenreihe genau in der Mitte in zwei gleich große Hälften. Somit waren 50% der Ergebnisse kleiner oder gleich dem Medianwert.

Das dritte Quartil, ebenso das obere Quartil genannt, war der Grenzwert zwischen dem dritten Viertel und letzten oberen Viertel. Somit waren 75% der Ergebnisse kleiner oder gleich diesem Grenzwert.

Der Maximalwert entsprach automatisch dem höchsten Zellenwert innerhalb einer Tabelle mit Ergebnissen. Damit repräsentierte er die oberste Grenze für jeden Ausreißer innerhalb eines Boxplots und stellte gleichzeitig das äußerste Ende der positiven Antenne dar.

Nach der Erhebung dieser statistischen Parameter mussten noch die Strecke (Streuweite) für die negative und positive Antenne des Boxplots, auch als Whisker bezeichnet, errechnet werden. Mit deren Hilfe wurden alle Werte außerhalb der Box, welche dann als Ausreißer bezeichnet werden, erfasst. Die Box selbst, die durch das erste und dritte Quartil begrenzt wird, enthielt somit nur die Ergebnisse mit einer zentralen Streuung um den Medianwert. Für das Errechnen der Streuweite der negativen Antenne, musste der Wert des ersten Quartils von dem Wert des Minimalwertes subtrahiert werden. Das Ausrechnen für die Streuweite der positiven Antenne erfolgte auf dieselbe Weise, hierfür wurde der Maximalwert vom Wert des dritten Quartils subtrahiert.

Nach dem Errechnen dieser statistischen Parameter, konnten nun im Softwareprogramm Excel 2013 für die oben genannten Gruppen der Resorptions- und Kontrollgruppe Boxplots grafisch umgesetzt werden. Für die Box selbst wurde zuerst ein gestapeltes Säulendiagramm erstellt, wobei der Wert vom ersten Quartil und die beiden Differenzwerte vom Medianwert zum ersten Quartil und vom dritten Quartil zum Medianwert markiert sein mussten. Als letzten Schritt sind unter den Optionseinstellungen die *Fehlerindikation* und weiter unter der *Standardabweichung* die Werte der beiden Antennen eingefügt worden.

3.4 Ergebnisse der einzelnen Gruppen im Oberkiefer

In den unten angeführten Boxplots wurden die Ergebnisse der jeweiligen Gruppe von der Resorptions- und Kontrollgruppe direkt nebeneinander veranschaulicht. Dabei gab die Y-Achse das Ausmaß der Resorption in absoluten Zahlen wieder. Deren Maßeinheit entsprach dem Millimeter. Die X-Achse beinhaltete die Beschriftung für die jeweilige Box der Resorptions- und Kontrollgruppe. Die auf der X-Achse abgebildete Abkürzung WR steht für die Wurzelresorptionsgruppe und das Kürzel KO für die Kontrollgruppe.

3.4.1 Incisivus medialis und lateralis

Incisivus medialis

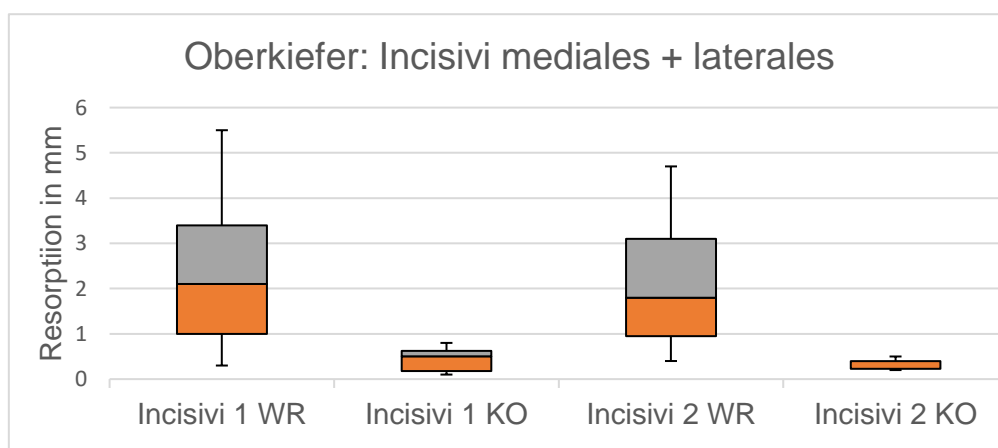
Die Gesamtanzahl der mittleren Schneidezähne (Incisivi medialis) im Oberkiefer, welche im unten angeführten Boxplot (s.Fig.1) als Incisivi 1 bezeichnet wurden,

betrug für die Wurzelresorptionsgruppe 22 Zähne und für die Kontrollgruppe 16 Zähne. In der Wurzelresorptionsgruppe waren davon 13 Zähne von der apikalen Wurzelverkürzung betroffen, während es hingegen in der Kontrollgruppe 8 Zähne waren.

In der Wurzelresorptionsgruppe lag der Medianwert bei 2,1 mm und die Standardabweichung ergab einen Wert von 1,54 mm. Die positive Antenne hatte einen maximalen Ausreißer von 5,5 mm und die negative Antenne einen minimalen Ausreißer von 0,3 mm. Das erste Quartil hatte einen Wert von 1 mm, und das dritte Quartil wies einen Wert von 3,4 mm auf.

Demgegenüber lag in der Kontrollgruppe der Medianwert bei 0,5 mm und die Standardabweichung betrug 0,28 mm. Die positive Antenne ergab einen Maximalwert von 0,8 mm und die negative Antenne hatte einen Minimalwert von 0,1 mm. Das erste Quartil hatte einen Wert von 0,18 mm. Demgegenüber wies das dritte Quartil einen Wert von 0,63 mm auf.

Die unterschiedliche Auswirkung der externen apikalen Wurzelverkürzung auf die Resorptionsgruppe und die Kontrollgruppe war signifikant und ist deutlich erkennbar in Figur 1 dargestellt.



Figur 1.: Vergleich der mittleren (ersten) und seitlichen (zweiten) Schneidezähne (Incisivi) von der Resorptionsgruppe (WR) mit der Kontrollgruppe (KO).

Incisivus lateralis

Ebenso wurden im oben angeführten Boxplot die Ergebnisse aus den zwei Gruppen vom Incisivus lateralis (seitlicher Schneidezahn) miteinander verglichen (s. Fig.1.).

Die Gesamtanzahl der seitlichen Schneidezähne im Oberkiefer, die auf der horizontalen Achse des Boxplots als Incisivi 2 bezeichnet wurden, betrug in der Wurzelresorptionsgruppe 22 Zähne und in der Kontrollgruppe 16 Zähne. Davon waren in der Wurzelresorptionsgruppe 19 Zähne und in der Kontrollgruppe 10 Zähne von der externen apikalen Wurzelresorption betroffen.

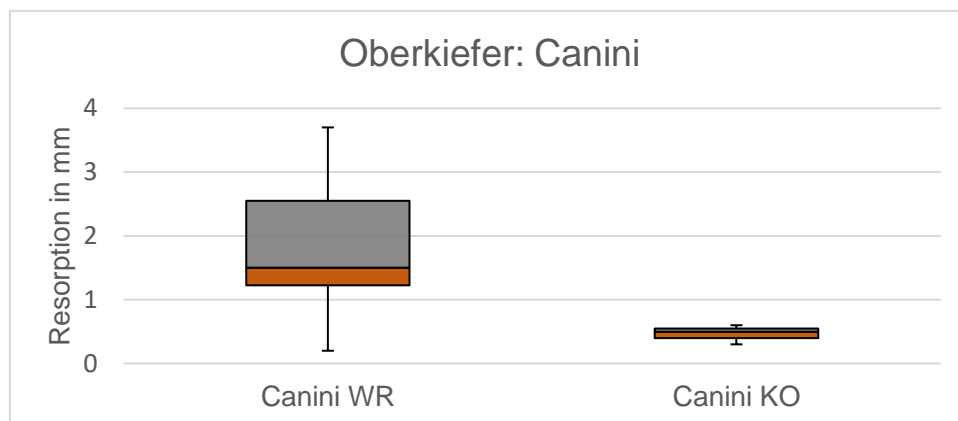
In der Wurzelresorptionsgruppe lag der Medianwert bei 1,8 mm und die Standardabweichung betrug 1,27 mm. Der Maximalwert an der positiven Antenne hatte den Wert von 4,7 mm und der Minimalwert an der negativen Antenne wies einen Betrag von 0,4 mm auf. Das erste Quartil lag bei 0,95 mm und entgegen dazu hatte das dritte Quartil einen Betrag von 3,1 mm.

In der Kontrollgruppe hatte der Medianwert einen Betrag von 0,4 mm und deren Standardabweichung betrug 0,11 mm. Der maximale Ausreißer an der positiven Antenne lag bei 0,5 mm und der Minimalwert an der negativen Antenne wies ein Ergebnis von 0,2 mm auf. Des Weiteren lag die obere Grenze für das erste Quartil bei 0,23 mm und für das dritte Quartil bei 0,4 mm.

Der Unterschied zwischen der Resorptions- und Kontrollgruppe ist auch anhand der beiden oben angeführten Boxplots (s.Fig.1) signifikant erkennbar.

3.4.2 Caninus

Im unten angeführten Boxplot sind die Strecken der resorbierten Eckzahnwurzellängen vom ersten und zweiten Quadranten miteinander verglichen worden (s. Fig. 2).



Figur 2.: Ergebnisse der beiden Eckzähne im Oberkiefer und Vergleich der Wurzelresorptionsgruppe (WR) mit der Kontrollgruppe (KO).

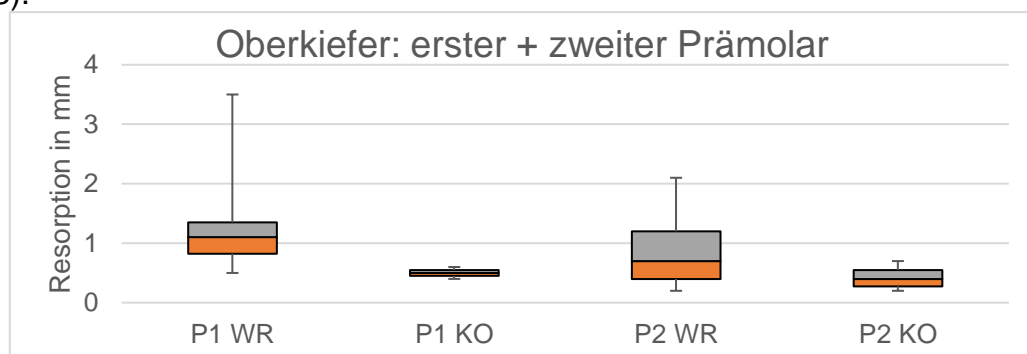
Die auf der X-Achse vorhandenen beiden Eckzahngruppen erhielten den Namen Canini, benannt nach ihrer Pluralform. Die Gesamtanzahl der Eckzähne betrug für die Wurzelresorptionsgruppe (WR) 22 Zähne und für die Kontrollgruppe (KO) 16 Zähne. Hiervon wiesen 10 Zähne in der Wurzelresorptionsgruppe eine apikale Verkürzung auf, während in der Kontrollgruppe 3 Zähne davon betroffen waren. Innerhalb der Wurzelresorptionsgruppe hatte der Median einen Wert von 1,5 mm und die Standardabweichung lag bei 1,1 mm. Des Weiteren hatte der Maximalwert an der positiven Antenne einen Wert von 3,7 mm. Demgegenüber hatte der niedrigste Wert an der negativen Antenne einen Betrag von 0,2 mm. Des Weiteren wies das erste Quartil einen Betrag von 1,2 mm auf und das dritte Quartil einen Betrag von 2,6 mm.

Im Gegensatz dazu hatte in der Kontrollgruppe der Eckzähne der Medianwert einen Betrag von 0,5 mm und die Standardabweichung betrug für diese Gruppe 0,15 mm. Der größte Ausreißer an der positiven Antenne hatte einen maximalen Wert von 0,6 mm, wohingegen der Minimalwert an der negativen Antenne einen Betrag von 0,3 mm aufwies. Die obere Grenze des ersten Quartils lag bei 0,4 mm und die des dritten Quartils lag bei einem Wert von 0,55 mm.

Die unterschiedlichen Auswirkungen von festsitzenden Apparaturen auf die Wurzelresorptionsgruppe und die Kontrollgruppe der Eckzähne im Oberkiefer sind signifikant erkennbar(s. Fig. 2).

3.4.3 Dentis Praemolares

Die Ergebnisse des ersten (primus) und zweiten (secundus) Prämolars im ersten und zweiten Quadranten wurden im unten angeführten Boxplot veranschaulicht (s.Fig.3).



Figur 3: Ergebnisse des ersten (P1) und zweiten (P2) Prämolars im Oberkiefer.

Die auf der X- Achse stehende Abkürzung P1 steht für den ersten Prämolare und P2 für den zweiten Prämolare. Diese Bezeichnungen sind auch für beide Prämolaren im Unterkiefer verwendet worden. Die Gesamtanzahl aller vermessenen Zähne betrug in der Wurzelresorptionsgruppe (WR) des ersten Prämolars 22 Zähne und in dessen Kontrollgruppe (KO) 16 Zähne. Ebenso betrug die Gesamtanzahl für den zweiten Prämolare in der Wurzelresorptionsgruppe 22 Zähne und in dessen Kontrollgruppe 16 Zähne.

Erster Prämolare: Ergebnisse der Wurzel- und Kontrollgruppe

In der Wurzelresorptionsgruppe des ersten Prämolars waren von den 22 Zähnen insgesamt 10 Stück von der externen apikalen Wurzelresorption betroffen, während von der gesamten Anzahl der Kontrollgruppe lediglich 2 Zähne eine Wurzelverkürzung aufwiesen.

Des Weiteren lag der Medianwert der Wurzelresorptionsgruppe bei 1,1 mm und die Standardabweichung erreichte einen Betrag von 0,77 mm. Der höchste Ausreißer an der positiven Antenne hatte einen Wert von 3,5 mm. Demgegenüber wies der Minimalwert an der negativen Antenne einen Betrag von 0,5 mm auf. Die obere Grenze des ersten Quartils lag bei 0,83 mm. Der Betrag des dritten Quartils betrug 1,35 mm.

In der Kontrollgruppe des ersten Prämolars hatte der Medianwert einen Wert von 0,5 mm und wies eine Standardabweichung von 0,14 mm auf. Der Maximalwert an der positiven Antenne in dieser Gruppe lag bei 0,6 mm. Der Minimalwert an der negativen Antenne hatte einen Betrag von 0,4 mm. Das erste Quartil ergab einen Wert von 0,45 mm und das dritte Quartil wies einen Betrag von 0,55 mm auf.

Die unterschiedlichen Resultate der Wurzel- und Kontrollgruppen des ersten Prämolars sind signifikant erkennbar (s.Fig.3).

Zweiter Prämolare: Ergebnisse der Wurzel- und Kontrollgruppe

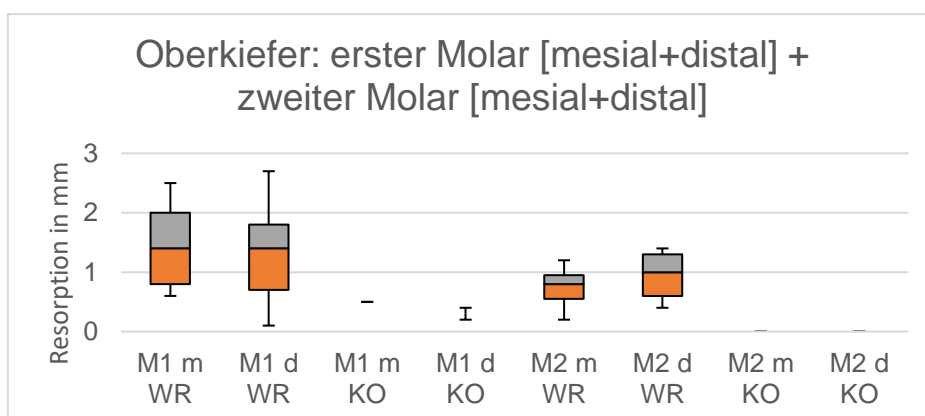
In der Gruppe des zweiten Prämolars waren in der Wurzelresorptionsgruppe 9 Zähne von der externen apikalen Wurzelverkürzung betroffen, während es in dessen Kontrollgruppe lediglich 4 Zähne waren.

Innerhalb der Wurzelresorptionsgruppe des zweiten Prämolars lag der Medianwert bei 0,7 mm und die Standardabweichung hatte einen Betrag von 0,68 mm. Der Maximalwert an der positiven Antenne wies einen Betrag von 2,1 mm auf. An der negativen Antenne lag der Wert für den Minimalwert bei 0,2 mm. Die obere Grenze für das erste Quartil lag bei 0,4 mm. Der Betrag für das dritte Quartil wies einen Wert von 1,2 mm auf.

In der Kontrollgruppe des zweiten Prämolars lag der Medianwert bei 0,4 mm und deren Standardabweichung hatte einen Betrag von 0,22 mm. Der höchste Ausreißer an der positiven Antenne lag bei 0,7 mm, während die negative Antenne einen Minimalwert von 0,2 mm aufwies. Hier lag die obere Grenze für das erste Quartil bei 0,28 mm. Der Betrag für das dritte Quartil lag bei 0,55 mm. So wie die Differenz der beiden Gruppen des ersten Prämolars auch deutlich zu erkennen ist, so sind auch hier die unterschiedlichen Auswirkungen auf die Wurzel- und Kontrollgruppe des zweiten Prämolars signifikant (s.Fig.3).

3.4.4 Dentales Molares

Im unten angeführten Diagramm wurden die gemessenen Daten des ersten (primus) und zweiten (secundus) Molars vom ersten und zweiten Quadranten miteinander verglichen (s. Fig. 4). Dabei wurden die Ergebnisse der jeweiligen Wurzel- und Kontrollgruppe zusätzlich in die mesiale und distale Wurzel



Figur 4: Ergebnisse der Wurzelresorptionsgruppe (WR) und der Kontrollgruppe (KO) des ersten Molaren (M1) und des zweiten Molaren (M2). Diese wurden in nach der mesialen (m) und distalen (d) Wurzel aufgeteilt.

unterteilt. Die palatinale Wurzel wurde im Rahmen dieser Studie nicht vermessen.

Die Gesamtanzahl von allen vermessenen mesialen Wurzeln in der Wurzelresorptionsgruppe betrug für den ersten Molar 22 Stück und für den zweiten Molaren 20 Stück. Im Gegensatz dazu betrug die Anzahl der Wurzeln in der Kontrollgruppe sowohl beim ersten Molar als auch beim zweiten Molar jeweils 16 Stück.

Die gesamte Anzahl der distalen Wurzeln hatte in der Wurzelresorptionsgruppe des ersten Molars einen Betrag von 22 Wurzeln und in dessen Kontrollgruppe einen Betrag von 16 Wurzeln. Demgegenüber wurden in der Wurzelresorptionsgruppe des zweiten Molars 20 Wurzeln und in dessen Kontrollgruppe 16 Wurzeln vermessen.

In der Wurzelresorptionsgruppe des zweiten Molars wurden zwei Stück an Zähnen weniger vermessen worden, da diese im Laufe der kieferorthopädischen Behandlung extrahiert wurden.

Mesiale und distale Wurzel des ersten Molars

In der Wurzelresorptionsgruppe des ersten Molars waren 9 der mesialen Wurzeln und 13 der distalen Wurzeln von der Wurzelverkürzung betroffen. Der Medianwert hatte bei der mesialen Wurzel einen Wert von 1,4 mm und wies auch bei der distalen Wurzel einen Betrag von 1,4 mm auf. Die Standardabweichung für die mesiale Wurzel betrug 0,72 mm und für die distale Wurzel 0,78 mm. Des Weiteren betrug der Maximalwert an der positiven Antenne für die mesiale Wurzel 2,5 mm und für die distale Wurzel 2,7 mm. Der Minimalwert an der negativen Antenne wies an der mesialen Wurzel eine Größe von 0,6 mm und bei der distalen Wurzel eine Größe von 0,1 mm auf. Der Wert des ersten Quartils betrug für die mesiale Wurzel 0,8 mm und bei der distalen Wurzel waren ein Viertel der Ergebnisse kleiner oder gleich groß als 0,7 mm. Der Betrag des dritten Quartils war bei der mesialen Wurzel 2 mm und bei der distalen Wurzel waren drei Viertel der Ergebnisse kleiner oder gleich 1,8 mm.

In der Kontrollgruppe des ersten Molars waren 3 der mesialen Wurzeln und 5 der distalen Wurzeln von der apikalen Wurzelresorption betroffen. An der mesialen

Wurzel wies der Medianwert einen Betrag von 0,5 mm auf und an der distalen Wurzel einen Wert von 0,3 mm. Die Standardabweichung betrug für die mesiale Wurzel 0 mm und für die distale Wurzel 0,07 mm. Der Maximalwert an der positiven Antenne war bei der mesialen Wurzel 0,5 mm und bei der distalen Wurzel 0,4 mm. Der höchste Ausreißer an der negativen Antenne betrug für die mesiale Wurzel 0,5 mm und für die distale Wurzel 0,2 mm. Das erste Quartil hatte an der mesialen Wurzel einen Wert von 0,5 mm und an der distalen Wurzel 0,3 mm. Weiteres waren drei Viertel der Ergebnisse von der mesialen Wurzel kleiner oder gleich groß als 0,5 mm und bei der distalen Wurzel wies das dritte Quartil einen Wert von 0,3 mm auf.

Die unterschiedliche Auswirkung der externen apikalen Wurzelresorption auf die Wurzelresorptions- und Kontrollgruppe des ersten Molars ist hier signifikant erkennbar (s.Fig.4).

Die mesiale und distale Wurzel des zweiten Molars

In der Wurzelresorptionsgruppe des zweiten Molars waren 7 der mesialen Wurzeln und 5 der distalen Wurzeln von der apikalen Wurzelverkürzung betroffen. Der Medianwert hatte an der mesialen Wurzel einen Wert von 0,8 mm und an der distalen Wurzel einen Wert von 1 mm. Des Weiteren betrug die Standardabweichung für die mesiale Wurzel 0,36 mm und für die distale Wurzel 0,43 mm. Der größte Ausreißer an der positiven Antenne betrug an der mesialen Wurzel 1,2 mm und an der distalen Wurzel 1,4 mm. Im Gegensatz dazu wies der höchste Ausreißer an der negativen Antenne einen Betrag von 0,2 mm an der mesialen Wurzel und 0,4 mm an der distalen Wurzel auf. Von der mesialen Wurzel waren ein Viertel der Ergebnisse kleiner oder gleich groß als 0,55 mm und an der distalen Wurzel hatte das erste Quartil einen Wert von 0,6 mm. Das dritte Quartil hatte an der mesialen Wurzel einen Betrag von 0,95 mm und drei Viertel der Werte von der distalen Wurzel wiesen einen Wert kleiner oder gleich groß als 1,3 mm auf.

Im Gegensatz dazu waren in der Kontrollgruppe des zweiten Molars sowohl keine der mesialen als auch keine der distalen Wurzeln von der apikalen Wurzelresorption betroffen. Aus diesem Grund waren die Werte für den

Medianwert, die Standardabweichung, den Maximal- und Minimalwert, das erste und dritte Quartil gleich 0 mm und es konnte kein Boxplot für die mesiale und distale Wurzel erstellt werden.

Die unterschiedliche Auswirkung der externen apikalen Wurzelresorption auf die Wurzelresorptions- und Kontrollgruppe des zweiten Molars waren signifikant (s.Fig.4).

3.5 Ergebnisse der einzelnen Gruppen im Unterkiefer

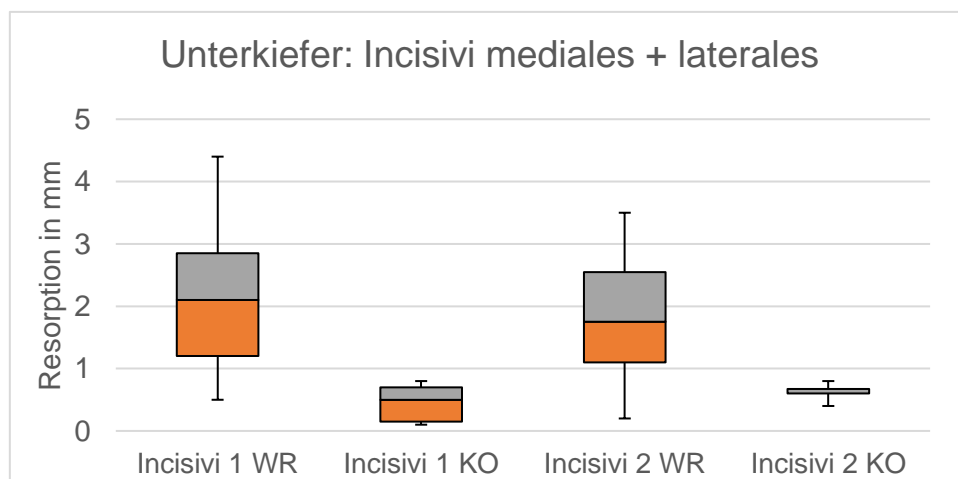
In den unten angeführten Boxplots wurden die Wurzelresorptionsgruppen mit deren Kontrollgruppe in den jeweiligen Zahngruppen miteinander verglichen.

Die Art der Beschriftung für die X- und Y- Achse der Unterkiefer Boxplots erfolgte auf dieselbe Weise wie die Beschriftung der Oberkiefer Boxplots (s.3.4.).

3.5.1 Incisivus medialis und lateralis

Die errechneten Ergebnisse der Wurzelresorptionsgruppe und der Kontrollgruppe für den mittleren, dem Incisivus medialis, und den seitlichen Schneidezahn, dem Incisivus lateralis, im Unterkiefer wurden in den unten angeführten Boxplots miteinander veranschaulicht (s. Fig. 5).

Die Gesamtanzahl des mittleren Schneidezahns, der in Fig.5 als Incisivi 1



Figur 5: Vergleich der Ergebnisse der Wurzelresorptionsgruppe (WR) zu deren Kontrollgruppe (KO) von den mittleren Schneidezähne (Incisivi 1) und den seitlichen Schneidezähne (Incisivi 2).

bezeichnet wird, betrug in der Wurzelresorptionsgruppe 22 Zähne und in der Kontrollgruppe 16 Zähne.

Die Gesamtanzahl des seitlichen Schneidezahns, die in dem oben angeführten Boxplot als Incisivi 2 beschriftet wird, betrug in der Wurzelresorptionsgruppe 22 Zähne und in der Kontrollgruppe 16 Zähne.

Incisivus medialis

In der Wurzelresorptionsgruppe des Incisivus medialis waren 19 Zähne von der Wurzelverkürzung betroffen. Dessen Medianwert lag bei 2,1 mm und die Standardabweichung bei 1,1 mm. Der Maximalwert an der positiven Antenne hatte einen Wert von 4,4 mm. Im Gegensatz dazu lag der Minimalwert an der negativen Antenne bei 0,5 mm. Ein Viertel der Ergebnisse war kleiner oder gleich groß als 1,2 mm. Demgegenüber wies das dritte Quartil einen Betrag von 2,9 mm auf.

In der Kontrollgruppe des Incisivus medialis waren 7 Zähne von der Wurzelresorption betroffen. Der Medianwert hatte einen Betrag von 0,5 mm und die Standardabweichung wies einen Wert von 0,31 mm auf. Des Weiteren stellte der Maximalwert von 0,8 mm an der positiven Antenne den größten Ausreißer dar. Der Minimalwert an der negativen Antenne lag dagegen bei 0,1 mm. Die obere Grenze des ersten Quartils lag bei 0,15 mm, wohingegen drei Viertel der Ergebnisse kleiner oder gleich groß als 0,7 mm waren.

Die unterschiedlichen Auswirkungen auf die Wurzel- und Kontrollgruppe waren signifikant (s.Fig.5).

Incisivus lateralis

In der Wurzelresorptionsgruppe des Incisivus lateralis waren 20 Zähne von der apikalen Wurzelverkürzung betroffen. Zudem wies der Medianwert einen Wert von 1,8 mm auf und die Standardabweichung lag bei 0,96 mm. Der Maximalwert an der positiven Antenne lag in dieser Gruppe bei 3,5 mm. Der Minimalwert an der negativen Antenne hatte einen Betrag von 0,2 mm. Des Weiteren hatte das erste Quartil einen Betrag von 1,1 mm, während drei Viertel der errechneten Daten kleiner oder gleich groß als 2,6 mm waren.

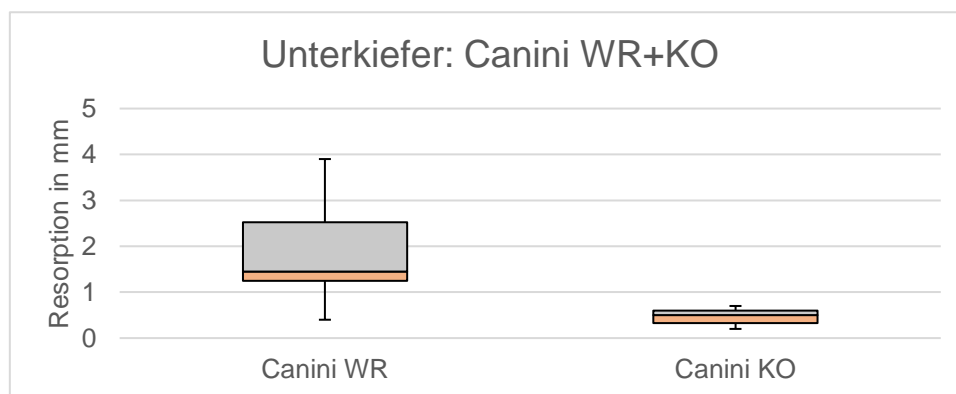
In der Kontrollgruppe des Incisivus lateralis waren insgesamt 6 Zähne von der apikalen Wurzelresorption betroffen. Deren Medianwert lag bei einem Wert von

0,6 mm und deren Standardabweichung bei 0,13 mm. Der größte Ausreißer an der positiven Antenne lag bei 0,8 mm. Im Gegensatz dazu lag der Minimalwert an der negativen Antenne bei 0,4 mm. Ein Viertel der errechneten Daten waren kleiner oder gleich groß als 0,6 mm, während der Betrag für die obere Grenze des dritten Quartils bei 0,67 mm lag.

Auch hier war der Unterschied zwischen diesen beiden Gruppen des Incisivus lateralis signifikant.

3.5.2 Caninus

Insgesamt wurden in der Wurzelresorptionsgruppe 22 Eckzähne vermessen, von diesen waren 10 Stück von der apikalen Wurzelresorption betroffen. In der Kontrollgruppe betrug die Gesamtanzahl der vorhandenen Eckzähne 16 Stück, wobei 3 Zähne von der Wurzelverkürzung betroffen waren.



Figur 6.: Ergebnisse der Wurzelresorptionsgruppe (WR) mit der Kontrollgruppe (KO) der Eckzähne (Canini) im Unterkiefer.

Diese beiden Gruppen wurden in den oben angeführten Boxplots miteinander verglichen (s. Fig. 6).

In der Wurzelresorptionsgruppe der unteren Eckzähne hatte der Medianwert einen Betrag von 1,45 mm und die Standardabweichung lag bei 1,1 mm. Der höchste Wert an der positiven Antenne betrug 3,9 mm. Im Gegensatz dazu war der Minimalwert an der negativen Antenne bei einem Betrag von 0,4 mm. Ein Viertel der errechneten Ergebnisse war kleiner oder gleich groß 1,25 mm, wohingegen der Betrag für das dritte Quartil bei 2,5 mm lag.

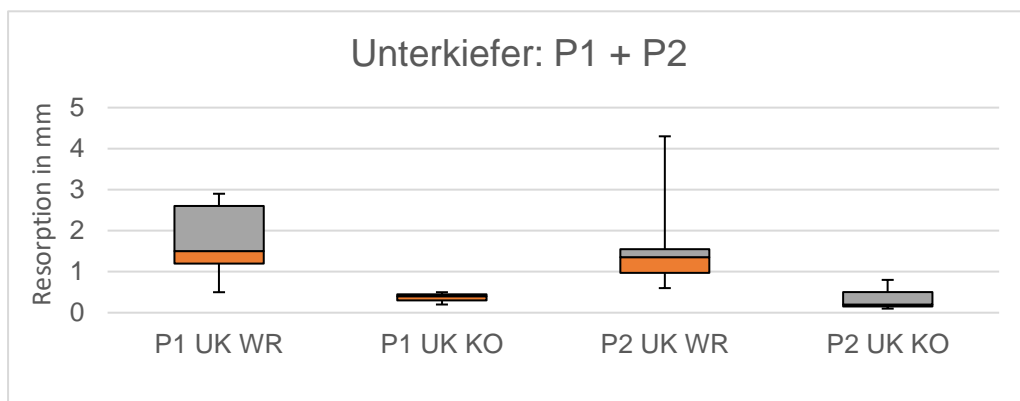
Demgegenüber lag der Medianwert der Kontrollgruppe der unteren Eckzähne bei 0,5 mm und deren Standardabweichung betrug 0,2 mm. Der Maximalwert an der

positiven Antenne wies einen Wert von 0,7 mm auf, während der Minimalwert an der negativen Antenne bei einem Wert von 0,2 lag. Des Weiteren waren ein Viertel der Ergebnisse kleiner oder gleich groß als 0,33 mm. Die obere Grenze für das dritte Quartil lag bei 0,6 mm.

Das unterschiedliche Ausmaß der externen apikalen Wurzelresorption auf die Wurzel- und Kontrollgruppe der unteren Eckzähne war signifikant (s.Fig.6).

3.5.3 Dentis Praemolares

Die Ergebnisse der Wurzelresorptions- und Kontrollgruppe des ersten und zweiten Prämolars wurden mit Hilfe von Boxplots miteinander verglichen (s. Fig. 7.).



Figur 7: Ergebnisse der Wurzelresorptionsgruppe (WR) und der Kontrollgruppe (KO) der ersten (P1) und zweiten (P2) Prämolaren.

In der Wurzelresorptionsgruppe betrug die Gesamtanzahl der vermessenen Zähne sowohl für den ersten als auch für den zweiten Prämolaren insgesamt 22 Stück. Im Gegensatz dazu lag die Gesamtanzahl der vermessenen Zähne in der Kontrollgruppe des ersten Prämolars bei 16 Zähnen und in der Kontrollgruppe des zweiten Prämolars bei 12 Zähnen. Im letzteren Fall fehlten insgesamt 4 zweite Prämolaren, da diese nicht angelegt waren sondern stattdessen die persistierenden Milchzähne vorhanden waren (s.Kap.3.6.). Die Anzahl der Zähne, welche von der apikalen Wurzelverkürzung betroffen waren, lag in der Wurzelresorptionsgruppe des ersten Prämolars bei 9 Zähnen und beim zweiten Prämolaren bei 8 Zähnen. Die betroffene Anzahl innerhalb der Kontrollgruppe lag sowohl beim ersten Prämolaren als auch beim zweiten Prämolaren bei insgesamt 3 Zähnen.

Erster Prämolare: Ergebnisse der Wurzelresorptions- und Kontrollgruppe

In der Wurzelresorptionsgruppe des ersten Prämolars lag der Medianwert bei 1,5 mm und dessen Standardabweichung betrug 0,87 mm. Der maximale Wert an der positiven Antenne lag bei 2,9 mm, während der Minimalwert an der negativen Antenne einen Wert von 0,5 mm aufwies. Ein Viertel der Ergebnisse war kleiner oder gleich groß als 1,2 mm, während der Betrag für die obere Grenze des dritten Quartils bei 2,6 mm lag.

Im Gegensatz dazu lagen in dessen Kontrollgruppe der Medianwert bei 0,4 mm und die Standardabweichung bei 0,15 mm. Der maximale Ausreißer an der positiven Antenne hatte einen Betrag von 0,5 mm, während auf der anderen Seite der Minimalwert an der negativen Antenne bei 0,2 mm lag. Das erste Quartil wies einen Wert von 0,3 mm auf, während drei Viertel der Ergebnisse kleiner oder gleich groß als 0,45 mm waren.

Eine Differenz dieser Wurzelresorptions- und Kontrollgruppe ist signifikant erkennbar (s.Fig.7).

Zweiter Prämolare: Ergebnisse der Wurzelresorptions- und Kontrollgruppe

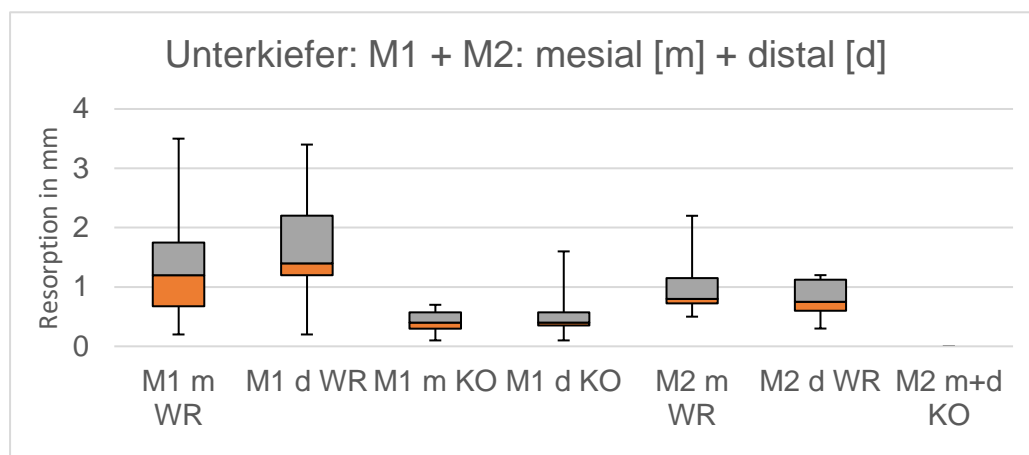
In der Wurzelresorptionsgruppe des zweiten Prämolars wies der Medianwert einen Betrag von 1,35 mm auf und die Standardabweichung lag bei 0,38 mm. Der Maximalwert an der positiven Antenne hatte einen Wert von 4,3 mm, während der Wert für den Minimalwert an der negativen Antenne 0,6 mm betrug. Ein Viertel der Ergebnisse war kleiner oder gleich groß als 0,98 mm. Demgegenüber lag der Betrag für die obere Grenze des dritten Quartils bei 1,55 mm.

In der Kontrollgruppe des zweiten Prämolars wies der Medianwert einen Betrag von 0,2 mm auf und dessen Standardabweichung lag bei 0,38 mm. Der maximale Ausreißer an der positiven Antenne war bei 0,8 mm und der Minimalwert an der negativen Antenne hatte einen Betrag von 0,1 mm. Der Wert für die obere Grenze des ersten Quartils lag bei 0,15 mm, während die obere Grenze für das dritte Quartil bei 0,5 mm lag.

Das unterschiedliche Ausmaß der externen apikalen Wurzelverkürzung der Wurzelresorptions- und Kontrollgruppe des zweiten Prämolars war, wie auch beim ersten Prämolars, signifikant (s.Fig.7).

3.5.4 Dentales Molares

Die Ergebnisse für die Wurzelresorptions- und Kontrollgruppe der ersten Molaren (M1) und zweiten Molaren (M2) im Unterkiefer wurden in den unten angeführten Boxplots miteinander verglichen (s. Fig. 8). Wie auch bei den beiden Molaren im Oberkiefer, wurden die erhobenen Daten der beiden unteren Molaren anhand ihrer mesialen (m) und distalen (d) Wurzeln nochmals unterteilt.



Figur 8: Ergebnisse der Wurzelresorptionsgruppe (WR) und der Kontrollgruppe (KO) der ersten (M1) und zweiten (M2) Molaren im Unterkiefer. Die Unterteilung erfolgte nach der mesialen (m) und distalen (d) Wurzel.

Die Gesamtanzahl aller vermessen mesialen und distalen Wurzeln betrug in der Wurzelresorptionsgruppe des ersten Molars jeweils 22 Stück und für den zweiten Molaren ebenfalls jeweils 22 Stück. In der Kontrollgruppe betrug die Summe aller mesialen und distalen Wurzeln sowohl für den ersten Molar als auch für den zweiten Molar jeweils 16 Stück.

Die Mesiale und distale Wurzel des ersten Molars

In der Wurzelresorptionsgruppe des ersten Molars wiesen von der mesialen Wurzel 16 Stück und von der distalen Wurzel 17 Stück apikale Resorptionen an der Zahnwurzel auf. Der Medianwert lag für die mesiale Wurzel bei 1,2 mm und für die distale Wurzel bei 1,4 mm. Dessen Standardabweichung betrug 0,9 mm

an der mesialen und 0,89 mm an der distalen Wurzel. Der maximale Ausreißer an der positiven Antenne lag für die mesiale Wurzel bei 3,5 mm und für die distale Wurzel bei 3,4 mm, während der Betrag für den Minimalwert an der negativen Antenne sowohl für die mesiale Wurzel als auch für die distale Wurzel 0,2 mm betrug. Der Wert für das erste Quartil lag an der mesialen Wurzel bei 0,68 mm und an der distalen Wurzel bei 1,2 mm. Das dritte Quartil wies für die mesiale Wurzel einen Betrag von 1,75 mm auf und für die distale Wurzel einen Betrag von 3,4 mm.

In der Kontrollgruppe des ersten Molars waren 6 Stück der mesialen Wurzel und 8 Stück der distalen Wurzel von der apikalen Wurzelresorptionsgruppe betroffen. Der Medianwert lag sowohl für die mesiale als auch für die distale Wurzel bei 0,4 mm. Dessen Standardabweichung betrug für die mesiale Wurzel 0,22 mm und für die distale Wurzel 0,47 mm. Der Maximalwert an der positiven Antenne betrug 0,7 mm an der mesialen Wurzel und an der distalen Wurzel 1,6 mm. Im Gegensatz dazu wies der Minimalwert an der negativen Antenne für beide Wurzeln einen Betrag von 0,1 mm auf. Das erste Quartil lag an der mesialen Wurzel bei 0,3 mm und an der distalen Wurzel bei 0,35 mm. Die Werte für das dritte Quartil lagen für die mesiale Wurzel bei 0,5 mm und für die distale Wurzel bei 0,57 mm.

Das unterschiedliche Ausmaß der Wurzelverkürzungen auf die Wurzelresorptions- und Kontrollgruppe der mesialen und distalen Wurzeln des ersten Molars war signifikant (s.Fig.8).

Die mesiale und distale Wurzel des zweiten Molars

In der Wurzelresorptionsgruppe des zweiten Molars waren vier der mesialen und sechs der distalen Wurzeln von der apikalen Wurzelverkürzung betroffen. Der Medianwert wies einen Betrag von 0,8 an der mesialen Wurzel und 0,75 mm an der distalen Wurzel auf. Dessen Standardabweichung lag für die mesiale Wurzel bei 0,8 mm und für die distale Wurzel bei 0,36 mm. Der maximale Ausreißer an der positiven Antenne wies für die mesiale Wurzel einen Wert von 2,2 mm auf und an der distalen Wurzel einen Betrag von 1,2 mm. Des Weiteren hatte der Minimalwert an der negativen Antenne an der mesialen Wurzel einen Betrag von

0,5 mm und an der distalen Wurzel einen Betrag von 0,3 mm. Der Wert für die obere Grenze des ersten Quartils lag für die mesiale Wurzel bei 0,72 mm und für die distale Wurzel bei 0,6 mm. Im Gegensatz dazu hatte das dritte Quartil an der mesialen Wurzel einen Wert von 1,2 mm und an der distalen Wurzel einen Wert von 1,1 mm.

In der Kontrollgruppe des zweiten Molars waren weder die mesialen noch die distalen Wurzeln von einer apikalen Wurzelresorption betroffen. Somit waren die Werte für den Medianwert, die Standardabweichung, den Maximal- und Minimalwert, das erste und dritte Quartil gleich null.

Die Differenz der apikalen Wurzelverkürzung auf die Wurzelresorptions- und Kontrollgruppe der mesialen und distalen Wurzeln des zweiten Molars war signifikant (s.Fig.8).

3.6 Ergebnisse der persistierenden Milchzähne

In der Kontrollgruppe waren insgesamt vier persistierende Milchzähne vorhanden, da deren zweite Dentition nicht angelegt war. Hier waren nur die zweiten Prämolaren im Unterkiefer von dieser Aplasie betroffen. Auch wenn die apikale Wurzelverkürzung bei der ersten Dentition physiologisch bedingt ist, wurden deren resorbierten Längen an der mesialen und distalen Milchzahnwurzeln in Rahmen dieser Studie mitvermessen. Die Behandlungszeit betrug vom Datum der ersten Panoramaschichtaufnahme bis hin zum Datum der zuletzt vorhandenen Panoramaschichtaufnahme für alle Zähne fünf Jahre.

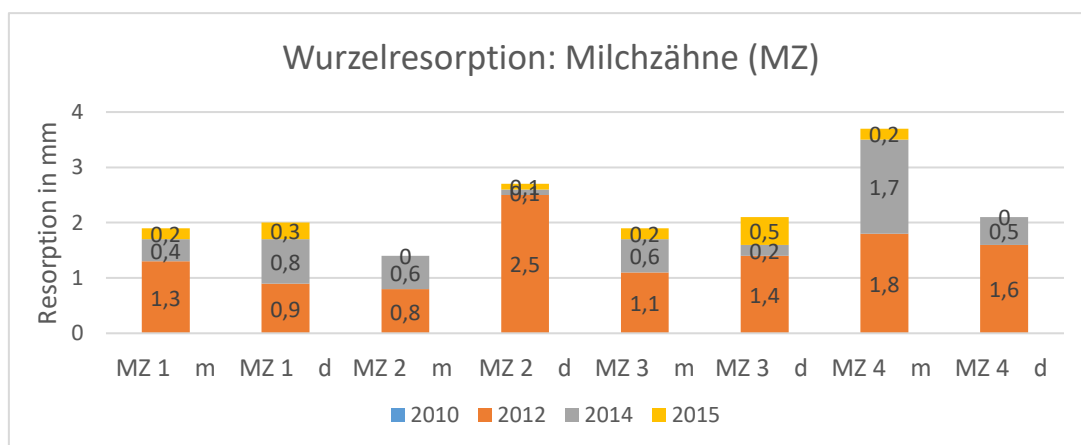


Figure 9: Graphische Darstellung der Defizitstrecke durch die apikale Milchzahnresorption an der mesialen (m) und distalen (d) Wurzel. Der Zeitraum der Behandlung war von 2010 bis 2015.

Innerhalb dieses Zeitraumes wurden in zwei Jahresabständen je zwei weitere Panoramaschichtaufnahmen angefertigt.

Die Werte der zu Beginn gemessenen Längen lagen bei der mesialen Wurzel zwischen 10,4 mm und 12,4 mm und bei der distalen Wurzel zwischen 9,9 mm und 12,2 mm. Bereits vorliegende Verkürzungen an diesen Milchzahnwurzeln konnten nicht berücksichtigt werden, da keine Panoramaschichtaufnahmen vor dem Jahr 2010 vorhanden waren. Aus diesem Grund ist in der oben angeführten Figur 9 die resorbierte Wurzellänge im Jahre 2010 mit 0 mm angegeben.

Im Gegensatz dazu erstreckten sich die Werte der Endlängen im Jahr 2015 an der mesialen Wurzel von 8,5 mm bis 9,5 mm und an der distalen Wurzel von 7,9 mm bis 9,6 mm (s.Fig.9). Das größte Defizit an der Milchzahnwurzel wurde innerhalb der Zeitspanne zwischen der ersten Panoramaschichtaufnahme (2010) und des zwei Jahre später angefertigten Panoramaröntgens (2012) gemessen. Hierbei lagen die Werte, berechnet aus der Differenz der Beginn- und Endlänge, bei der mesialen Wurzel zwischen 0,8 mm und 1,8 mm und bei der distalen Wurzel zwischen 0,9 mm und 2,5 mm. Innerhalb der nächsten zwei Jahre (2012 bis 2014) war ebenfalls eine apikale Wurzelresorption zu beobachten, jedoch nicht mehr so stark ausgeprägt wie in den ersten beiden Jahren. Die Werte lagen bei der mesialen Wurzel zwischen 0,4 mm und 1,7 mm und bei der distalen Wurzel zwischen 0,2 mm und 0,8 mm. Im Verlauf des letzten Jahres (2015) wurde eine geringfügige resorbierte Defizitstrecke von 0 mm bis 0,2 mm an der mesialen Wurzel gemessen, während diese an der distalen Wurzel zwischen 0 mm und 0,5 mm betrug.

3.7 Ausmaß der externen apikalen Wurzelresorption in Prozentangaben

Die unten eingefügte Tabelle zeigt die prozentuale Ausdehnung der externen apikalen Wurzelresorption von den einzelnen Wurzelresorptionsgruppen im Ober- und Unterkiefer (s.Tab.3).

Die Gesamtanzahl aller vermessenen Zähne aus den Wurzelresorptionsgruppen ist in absoluten Zahlen wiedergegeben. Diese absolute Gesamtanzahl wurde in zwei weitere Tabellengruppen aufgeteilt, welche in Prozente angegeben sind. Dies waren zum einen eine Tabellengruppe, die keine apikale Resorption aufwies, und zum anderen eine weitere Tabellengruppe, die von der apikalen

Tabelle 3.: Prozentangaben der externen apikalen Wurzelverkürzung aller Wurzelresorptionsgruppen von Ober- und Unterkiefer. Die Gesamtanzahl der jeweiligen Zähne wurde in absoluten Zahlen wiedergegeben.

	Gesamtanzahl <i>[absolut]</i>	keine Resorption	Wurzelresorption			
			Gesamtanteil	$x < 1 \text{ mm}$	$1 \text{ mm} \leq x < 3 \text{ mm}$	$x \geq 3 \text{ mm}$
Oberkiefer						
Incisivus medialis	22	40,9%	59,1%	13,7%	22,7%	22,7%
Incisivus lateralis	22	13,6%	86,4%	22,8%	31,8%	31,8%
Caninus	22	54,5%	45,5%	4,6%	31,8%	9,1%
Prämolar 1	22	54,5%	45,5%	18,3%	22,7%	4,5%
Prämolar 2	22	59,1%	40,9%	27,3%	13,6%	0%
Molar 1						
mesiale Wurzel	22	59,1%	40,9%	18,2%	22,7%	0%
distale Wurzel	22	40,9%	59,1%	18,2%	40,9%	0%
Molar 2						
mesiale Wurzel	20	65,0%	35,0%	25,0%	10,0%	0%
distale Wurzel	20	75,0%	25,0%	10,0%	15,0%	0%
Unterkiefer						
Incisivus medialis	22	13,6%	86,4%	13,7%	59,1%	13,6%
Incisivus lateralis	22	9,1%	90,9%	18,2%	59,1%	13,6%
Caninus	22	54,5%	45,5%	4,6%	31,8%	9,1%
Prämolar 1	22	59,1%	40,9%	9,1%	31,8%	0%
Prämolar 2	22	63,6%	36,4%	9,2%	22,7%	4,5%
Molar 1						
mesiale Wurzel	22	27,3%	72,7%	31,8%	36,4%	4,5%
distale Wurzel	22	22,7%	77,3%	13,7%	54,5%	9,1%
Molar 2						
mesiale Wurzel	22	81,8%	18,2%	13,7%	4,5%	0%
distale Wurzel	22	72,7%	27,3%	18,2%	9,1%	0%

Wurzelresorption betroffen war. Letztere wurde nochmals in vier weitere Tabellenuntergruppen unterteilt, wobei die erste Untergruppe den Gesamtanteil aller resorbierten Zahnwurzeln in Prozent beinhaltet.

Die nächsten beiden Untergruppen erfassten zum einen all diejenigen Zähne, welche eine apikale Wurzelverkürzung kleiner als 1 mm aufwiesen und zum anderen diejenigen Zähne, die eine apikale Wurzelresorption von größer gleich 1 mm bis kleiner als 3 mm aufwiesen. Mit der vierten Untergruppe wurden jene

Zähne prozentuell erfasst, welche eine apikale Wurzelresorption größer gleich 3 mm hatten. Die Ergebnisse aus diesen Untergruppen wurden alle in der oben angeführten Tabelle dargestellt (s.Tab.3).

Sowohl im Oberkiefer als auch im Unterkiefer war ein großer Anteil der einzelnen Frontzähne von der externen apikalen Wurzelresorption betroffen. Insbesondere die Gruppe des oberen Incisivus lateralis mit 31,8%, gefolgt von der Gruppe des oberen Incisivus medialis mit 22,7%, wiesen den höchsten prozentuellen Anteil einer externen apikalen Wurzelresorption, die größer als 3 mm war, auf. Die nächsten Gruppen, die über eine solch ausgeprägte Wurzelverkürzung verfügten, waren die des unteren Incisivus medialis und lateralis mit einem prozentuellen Anteil von jeweils bis zu 13,6%. Im Gegensatz dazu wurde der prozentuelle Anteil einer ausgeprägten Wurzelresorption ab 3 mm in den darauffolgenden Gruppen des Caninus, der Dentes Praemolares und der Dentes Molares im Ober- und Unterkiefer immer geringer. So waren unter anderem die zweiten Molaren im Unterkiefer gar nicht von einer externen apikalen Wurzelresorption, die größer als 3 mm war, betroffen.

Hingegen dazu waren alle Zahngruppen gleichermaßen von einer Wurzelverkürzung, die eine Ausdehnung von größer gleich 1 mm und kleiner als 3 mm hatten, im unterschiedlichsten prozentuellen Ausmaß gekennzeichnet. Hier waren mit bis zu 59,1% der Incisivus lateralis und medialis im Unterkiefer davon am häufigsten betroffen, gefolgt von der distalen Wurzel des unteren ersten Molars, mit einem Anteil von 54,5 %, und der distalen Wurzel des oberen ersten Molars, welche bis zu 40,9% befallen war. Den Schluss innerhalb dieser Untergruppe bildeten die mesiale und distale Wurzel des zweiten unteren Molars mit jeweils 4,5% und 9,1%. Die Ergebnisse der oberen Incisivus medialis und lateralis als auch die oberen und unteren Gruppen des Caninus und der Prämolaren waren zwischen diesen höchsten und niedrigsten Werten platziert.

Auf der anderen Seite war ein großer Anteil der oberen und unteren zweiten Molaren nicht von der externen apikalen Wurzelresorption betroffen. Hierbei war vor allem die distale Wurzel des oberen zweiten Molars mit einem Prozentanteil von 85% nicht von der Wurzelverkürzung befallen, gefolgt von der mesialen

Wurzel des unteren zweiten Molars mit 81,8%. Dagegen wies der Incisivus lateralis im Unterkiefer mit einem Prozentanteil von 9,1% keine Resorption an seiner Wurzel auf, und stellte damit den niedrigsten Wert dieser Tabellengruppe dar, gefolgt von dem unteren Incisivus medialis und dem oberen Incisivus lateralis mit jeweils 13,6%.

3.8 Der statistische Vergleich ausgewählter Zahngruppen

Basierend auf den errechneten Ergebnisse in der oben angeführten Tabelle 3 der Wurzelresorptionsgruppe, wurden die einzelnen Gruppen mit der Gruppe des zweiten Molars im Ober- und Unterkiefer statistisch miteinander verglichen.

Die statistische Auswertung in diesem Kapitel stützt sich auf die bereits vorhandene Datenbasis und ist von Herrn Mag. Thomas Forstner, von der Johannes Kepler Universität Linz aus der Abteilung für Angew. Systemforschung und Statistik, erhoben worden.

Für diese Analyse sind der exakte McNemar Test und der gepaarte t-Test verwendet worden.

Mit dem exakten McNemar Test kann ein Vorher-Nachher Vergleich von ein und derselben Probe dargestellt werden. Somit sind diese beiden gegenübergestellten Proben miteinander verbunden und nicht voneinander unabhängig. Hierbei kann jedoch nur festgestellt werden, ob nach der Behandlung eine Veränderung vorliegt oder nicht (Nullhypothese). Ein exakter Test wird dann angewendet, wenn eine geringere Anzahl von Proben vorhanden ist.

Beim gepaarten t-Test werden die Mittelwerte von zwei miteinander verbundenen Proben gegenübergestellt (Vorher-Nachher-Vergleich). Es kann mit Hilfe des Verfahrens festgestellt werden, ob eine Veränderung des Mittelwerts vorhanden ist oder nicht (Nullhypothese).

Erhebung der statistischen Signifikanz für eine Wurzelresorption ≥ 3 mm

Der erste statistische Vergleich beschäftigte sich mit der Frage, welche der Gruppen signifikant häufiger eine Wurzelverkürzung von größer gleich als 3 mm aufwies. Da keine Gruppe des oberen und unteren zweiten Molars von einer

solch ausgeprägten Resorption betroffen war, wurden sie als Gegenvergleichsgruppe in dieser Berechnung herangezogen. Für die Berechnung wurde der exakte McNemar Test angewendet.

Im Oberkiefer hatte die Gruppe mit dem Incisivus lateralis signifikant ($p < 0,031$) häufiger eine ausgeprägte Wurzelverkürzung als die mesiale und distale Wurzel des oberen zweiten Molars. Auch die Gruppe mit den oberen Incisivus medialis wies signifikant ($p < 0,063$) häufiger eine apikale Wurzelresorption mit über 3 mm auf. Für die Gruppe des oberen Caninus, des ersten und zweiten Prämolars und des ersten Molars konnte keine statistische Signifikanz ($p > 0,999$) gegenüber dem oberen zweiten Molar festgestellt werden. Im Unterkiefer wiesen nur die Gruppen mit dem Incisivus medialis und lateralis eine statistische Signifikanz ($p < 0,250$) für eine ausgeprägte Wurzelverkürzung von größer als 3 mm gegenüber dem unteren zweiten Molar. Alle anderen Gruppen hatten keine statistische Signifikanz, hier lag der p-Wert zwischen 0,500 und 0,999.

Erhebung der statistischen Signifikanz für die Häufigkeit des Auftretens

Der nächste statistische Vergleich beschäftigt sich damit, welche der Wurzelresorptionsgruppe gegenüber der Gruppe des zweiten Molars signifikant am häufigsten von der apikalen Wurzelverkürzung betroffen war. Für diese statistische Berechnung wurde der exakte McNemar Test angewendet und die Gruppen des oberen und unteren zweiten Molars als Vergleichsgruppe wieder herangezogen.

Die Gruppe des Incisivus lateralis im Oberkiefer wies im Vergleich signifikant zur mesialen ($p < 0,006$) und zur distalen ($p < 0,001$) Wurzel des oberen zweiten Molaren häufiger Wurzelresorptionen auf. Ebenso hatte die Gruppe des oberen Incisivus medialis eine signifikant häufigere apikale Wurzelresorption als die mesiale ($p < 0,302$) und distale ($p < 0,065$) Wurzel des oberen zweiten Molars. In der Gruppe des oberen ersten Molar wies deren distale Wurzel signifikant häufiger eine Wurzelresorption als die mesiale ($p < 0,109$) und als die distale ($p < 0,039$) Wurzel des oberen zweiten Molars auf.

Die beiden Gruppen mit den unteren Incisivus medialis und Incisivus lateralis wiesen signifikant häufiger Resorptionen als die mesiale ($p < 0,001$) und distale

($p < 0,001$) Wurzel des unteren zweiten Molars auf. Die Gruppe mit dem unteren ersten Molar hatte sowohl an deren mesialen ($p < 0,002$) als auch an deren distalen ($p < 0,013$) Wurzel eine signifikant häufigere Wurzelresorption als die mesiale und distale Wurzel des zweiten unteren Molars.

Statistischer Vergleich der oberen und unteren Frontzähne

Beim nächsten statistischen Vergleich sind die Frontzähne den Seitenzähnen gegenübergestellt worden, wobei der gepaarte t-Test angewendet wurde. Damit war die Gegenüberstellung von unabhängiger Gruppen und Feststellung von Unterschieden zueinander möglich. Dabei wiesen die Frontzähne sowohl im Oberkiefer ($p < 0,010$) als auch im Unterkiefer ($p < 0,018$) signifikant mehr apikale Wurzelresorptionen auf als die oberen und unteren Seitenzähne.

Im Oberkiefer zeigte der Incisivus lateralis im Gegensatz zum Incisivus medialis keine signifikantes häufigeres Auftreten ($p < 0,453$) der apikalen Wurzelresorption auf, jedoch konnte vergleichsweise zum Caninus ($p < 0,051$) eine Signifikanz festgestellt werden.

Im Unterkiefer wies der Incisivus lateralis gegenüber dem Incisivus medialis keine Signifikanz ($p < 0,679$) auf, jedoch konnte ein Unterschied gegenüber dem Caninus ($p < 0,067$) ermittelt werden.

4. Diskussion

Die Ursachen für eine externe apikale Wurzelresorption werden seit einiger Zeit in vielen Studien intensiv erforscht. Ebenso sind verschiedenste Methoden untersucht worden, um eine durch die externe apikale Wurzelresorption verursachte Defizitstrecke präzise vermessen zu können.

Das Ziel dieser retrospektiven Studie war die Ausdehnung einer externen apikalen Wurzelresorption mit Hilfe von mindestens zwei Panoramaschichtaufnahmen und einem geeigneten Bildbearbeitungsprogramm zu vermessen ohne dabei auf die Anfertigung von dreidimensionalen Röntgenbilder zurückgreifen zu müssen. Hierbei sollten neben den realistischen Werten einer stärkeren ausgeprägten Wurzelverkürzung auch konkrete Werte einer minimalen Wurzelresorption von unter 1 mm mit dem Bildbearbeitungsprogramm erfasst werden.

Die dafür benötigten Informationen stammen von Patienten, die eine Behandlung mit festsitzender Apparatur an der Poliklinik für Kieferorthopädie an der Universität Würzburg hatten und deren Daten archiviert wurden. Ebenso stammen die für die vorliegende Studie mindestens zwei benötigten Panoramaschichtaufnahmen, welche vor und nach der kieferorthopädischen Behandlung angefertigt sein mussten, auch aus diesem Archiv. Da infolgedessen die erforderlichen Patientendaten alle in digitaler Form vorlagen, mussten keine Patienten um einen zusätzlichen Termin gebeten werden.

4.1 Diskussion: Material und Methodik

Die erstmalige Feststellung einer externen apikalen Wurzelresorption geschieht in der Regel nach der Anfertigung eines konventionellen zweidimensionalen Röntgenbildes, wie ein Einzelzahnfilm oder einer Panoramaschichtaufnahme. Da für die Verwendung einer Digitalen Volumen- oder Computertomographie auf Grund der deutlich erhöhten Strahlenbelastung eine rechtfertigende, medizinische Indikation mit therapeutischen Nutzen vorliegen muss, ist die dreidimensionale Röntgentechnik nicht für eine Routineuntersuchung der externen apikalen Wurzelresorption geeignet [14]. Des Weiteren soll bei der Entscheidung, ob eine Digitale Volumen- oder Computertomographie für die

medizinische Diagnostik benötigt wird oder ob nicht doch ein konventionelles Röntgenbild für die Therapie ausreichend ist, stets das ALARA („As Low As Reasonably Achievable“) Prinzip berücksichtigt werden [15]

So ist in einer Studie nach *Linge/Linge* [16], auf der sich in späterer Folge einige Forschungsarbeiten erfolgreich gestützt haben, auf die Verwendung von konventionellen Einzelzahnfilmen zur Berechnung der resorbierten Zahnwurzellänge an den oberen Frontzähnen zurückgegriffen worden. Für die Aufnahme der Einzelzahnfilme ist die Rechtwinkeltechnik verwendet worden, da hier eine starr verbundene Halterung die Beziehung Zentralstrahl-Bildebene sichert und damit eine gleichmäßige Aufnahme des Zahnes garantiert. Im Frontbereich der beiden Kiefern funktioniert dies gut, jedoch ist zu berücksichtigen, dass eine solche Aufnahme von Molaren, insbesondere im Oberkiefer, wegen der starren Halterung schwierig ist und es auf Grund eines schrägeren Winkeleinfalls zu Verzerrungen des Zahnes kommen kann [17]. Dies stellte einen weiteren Beweggrund für die vorliegende Studie dar, nämlich zusätzlich zu den Frontzähnen auch die Seitenzähne, insbesondere die Molaren, mit Hilfe eines digitalen Bildbearbeitungsprogrammes vermessen zu können.

4.1.1 Das digitale Bildbearbeitungsprogramm

Die Problematik einer Panoramaschichtaufnahme

Nach *Armstrong et al.* [11] liegt das Hauptproblem bei der Anwendung einer Panoramaschichtaufnahme zur Beurteilung einer Wurzelresorption darin, dass insbesondere die Frontzähne, sobald diese außerhalb des Fokus liegen, vergrößert oder verkleinert werden. Dies hat zur Folge, dass durch eine Verkleinerung des Zahnes oder bei einer größeren Erscheinung des Zahnes in der ersten Panoramaschichtaufnahme eine externe apikale Wurzelresorption vorgetäuscht wird. Sobald die Frontzähne außerhalb des Fokus liegen oder sehr stark geneigt sind, erscheinen diese verschmälert und unscharf, wenn sie vor der Schicht stehen, oder werden verbreitert und unscharf dargestellt, sofern sie hinter der Schicht stehen [17].

In einer weiteren Studie nach *Dudic et al.* [9] sind die Aufnahmen von Panoramaschichtaufnahmen mit denen von Digitalen Volumentomographien

(DVT) anhand von sichtbaren apikalen Wurzelresorptionen miteinander verglichen worden. Hierbei konnte festgelegt werden, dass 56,5% der untersuchten Zähne in einer Panoramaschichtaufnahme keine Resorption aufwiesen, während bei dem DVT nur mehr 31% der Zähne ohne Resorption waren.

Die Behebung von Fehlerquellen

Diese beiden Aussagen sind bei der Verwendung des Bildbearbeitungsprogrammes Adobe Photoshop CS6 berücksichtigt worden, mit dem Ziel einen unrealistischen vergrößerten oder verkleinerten Zahn so in seiner Größe zu bearbeiten, so dass eine möglichst zutreffende Ausdehnung der externen apikalen Wurzelresorption ermittelt werden konnte. Nach der exakten Größenanpassung konnten minimale Wurzelresorptionen von bis zu 0,1 mm vermessen werden.

Zu diesem Zweck musste die Zahnform von der aktuellsten Panoramaschichtaufnahme, auf der auch häufig eine augenscheinliche verkürzte Zahnwurzel erkennbar war, an seine ursprüngliche Form aus den früheren Panoramaaufnahmen angepasst werden. Um die richtige Größe eruieren zu können, sind dafür die Begrenzungs- und Orientierungspunkte aus der Markierungsebene benötigt worden (s.Kap.2; Abb.2.9.). Diese dienten dazu in der horizontalen und vertikalen Richtung die frühere Zahnform zu begrenzen. Hierfür dienten die beiden konkaven Einziehungen unterhalb der Schmelz-Zement-Grenze, der Pulpaverlauf im unteren Drittel und der höchste Punkt an der Bifurkation bei den Molaren im Unterkiefer als fixe Begrenzungs- und Orientierungspunkte. Zusätzlich sind der höchste Punkt des okklusalen Reliefs, die Umrisse des Pulpakavums und die äußerste konvexe Wölbung am Apex als Orientierungspunkte verwendet worden. Auch wenn sich diese zuletzt genannten Strukturen mit der Zeit veränderten, stellten sie eine wichtige Hilfestellung zur Eruierung der Zahngröße dar. An diesen Begrenzungs- und Orientierungspunkten wurde die aktuelle Zahnform (Duplikat) mit Hilfe einer Transformation, Skalierung und Rotation angepasst (s.Kap.2).

Erst nach dieser Anpassung, der sogenannten Maskierung eines Zahnes, ist die Strecke der apikalen Wurzelverkürzung abgemessen worden. Mit Hilfe dieser Technik konnten vorgetäuschte Wurzelresorptionen aufgedeckt werden und somit wurde einer der Hauptfehlerquellen nach *Armstrong et al.* [11] behoben.

Denn wie bereits oben erläutert besteht das Problem darin, dass durch eine Vergrößerung der Zahnwurzel in der ersten Panoramaschichtaufnahme oder einer Verkleinerung derselben Zahnwurzel in den darauffolgenden Röntgenaufnahmen eine apikale Wurzelverkürzung verfälscht dargestellt wird. Ob nun die ursprüngliche oder die aktuelle Zahnwurzel vergrößert oder verkleinert ist, ist bei der Maskierung nicht von Belang, weil durch die Skalierung die tatsächlichen Proportionen der beiden Zahnwurzeln wieder hergestellt werden können.

Es konnte festgestellt werden, dass von den insgesamt 132 oberen und unteren Frontzähnen in der Wurzelresorptionsgruppe, an denen bei manchen anfänglich eine externe apikale Wurzelresorption deutlich ersichtlich war, nach deren digitalen Anpassung lediglich 22 Frontzähne eine Wurzelverkürzung von über 3 mm hatten. Die restlichen 110 Frontzähne zeigten nach der Bearbeitung ein deutlich geringeres Ausmaß einer apikalen Wurzelverkürzung, teilweise mit einer Defizitstrecke von 0,1 mm. So waren 41 Frontzähne gar nicht mehr von einer Resorption betroffen. Des Weiteren konnte festgestellt werden, dass bei 57 Frontzähnen sowohl in der Wurzelresorptions- als auch in der Kontrollgruppe, welche nach der digitalen Bearbeitung eine minimale Defizitstrecke zwischen 0,1 mm und 0,9 mm aufwies, auf den Panoramaschichtaufnahmen zuerst keine augenscheinliche Wurzelresorption ersichtlich war. Daraus folgend lässt sich schließen, dass minimale Wurzelresorptionen auf einer Panoramaschichtaufnahme ohne ein geeignetes Messverfahren nicht rechtzeitig erkannt werden können [9].

Die Problematik mit der Rekonstruktion von Strukturen bei zu intensiven Summations- und Subtraktionseffekten ist trotz digitaler Bildbearbeitung nur schwer zu beheben. Insbesondere bei starken Summationseffekten, die eine dichte Aufhellung im Oberkiefer, bei einer falschen Zungenlagerung, oder eine dichte Verschattung am Apex veranlassten, konnten die für die Vermessung

benötigten Zahnstrukturen nicht wieder rekonstruiert werden. Deswegen sind Panoramaschichtaufnahmen mit zu intensiven Summationseffekten verworfen worden.

4.2 Diskussion: Ergebnisse

In weiteren Forschungsarbeiten ist festgestellt worden, dass insbesondere die oberen mittleren und seitlichen Schneidezähne am meisten von einer ernsthaften Wurzelverkürzung betroffen sind, wobei einige Risikofaktoren, wie langandauernde Therapien und starke Retraktion der Frontzähne, eine Rolle spielen [18]. Auch kann beobachtet werden, dass die Knochendichte um die Wurzeln der Incisivi medialis und lateralis mehr reduziert ist als um die Eckzahnwurzeln [19].

In der vorliegenden Studie sind die oberen und unteren Frontzähne deutlich häufiger und im stärkeren Ausmaß von der externen apikalen Wurzelresorption betroffen als die oberen und unteren Seitenzähne. Werden die von der apikalen Wurzelverkürzung betroffenen Frontzähne miteinander verglichen, so lässt sich deutlich feststellen, dass die Gruppe mit den oberen seitlichen Schneidezähnen am meisten eine externe apikale Wurzelresorption von über 3 mm aufwies, dicht gefolgt von der Gruppe der mittleren Schneidezähne sowie von den unteren mittleren und seitlichen Schneidezähne. Das Schlusslicht bildet die Gruppe mit den oberen und unteren Eckzähnen. Wird aber die Häufigkeit des Auftretens einer apikalen Wurzelverkürzung betrachtet, unabhängig von ihrer Ausdehnung an der Zahnwurzel, so ist zuerst die Gruppe mit den unteren seitlichen Schneidezähnen am häufigsten betroffen gewesen, gefolgt von der Gruppe mit den unteren mittleren Schneidezähnen. Gleich danach folgt die Gruppe mit den oberen seitlichen Schneidezähnen, die oberen mittleren Schneidezähnen und zuletzt die oberen und unteren Eckzähne.

Die Begründung für das deutlich häufigere Auftreten der apikalen Wurzelverkürzung an den beiden unteren Schneidezähnen lässt sich damit erklären, dass deren Form und Umfang der Wurzel graziler ist gegenüber der Wurzeln der beiden oberen Schneidezähne. Infolgedessen kann sich eine Krafteinwirkung an den unteren seitlichen und mittleren Schneidezähnen früher

bemerkbar machen als an den beiden oberen Schneidezähnen. Im Gegensatz dazu weist jedoch die Gruppe mit den oberen seitlichen und mittleren Schneidezähnen öfters eine apikale Wurzelresorption von über 3 mm auf. Diese Aussage kann mit Hilfe einer Langzeitstudie nachvollzogen werden, in der Patienten bereits nach 6 Monaten nach Behandlungsbeginn an einem Zahn eine apikale Wurzelresorption von bis zu 2 mm haben. Bei diesen Patienten kann ein hohes Risiko nachgewiesen werden, dass nach Abschluss der kieferorthopädischen Behandlung die betroffene Zahnwurzel eine Verkürzung von über 5 mm erleidet [20–22].

Weniger Studien haben sich hingegen mit der externen apikalen Wurzelresorption an den oberen und unteren Molaren beschäftigt. Im Laufe einer Lückenschließung, die durch eine Mesialisierung der Molaren erfolgt, kann eine apikale Wurzelverkürzung entstehen, wobei Ausdehnungen von über 2 mm einen kleinen Prozentanteil ausmachen [23]. Hierbei haben sich Faktoren wie längere Behandlungszeit, dafür weniger Kraftübertragung und junges Alter positiv auf eine apikale Wurzelresorption ausgewirkt. Jedoch kann es trotz allem bei zu großer Überwindung einer Distanz von mehr als 10 mm, insbesondere im Unterkiefer, deutlich vermehrt zu einer externen apikalen Wurzelresorption führen [24]. In dieser Studie sind die unteren ersten Molaren am häufigsten von einer Wurzelverkürzung betroffen gewesen, gefolgt von den oberen ersten Molaren. Etwa 15% der ersten oberen und unteren Molaren sind von einer Ausdehnung von über 2 mm betroffen.

Das Auftreten von retinierten Milchzähnen ist keine Seltenheit, denn auch in dieser Studie weisen 2 von den 19 Patienten persistierende Milchzähne auf. Der Hauptgrund für den Verbleib der Milchzähne im adulten Gebiss ist eine Nichtanlage der nachkommenden zweiten Dentition, wobei der zweite Milchmolar im Unterkiefer am meisten von einer Aplasie des nachfolgenden zweiten Prämolaren betroffen ist [25]. Eine apikale Wurzelresorption ist eine physiologische Reaktion bei den Milchzähnen und tritt insbesondere zu dem Zeitpunkt ein, sobald der Zahnfollikel der nachfolgenden zweiten Dentition in die Nähe der Milchzahnwurzel gelangt. Obwohl von der Oberfläche des Zahnfollikel stimulierende Moleküle benötigt werden, um eine physiologische Resorption an

der Milchzahnwurzel auszulösen, kommt es auch bei einer Aplasie der zweiten Dentition zu einer Verkürzung der Milchzahnwurzel [26]. Welche Vorgänge hierbei im Knochen und am Milchzahn eine Rolle spielen, ist bis heute noch unklar. Bei den Vermessungen in dieser Studie ist das stärkste Ausmaß einer Verkürzung an den Milchzahnwurzeln bis zu 1,8 mm innerhalb des Zeitraumes der ersten beiden Panoramaschichtaufnahmen aufgefallen, die im Jahre 2010 und 2012 aufgenommen worden sind. Wenn persistierende Milchzähne in eine kieferorthopädische Therapie mit festsitzender Apparatur miteingebunden werden, muss berücksichtigt werden, dass bei diesen durch die Mobilisierung eine Resorption an der Wurzel rascher und im stärkeren Ausmaß voranschreitet, was zu einer verfrühten ungewollten Exfoliation führen kann [27, 28].

5. Zusammenfassung

Das Ziel bei der Durchführung dieser retrospektiven Studie war herauszufinden, ob die Ausdehnung einer externen apikalen Wurzelresorption an Front- und Seitenzähnen, die anhand von vorhandenen Panoramaschichtaufnahmen augenscheinlich erkennbar war, mit Hilfe des Bildbearbeitungsprogrammes Adobe Photoshop CS6 vermessen werden kann. Dabei sollte nicht auf die dreidimensionale Röntgentechnik, wie Computer- oder Magnetresonanztomographie, zurückgegriffen werden.

Bei der Auswahl der Patienten galten die Voraussetzungen, dass mindestens zwei Panoramaschichtaufnahmen für die Bildbearbeitung vorhanden waren und diese eine kieferorthopädische Therapie mit festsitzender Apparatur hatten.

Jene Patienten, bei denen auf einer Panoramaschichtaufnahme eine augenscheinliche Wurzelverkürzung zu erkennen war, sind der Wurzelresorptionsgruppe (Untersuchungsgruppe) zugeteilt worden und die anderen Patienten, bei denen keine Wurzelverkürzung ersichtlich war, in die Kontrollgruppe eingeteilt worden. Die Gesamtanzahl der vermessenen Zähne betrug 530 Stück, davon waren 306 Zähne in der Wurzelresorptionsgruppe und 224 Zähne in der Kontrollgruppe.

Mit Hilfe von Voreinstellungen des Bildbearbeitungsprogrammes konnte die Bildqualität einzelner Panoramaschichtaufnahme so verbessert werden, dass die für die Vermessung benötigten Zahnstrukturen deutlich erkennbar waren. Aufnahmefehler, die eine vollständige Auslöschung der Zahnwurzeln bewirkte, konnten nicht mehr korrigiert werden.

Für eine genaue Vermessung einer resorbierten Wurzellänge musste die aktuelle Zahnform, mit einer augenscheinlichen verkürzten Wurzellänge, über seine frühere Form, mit der ursprünglichen Wurzellänge, projiziert werden (Maskierung). Die korrekte Anpassung erfolgte mit Hilfe von zusätzlichen fixen Begrenzungspunkten (Konkave Einziehung unterhalb der Schmelz-Zement-Grenze, Pulpaverlauf im unteren Drittel und höchster Punkt der Furkation an den unteren Molaren) und Orientierungspunkten (Okklusales Relief, Umriss des Pulpakavums und äußerste konvexe Wölbung am Apex). Durch eine Transformation, Rotation und Skalierung der verkürzten Zahnwurzel an die

ursprüngliche Zahnwurzel wurden die Proportionen wieder hergestellt, womit anschließend Defizitstrecken der resorbierten Zahnwurzellängen ab 0,1 mm abgemessen werden konnte.

Nach der statistischen Auswertung zeigten sich innerhalb der Wurzelresorptionsgruppe signifikante Unterschiede. So wiesen die oberen und unteren Frontzähne im Gegensatz zu den Seitenzähnen signifikant häufiger und im stärkeren Ausmaß eine externe apikale Wurzelresorption auf. Dies galt vor allem für die Gruppe des oberen Incisivus lateralis, des unteren Incisivus medialis und lateralis. Ebenso sind die oberen und unteren Frontzähne, bezüglich der Häufigkeit des Auftretens und stärkste Ausdehnung der Wurzelverkürzung, statistisch miteinander verglichen worden. Demnach erwies sich, dass die Gruppen mit dem unteren Incisivus medialis und lateralis gleichermaßen am häufigsten von einer apikalen Wurzelresorption betroffen waren, jedoch die Gruppe mit dem oberen Incisivus lateralis am meisten von einer starken Ausdehnung von über 3 mm betroffen war. Dass innerhalb der Seitenzahnguppen insbesondere der untere erste Molar signifikant am stärksten und am häufigsten von der apikalen Wurzelverkürzung betroffen war, kann insbesondere in Publikationen, bei denen die Problematik einer zu großen Distanzüberwindung (Lückenschluss) im Unterkiefer mit übermäßiger Mesialisierung des unteren ersten Molaren eruiert wird, erklärt werden.

Die Endergebnisse der einzelnen Zahngruppen zeigen, dass einige augenscheinliche apikale Wurzelresorptionen durch eine Vergrößerung des ursprünglichen Zahnes oder Verkleinerung des aktuellen Zahnes gänzlich vorgetäuscht oder von geringeren Ausmaß waren. Dies konnte insbesondere bei den oberen und unteren Frontzähnen festgestellt werden.

Da durch das Bildbearbeitungsprogramm sowohl minimale Wurzelresorptionen ab 0,1 mm als auch größere Ausdehnungen vermessen werden, kann eine externe apikale Wurzelresorption frühzeitig erkannt und somit schwerwiegende Folgen abgewendet werden.

Literaturverzeichnis

1. Lopatiene K, Dumbravaite A: Risk factors of root resorption after orthodontic treatment. *Stomatologija* 2008, Band 10: 89–95.
2. Feller L, Khammissa RA. G., Thomadakis G, Fourie J, Lemmer J: Apical External Root Resorption and Repair in Orthodontic Tooth Movement: Biological Events. *BioMed research international* 2016, Band 2016: 4864195.
3. Mohandesan H, Ravanmehr H, Valaei N: A radiographic analysis of external apical root resorption of maxillary incisors during active orthodontic treatment. *European journal of orthodontics* 2007, Band 29: 134–139.
4. Consolaro A, Furquim LZanco: Extreme root resorption associated with induced tooth movement: a protocol for clinical management. *Dental press journal of orthodontics* 2014, Band 19: 19–26.
5. Iglesias-Linares A, Morford LAnn, Hartsfield JKennedy, JR: Bone Density and Dental External Apical Root Resorption. *Current osteoporosis reports* 2016, Band 14: 292–309.
6. Bielaczyc A, Golebiewska M: Ultrastructural changes on the root surface in "pressure zone" after experimental movement of teeth in young rats fed a low calcium and vitamin D-deficient diet. *Roczniki Akademii Medycznej w Bialymstoku (1995) 1997*, 42 Suppl 2: 147–152.
7. Golebiewska M, Bielaczyc A: Scanning electron microscopy of the influence of dietary calcium and vitamin D-deficiency on periodontium in the adult rats. *Roczniki Akademii Medycznej w Bialymstoku (1995) 1997*, 42 Suppl 2: 159–165.
8. Fontana MLuiza S. Simas Netta, Souza CMachado de, Bernardino JFabio, Hoette F, Hoette MLevi, Thum L, *et al.*: Association analysis of clinical aspects and vitamin D receptor gene polymorphism with external apical root resorption in orthodontic patients. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics* 2012, Band 142: 339–347.
9. 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. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics* 2009, Band 135: 434–437.
10. Topkara A, Karaman Al., Kau CH.: Apical root resorption caused by orthodontic forces: A brief review and a long-term observation. *European journal of dentistry* 2012, Band 6: 445–453.
11. Armstrong D, Kharbanda OP., Petocz P, Darendeliler MAli: Root resorption after orthodontic treatment. *Australian orthodontic journal* 2006, Band 22: 153–160.
12. Signorelli L, Patcas R, Peltomaki T, Schatzle M: Radiation dose of cone-beam computed tomography compared to conventional radiographs in

- orthodontics. Journal of orofacial orthopedics = Fortschritte der Kieferorthopädie : Organ/official journal Deutsche Gesellschaft für Kieferorthopädie 2016, Band 77: 9–15.
13. Silva MALves Garcia, Wolf U, Heinicke F, Bumann A, Visser H, Hirsch E: Cone-beam computed tomography for routine orthodontic treatment planning: a radiation dose evaluation. American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics 2008, Band 133: 640.e1-5.
 14. 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. American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics 2012, Band 141: 436–443.
 15. Chinem LATsumi Simabuguro, Vilella Bde Souza, Mauricio CLucia de Pinho, Canevaro LViviana, Deluiz LFernando, Vilella Ode Vasconcellos: Digital orthodontic radiographic set versus cone-beam computed tomography: an evaluation of the effective dose. Dental press journal of orthodontics 2016, Band 21: 66–72.
 16. Linge BO., Linge L: Wurzellängen der oberen Schneidezähne und kieferorthopädische Therapie. Fortschritte der Kieferorthopädie 1983, Band 44: 392–407.
 17. Pasler FAnton: Zahnärztliche Radiologie. 11 Tabellen. Thieme, Stuttgart 2008
 18. Maues CPelagio Raick, do Nascimento RRamos, Vilella Ode Vasconcellos: Severe root resorption resulting from orthodontic treatment: prevalence and risk factors. Dental press journal of orthodontics 2015, Band 20: 52–58.
 19. Hsu J-T, Chang H-W, Huang H-L, Yu J-H, Li Y-F, Tu M-G: Bone density changes around teeth during orthodontic treatment. Clinical oral investigations 2011, Band 15: 511–519.
 20. Smale I, Artun J, Behbehani F, Doppel D, van't Hof M, Kuijpers-Jagtman AM.: Apical root resorption 6 months after initiation of fixed orthodontic appliance therapy. American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics 2005, Band 128: 57–67.
 21. Artun J, Smale I, Behbehani F, Doppel D, van't Hof M, Kuijpers-Jagtman AM.: Apical root resorption six and 12 months after initiation of fixed orthodontic appliance therapy. The Angle orthodontist 2005, Band 75: 919–926.
 22. Artun J, van 't Hullenaar R, Doppel D, Kuijpers-Jagtman AM.: Identification of orthodontic patients at risk of severe apical root resorption. American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics 2009, Band 135: 448–455.

23. Kim S-J, Sung E-H, Kim J-W, Baik H-S, Lee K-J: Mandibular molar protraction as an alternative treatment for edentulous spaces: Focus on changes in root length and alveolar bone height. *Journal of the American Dental Association* (1939) 2015, Band 146: 820–829.
24. Winkler J, Gollner N, Gollner P, Pazera P, Gkantidis N: Apical root resorption due to mandibular first molar mesialization: A split-mouth study. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics* 2017, Band 151: 708–717.
25. Aktan AMurat, Kara I, Sener I, Bereket C, Celik S, Kirtay M, *et al.*: An evaluation of factors associated with persistent primary teeth. *European journal of orthodontics* 2012, Band 34: 208–212.
26. Harokopakis-Hajishengallis E: Physiologic root resorption in primary teeth: molecular and histological events. *Journal of oral science* 2007, Band 49: 1–12.
27. Consolaro A: Orthodontic movement in deciduous teeth. *Dental press journal of orthodontics* 2015, Band 20: 16–19.
28. Fiore AA. P., Aquila AG., Ubios AM.: Root resorption in deciduous teeth after applying orthodontic forces. *The Journal of clinical pediatric dentistry* 2005, Band 29: 283–286.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich von ganzem Herzen bei meinen Eltern bedanken, die mir immer zur Seite standen und stets an mich geglaubt haben.

Einen herzlichen Dank an Frau Prof. Dr. A. Stellzig-Eisenhauer und an Herrn Prof. Dr. M. Eigenthaler für die Vergabe dieses Promotionsthemas.

Auch möchte ich mich bei Herrn Dr. M. Pfeiffer für die unterstützende Betreuung bedanken.

Einen weiteren Dank gilt Herrn Mag. Thomas Forstner, aus der Johannes Kepler Universität Linz, Abteilung für Angew. Systemforschung und Statistik, für die statistischen Auswertungen der Ergebnisse.

Lebenslauf

Persönliche Daten

Name: Ulla Berger
Anschrift: Parkbadgasse 11
4560 Kirchdorf an der Krems, Österreich
Geburtsdatum: 18.01.1992
Geburtsort: 4560 Kirchdorf an der Krems, Österreich
Staatsangehörigkeit: Österreich

Schulische Ausbildung

1998 – 2002 Volksschule I in Kirchdorf an der Krems
2002 – 2010 Stiftsgymnasium mit Maturaabschluss
in 4553 Schlierbach

Berufliche Ausbildung

2009 – 2010 Ausbildung zur Rettungssanitäterin mit Abschluss am
28.09.2010
Seit 2010 Ehrenamtliche Mitarbeiterin beim Roten Kreuz
Oberösterreich an der Bezirksstelle Kirchdorf an der Krems

Studium

2011 – 2016 Studium der Zahnmedizin an der Julius – Maximilians
Universität Würzburg in Bayern
Juni 2016 Absolvierung der zahnärztlichen Prüfung (Staatsexamen)
an der Julius-Maximilians Universität Würzburg in Bayern
Seit August 2016 Ausübung des zahnärztlichen Berufs in einer Praxis in
Kirchdorf an der Krems

Datum, Ort

Unterschrift