

Aus dem Institut für 3D-Dentalradiologie - MESANTIS Berlin

## **DISSERTATION**

# **Dentale Volumetomographie zur Diagnostik von impaktierten Eckzähnen - quantitative Unter- suchungen zum Knochenangebot, zur Lage und zur Resorption benachbarter Zähne**

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

vorgelegt der Medizinischen Fakultät  
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Sonja Spangler

aus Berlin

Datum der Promotion:.....05.12.2014.....

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abstrakt</b>	<b>5</b>
<b>Abstract</b>	<b>7</b>
<b>1. Einleitung</b>	<b>9</b>
1.1. Ätiologie und Prävalenz von impaktierten Eckzähnen	10
1.1.1 Diagnostik und Therapie impaktierter Eckzähne	14
1.2. Aufbau des Parodonts und Ursachen von vestibulären Knochendehiszenzen	19
1.3. Formen und Ursachen von Wurzelresorptionen	23
1.4. DVT in der Diagnostik von impaktierten Eckzähnen	29
<b>2. Fragestellung</b>	<b>36</b>
<b>3. Methodik</b>	<b>38</b>
3.1. Allgemeine Methodik	38
3.1.1. Patientengut	38
3.1.2 DVT-Aufnahmen	38
3.1.3. DVT-Auswertungssoftware	39
3.1.4. Statistische Auswertung	41
3.2. Spezielle Methodik	43
3.2.1. Intraindividuelle Reproduzierbarkeit der 3D- Koordinaten der Eckzähne	43
3.2.2. Intraindividuelle Reproduzierbarkeit der Kronenbreite im DVT	45
3.2.3. Platzangebot in der Eckzahnregion impaktierter Eckzähne	46
3.2.4. Wurzelresorption an Schneidezähnen durch verlagerte Eckzähne	47
3.2.5. Ausmaß der Wurzelresorption durch verlagerte Eckzähne	48
3.2.6. Lokalisation der Wurzelresorption, verursacht durch verlagerte Eckzähne	48
3.2.7. Korrelation zwischen einem eingengten Platzangebot und vestibulären Knochendehiszenzen an den oberen Frontzähnen	49
3.2.8. Kronenbreiten im Modell und im DVT	50

<b>4.</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>52</b>
4.1.	Intraindividuelle Reproduzierbarkeit der 3D- Koordinaten	52
4.1.1	Messungen am Apex	52
4.1.2	Messungen an der Eckzahns Spitze	54
4.2.	Intraindividuelle Reproduzierbarkeit der Kronenbreite von Eckzähnen	55
4.3.	Platzangebot in der Region der impaktierten Eckzähne	56
4.4.	Prävalenz von Wurzelresorptionen durch verlagerte Eckzähne	58
4.5.	Ausmaß der Wurzelresorptionen durch verlagerte Eckzähne	59
4.6.	Lokalisation der durch verlagerte Eckzähne verursachten Wurzelresorption	60
4.7.	Korrelation zwischen einem eingengten Platzangebot und vestibulären Knochendehiszenzen an den oberen Frontzähnen	61
4.8.	Kronenbreite im Modell und im DVT	62
<b>5.</b>	<b>Diskussion</b>	<b>64</b>
5.1.	Diskussion der Methoden	65
5.2.	Diskussion der Ergebnisse	66
5.2.1	Intraindividuelle Reproduzierbarkeit der 3D- Koordinaten impaktierter Eckzähne	66
5.2.2.	Intraindividuelle Reproduzierbarkeit der Kronenbreite von Eckzähnen	69
5.2.3.	Platzangebot in der Eckzahnregion der impaktierten Zähne	71
5.2.4.	Wurzelresorptionsvorkommen an zentralen und seitlichen Schneidezähnen durch verlagerte Eckzähne	72
5.2.5.	Ausmaß der Wurzelresorptionen durch verlagerte Eckzähne	75
5.2.6	Lokalisation der Wurzelresorption verursacht durch verlagerte Eckzähne	79
5.2.7.	Korrelation zwischen einem eingengten Platzangebot und vestibulären Knochendehiszenzen an den oberen Frontzähnen	80
5.2.8.	Kronenbreite im Modell und im DVT	82
5.3	Schlussfolgerung	86

<b>6.</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>89</b>
<b>7.</b>	<b>Eidesstattliche Erklärung</b>	<b>102</b>
<b>8.</b>	<b>Lebenslauf</b>	<b>103</b>
<b>9.</b>	<b>Publikationsliste</b>	<b>104</b>
<b>10.</b>	<b>Danksagung</b>	<b>104</b>

## Abstrakt

**Ziel:** Ziel dieser Studie war die Entwicklung eines dreidimensionalen Koordinatensystems für digitale Volumentomografiedatensätze zur Ermöglichung der exakten Bestimmung des Verlagerungsausmaßes eines maxillären impaktierten Eckzahnes über Koordinaten. Begleitend wurden Vorkommen und Ausmaß von Wurzelresorptionen und vestibulären Knochendehiszenzen an den angrenzenden seitlichen Schneidezähnen untersucht. Bewertet wurden auch die Reproduzierbarkeit der Lückenvermessung in der Oberkiefereckzahnregion und die Bestimmung der mesio-distalen Kronenbreite mittels DVT (Digitale Volumentomographie) im Vergleich zum Modell.

**Methodik:** Das Datenmaterial umfasste DVT-Datensätze von 64 Patienten mit 96 verlagerten oberen Eckzähnen. Die Untersuchung erfolgte retrospektiv mit Hilfe des 3D-DICOM-Viewers InVivo® Dental 5.1. (Firma Anatomage, San Jose, USA). Über die Referenzpunkte („Frankfurter Horizontale“, Basion) wurde das Koordinatensystem konstruiert und am Eckzahn jeweils die 3D-Koordinaten am Apex und an der Eckzahnspitze bestimmt. Die Reproduzierbarkeit wurde statistisch überprüft.

Wurzelresorptionen an den benachbarten Schneidezähnen wurden in axialen, sagittalen und koronalen Ansichten nach Vorkommen, Ausmaß und Lokalisation bewertet.

Zur Bestimmung von vestibulären Knochendehiszenzen wurde in den sagittalen Schichten von der Schmelzzementgrenze bis zum crestalen Knochen der zentralen Schneidezähne gemessen und mit dem Platzangebot in der Eckzahnregion verglichen.

Um die Kronenbreite zu beurteilen, wurde der Durchmesser des am weitesten mesial und distal gelegenen Punktes bestimmt und mit der mesiodistalen Breite im Gipsmodell verglichen.

**Ergebnisse:** Das Verlagerungsausmaß eines impaktierten Eckzahnes konnte über 3D-Koordinaten intraindividuell reproduzierbar bestimmt werden. Es konnte kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Messpaaren festgestellt werden ( $p < 0,05$ ).

Die Kronenbreite eines verlagerten Eckzahnes konnte im 1. Quadranten mit einer Zuverlässigkeit von 99,7% und im 2. Quadranten mit 98,5% bestimmt werden. Ähnliche Ergebnisse lieferte die Vermessung der Lücke in der Eckzahnregion (1. Quadrant:

99,7%, 2. Quadrant: 88,9%). Die größte Prävalenz für Wurzelresorptionen zeigten die seitlichen Schneidezähne (20%) im Gegensatz zu den mittleren Schneidezähnen (5%). Davon traten am häufigsten leichte Wurzelresorptionen (56,6%) gefolgt von starken (26,66%) und moderaten Resorptionen (16,66%) auf. Mit 63,3% befinden sich die Resorptionen meist im unteren Wurzeldrittel. Bei einem vorhandenem Platzangebot in der Eckzahnregion (85%) ließen sich bei 35% der zentralen Schneidezähne eine vestibuläre Knochendehiszenz nachweisen. In Fällen von einem eingeeengten Platzangebot (15%) zeigten sich bei 8,3% Läsionen. Die Beurteilung der Kronenbreitenmessung im DVT und im Gipsmodell unterscheidet sich nicht signifikant voneinander ( $p < 0,05$ ).

**Schlussfolgerung:** Um das diagnostische Potential der kieferorthopädischen Behandlungsplanung von impaktierten Eckzähnen voll auszuschöpfen, sollte eine systematische Auswertung der DVT-Aufnahme im Sinne eines standardisierten MESANTIS<sup>®</sup> Eckzahn-Reportes stattfinden. Die Ergebnisse dieser Arbeit untermauern die diagnostischen Vorzüge aller drei Aspekte des MESANTIS<sup>®</sup> Eckzahn-Reports. Mit der untersuchten Koordinatenanalyse, kann in der 3D-gereinigten Darstellung das individuelle Verlagerungsausmaß eines impaktierten Eckzahnes reproduzierbar erfasst werden. In den sagittalen Schichten konnten bei 35% der Patienten vestibuläre Knochendehiszenzen erhoben werden. In den axialen Schichten konnten bei 20% der Patienten Wurzelresorptionen an den benachbarten Zahnwurzeln nachgewiesen werden.

**Schlüsselwörter:** DVT, impaktierte Eckzähne, MESANTIS<sup>®</sup> Eckzahn-Report“, Koordinatensystem, Wurzelresorption, mesiodistale Kronenbreite, vestibuläre Knochendehiszenzen

## Abstract

**Aim:** This study investigated the development of a three-dimensional (3D) coordinate system for digital volumetric data, allowing the analysis of the exact location of maxillary impacted teeth with coordinates. Accompanying occurrence and extent of root resorption and buccal bone dehiscences on the adjacent lateral incisors were examined. The reproducibility of the measurement gap in the maxillary canine region and the determination of mesiodistal crown width by means of CBCT (cone beam computed tomography) were evaluated.

**Methods:** The data included CBCT images of 64 patients with 96 impacted maxillary canines. The study was carried out retrospectively using the 3D DICOM Viewer InVivo Dental ® 5.1. (Anatomage Company, San Jose, USA). About the landmarks ("Frankfurt horizontal", basion) the coordinate system were constructed. In each case the 3-D coordinates were determined at the apex point and on the cusp tip of the canine. Reproducibility was statistically verified. Root resorption of the adjacent incisors was evaluated in axial, sagittal and coronal views of occurrence, extent and localization. To determine the vestibular bone dehiscences, measurements were done in the sagittal layers of the cemento-enamel junction to the crestal bone of the central incisors and compared with the available space in the canine region. To evaluate the crown width, the diameter of the most distal and mesial located point was determined and compared to the mesiodistal width in the gypsum model.

**Results:** The displacement of an impacted canine could be intra-individually assessed by 3-D coordinates reproducibly. No statistical significance was found between the measurement pairs ( $p < 0.05$ ). The crown width of an impacted canine could be determined in the first quadrant with a reliability of 99.7% and 98.5% in the second quadrant. Similar results obtained by the measurement of the gap in the canine region (first quadrant: 99.7 % second quadrant: 88.9 %). The greatest prevalence of root resorption was found on the lateral incisors (20%) in contrast to the central incisors (5%). These occurred most frequently on slight root resorption (56.6%) followed by high (26.66%) and moderate resorption (16.66%). 63.3% of the resorptions were in the lower third of the root. In canine with available space (85%), vestibular bone dehiscence in 35% of central incisors was detected. Just 8.3% of cases with constricted space

showed lesions. The assessment of crown width measurement in CBCT and gypsum model didn't differ significantly ( $p < 0.05$ ).

**Conclusion:** To fully exploit the diagnostic potential of orthodontic treatment planning of impacted canines, a systematic evaluation of CBCT images in terms of a standardized MESANTIS<sup>®</sup> „Eckzahn-Report“ should take place. The results of this study support the diagnostic advantages of all three aspects of the MESANTIS<sup>®</sup> „Eckzahn-Report“. With the investigated coordinate analysis, the individual displacement of an impacted canine can be detected reproducibly in the 3D rendered illustration. In the sagittal slices vestibular bone dehiscences could be obtained in 35% of patients. In the axial slices root resorption on the adjacent tooth roots could be detected in 20% of patients.

**Keywords:** DVT, impacted canines, MESANTIS<sup>®</sup> „Eckzahn-Report“, coordinate system, root resorption, mesiodistal crown width, vestibular bone dehiscences



## 1. Einleitung

Die bildgebende Diagnostik stellt in der Zahnmedizin ein unverzichtbares Hilfsmittel dar. Sie dient der genauen Befundung anatomischer Gegebenheiten sowie der individuellen Behandlungsplanung des Patienten.

Konventionelle Röntgenaufnahmen, wie etwa ein Orthopantomogramm (OPTG), besitzen durch die zweidimensionale Darstellung einer dreidimensionalen Situation nur eine eingeschränkte diagnostische Aussagekraft (Yan et al. 2012, Rossini et al. 2012, Hofmann et al. 2011).

Im Gegensatz hierzu bietet die digitale Volumentomographie (DVT) die Möglichkeit der detailgetreuen, überlappungsfreien Darstellung anatomischer Strukturen. Dadurch wird die exakte räumliche Diagnose und komplexe Analyse des oralen Zustands möglich.

Auch die Kieferorthopädie profitiert von der 3D-Diagnostik, insbesondere bei der Visualisierung von verlagerten Zähnen und bei der Beurteilung des peridentalen Knochenangebotes vor kieferorthopädischen Zahnbewegungen. Bei einer Retention von Eckzähnen im Oberkiefer liegen zu den regelgerechten Strukturen enge anatomische Verhältnisse vor. Eine genaue Befundung ist daher wichtig und hilft Folgeschäden beim Verbleiben der Zähne in der nicht physiologischen Lage zu vermeiden. Bei der operativen Entfernung reduziert die dimensionsgetreue 3D-Diagnostik das Risiko von chirurgischen Komplikationen an den umliegenden anatomischen Strukturen, den Nachbarzähnen, Kieferhöhlen- und Nasenboden (Zöller 2007).

Die dritte Dimension hilft dem behandelnden Arzt die Position des impaktierten Eckzahnes genau zu lokalisieren und dessen umgebenden Strukturen zu veranschaulichen. Resorptionen an benachbarten Wurzeln bleibender Zähne können frühzeitig erkannt und vermieden werden. Eine individuelle, minimal-invasive therapeutische Planung wird festgelegt und iatrogene Schäden werden verhindert.

## 1.1. Ätiologie und Prävalenz von impaktierten Eckzähnen

Die Impaktion eines Zahnes ist ein pathologischer Zustand und definiert als das Ausbleiben der Eruption eines vollständig ausgebildeten Zahnes in die Mundhöhle. Der korrespondierende Zahn der Gegenseite steht dagegen bereits länger als 6 Monate in der Okklusionsebene (Schindel und Duffy 2007).

Der maxilläre Eckzahn ist nach dem Weisheitszahn der am häufigsten verlagerte Zahn der bleibenden Dentition (Alqerban et al. 2009). Die Prävalenz von impaktierten Eckzähnen im Oberkiefer liegt bei 0,9% bis 4% (Yadav et al. 2013, Garib et al. 2012, Yan et al. 2012, Walker et al. 2005). Es wird jedoch angenommen, dass in der kieferorthopädischen Praxis die Prävalenz bei 23,5% liegt (Ferguson 1990). Das weibliche Geschlecht ist häufiger betroffen, als das männliche (Bishara 1992). Das Verhältnis liegt bei 2:1 (Kim et al. 2012, Konda et al. 2011, Walker et al. 2005, Peck et al. 1994, Ericson und Kurol 1986). Die Ursache dafür liegt in der unterschiedlichen Durchbruchsreihenfolge begründet. Häufig brechen bei Frauen die zweiten Prämolaren vor den Eckzähnen durch und es kommt schneller zu einer Verlagerung (Brauer und Foerzler 2009). Eine Durchbruchsstörung tritt meistens während des Übergangs vom Milch- zum Wechselgebiss und zum bleibenden Gebiss auf (Mevlut et al. 2010). Der obere Eckzahn bricht üblicherweise durchschnittlich mit 11-12 Lebensjahren in die Mundhöhle durch. Im Alter von 15 Jahren ist das Wurzelwachstum abgeschlossen und es kann bei ausgebliebenem Durchbruch dann von einer Retention gesprochen werden (Diedrich 2002). In der Regel werden impaktierte Eckzähne bei jungen Menschen im Alter zwischen 13 und 30 Jahren entdeckt (Alif et al. 2011).

Die genaue Ätiologie impaktierter Eckzähne ist bisher nicht bekannt (Yadav et al. 2013). Es führt meist ein multifaktorielles, komplexes Geschehen zum Problem der Verlagerung, das von einer Vielzahl endogener und exogener Ursachen abhängig ist (Kochel 2003, Bedoya und Park 2009). Folgende ätiologische Faktoren, die im Zusammenhang mit impaktierten Eckzähnen stehen, werden gegenwärtig diskutiert (Marisela et al. 2009):

Zahn- und kieferbezogene Ursachen:

- Diskrepanz zwischen Kieferbogenlänge und Zahngröße
- Resorptionsstörung der Milcheckzahnwurzel

- Frühzeitiger Verlust oder verlängerte Retention des Milcheckzahnes
- Ankylose des bleibenden Eckzahnes
- Zystische und/oder neoplastische Veränderungen
- Dilazeration der Wurzel
- Fehlende laterale Inzisivi
- Wurzelgröße des lateralen Schneidezahnes
- Verzögerte Wurzelbildung des lateralen Schneidezahnes
- Iatrogene Ursachen
- Idiopathische Ursachen

#### Systemische Ursachen:

- Endokrine Mängel
- Fieberhafte Erkrankungen
- Strahlenschädigung

#### Genetische Ursachen:

- Vererbung
- Atypische Keimlage
- Lippen-Kiefer-Gaumenspalte

Besonders bei genetisch dentalen Anomalien findet sich ein gehäuftes Vorkommen von maxillär impaktierten Eckzähnen (Richardson und Russel 2000). Gelegentlich führt auch eine Mutation des Parathyroidhormon-Rezeptors 1 zur Impaktion der Canini (Frazier-Bowers et al. 2010). Hinsichtlich zahnbezogener Anomalien neigen Patienten mit einer Angle Klasse II/2 und einer Zahnaplasie vermehrt zu ektopisch verlagerten Eckzähnen (McSherry 1998).

Eine Eckzahnimpaktion ist häufiger in der Maxilla als in der Mandibula anzutreffen (Sayin und Turkkahraman 2006). Dabei tritt die Impaktion der Oberkiefereckzähne 10-20x häufiger auf, als eine Unterkiefereckzahnimpaktion (Rebellato et al. 2003).

In der Mehrheit der Fälle liegt eine unilaterale Verlagerung der Canini vor (Nigan et al. 2006, Peck et al. 1996) und befindet sich meist in der linken Kieferhälfte (Diedrich 2002). Zu einer bilateralen Retention kommt es in 8% der Fälle (Goetze und Wriedt 2013).

In der europäischen Bevölkerung existiert vermehrt die palatinale Verlagerung des Eckzahnes im Oberkiefer (Lai et al. 2012, Fattahi et al. 2012). Mit 85% kommt sie

(Jacoby 1983) deutlich häufiger als die vestibuläre Impaktion (15%) vor (Leah Walker et al. 2005, Zöller 2007). Bei den Asiaten kommt es dagegen häufiger zu vestibulärer Verlagerung (Alqerban 2009, Zhong et al. 2006). *Kim et al.* (2012) berichten in ihrer Studie mit 148 koreanischen Patienten, von einer dreimal häufigeren vestibulären anstatt palatinalen Verlagerung.

Patienten mit palatinal verlagerten Eckzähnen weisen vielfach eine verspätete Zahnentwicklung auf (Chaushu et al. 2002). Bei vestibulär retinierten Eckzähnen ist die Entwicklung der Zähne zu 42,2% und bei palatinal verlagerten Eckzähnen zu 30% verspätet (Sajnani und King 2012). *Oliver* gibt an, dass sowohl Männer als auch Frauen gleichermaßen von einer langsameren Zahnentwicklung bei Vorliegen einer palatinalen Verlagerung betroffen sind (Oliver 2008).

Maxilläre Eckzähne haben die längste Entwicklungsperiode von allen Zähnen und den längsten, geschwungenen Durchbruchweg (22mm) im Kiefer zurückzulegen, bis sie die Okklusionsebene erreichen. Daher kann es häufiger zu Durchbruchstörungen und Abweichungen während des Wechselgebisses kommen (Garib et al. 2012, Jung et al. 2012). Liegt der Eckzahn nach abgeschlossenem Wurzelwachstum noch immer in der intraossären Position, ist nicht mehr mit einem selbstständigen Durchbruch zu rechnen (Goetze und Wriedt 2013).

Es gibt gegenwärtig zwei Theorien für die palatinale Verlagerung:

Zum einen die „Guidance Theory“ (Litsas und Acar 2011, Becker 2007), die besagt, dass lokale Faktoren für die Verlagerung verantwortlich sind. Die Wurzel des lateralen Schneidezahnes wirkt während des Durchbruchs des Eckzahnes wie eine Führungslinie. Fehlt diese Führung, z.B. aufgrund eines hypoplastischen oder fehlenden seitlichen Schneidezahnes, kann es zu einer palatinalen Verlagerung kommen (Garib et al. 2012, Al-Nimri et al. 2011, Mossey et al. 1994).

*Becker et al.* überprüften bei 19 Patienten den Einfluss des lateralen Schneidezahnes auf die Eckzahnverlagerung. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass, obwohl hypoplastische oder fehlende laterale Schneidezähne vorzufinden waren, dennoch eine ungleiche Häufigkeit an impaktierten Eckzähnen existierte. Es gibt einen Zusammenhang zwischen der Eckzahnverlagerung und der Entwicklung des seitlichen Schneidezahnes, jedoch besteht dieser nicht grundsätzlich (Becker et al. 2002). Den Einfluss von lokalen Faktoren als Hauptursache für die palatinale Verlagerung des Eckzahnes wurde

ebenfalls bestätigt von der retrospektiven Studie von *Chaushu et al.* (2003). Die Autoren untersuchten bei 75 Patienten mit noch nicht durchgebrochenen permanenten Eckzähnen den Einfluss von ipsilateralen Schneidezahnanomalien. Die Gegenseite wurde als Kontrollgruppe verwendet. Auf der Seite mit vorhandener lateraler Schneidezahnanomalie lag die Prävalenz von verlagerten Eckzähnen bei 41,3%. Die kontralaterale Seite wies dagegen nur 4,7% auf.

Zum anderen besagt die „Genetic Theory“ (Peck et al. 1994), dass die Impaktion aufgrund von Anomalien wie Nichtanlage oder Fehlbildungen des seitlichen Schneidezahnes entsteht. Die Anomalien wiederum basieren auf einer Entwicklungsstörung der Zahnleiste (Litsas und Acar 2011). Sie sind genetisch manifestiert und äußern sich familiär mit bilateralem Auftreten in sexuellen Unterschieden, weiteren ektopisch verlagerten Zähnen, Infraokklusion der Milchmolaren und Aplasie der Prämolaren (Peck et al. 2002). Die palatinale Eckzahnverlagerung ist häufig mit genetischen Ursachen verbunden. *Prienen et al.* (1996) zeigten, dass bei 106 Patienten mit einer Zahnanomalie eine palatinale Impaktion des Caninus 2,5-fach häufiger vorzufinden war als bei gesunden Patienten. Eine Hypodontie wurde bei 19-20% der Fälle beobachtet und bei 4,9% fehlten Zähne. Es kann daher auf eine Korrelation zwischen Verlagerung und Zahnanomalie geschlossen werden (Prienen et al. 1996). *Shalish et al.* belegten anhand einer Studie mit 99 kieferorthopädischen Patienten mit infraokkludierten Milchmolaren, dass ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Anwesenheit von Infraokklusion und anderen angeborenen Zahnanomalien einschließlich der palatinalen Eckzahnverlagerung besteht (Shalish et al. 2010).

Eine Eckzahnimpaktion im Oberkiefer bringt negative Folgeerscheinungen mit sich. Die häufigste Nebenwirkung ist die Resorption der Wurzeln der Nachbarzähne. Besonders betroffen davon ist der seitliche Schneidezahn. Bei Belassen der Eckzahnretention kann es zu einem Fortschreiten der Resorption und zu einer starken Verkürzung der Zahnwurzel mit Halterungsverlust kommen (Diedrich 2002). *Bishara* stellt als weitere Folgen Wanderungen und Verdrängungen der benachbarten Zähne durch Zysten und Infektionen mit Exazerbation an (Bishara 1993).

Wenn immer es möglich ist, sollte der bleibende obere Eckzahn erhalten bleiben (Garib et al. 2012). Der Eckzahn hat großen Einfluss auf die Ausbildung des Zahnbogens, die Ästhetik in der Frontzahnregion und die funktionelle Okklusion. (Alif et al. 2011). Auch

für die Phonation und prothetische Versorgung stellt er einen wichtigen Pfeiler dar (Goetze und Wriedt 2013). Es ist von großer Bedeutung, den impaktierten Eckzahn in die Okklusion einzuordnen, da er sowohl eine große Bedeutung für die Funktion als auch für die Ästhetik hat (Park et al. 2012). Jedoch kann bei schwerwiegender Impaktion eine Extraktion des Eckzahnes, zugunsten einer erfolgreichen Behandlung, unumgänglich sein (Bishara 1993).

### **1.1.1. Diagnostik und Therapie impaktierter Eckzähne**

Die Diagnose und Behandlung der Zahnretention oberer Eckzähne erfordert meistens ein interdisziplinäres Zusammenwirken von Zahnarzt, Kieferorthopäde und Chirurg (**Tab. 1**). Aufgrund der hohen Wertigkeit der Eckzähne ist immer eine eventuell-chirurgisch begleitende- kieferorthopädische Einordnung anzustreben. Die klinische Untersuchung impaktierter Canini gliedert sich in Inspektion und Palpation. Über die Inspektion können erste Hinweise auf die Lage des impaktierten Eckzahnes geschlossen werden. Der normale palpatorische Befund entspricht zwei vestibulär gelegenen Vorwölbungen apikal der Milcheckzähne, die sich meist oberhalb der mukogingivalen Grenze befinden (Goetze und Wriedt 2013). Bei einer palatinalen Verlagerung wird die Wurzel des lateralen Schneidezahnes vestibulär und die Krone palatinal gedrückt. Dadurch steht der Schneidezahn rekliniert. Bei einer vestibulären Verlagerung kann die Krone des seitlichen Schneidezahnes weiter vestibulär liegen als die des mittleren Schneidezahnes (Jacobs 1999). Gelegentlich ist der verlagerte Eckzahn vestibulär bzw. palatinal als derbe Schwellung palpierbar (Chrismani et al. 2000). Des Weiteren können ein seitenungleicher Durchbruch, einseitige Milchzahnpersistenz ohne Lockerung, Lückenbildung zwischen seitlichem, respektive mittlerem Schneidezahn und erfolgter Durchbruch der Prämolaren sowie des 2. Molarens auf eine Eckzahnimpaktion hinweisen (Diedrich 2002).

Die Behandlung eines impaktierten Eckzahnes ist unumgänglich. Bei Belassen der Situation hat der Zahn eine schlechte Prognose und es kann zu einer Ankylosierung kommen. Außerdem können pathologische Vorgänge wie eine Wurzelresorption einsetzen. Im Anfangsstadium der Behandlung sollte zunächst der persistierende Milcheckzahn entfernt werden und im weiteren Verlauf bei nicht selbständigem Durchbruch des Eckzahnes eine chirurgische Freilegung desselben erfolgen (Goertz und Wriedt 2013).

*Ericson und Kuroi* zeigten, dass die Extraktion des Milcheckzahnes im Alter von 10-13 Jahren gewöhnlich zu einer Eruption des palatinal verlagerten Eckzahnes führt. Kann der impaktierte Eckzahn nicht erfolgreich in die Zahnreihe eingeordnet werden, muss er extrahiert werden. In diesem Fall sollte der erste Prämolare über kieferorthopädischen Lückenschluß in die Position des Eckzahnes gebracht werden. Eine weitere Möglichkeit ist die Autotransplantation des Eckzahnes. In aller Regel kommt es allerdings zu einer chirurgischen Freilegung. Nachfolgend schließt sich eine kieferorthopädische Behandlung an, die den verlagerten Eckzahn in den Zahnbogen einfügt (*Ericson und Kuroi 1988*). Der Behandlungserfolg, die Behandlungsdauer und die Komplexität des Falles hängen vom Alter des Patienten, der Gebissentwicklung, dem Ausmaß der Wurzelresorption, Lage und Abstand des impaktierten Eckzahnes zur Okklusionsebene und möglichen Dilazierungen ab (*Sabuncuoglu u. Ölmez 2012*). Befindet sich der obere Eckzahn in einer horizontalen Lage von mehr als 45° zur Kauebene und liegt die Krone mesial/ palatinal des mittleren Schneidezahnes, würde eine kieferorthopädische Elongationstherapie nach dem 20. Lebensjahr abgelehnt und eine Extraktion müsste durchgeführt werden (*Diedrich 2002*). Gleiches gilt auch für einen Inklinationwinkel des Eckzahnes von über 30° zur Mittellinie (*Goetz und Wriedt 2013*).

Eine erfolgreiche Behandlung setzt die Kenntnis der genauen Position der verlagerten Zähne und den Einsatz von sensiblen Traktionsmechanismen voraus. Die Eckzähne können ohne Schäden des umgebenden Hart- und Weichgewebes in die Okklusion eingeordnet werden (*Sabuncuoglu u. Ölmez 2012*). Dabei sollte ein besonderes Augenmerk auf die anatomische Position des impaktierten Eckzahnes in Beziehung zum Alveolarknochen und das Angebot der keratinisierten Mukosa/ Gingiva gelegt werden (*Chapokas et al. 2011*). Bei der operativen Freilegung des impaktierten Eckzahnes orientiert sich der behandelnde Arzt an der zu erwartenden Position (*Jacobs 1999*).

Vor der Therapie muss je nach individueller Situation entschieden werden, ob der chirurgische Zugang von palatinal oder vestibulär geplant wird. Darüber entscheidet die klinische und röntgenologische Diagnostik. In der Regel ist die Lücke zu klein, um den impaktierten Eckzahn einzuordnen und muss zunächst mit einer Nickel-Titan-Druckfeder geöffnet werden. Die chirurgische Freilegung wird meistens von einem Oralchirurgen durchgeführt. Prinzipiell ist eine geschlossene oder auch eine offene Retention des Eckzahnes möglich. Entweder wird der Mukoperiostlappen nach

Eröffnung wieder in seine Ausgangsposition zurückgeklappt oder der Schleimhautlappen wird eingeschlagen, um das Ganze offen zu halten. Die offene Technik erlaubt den natürlichen Durchbruch des impaktierten Eckzahnes (Stylianos et al. 2013). Bei einer oberflächlichen Lage des impaktierten Eckzahnes wird der Zugang von vestibulär gewählt. Der Schleimhautlappen wird nach innen gerollt und mit Nähten fixiert, so dass die Krone sichtbar bleibt und die Wunde sich nicht verschließen kann. Durch den Zug des Schleimhautlappens, sich wieder ausstülpen zu wollen, wird der Zahn Richtung Okklusionsebene gezogen. Man bezeichnet dieses Verfahren als Rolllappentechnik und es kann auch bei palatinaler Verlagerung verwendet werden.

Liegt der Zahnkeim tiefer im Knochen, kann die Wunde aufgrund der Infektionsgefahr nicht offen gelassen werden. In diesem Fall wird ein Attachment mit Haken an den verlagerten Zahn angebracht und der Schleimhautlappen erneut reponiert. Der Zug wird in Richtung der Zahnachse ausgerichtet. Bei einer palatinalen Verlagerung ist die Lage des Eckzahnes meist horizontal. Der Zahn sollte erst palatinal zum Durchbruch gebracht und dann vestibulär in die Zahnlücke eingeordnet werden, ansonsten können das Gewebe angegriffen und Wurzelresorptionen provoziert werden. Nach Sicherung der erfolgreichen Zahnbewegung kann der persistierende Milchzahn entfernt und der impaktierte Eckzahn eingeordnet werden (Diedrich 2002). Der palatinal verlagerte Eckzahn kann entweder einzeitig oder zweizeitig freigelegt werden. Bei der zweizeitigen Methode wird zunächst der Eckzahn freigelegt und dann ein Gazestreifen eingebracht (Grenga et al. 2004). Während des zweiten Eingriffs wird der Streifen entfernt und ein Attachment auf den Eckzahn aufgeklebt. Beim einzeitigen Verfahren wird alles in einer Sitzung durchgeführt. Am Attachment wird eine Kette angebracht, die mit der kieferorthopädischen Apparatur verbunden wird und den verlagerten Eckzahn in die Okklusion hineinzieht (Chaushu et al. 2005).

Die Freilegung vestibulär verlagerten Eckzähne umfasst die lokale Schleimhautexcision, apikale oder latero-apikale Verschiebelappen und die Tunneltechnik (Closed-Eruption-Technik). Sollte sich die Eckzahnkrone koronal der Mukogingivallinie befinden, reicht eine lokale Schleimhautexcision aus, um den Zahn darzustellen (Vermette et al. 1995). Liegt die Krone auf Höhe der Mukogingivalgrenze, sollte ein apikaler Verschiebelappen angewendet werden. Befindet sich die Krone apikal dieser Grenze, ist das sogenannte Tunnelverfahren indiziert. (Kokich und Mathews 2006).



*Stylianos et al.* konnten in ihrer Studie auf einen Zusammenhang zwischen geschlossener Technik und einer gehäuften Ankylosierung schließen. Die Autoren untersuchten bei insgesamt 150 impaktierten Eckzähnen die Wirkungsweise der chirurgischen Freilegungstechniken. 31 Eckzähne brachen spontan durch, nachdem es im Zuge einer palatinalen Erweiterung zu einem Platzgewinn in der Eckzahnregion gekommen war. Von den anderen 119 Zähnen wurden 57 mit der offenen und 62 mit der geschlossenen Methode behandelt. Das Risiko einer Ankylose lag bei der offenen Technik bei 3,5% und bei der geschlossenen Technik bei 14,5%. Bei den jüngeren Patienten (<18 Jahre) kam es weniger häufig (5%) zu einer Ankylosierung im Vergleich zu den Älteren (>18 Jahre) (17,9%). Die Entscheidung, ob die offene oder die geschlossene Technik angewendet wird, kann unabhängig vom Alter des Patienten und vom Grad der Impaktion gewählt werden. Gerade bei jungen Patienten sollte über die palatinale Expansion versucht werden, den impaktierten Eckzahn zum selbstständigen Durchbruch anzuregen (*Stylianos et al. 2013*).

### Therapiemöglichkeiten impaktierter Eckzähne:

**Tab. 1:** Kieferorthopädisch-chirurgisches Management von impaktierten Eckzähnen im Oberkiefer (*Konda et al. 2011*)

Impaktion	Freilegungstechnik	Indikation für chirurgischen Eingriff	Indikation für kieferorthopädische Behandlung	Vorteile	Nachteile
Labial	Gingivektomie	Eckzahnspitze befindet sich koronal der Mukogingivalgrenze. Eckzahn ist nicht von Knochen umgeben	Nicht angezeigt, wenn Zahn dazu tendiert, normal durchzubrechen.	Wenig traumatisch	Verlust von Attached-gingiva
	Apikaler Verschiebelappen	Eckzahnkrone liegt Apikal der Mukogingivalgrenze	2-3 Wochen nach Chirurgie	Häufig angewendet Schutz der keratinisierten Gingiva	Risiko Gingiva-Rezession
	Geschlossenes Verfahren	Zahn befindet sich zentral im Alveolarknochen Eckzahnkrone ist apikal der Mukogingivalgrenze	1-2 Wochen nach Chirurgie	Bessere Ästhetik Einfache Zahnbewegung	Mögliche mukogingivale Probleme

<b>Palatinal</b>	Geschlossener Schleimhautlappen	Eckzahn liegt nahe an den Schneidezähnen Horizontale Lage	1-2 Wochen nach Chirurgie	Kieferorthopädische Einordnung kann unmittelbar beginnen	Knochendehiszenzen, Wurzelresorptionen, lange Operationsphase
	Offenes Verfahren	Spätes Wechselgebiss Bleibendes Gebiss	Sobald Eckzahn die Okklusionsebene erreicht	Erhalt des Knochenlevels, keine bzw. wenige Wurzelresorption. Schnelle Behandlung, gute orale Hygiene während Behandlung	Ausbleiben des Durchbruchs, Behandlung nicht möglich
	Schleimhautfenster	Eckzahn liegt nahe den Schneidezähnen Horizontale Lage	1-2 Wochen nach Entfernung des Gazestreifens	Durch Einsicht auf Krone bessere Kontrolle über Zahnbewegung und Nachbarstrukturen	Gingivawucherung im Bereich der Schneidezähne. Infektionsgefahr
	Tunnelverfahren (Closed-Eruption-Technik)	Milcheckzahn vorhanden	10 Tage nach Chirurgie, sobald Naht verheilt und Einordnungsphase begonnen hat	Knochenabbau im Bereich des impaktierten Zahnes Impaktierter Eckzahn wird an die Position des Milcheckzahnes gebracht	Nur bei vorhandenem Milcheckzahn möglich

Weitere alternative Therapieverfahren stellen die Einordnung mit Magneten und die Kallusdistraktionsosteogenese dar. Mit Hilfe von Neodymium-Eisen-Bor-Magneten kommt es zu einer Zahnbewegung des impaktierten Eckzahns aus der intraossären Position in Richtung Okklusionsebene. Beim Kallusdistraktionsverfahren wird die Maxilla durch die Streckung des zwischen den getrennten Knochenteilen liegenden Kallus verlängert. Die Kallusdistraktion eines osteomierten Bereiches mit dem impaktierten Eckzahn kann nur geradlinig bewegt werden. Das Einordnen palatinal bzw. horizontal verlagertes Eckzähne ist daher nicht möglich. Diese Methode sollte bei ankylosierten Eckzähnen im Unterkiefer angewendet werden (Diedrich 2002). Bei einer nicht erfolgreichen Therapie, die oftmals mit Verlust des impaktierten Eckzahnes einhergeht, stellt ein in die Eckzahnlücke inseriertes Implantat eine weitere Option dar (Pinho 2012).

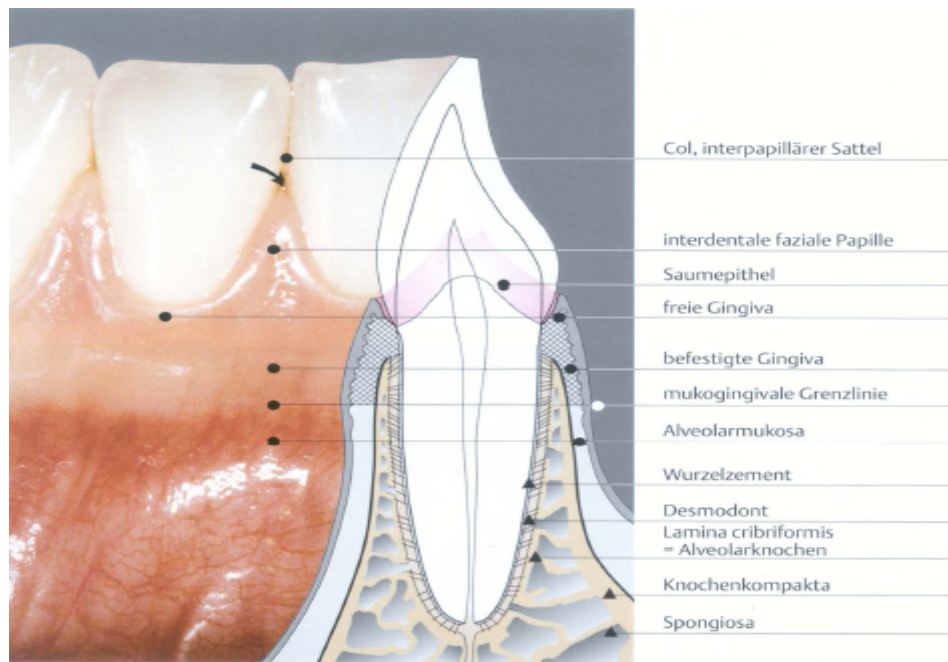
Die durchschnittliche Dauer der erfolgreichen Einordnung des retinierten Eckzahnes beträgt laut *Grande et al.* 1,9 Jahre (Grande et al. 2006). Nicht immer führt die Behandlung von impaktierten Eckzähnen zum Ziel. Das chirurgisch-kieferorthopädische Verfahren ist meist erfolgreich, beinhaltet jedoch eine längerfristige Therapie sowie einen höheren finanziellen Aufwand. Außerdem können Nebenwirkungen wie

Gingivarezession, Knochendehiszenzen und Anheftungsverlust des Zahnfleisches um die behandelte Region auftreten (Sajnani und King 2012).

Oft scheitert die Therapie an falscher Traktionsrichtung des Eckzahnes bei Einordnung in den Zahnbogen, resultierend aus unpräziser oder unzutreffender Diagnose im Vorfeld, z.B. bei Fehlen einer 3D-Röntgendiagnostik. Auf einer planen 2D-Röntgenaufnahme ist es nicht möglich, die vestibulär-linguale/palatinale Position der Eckzahnkrone adäquat zu bewerten. Ebenso kann keine annähernd präzise Aussage über Lage der Zahnachse und der Wurzelspitze getroffen werden. Eine komplexe Diagnose ist nicht möglich und Fehlbefunde werden getroffen. Eine DVT (Digitale Volumen-Tomographie) zeigt dagegen die verlagerten Zähne in allen drei Raumebenen und gibt Auskunft über die Nähe zu angrenzenden Strukturen. Sie ist frei von Verzerrungen und Überlagerungen. Die DVT stellt eine unabdingbare Voraussetzung für die erfolgreiche chirurgisch-kieferorthopädische Behandlung labial und palatinal verlagelter Eckzähne dar (Becker et al. 2010). Eine frühe Diagnose der Impaktion führt zu einem verbesserten Behandlungsmanagement (Konda et al. 2011). Eine exakte Kenntnis über die Impaktion von Eckzähnen ist von außerordentlicher Wichtigkeit, um eine korrekte chirurgische Planung und umfassende Therapie zu erstellen (Rusu et al. 2010).

## **1.2. Aufbau des Parodonts und Ursachen von vestibulären Knochendehiszenzen**

Der Begriff „Parodont“ (Zahnhalteapparat) umfasst vier verschiedene Gewebe: (1) Gingiva, (2) Wurzelzement, (3) Alveolarknochen sowie das die beiden letzten Strukturen verbindende (4) Desmodont („periodontal ligament“) (**Abbildung 1**). Alle vier Gewebearten werden als eine entwicklungsgeschichtliche, funktionelle und biologische Einheit betrachtet und bilden den sog. Zahnhalteapparat (Abb.1). Die Hauptaufgaben des Parodonts sind die Verankerung des Zahnes im Knochen, das Auffangen der Kaukräfte, die Abwehr äußerer Noxen und die Separierung zwischen Mundhöhlenmilieu und Zahnwurzel (Schroeder und Listgarten 1997).



**Abb. 1:** Aufbau des Parodonts (Wolf et al. 2004).

## Gingiva

Die Gingiva bildet den periphersten Teil des Parodonts und ist ein Teil der Mundschleimhaut. Sie verläuft girlandenförmig an der Schmelz-Zement-Grenze und erstreckt sich bis zur Mukogingivallinie. Papillenartig füllt sie den Interdentalraum aus und läuft zum Kontaktpunkt koronal spitz aus. Sie lässt sich unterteilen in die 1,5 mm breite marginale freie Gingiva, in die unterschiedlich ausgedehnte befestigte (attached) Gingiva und in die interdental papilläre Gingiva (Wolf et al. 2004, Schoeder und Listgarten 1997). Jenseits der Mukogingivallinie geht sie in die auskleidende Mukosa über. Die mukogingivale Grenzlinie ist in den palatinalen Abschnitten nicht vorhanden, so dass die Gingiva hier zur nicht beweglichen, keratinisierten Gaumenschleimhaut gehört. Die Gingiva bildet den periphersten Teil des Parodonts (Schroeder und Listgarten 2003).

## Wurzelzement

Das Wurzelzement bedeckt die Wurzeloberfläche und Teilbereiche der apikalen Kanäle der Zähne. Es ähnelt in seiner Struktur und Härte dem Knochen, ist aber nicht vaskularisiert. Es besteht zu 65% aus anorganischem Material, der Rest sind zu 23% organisches Material und 12% Wasser. Im koronalen Drittel befindet sich azelluläres, fibrilläres Zement, welches zellfrei ist, jedoch aus vielen kollagenen Fibrillen besteht. In diesen Anteil des Zements inserieren die von außen einstrahlenden Faserbündel

(Sharpey-Fasern) und fixieren den Zahn dadurch in der Alveole. Im oberen Wurzeldrittel liegt das azelluläre Faserzement, dessen Oberfläche stärker mineralisiert ist als die mittleren Zementschichten. Das zellulär-fibrilläre Zement ist im apikalen Bereich der Zahnwurzel lokalisiert. In diesem Bereich des Zements strahlen ebenfalls Sharpey-Fasern ein. Es beinhaltet schwach und stark mineralisierte Zonen (Hellwig et al. 2009).

### **Alveolarknochen**

Den zahntragenden knöchernen Anteil des Ober- und Unterkiefers bilden die Alveolarfortsätze. Sie entwickeln sich mit der Bildung und während des Durchbruchs der Zähne. Bei Verlust der Zähne atrophieren sie. Der Alveolarfortsatz unterliegt ständigen Umbauprozessen durch Osteoklasten, Osteoblasten und Osteozyten. Es lassen sich drei Strukturen unterscheiden: Die äußere Kompakta bedeckt den Alveolarfortsatz. Die Zahnalveolen sind mit einer Innenkortikalis ausgekleidet (Lamina cribriformis), die den eigentlichen Alveolarknochen darstellt. Die Alveoleninnenkortikalis ist durchlöchert (Volkman-Kanäle) und durchzogen von zahlreichen Gefäßen und Nervenfasern, die in das Desmodont ein- und austreten. Die Spongiosa stellt die dritte Struktur dar und befindet sich zwischen Kompakta und Alveolarknochen (Wolf et al. 2004). Letztere Strukturen bilden den sogenannten Knochenkamm, der der vestibulär sehr fein und nicht mit Spongiosa ausgekleidet ist. Meistens findet sich in diesem Bereich nur noch eine sehr dünne Knochenlamelle, bei der nicht mehr zwischen Alveolarknochen und Kompakta unterschieden werden kann. In diesen Fällen finden sich häufig Knocheneinziehungen (Dehiszenzen) und Fensterungen (Fenestrationen) (Hassel 1993).

### **Desmodont**

Das Desmodont ist die ca. 0,25 mm breite sogenannte Wurzelhaut. Sie befindet sich im Periodontalspalt zwischen Wurzeloberfläche und Alveolarknochen. Das Desmodont endet ca. 1-2 mm unterhalb der Schmelz-Zement-Grenze und geht kontinuierlich in das Bindegewebe der befestigten Gingiva über. Es besteht aus zell- und fasereichem Bindegewebe und ist gut vaskularisiert. Genauso wie das gingivale Gewebe besitzt das Desmodont eine hohe Umbaukapazität (Hellwig et al. 2009)

## **Entstehung von vestibulären Knochendehiszenzen**

Am alveolären Knochen kann es zu Knochendefekten kommen. In dieser Studie wird unter anderem das Auftreten von vestibulären Knochendehiszenzen im Zusammenhang mit impaktierten maxillären Eckzähnen untersucht. Bei einem Patienten mit gesunden parodontalen Verhältnissen, befindet sich der faciale Knochenrand ca. 2 mm unter der marginalen Gingiva entlang der Schmelz-Zement-Grenze. Der Knochen in diesem Bereich ist sehr dünn und nicht mit Spongiosa unterlegt. Häufig kommt es an der feinen Knochenlamelle zu Fenestrationsen oder Dehiszenzen. Erst im apikalen Drittel wird der Knochen wieder dicker und ist von Spongiosa durchzogen. Hier sind selten Knochendefekte lokalisiert. Klinisch äußert sich der Knocheneinbruch mit Zahnfleischrückgang. In der Regel ist die Knochendehiszenz ausgeprägter als die Gingivarezession. Die Rezession kann sowohl lokalisiert als auch generalisiert an den Zähnen vorkommen (Wolf et al. 2004).

*Baysal et al.* (2013) beschäftigten sich mit den Veränderungen der Dicke, der Höhe und mit der Häufigkeit von Fenestrationsen und Dehiszenzen des Alveolarknochens nach einer schnellen Erweiterung des Oberkiefers. Untersucht wurde der Knochen im palatinalen und vestibulären Bereich der Eckzähne, Prämolaren und der ersten Molaren. Des Weiteren wurden Höhe und Breite des Alveolarknochens mit Hilfe von DVT-Aufnahmen ausgewertet. Die maxilläre Expansion führte bei allen Fällen zu einer Abnahme der Höhe und Breite des Alveolarknochens. Fenestrationsen und Dehiszenzen lagen vermehrt nach Abschluss der Behandlung vor.

*Guo et al.* (2011) untersuchten 20 Patienten mit einer dentoalveolären Protrusion nach Retraktion und Intrusion der Oberkiefer Schneidezähne auf das Vorkommen von Knochendehiszenzen. Bei allen Patienten wurden zuvor die ersten Prämolaren im Ober- und Unterkiefer extrahiert und eine Minischraube für die Verankerung inseriert. Mit Hilfe von 3D CT-Aufnahmen wurde der Alveolarknochen vor und nach der Behandlung auf pathologische Vorgänge untersucht. Das Ergebnis zeigte, dass bei jedem Patienten vestibuläre (6,49%) und palatinale (27,42%) Knochendehiszenzen vorkamen.

*Garib et al.* veröffentlichten 2010 eine Studie zur Darstellung der Alveolarknochenmorphologie im CT. Sie untersuchten wo die Grenzen der Zahnbeweglichkeit, limitiert durch die unterschiedliche Knochenbreite, lagen. Durch

orthodontische Zahnbewegung und Zahnbogenerweiterung kann es zu Knochendehiszenzen, Fenestrationen und Gingivarezessionen kommen. Die labial/buccal gelegene Knochenplatte ist sowohl im anterioren als auch im posterioren Bereich sehr dünn. Die palatinal gelegene Knochenlamelle ist im Allgemeinen dicker und im Bereich der Frontzähne besonders ausgeprägt. Zähne, die nicht regelgerecht im Zahnbogen stehen, wie Frontzähne im Labialstand, besitzen ein besonders hohes Risiko für Knochendehiszenzen. *Garib et al.* beobachteten einen Zusammenhang zwischen der bukkal-lingualen Zahnbewegung und dem Auftreten von vestibulären Knochendehiszenzen (Garib et al. 2010).

Als Ursache für derartige vestibuläre Knochenläsionen sind nicht nur kieferorthopädische Zahnbewegungen oder Zahnfehlstellungen ausschlaggebend, sondern auch mechanische Reize (falsche Putztechnik) oder zu weit subgingival gelegene Kronenränder die zu traumatischen Schädigungen am Zahnhalteapparat führen können (Hellwig et al. 2009). Ähnliche Effekte werden auch bei Habbits wie dem Kauen der Fingernägel oder Bleistiften beobachtet, ferner durch orale Piercings (Serino et al. 1994). Parodontale Erkrankungen können ebenso ein Grund für Knochenläsionen sein. Häufig entsteht mit dem Älterwerden ein vermehrter parodontaler Knochenverlust, der von Gingivarezessionen und vestibulären Knochendehiszenzen begleitet wird (Yoneyama et al. 1988).

### **1.3. Formen und Ursachen von Wurzelresorptionen**

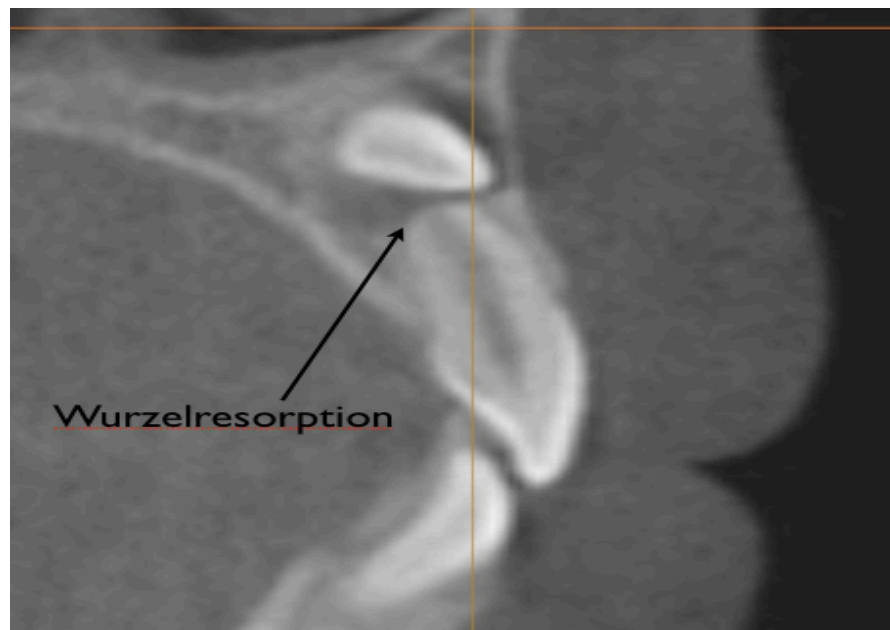
Wurzelresorptionen sind die Folge dentoklastischer Zellaktivität und gehen mit einem Abbau von Zement und/oder Dentin einher. Eine Wurzelresorption kann entweder physiologischen, während der ersten Dentition (Milchzahnresorption), oder pathologischen Ursprungs, während der zweiten Dentition (Resorption der bleibenden Zähne), sein. Bei zuletzt genannten unterscheidet man die interne von der externen Wurzelresorption. Die interne Wurzelresorption geht von einem nichteröffneten Pulpenkavum oder vom Wurzelkanal aus. Sie kann transitorisch oder progressiv verlaufen. Die transitorische Resorption ist röntgenologisch nicht zu erkennen. Dagegen sind die progressiven Resorptionsprozesse röntgenologisch diagnostizierbar und werden als „Granuloma internum“ bezeichnet. Die Ursache des internen Granuloms ist eine bakterielle Infektion und Nekrose von Teilen der Pulpa. Häufig traumatisch oder

durch eine kariesbedingte Infektion entstanden (Bolhari 2013). Die Bakterien können über die Dentilkanälchen das weiter apikal gelegene Dentin erreichen und es resorbieren. Auch ein mechanisches Trauma ,wie eine Luxation, kann zur internen Resorption führen.

Bei der externen Resorption kommt es außerhalb des Desmodonts zum Abbau von Zement und Dentin. Dieser Abbau kann in allen Teilen der Wurzel lokalisiert sein. Die externe Wurzelresorption verläuft meist progressiv und führt zu tiefen großflächigen Resorptionen, die röntgenologisch sichtbar sind (**Abbildung 2**). In der Regel verläuft diese Resorptionsform symptomlos (Schroeder 1997). Die Ätiologie für eine externe Wurzelresorption ist multifaktoriell. Gründe für den Abbau der Zahnhartsubstanz können insbesondere impaktierte Zähne, Pulpanekrosen, parodontale, periapikale und pulpale Entzündungen sein. Außerdem können ein Trauma, okklusale Fehlbelastung, überzählige Zähne, orthodontische Therapie oder ein Tumor zu externen Wurzelresorptionen führen (Bolhari et al. 2013). *Rakhshan et al.* (2012) sehen die kieferorthopädische Behandlung als häufigste iatrogene Ursache an. Histologische Studien belegen ein externes Wurzelresorptionsvorkommen nach Kieferorthopädie von 90% (Weltman et al. 2010). Ebenso können systemische Ursachen wie ein endokrines Ungleichgewicht, Morbus Paget und eine renale oder hepatische Erkrankung die Ursache sein (Bakland 1992). *Nishioka et al.* (2006) vermuten eine mögliche Korrelation zwischen Wurzelresorptionen und Allergien. Es konnte allerdings kein signifikanter Zusammenhang zwischen externen Wurzelresorptionen bei Patienten mit Allergien wie z.B. Asthma festgestellt werden. In einer älteren Studie beobachteten *Baumrind et al.* (1996), dass Wurzelresorptionen abhängig von der Behandlungszeit und dem Geschlecht sind. Zum gleichen Ergebnis kamen auch *Mohandesan et al.* (2009), sie sehen die Prämolarenextraktion als einen möglichen Risikofaktor. *Artun et al.* (2009) konnten dagegen in ihrer Studie keine signifikanten Korrelationen, zwischen der Dauer der Behandlungszeit und externen Wurzelresorptionen feststellen. Kommt es jedoch zu einer langen kieferorthopädischen Behandlung mit starken intrusiven Kräften, steigt das Risiko einer Wurzelresorption und der Schweregrad nimmt zu (Weltman et al. 2010).

In der Regel verhalten sich Zähne mit einer vorhandenen externen Wurzelresorption klinisch asymptomatisch, gelegentlich weisen sie einen geringen Lockerungsgrad auf (Bolhari et al. 2013).





**Abb. 2:** DVT-Aufnahme (sagittale Ansicht) eines impaktierten maxillären Eckzahnes und des angrenzenden seitlichen Schneidezahnes im 2. Quadranten. Die Wurzel des lateralen Schneidezahnes weist eine deutliche Wurzelresorption auf, verursacht durch den verlagerten Eckzahn (Quelle: MESANTIS®).

Die häufigste Nebenwirkung von verlagerten Eckzähnen ist die Resorption der Wurzeln benachbarter Zähne (Brusveen et al. 2012, Ericson u. Kurol 2000,1987). Insbesondere der laterale Schneidezahn ist davon betroffen, auch der zentrale Schneidezahn und die Prämolaren können involviert sein (Rakhshan et al. 2012, Alqerban et al. 2011, Albaker und Wong 2010). Wurzelresorptionen an den Schneidezähnen können durch den Druck und den Kontakt zwischen der Wurzel des Schneidezahnes mit dem Eckzahn entstehen. Meistens treten externe Wurzelresorptionen (48%) bei Kindern im Alter von 9-15 Jahren auf (Garib et al. 2012). Ein gehäuftes Vorkommen (2:1) findet sich im weiblichen Geschlecht (Albaker und Wong 2010).

*Alqerban et al.* haben sich in einer Studie mit dem Auftreten von Wurzelresorptionen im Zusammenhang mit impaktierten Eckzähnen beschäftigt. Sie haben herausgefunden, dass unbehandelte verlagerte maxilläre Eckzähne pathologische Veränderungen an den benachbarten Strukturen hervorrufen können. Es kann zum Vitalitätsverlust des lateralen Schneidezahns, zur Verkleinerung des Zahnbogens, zur Ausbildung von follikulären Zysten, zur Eckzahnankylose sowie zu wiederkehrenden Infektionen und Resorptionen kommen. Die externe Wurzelresorption an benachbarten bleibenden

Zähnen ist dabei die häufigste Folge der Verlagerung und führt meist zum Zahnverlust. Neueste Langzeitstudien von *Alqerban et al.* zeigen jedoch, dass stark resorbierte Incisivi erhalten bleiben können. Die Resorptionen kommen zum Stillstand sobald die angreifenden Kräfte nicht mehr wirken. Dementsprechend kann die Resorption an seitlichen Schneidezähnen mit verlagert anliegendem Eckzahn zum Erliegen kommen. Kommt es zu einer Distanzierung des impaktierten Eckzahnes von der Wurzel, stoppen die resorptiven Prozesse. Die Langzeitprognose der Zähne mit Resorptionen ist gut (*Alqerban et al. 2011*).

Um die möglichen Risikofaktoren für eine externe Wurzelresorption an den Oberkieferschneidezähnen zu bestimmen, untersuchten *Rakhshan et al.* (2012) 132 kieferorthopädische Patienten in Teheran. Panoramaschichtaufnahmen wurden auf Wurzelresorptionen geprüft und dabei auf mögliche prädisponierende Faktoren wie Geschlecht, Behandlungsplanung (Extraktion/keine Extraktion), Overjet/Overbite und Schneidezahnart (mittlerer oder seitlicher Incisivi) selektiert. Seitliche Oberkieferschneidezähne waren häufiger von Wurzelresorptionen betroffen als mittlere Schneidezähne. Ebenso fanden die Autoren bei Patienten mit Extraktionen, langer Behandlungsdauer und einem vergrößerten Overjet, ein gehäuftes Auftreten von externen Wurzelresorptionen. Dagegen konnte kein signifikanter Unterschied in der Geschlechterverteilung festgestellt werden.

*Yan et al.* bestätigen die Prävalenz von Wurzelresorptionen an Schneidezähnen im Zusammenhang mit einer Eckzahnimpaktion. Sie verglichen bei 170 chinesischen Patienten mit impaktierten Eckzähnen (101 vestibulär und 69 palatinal verlagert) und bei 170 Patienten ohne eine Eruptionsstörung das Vorkommen von Resorptionen, die Resorptionslage und die Resorptionsausbreitung an benachbarten Zähnen. Besonderes Augenmerk wurde dabei auf die Schneidezähne und den ersten Prämolaren gelegt. Die radiologische Auswertung fand anhand von DVT-Aufnahmen statt. Die Autoren kamen zu dem Ergebnis, das im Vergleich zur Kontrollgruppe signifikant mehr Wurzelresorptionen bei den Patienten mit impaktierten Eckzähnen zu finden waren. Die Prävalenz für den seitlichen Schneidezahn war mit 27% am höchsten, gefolgt von dem mittleren Schneidezahn mit 18% und dem ersten Prämolaren mit 10%. Die Resorption befand sich am häufigsten im apikalen Drittel. Zu einer schweren Wurzelresorption mit Pulpabeteiligung kam es am mittleren Schneidezahn zu 57%, am seitlichen Schneidezahn zu 36% und zu 0% am Prämolaren.

Kein signifikanter Unterschied wurde zwischen vestibulärer und palatinaler Eckzahnverlagerung festgestellt. Ausschlaggebend für eine Resorption war der Kontakt zwischen dem Eckzahn und den benachbarten Zähnen. Lag dieser Abstand unter 1mm, war die Häufigkeit für Wurzelresorptionen besonders hoch (Yan et al. 2012)

*Ericson und Kuroi* geben in einer Studie an, dass 12,5% der ektopisch verlagerten Eckzähne eine Wurzelresorption an den benachbarten Zähnen hervorrufen (Ericson und Kuroi 1987). In einer neueren Untersuchung mit Hilfe des CT (Computertomographie), berichten die Autoren von 48% Wurzelresorptionsvorkommen, verursacht durch impaktierte Eckzähne. Sie untersuchten dafür 107 Kinder mit 156 impaktierten maxillären und 58 normal durchgebrochenen Eckzähnen. Auf der Seite mit den regelgerecht durchgebrochenen Eckzähnen waren lediglich 3 Zähne mit leichten Wurzelresorptionen zu finden. Die Wurzelresorption wurde verursacht durch den direkten Kontakt des verlagerten Eckzahnes mit den Schneidezähnen und durch den Druck des Eckzahnes, eruptieren zu wollen (Ericson und Kuroi 2000). Ebenfalls 107 Kinder mit ektopisch verlagerten Eckzähnen untersuchten *Brunsveen et al. (2012)* mit Hilfe des CTs auf Resorptionen. An den seitlichen Schneidezähnen wurde zu 38% und bei den zentralen Schneidezähnen zu 9% eine Resorption festgestellt. Lediglich 3% der Fälle mit regelgerecht durchgebrochenen Eckzähnen wiesen eine Wurzelresorption auf. Den Grund der Wurzelresorption schreiben die Autoren den intrusiven Kräften des Eckzahnes zu, in die Okklusion durchbrechen zu wollen. Eine Studie mit DVT-Aufnahmen zeigt sogar ein Wurzelresorptionsvorkommen von 66,7% für die seitlichen und 11,1% für die mittleren Incisivi (Walker et al. 2005). *Bjerklin und Guitirokh* zeigen, dass bei Patienten mit ektopisch verlagerten maxillären Eckzähnen in 61% der Fälle eine Resorptionsgefahr für die seitlichen Incisivi besteht (Bjerklin u. Guitirokh 2011). *Kim et al.* kommen auf ein Ergebnis von 49,5% Wurzelresorptionen an benachbarten Zähnen (Kim et al. 2012).

Impaktierte maxilläre Eckzähne können während einer kieferorthopädischen Behandlung Risikofaktoren für Wurzelresorptionen an den Schneidezähnen sein (Linge und Linge 1991). *Schmidt und Kokich (2007)* verglichen bei Patienten mit einer unilateralen Eckzahnverlagerung, nach Abschluss der Behandlung die Wurzellängen der Schneidezähne auf der Seite mit Impaktion und auf der Seite ohne eine Verlagerung. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass die Schneidezahnwurzeln auf der Seite der Impaktion kürzer waren. Trotzdem sehen *Garib et al. (2012)* beim Vorhandensein

von Wurzelresorptionen an den Schneidezähnen keine Kontraindikation für eine kieferorthopädische Behandlung. Es muss allerdings darauf geachtet werden, dass geringere Kräfte bei der Zahnbewegung eingesetzt und eine stetige radiologische Kontrolle der Wurzeln durchgeführt wird. Das Ausmaß der Wurzelbewegung ist ein Risikofaktor für apikale Wurzelresorptionen an den Oberkieferschneidezähnen (Sameshima und Sinclair 2001). Um das Voranschreiten der Wurzelresorption während der kieferorthopädischen Behandlung zu vermeiden, sollte in der zentrischen Okklusion Kontakt auf den Schneidekanten vermieden werden. Langfristig zeigen die Zähne mit schweren Wurzelresorptionen keine weitere Resorptionsgefahr, keine erhöhte Mobilität oder Verfärbung (Becker und Chaushu 2005).

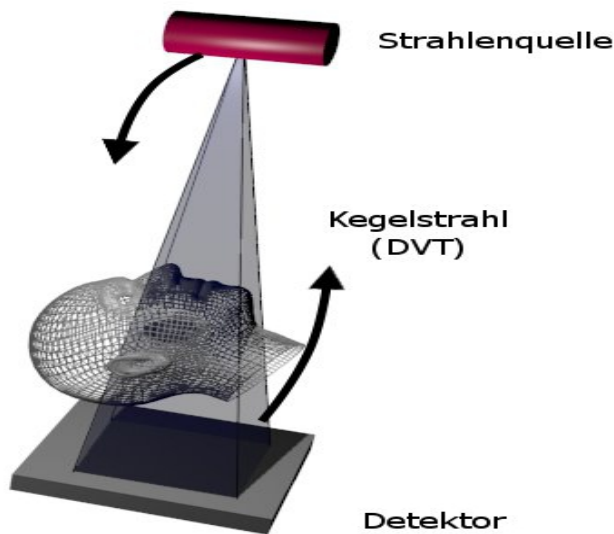
Besonders anfällig für Resorptionen ist die Wurzel während der Entwicklung. Aus diesem Grund ist es von großer Bedeutung, die Wurzelresorption frühzeitig zu diagnostizieren und zu therapieren bzw. diese zu vermeiden (Albaker, Wong 2010.).

*Alqerban et al.* untersuchten die Diagnostik von Wurzelresorptionen mit der 2D-Standard-Röntgentechnik (OPTG) und verglichen diese mit der 3D Volumentomographie (DVT). Sie fanden heraus, dass die konventionelle Röntgentechnik nur eine eingeschränkte Aussagekraft über die dentalen Strukturen liefert. Ein konventionelles OPTG ist nicht in der Lage eine Wurzelresorption, die weniger als 0,60 mm im Durchmesser und 0,30 mm in der Tiefe beträgt, zu erkennen. Weitere Nachteile sind die Überlagerung und die ungenaue Beurteilung der Lage von Wurzelresorptionen und impaktierten Eckzähnen. Die 3D-Diagnostik ist dagegen hilfreich bei der Beurteilung der Wurzeloberfläche bzw. der Resorption. Die DVT-Röntgentechnik bildet Strukturen exakter ab und der Wurzelabbau kann genau bestimmt bzw. Komplikationen durch impaktierte Eckzähne können vermieden werden (Alqerban et al. 2011).

#### 1.4. DVT in der Diagnostik von impaktierten Eckzähnen

Die Behandlung von impaktierten Eckzähnen stellt den Behandler vor eine Herausforderung. Eine frühzeitige Diagnose und Behandlung von Durchbruchsstörungen kann Folgeschäden wie Wurzelresorptionen an den angrenzenden Zähnen, Wurzeldilazerationen und peridentale Knochenläsionen reduzieren. Ein gut geplantes Behandlungsmanagement ist notwendig, um eine Therapie zu gewährleisten, die jegliche Nebenwirkungen minimiert (Fu et al. 2013). Ebenso können durch eine frühe Diagnose und Intervention Zeit, Kosten sowie eine komplexe Therapie im bleibenden Gebiss erspart bleiben (Litsas und Acar 2011). Um eine präzise Diagnose stellen zu können, ist eine korrekte Darstellung dentaler Hartgewebsstrukturen notwendig.

Im angloamerikanischen Sprachraum wird die digitale Volumentomographie (DVT) als „Cone Beam Computed Tomography“ (CBCT) bezeichnet. Sie ging 1997 aus der Weiterentwicklung der Ortho CT hervor und wurde auf der Basis der Scanora (Soredex Corporation Helsinki, Finnland) erstmals vorgestellt (Arai et al. 1992). Die DVT zeichnet sich durch eine hochauflösende Bilddarstellung kleinster Hartgewebsstrukturen im Kopf- und Halsbereich aus (Dalchow et al. 2006). Der Name leitet sich von dem kegelförmigen Röntgenstrahl ab, den die DVT als Röntgenquelle benutzt. Der Kegelstrahl tritt während des Scans aus der Röntgenröhre aus und trifft auf den aufzunehmenden Bereich. Hinter dem Objekt befindet sich ein Detektor (Sensor), der die einzelnen Projektionsbilder erfasst (**Abbildung 3**). Der Detektor bewegt sich in einem Radius von 180° um den Patienten. Aus verschiedenen Blickwinkeln werden bis zu 360 verschiedene zweidimensionale Projektionen erzeugt. Die Umlaufzeit liegt für den Patienten bei 36 sek bei 5,2 sek reiner Expositionszeit (Schnelle 2001). Die erzeugten Projektionen werden zu einer Aufnahme eines bestimmten anatomischen Bereichs zusammengefasst. Die zweidimensionalen Projektionen werden mit dreidimensionalen Bildrekonstruktionsalgorithmen in ein dreidimensionales Bildvolumen umgerechnet. Ein korrekter anatomischer Volumendatensatz entsteht. Im Gegensatz zur Computertomographie wird der 3D-Datensatz in nur einem Umlauf gewonnen (Terakado et al. 2000) und die effektive Strahlendosis kann um ein 3-4faches gegenüber der CT gesenkt werden (Coppentrath et al. 2008).



**Abb.3:** Schematische Darstellung der Funktionsweise der digitalen Volumentomographie mit einem kegelförmigen Röntgenstrahl (Quelle: Kramme 2011).

Die effektive Dosis der DVT ist im Vergleich zum CT geringer befindet sich aber laut *Schulze et al.* oberhalb der konventionellen zweidimensionalen Röntgenaufnahmen (Einzelbilder, Panoramaschichtaufnahme, Ferröntgenseitenbild) (Schulze et al. 2004). In Abhängigkeit vom Gerätetyp, der Stromstärke, Röhrenspannung und Belichtungszeit sowie dem gewählten *Field of View* (FoV), werden in der älteren Literatur Werte von 20,2 bis 43,27  $\mu\text{Sv}$  (Hirsch et al. 2008.), 13 bis 82  $\mu\text{Sv}$  (Loubele et al. 2009), 17,25 bis 51,06  $\mu\text{Sv}$  (Patzelt 2010) effektiver Strahlendosis für die moderne DVT angegeben. Aktuellste Studien können bei einem FoV von 20x17cm mit einem sog. „ultra-low-dose“ Protokoll eine effektive Strahlendosis von nur 16  $\mu\text{Sv}$  nachweisen (Bumann et al. 2014). Bei zusätzlicher Verwendung eines Schilddrüsenschutzes kann die Strahlenbelastung sogar auf 12  $\mu\text{Sv}$  gesenkt werden (Bumann et al. 2014). Dies entspricht in etwa 25% weniger Strahlenbelastung, als ein Patient bei einer konventionellen Panoramaschichtaufnahme erhalten hätte. Die in der Literatur angegebene effektive Dosis für eine Panoramaschichtaufnahme weist Werte von 21,5  $\mu\text{Sv}$  (Grünheid et al. 2012), 24,3  $\mu\text{Sv}$  (Ludlow et al. 2008), 14,2 bis 24,3  $\mu\text{Sv}$  (ICRP 2007), 4,7 bis 54  $\mu\text{Sv}$  (Gavala et al. 2009, Zöller 2007, Ludlow et al. 2003) und 6,7 bis 10  $\mu\text{Sv}$  auf (Cohnen et

al. 2002). In der Regel benötigen die meisten Patienten während einer kieferorthopädischen Behandlung nicht nur eine Panoramaschichtaufnahme, sondern auch Fernröntgenseitenbilder und einige Einzelaufnahmen. Die effektive Dosis für ein Fernröntgenseitenbild liegt zwischen 4,5 $\mu$ Sv (Grünheid et al. 2012) und 5,6 $\mu$ Sv (Ludlow et al. 2008, ICRP 2007). Bei einem 18-Bilder Status mit F-Klasse-Filmen und runder Kollimation ist der Patient einer effektiven Strahlendosis von 34,9  $\mu$ Sv ausgesetzt (ICRP 2007). Im Vergleich mit der Röntgendiagnostik in anderen medizinischen Bereichen ist die Strahlenbelastung in der Zahnmedizin sehr gering. Sie verursacht nur 0,2% von insgesamt 94,4% zivilisatorischer Gesamtstrahlung, die durch die medizinische Gesamtdiagnostik hervorgerufen wird (BMU 2011). Vor der Durchführung einer Röntgenaufnahme sollte dennoch immer einer sorgfältigen Risiko-Nutzen-Abwägung bedacht werden und eine rechtfertigende Indikation vorliegen (Rechtfertigungsgrundsatz der Röntgenverordnung vom 30.04.2003). Bei komplexen chirurgischen Fragestellungen, kann die Anfertigung einer 3D Aufnahme, welche eine höhere Strahlenbelastung mit sich bringt, indiziert sein. Gerade bei Kindern und Jugendlichen sollte eine solche Aufnahme nur dann durchgeführt werden, wenn die 3D-Diagnose therapierelevante Befunde liefert, die aus der 2D-Aufnahme nicht ersichtlich sind (Theodorakou et al. 2012, Hofmann et al. 2011). Einige radiologische Basisuntersuchungen haben sich in der Vergangenheit zur Evaluierung impaktierter Eckzähne manifestiert (Konda et al. 2011):

#### **Intraorale Aufnahmetechniken:**

1. Okklusale Röntgenaufnahme: Soll die vestibulär-palatinal Position des impaktierten Eckzahnes darstellen.
2. Periapikale Einzelaufnahme: Häufige befundbezogene Aufnahme in Paralleltechnik, die zweimal mit unterschiedlicher mesiodistaler Angulation durchgeführt wird, um die Lage des verlagerten Eckzahnes zu bestimmen.

#### **Extraorale Aufnahmetechniken:**

3. OPTG (Panoramaschichtaufnahme): zeigt den kompletten Ober- und Unterkiefer des Patienten zweidimensional auf einer Übersichtsaufnahme.
4. DVT und CT: dreidimensionale Aufnahmetechnik zur naturgetreuen Darstellung aller dentalen Strukturen.

Die Strahlenbelastung für die intraoralen Einzelaufnahmen ist relativ gering. Die effektive Dosis liegt bei 1 bis 8,3  $\mu\text{Sv}$  pro Zahnfilm (Patel und Sander 2009). Bei den extraoralen Aufnahmen ist die Strahlenbelastung höher. In der täglichen Praxis wird meistens zuerst ein OPTG angefertigt, um den klinischen Befund zu unterstützen. Die Lage des impaktierten Eckzahnes kann zusätzlich über die okklusale oder periapikale Einzelaufnahme bewertet werden. Allerdings sind die zweidimensionalen Röntgenaufnahmen aufgrund von Überlagerungen der Strukturen, Streuungen, Verzerrungen und Bildvergrößerung in ihrer Aussagekraft eingeschränkt und können wichtige Informationen der Behandlung vorenthalten (Rossini et al. 2012, Yan et al. 2012, Albaker und Wong 2010). Die konventionelle Röntgendiagnostik liefert in 51,9% der Fälle falsch negative und in 15,3% falsch positive Ergebnisse (Kim et al. 2003), was einer Gesamtfehlerquote von ca. 67% gleichkommt. Die Panoramaschichtaufnahme stellt ein Instrument der allgemeinen diagnostischen Befundung dar. Sie liefert Informationen zur Prognose des Zahndurchbruchs und des möglichen Behandlungsergebnisses. Die Grenzen der Darstellungsmöglichkeit liegen in der Beurteilung der genauen Lage von impaktierten Eckzähnen und Wurzelresorptionen an den Schneidezähnen (Jung et al. 2012). Besonders an den zentralen und lateralen Schneidezähnen kann die Wurzelresorption nicht ausreichend bewertet werden (Po-Sung Fu et al. 2013). Andere Autoren wiederum sehen die Röntgendiagnostik mit 2D-Aufnahmen bei impaktierten Eckzähnen als ausreichend an (Sajnani und King 2012, Garib et al. 2012).

Der Wunsch nach dreidimensionaler Darstellung von impaktierten Eckzähnen, Wurzelresorptionen an benachbarten Zähnen und pathologischen Vorgängen an den alveolären Strukturen, hat in den letzten Jahren zahlreiche Studien im Zusammenhang mit der Computertomographie (CT) entstehen lassen. Die CT-Aufnahmen wurden im direkten Vergleich mit anderen Röntgentechniken betrachtet.

*Hofmann et al.* empfehlen bei verlagerten Eckzähnen eine CT-Bildaufnahme, in der über ein dreidimensionales Referenzsystem die Zahnposition durch genaue metrische Vermessung ermöglicht wird. Die topographische Lage kann genauer eingeschätzt werden. Komplexe Verlagerungen können in allen drei Raumebenen vermessen und eine verbesserte therapeutische Planung durchgeführt werden. Das Behandlungsmanagement wird erleichtert und die Behandlungszeit verkürzt (Hofmann et al. 2013). Auch andere Autoren befürworten die Verwendung des CTs. Laut



*Cevidances et al.* (2010) gibt es keine stabilen Referenzpunkte in der 3D-Schädeldarstellung im DVT und deswegen können dentoalveoläre Veränderungen vor und nach Behandlung nicht eindeutig erkannt werden. Das CT dagegen liefert genaue Bilddateien, über die die Befundung möglich ist.

In einer anderen Studie sehen *Hofmann et al.* die Anfertigung einer kleinvolumigen 3D-Aufnahme zusätzlich zur konventionellen Röntgenaufnahme gerechtfertigt, wenn die Inklination des verlagerten Eckzahnes im OPTG mehr als 30° beträgt, an den Nachbarzähnen Wurzelresorptionen vorliegen und/oder die Wurzelspitze des Eckzahnes nicht zu erkennen ist und dadurch der Verdacht einer Dilazation besteht (*Hofmann et al.* 2011). Die Verbesserungen in der CT-Technik, ebenso des DVTs, haben die Diagnosemöglichkeiten für Wurzelresorptionen deutlich verbessert (*Alqerban et al.* 2011, *Kamburoglu et al.* 2011).

Trotz all dieser Vorteile, wird sich das CT auf lange Sicht nicht in der Diagnostik von impaktierten Eckzähnen und Wurzelresorptionen in den zahnärztlichen Alltag etablieren können. Aufgrund der im Vergleich zur konventionellen Röntgentechnik deutlich höheren Strahlenbelastung von 474-1410 µSv (ICRP 2007) (*Rossini* 2012, *Loubele et al.* 2009, *Cohnen et al.* 2002) und dem deutlich höheren Kostenaufwand wird sie größtenteils in implantologischen und chirurgischen Fragestellungen angewendet werden (*Fuhrmann et al.* 2003). Einen Kompromiss bietet die digitale Volumentomographie (DVT), mit hervorragender Bildqualität und reduzierter Strahlenbelastung (*Rossini et al.* 2012). Der Gebrauch des DVTs in der zahnmedizinischen Praxis hat im letzten Jahrzehnt stark zugenommen (*Christell et al.* 2012). Die neue digitale Bilderfassung und –verarbeitung weist Vorteile sowohl in der Diagnostik, Strahlenhygiene als auch für die Datennutzung und –erhaltung auf (*Kopp* 2011). Gerade in der Befundung von maxillären impaktierten Eckzähnen bietet die 3D-Technologie dem behandelnden Arzt Möglichkeiten einer exakten Diagnose und Behandlungsplanung. Dies führt zu einer höheren Anzahl an erfolgreichen Behandlungsergebnissen (*Haney et al.* 2010, *Gomes-Filho et al.* 2007). Die Einsatzmöglichkeiten der DVT in der Diagnostik impaktierter Eckzähne und den umgebenden Strukturen sowie der diagnostische Vorteil gegenüber konventionellen Aufnahmeverfahren wurde bereits in einigen Studien belegt. (*Baysal et al.* 2013, *Koutzoglou und Kostaki* 2013, *Fu et al.* 2013, *Bolhari et al.* 2013).

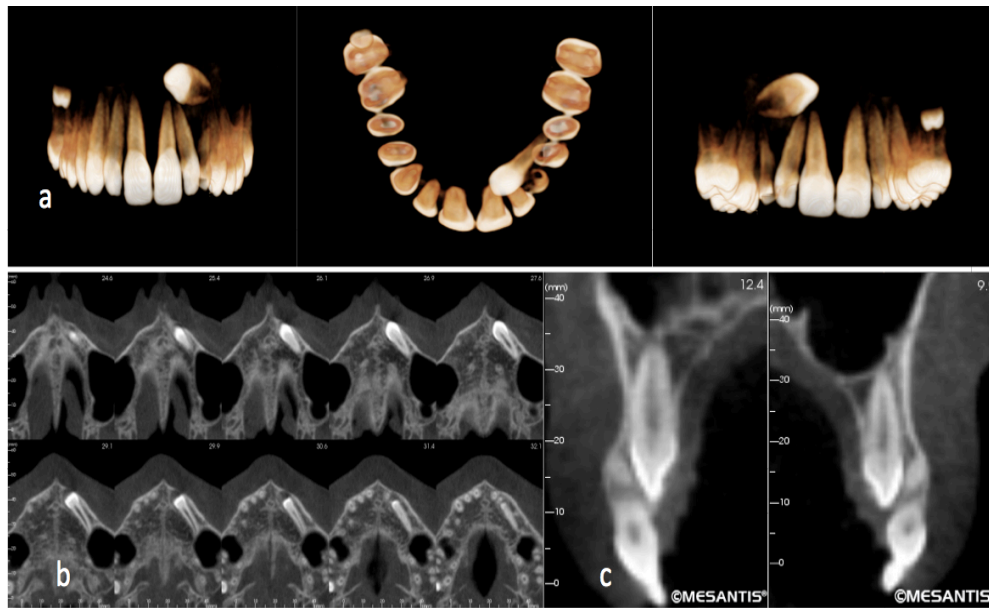
Die DVT hilft bei der Erkennung, Lokalisierung und Ankylosierung von impaktierten Eckzähnen. Außerdem können jegliche Schädigungen im Bereich der Wurzeln der Nachbarzähne (Bolhari et al. 2013) und das peridentale Knochenangebot erörtert werden (Konda et al. 2013, Koutzoglou und Kostaki 2013, Ericson und Kuroi 2000). Ebenso liefert sie die Möglichkeit Knochendefekte in allen 3 Raumebenen zu erkennen (Baysal et al. 2013). Eine Panoramaschichtaufnahme ist nicht in der Lage, die präzise Position von impaktierten Eckzähnen aufzuzeigen. Die DVT dagegen liefert eine genaue Darstellung und stellt auch andere betroffene Strukturen dar. Dadurch wird die akkurate chirurgisch-kieferorthopädische Behandlungsplanung erleichtert (Fu et al. 2013, Fattahi et al. 2012, Walker et al. 2005).

Die Autoren *Haney et al.* (2010) und *Algerban et al.* (2011) führten vergleichende Analysen zwischen traditionellen Röntgenbildern und DVT-Aufnahmen hinsichtlich der Diagnostik impaktierter Oberkiefer Eckzähne durch. Um die vertikale Position der Verlagerung zu ermitteln, benutzten die Autoren die konventionelle 2D-Panoramaschichtaufnahme, des weiteren wurde mit Hilfe von okklusalen Einzelbildaufnahmen der Abstand zu den Nachbarzähnen überprüft. Um die vestibuläre-palatinale Lage des impaktierten Eckzahnes zu bestimmen, wurden jeweils zwei periapikale Einzelbildaufnahmen angefertigt. Verglichen wurden die 2D-Aufnahmen mit den DVT-Aufnahmen der gleichen Patienten. *Haney et al.* fanden in 16% der Fälle kongruente Ergebnisse bei der Befundung der labial-palatalen und bei 21% der mesial-distalen Positionsbestimmung der Impaktion. Eine statistisch signifikant bessere Diagnostik und daraus resultierende Therapieplanung war mit Hilfe des DVTs möglich ( $p < 0,001$ ). Die Beurteilung der Eckzahnimpaktion und die Wurzelresorption an benachbarten Zähnen war sehr genau möglich. Die Untersuchenden kamen bei der Befundung der 3D-Aufnahmen mehrheitlich zu gleichen Ergebnissen, im Gegensatz dazu viel die Diagnostik bei den 2D-Röntgenbildern unterschiedlich aus.

*Boticelli et al.* untersuchten bei 27 Patienten mit impaktierten Eckzähnen die Unterschiede in der Diagnostik zwischen der herkömmlichen zweidimensionalen Bilddarstellung und der dreidimensionalen Röntgentechnik. Beurteilt wurde jeweils die Position des Eckzahnes, das Auftreten von Wurzelresorption, Behandlungsplanung und die Qualität der Darstellung. Bei der Bestimmung der Position des Eckzahnes kam es zwischen beiden Methoden zu unterschiedlichen Ergebnissen. Bei 2D-Aufnahmen kommt es oftmals zu Überlagerung, Vergrößerung und Verzerrung der Objekte und

dadurch häufig zu einer Verfälschung der Gegebenheiten. Diese negativen Faktoren machen die Lokalisierung von verlagerten Eckzähnen mit konventionellen Röntgenverfahren schwierig. Die DVT gibt eine genaue Darstellung der intraossären Position der Canini wieder, außerdem werden Wurzelresorptionen häufiger diagnostiziert. *Boticelli et al.* befürworten den Gebrauch der DVT und geben der daraus resultierenden Behandlungsplanung eine bessere Prognose (*Boticelli et al. 2011*). Die Vorteile der 3D-Diagnostik gegenüber der 2D-Befundung sehen *Wriedt et al.* in der besseren Beurteilung der Wurzelregion des Eckzahnes, in der deutlicheren Erkennbarkeit von Wurzelresorptionen an den Nachbarzähnen und in der präziseren Einschätzung der Lage des Eckzahns im Bezug zu den Nachbarstrukturen und dem Zahnbogen. All diese Vorteile scheinen den Nachteil der zusätzlichen Strahlenbelastung beim DVT aufzuwiegen und eine dreidimensionale Bilddiagnostik mit verbessertem Therapiemanagement zu rechtfertigen (*Wriedt et al. 2012*).

Eine systematische DVT-Diagnostik von impaktierten sollte immer den spezifischen „Eckzahn-Report“ nach MESANTIS<sup>®</sup> fordern (**Abbildung 4**). Dieser Report stellt die Bearbeitung von 3D Daten eines Patienten in Form eines Image Reports dar. Der „Eckzahn-Report“ setzt sich zusammen aus einem 3D-Rendering zur exakten Lagebestimmung des Eckzahnes, axialen Ansichten zur Beurteilung bestehender Wurzelresorptionen an benachbarten Zähnen und sagittalen Schichten zur Bestimmung des vestibulären Knochenangebots bei Lückenöffnung, Zahn- und Lückenbreitenmessung. Der Report ist hilfreich bei der Behandlungsplanung und liefert eine Prognose über den Behandlungsverlauf. Die Prävalenz der Aspekte des „Eckzahn-Reportes“ sollen in der hier vorliegenden Arbeit überprüft werden.



**Abb. 4:** Standardisierter MESANTIS® Eckzahn-Report bestehend aus dem 3D-Rendering (a), den axialen (b) und sagittalen Schichten (Quelle: MESANTIS®)

## 2. Fragestellung

Konventionelle radiologische Aufnahmetechniken, wie die Panoramaschichtaufnahme oder der Zahnfilm, besitzen eine eingeschränkte Darstellungsmöglichkeit der genauen Lage eines impaktierten Eckzahnes und seinen angrenzenden Strukturen. Eine präzise Diagnosestellung ist nicht möglich. Die tatsächliche Position des verlagerten Caninus, vestibuläre Knochendehiszenzen und Wurzelresorptionen sind auch nach vollständiger Befundaufnahme nicht eindeutig einschätzbar. Besonders im Bereich der Kieferorthopädie bleiben damit wichtige Informationen vorenthalten und können im weiteren Behandlungsverlauf nicht berücksichtigt werden.

Mit Hilfe der digitalen Volumentomographie (DVT) ist dagegen eine verzerrungsfreie, räumliche Darstellung von allen dentalen Strukturen möglich. Pathologische Vorgänge können somit frühzeitig erkannt und bei der Behandlungsplanung beachtet werden.

Betrachtet man die Resultate der hier aufgeführten Studien, so sollte der digitalen Volumentomographie eine wachsende Bedeutung in der Diagnostik impaktierter Eckzähne zukommen. Die in der Literatur aufgeführten Aussagen zur Detailtreue und Qualität der Aufnahmen gilt es im Hinblick auf die Lokalisierung verlagerter Eckzähne und deren pathologischen Begleiterscheinungen an den benachbarten Strukturen zu

vertiefen. Die von Hofmann et al. (2011) beschriebene Reproduzierbarkeit eines 3D-Referenzsystems zur Ermittlung der Eckzahnposition im CT wird in ähnlicher Weise anhand der hier vorliegenden Studie über das DVT nachgewiesen. Es gilt die Reproduzierbarkeit von 3D-Koordinaten zur Lagebestimmung des impaktierten Eckzahnes zu überprüfen. In der derzeitigen Literatur existiert keine Studie dieser Art. Des Weiteren ist es von großem Interesse, die bisher noch nicht ausreichend geklärte zusammenhängende Diagnostik zwischen vorhandenem Knochenangebot und Wurzelresorptionen der benachbarten Schneidezähne im DVT zu untersuchen. Diese Aspekte sollen Ziel dieser Arbeit sein.

Ziel dieser Arbeit ist es, folgende Hypothesen zu überprüfen und damit die Genauigkeit der digitalen Volumentechnologie in der Diagnostik von impaktierten maxillären Eckzähnen zu ermitteln:

1. Die quantitative Beschreibung des Verlagerungsmaßes eines impaktierten Eckzahnes ist über 3D-Koordinaten intraindividuell reproduzierbar.
2. Die tatsächliche Kronenbreite von Eckzähnen kann im DVT intraindividuell reproduzierbar bestimmt werden.
3. Für die Einstellung eines impaktierten oberen Eckzahnes steht in der Regel keine ausreichend breite Lücke in der Eckzahnregion zur Verfügung.
4. Seitliche Schneidezähne sind signifikant häufiger von Wurzelresorptionen durch verlagerte Eckzähne betroffen als zentrale Schneidezähne.
5. Wenn Wurzelresorptionen durch einen impaktierten Eckzahn an benachbarten Zähnen vorhanden sind, gibt es keine signifikanten Unterschiede im graduellen Ausmaß der Resorptionen.
6. Wenn Wurzelresorptionen durch einen impaktierten Eckzahn an benachbarten Zähnen vorhanden sind, befinden sich diese immer im apikalen Drittel der betroffenen Zähne.
7. Es gibt keine signifikanten Korrelationen zwischen einem eingengten Platzangebot und vestibulären Knochendehiszenzen an den oberen Frontzähnen.
8. Zwischen gemessener Kronenbreite korrespondierender Zähne am Modell und im DVT gibt es keinen statistisch signifikanten Unterschied.

### 3. Methodik

#### 3.1. Allgemeine Methodik

##### 3.1.1. Patientengut

In der vorliegenden Studie wurden die DVT-Aufnahmen von 64 anonymisierten Patienten mit insgesamt 96 impaktierten Eckzähnen ausgewertet. Das Alter der Patienten lag zwischen 11 und 73 Jahren und betrug im Mittel 29,67 Jahre (**Tabelle 2**).

**Tab. 2:** Darstellung der Geschlechts- und Altersverteilung der untersuchten Patienten

	Anzahl (n)	Alter	Mittelwert	Standardabweichung
Männlich	27	11 bis 57	23,29	15,77
Weiblich	37	13 bis 73	24,78	15,90
<b>Gesamt</b>	64	11 bis 73	29,67	15,72

Die in die Studie einbezogenen Patienten wiesen zum Zeitpunkt der DVT-Aufnahme mindestens einen impaktierten Eckzahn im Oberkiefer auf. Bei 32 Patienten lag eine doppelseitige Verlagerung vor und bei den restlichen 32 Patienten war entweder der linke (n=18) oder der rechte (n=14) obere Eckzahn verlagert. Die verwendeten Patientendaten stammen aus dem Archiv des 3D-Röntgeninstituts MESANTIS® der Standorte Berlin, Hamburg, Heilbronn, München und Wiesbaden. Die untersuchten DVT-Datensätze wurden zwischen Oktober 2011 und November 2012 von MESANTIS® erstellt.

##### 3.1.2. DVT-Aufnahmen

Die Datensätze der Patienten mit impaktierten Eckzähnen wurden nach folgenden Selektionskriterien ausgewählt:

- Es wurden nur Patienten mit einer Eckzahnimpaktion im Oberkiefer berücksichtigt.
- Patienten mit impaktierten Eckzähnen im Unterkiefer wurden ausgeschlossen.
- Nur Patienten mit einem Wechselgebiss bzw. bleibender Bezahnung wurden in Betracht gezogen.
- Es durften keine Syndrome vorhanden sein.
- Die DVT-Aufnahme musste eine gute Aufnahmequalität aufweisen.

- Der dentale Bereich musste vollständig dargestellt sein, sowie der äußere Gehörgang (Porus accusticus externus) und das Hinterhaupt (Basion).

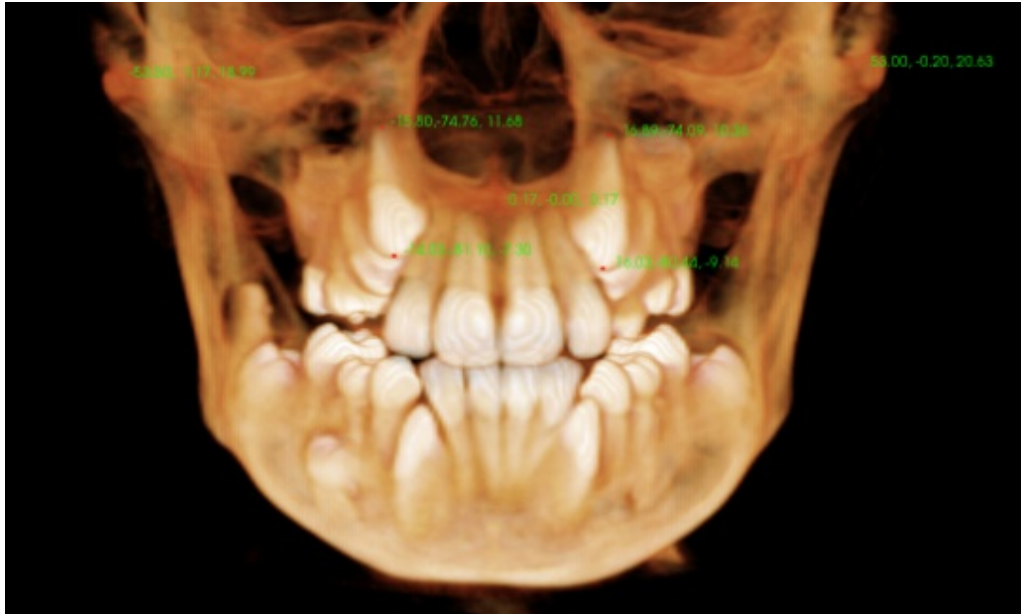
Bei allen angefertigten DVT-Aufnahmen bestand eine rechtfertigende Indikation durch eine/n Zahnarzt/ärztin zur Erstellung einer 3D-Aufnahme.

Alle DVT-Aufnahmen wurden mit dem MESANTIS<sup>®</sup>line (Imaging Sciences International Inc) angefertigt. Bei diesem Gerät handelt es sich um eine Sonderedition, welche nur innerhalb des MESANTIS<sup>®</sup>-Netzwerks für alle Indikationen im Kopf-Hals-Bereich verwendet wird. Es gibt ein standardisiertes Aufnahmeverfahren. Dabei wird der Patient sitzend positioniert und nach der Okklusionsebene bzw. der „Frankfurter Horizontalen“ Lage ausgerichtet. Der Kopf des Patienten wird zusätzlich durch eine Kinnauflage und/oder eine Hinterkopfstütze in Position gehalten. Zur genauen Dokumentation werden die Patientendaten eingegeben und die Bildaufnahmefaktoren wie Format, Auflösung und Scanzeit eingegeben. Der Fokus-Objekt-Abstand liegt bei 49,5 cm. Der Scanwinkel beträgt 360°, Scandauer, Volumengröße und Voxelgröße variieren je nach gewähltem Protokoll. Als Empfänger für die gepulsten Röntgenstrahlen dient ein Flat Panel Detektor. Die Dauer zur Erstellung der Primärrekonstruktion ist kleiner als 1 Minute. Die Strahlenbelastung pro DVT liegt für den Patienten zwischen 34 und 67  $\mu\text{Sv}$  (Keewe 2011) und nach neuesten Studien sogar nur zwischen 12 und 24  $\mu\text{Sv}$  (Währisch 2014). Die entstehenden 150 bis 528 Schichten werden in einem DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) Datensatz zusammengefasst und exportiert. Die DICOM Datei enthält die Bildinformation sowie Zusatzinformationen wie Name, Geburtsdatum, Patientenummer, Geräteparameter, Strahlendosis, Auflösung und Fensterung.

### 3.1.3. DVT-Auswertungssoftware

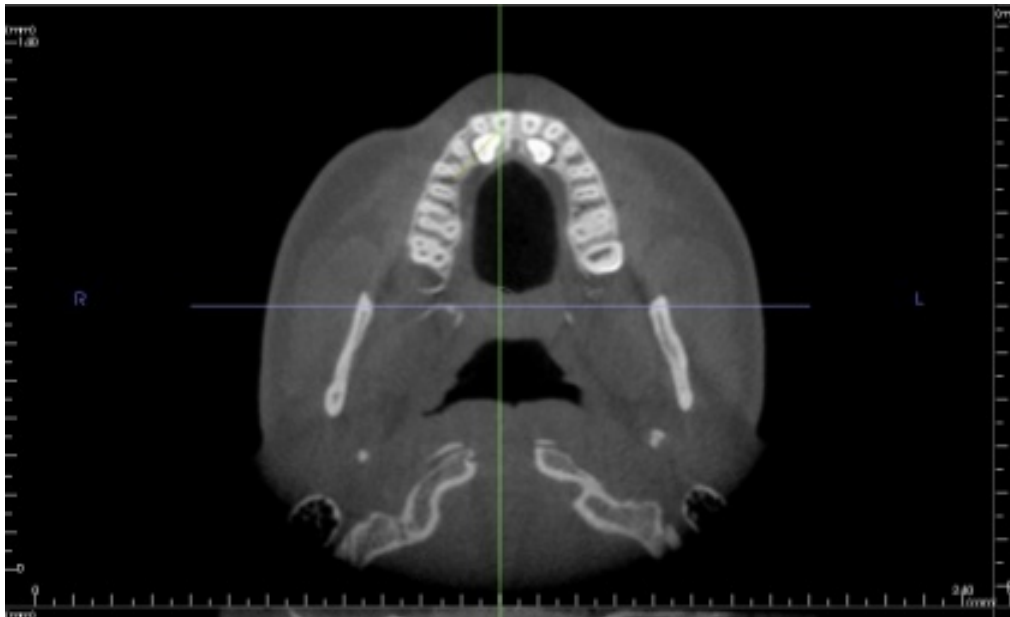
Die Erstellung sämtlicher DVT-Aufnahmen und Messungen wurden bei MESANTIS<sup>®</sup> mit Hilfe der volumetrischen Bildbearbeitungssoftware InViVo<sup>®</sup> Dental Version 5.1 der Firma Anatomage (San Jose, USA) durchgeführt. Die Software kann aus DICOM-Rohdatensätzen 3D-Modelle rekonstruieren, an denen eine vielfältige Analyse und Vermessung möglich ist. In InViVo<sup>®</sup> Dental Version 5.1 wurde separat der Oberkiefer in allen Raumebenen betrachtet (**Abbildung 4**) und je nach Fragestellung die sagittale, axiale oder koronale Darstellungsmöglichkeit (**Abbildung 5**) gewählt. Weiterhin wurden Cross Sections (zweidimensionale Schnittbilder eines zuvor definierten Kieferbereiches)

angefertigt. Die Messungen wurden anschließend in den unterschiedlichen Ansichten erstellt. Um die entstandenen DVT-Bilder aufzulösen erfüllt die Hardware bei MESANTIS<sup>®</sup>, also Rechner (PC) und Monitore, die Anforderungen der §§ 16 und 17 der Qualitätssicherungs-Richtlinie (QS-RL). Die DVT-Aufnahmen wurden an einem PC mit dem Betriebssystem Windows XP Professional untersucht. Der Monitor verfügt über eine Auflösung von 1536 x 2048 Bildpunkten.



**Abb. 5:** Mit der Ansicht „Volume Render“ kann ein dreidimensionales Bild dargestellt werden, welches man beliebig in alle Richtungen drehen kann. Durch Veränderung der Kontrastverhältnisse können Weich- oder Hartgewebe spezifischer betont werden (Quelle: MESANTIS<sup>®</sup>)





**Abb. 6:** Die Ansicht „Section View“ veranschaulicht sagittale, axiale und koronare Schichten (Quelle: MESANTIS®)

#### **3.1.4. Statistische Auswertung**

Die statistische Auswertung wurde mit Hilfe der Software SPSS (SPSS Inc. TM, Version IBM SPSS Statistics 20) durchgeführt. Insgesamt wurden 1827 Einzelmessungen an 60 DVT-Datensätzen durchgeführt. Davon an den verlagerten Eckzähnen 567 Koordinatenbestimmungen und 1260 weitere Punkte bei den darauffolgenden Messungen.

Um die Reproduzierbarkeit und Messgenauigkeit zu bestätigen, wurden bei 25 Patienten jeweils zwei Wiederholungsmessungen im Abstand von 2 Wochen angefertigt. Anhand dieser Werte wurde bei den Hypothesen 3.2.1., 3.2.2., 3.2.3. der Zuverlässigkeitskoeffizient nach Houston, die Korrelationsanalyse nach Pearson und der t-Test nach Fisher (3.2.8.) bestimmt. Dagegen wurde der Chi-Quadrat Test bei den Hypothesen 3.2.4., 3.2.5., 3.2.6., 3.2.7. angewendet.

Für jede Hypothese wurden folgende statistische Parameter ermittelt:

- Mittelwert
- Standardabweichung
- Mediane
- Minima

- Maxima
- Streuungen
- Varianzen

Vor den statistischen Tests wurde ein Signifikanzniveau von  $p = 0,05$  (5%) festgelegt. Falls die Hypothese zutraf, durfte die Wahrscheinlichkeit, dass diese anhand des Testergebnisses nicht angenommen wurde, nicht über 5% liegen. Dementsprechend lag die Wahrscheinlichkeit, eine richtige Hypothese nicht abzulehnen, bei mindestens 95%.

- **Zuverlässigkeitskoeffizient nach Houston**

Der Zuverlässigkeitskoeffizient nach Houston stellt das Verhältnis zwischen dem Methodenfehler nach Dahlberg und der Gesamtvarianz dar. Folgende Formel wird dazu verwendet:

$$R = 1 - \delta^2 / S^2$$

Abkürzungen: R = Zuverlässigkeitskoeffizient,  $\delta$  = Methodenfehler nach Dahlberg, S = gesamte Varianz

- **Korrelationsanalyse nach Pearson**

Bei der Korrelationsanalyse werden zwei Stichproben miteinander verglichen. Der Korrelationskoeffizient gibt Auskunft über den Grad des linearen Zusammenhangs und kann Werte zwischen +1 und -1 annehmen. Ein kompletter linearer Zusammenhang zwischen den betrachteten Merkmalen existiert bei einem Wert von +1 (bzw. -1). Anhand des Korrelationskoeffizienten kann die stochastische Abhängigkeit von Merkmalen aufgezeigt werden.

- **t-Test nach Fisher**

Mit dem t-Test nach Fisher wurden die Mittelwerte der Doppelmessungen verglichen und darüber ein systematischer Fehler ausgeschlossen. Der t-Test stellt als parametrischer Test die Signifikanz des Unterschiedes dieser Mittelwerte fest.

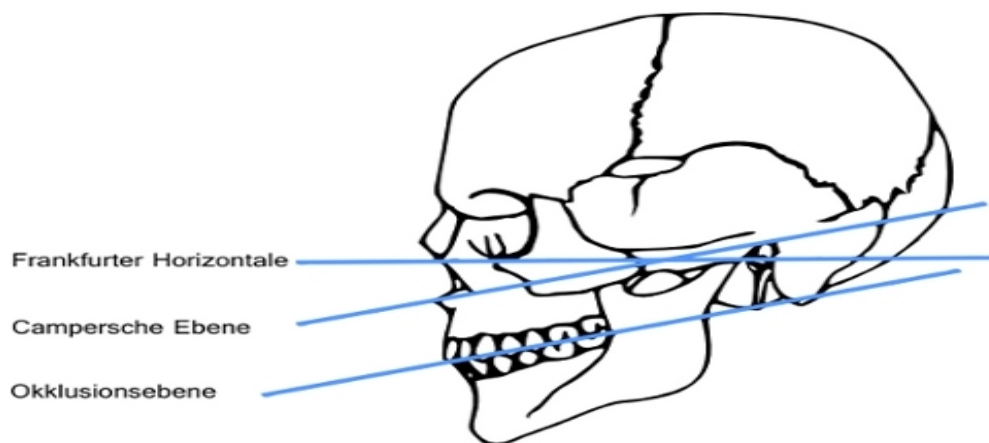
- **Chi-Quadrat-Test**

Um die Häufigkeitsunterschiede bei den Messpaaren darzustellen, wurde der Chi-Quadrat-Test angewendet.

## 3.2 Spezielle Methodik

### 3.2.1 Intraindividuelle Reproduzierbarkeit der 3D-Koordinaten der Eckzähne

Aus den insgesamt 60 Patienten wurden bei dieser Fragestellung die DVT-Aufnahmen von 25 Patienten (16 Frauen, 9 Männer) mit insgesamt 35 impaktierten Eckzähnen ausgewertet. Hierbei galt es das Verlagerungsausmaß eines impaktierten Eckzahnes reproduzierbar über 3D-Koordinaten darzustellen. Die Vermessung der impaktierten Eckzähne wurde mit Hilfe des Programms „Volume Render“ (3D-Ansicht des Gesichtsschädels) der InViVo® Dental 5.1. Software durchgeführt. Zu Beginn jeder Messung wurden die Referenzpunkte definiert, über die ein dreidimensionales Koordinatensystem festgelegt wurde. Es wurden folgende Referenzpunkte bestimmt: Auf der rechten Kopfseite der oberste knöchernen Punkt des Porus acusticus externus (Porion) und der unterste knöchernen Punkt des rechten Orbitarandes. Die gedachte Verbindung beider Punkte ergibt die sogenannte „Frankfurter Horizontale“ (eine Bezugsebene am Schädel, siehe **Abbildung 7**). Der Schädel wurde nach der „Frankfurter Horizontalen“ ausgerichtet. Für die linke Gesichtshälfte wurden ebenfalls das Porion und der Unterrand der Orbita bestimmt.

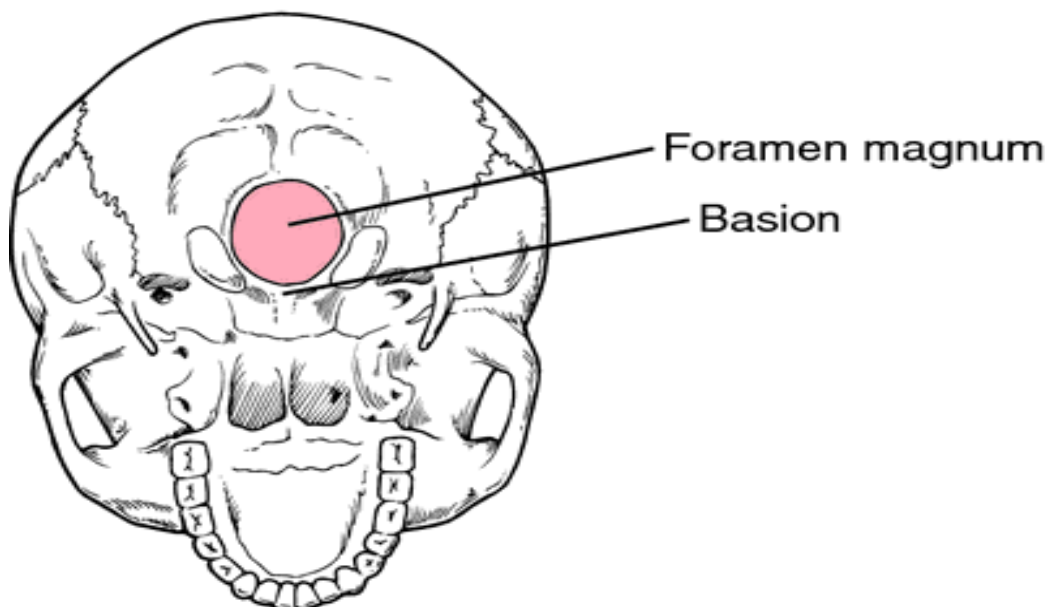


**Abb. 7:** Darstellung der Bezugsebene „Frankfurter Horizontale“. Sie stellt eine gedachte horizontale Linie dar, die gebildet wird aus dem untersten knöchernen Punkt der Orbita und dem obersten knöchernen Punkt des äußeren Gehörgangs (Porus acusticus externus) (Strub et al. 2005).

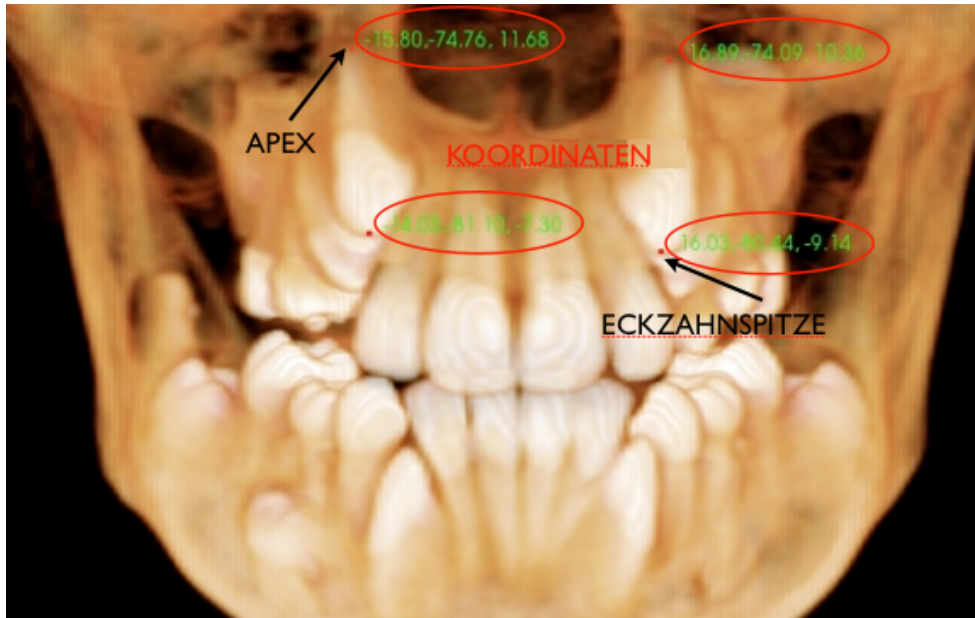
Der letzte Referenzpunkt wurde über Basion gebildet (**Abbildung 8**). Das Basion ist definiert als der Punkt am Vorderrand des Foramen occipitale magnum und bildet für

das Koordinatensystem den Nullpunkt, in dem die Werte dieses Punktes gegen Null angenähert wurden. Die Positionierung der Referenzpunkte erfolgte in der dreidimensionalen Rekonstruktion. Es folgte eine Kontrolle der gesetzten Punkte in der sagittalen, koronalen und axialen Schicht. Um die genaue Lage des impaktierten Eckzahnes zu bestimmen, wurde jeweils auf der Eckzahnspitze und auf der Wurzelspitze (Apex) ein Punkt markiert. War das Wurzelwachstum noch nicht abgeschlossen, wurde die Mitte der apikalsten Stelle als Apex definiert. In den meisten Fällen musste dazu der Helligkeitskontrast verändert werden, so dass sich die knöchernen Strukturen deutlich abzeichneten. Die Farbabstufung im verwendeten Arbeitsfenster wurde für jeden Datensatz so optimiert, dass die verlagerten Eckzähne bestmöglich dargestellt wurden. Anschließend wurden die Koordinaten in der Sagittalen, Transversalen und Vertikalen jeweils über die Referenzpunkte vom Programm InViVo Dental 5.1. berechnet (**Abbildung 9**). Insgesamt wurden 330 Koordinaten bestimmt. Die gewonnenen Werte wurden für jeden Patienten einzeln in eine MS-Excel-Tabelle übertragen, die erstellten Bilder wurden zur Dokumentation gespeichert.

Um die Reproduzierbarkeit der anatomischen Messpunkte zu belegen, erfolgte die statistische Auswertung der ermittelten Koordinaten mit Hilfe des Zuverlässigkeitskoeffizienten nach Houston, der Korrelationsanalyse nach Pearson und dem t-Test nach Fischer.



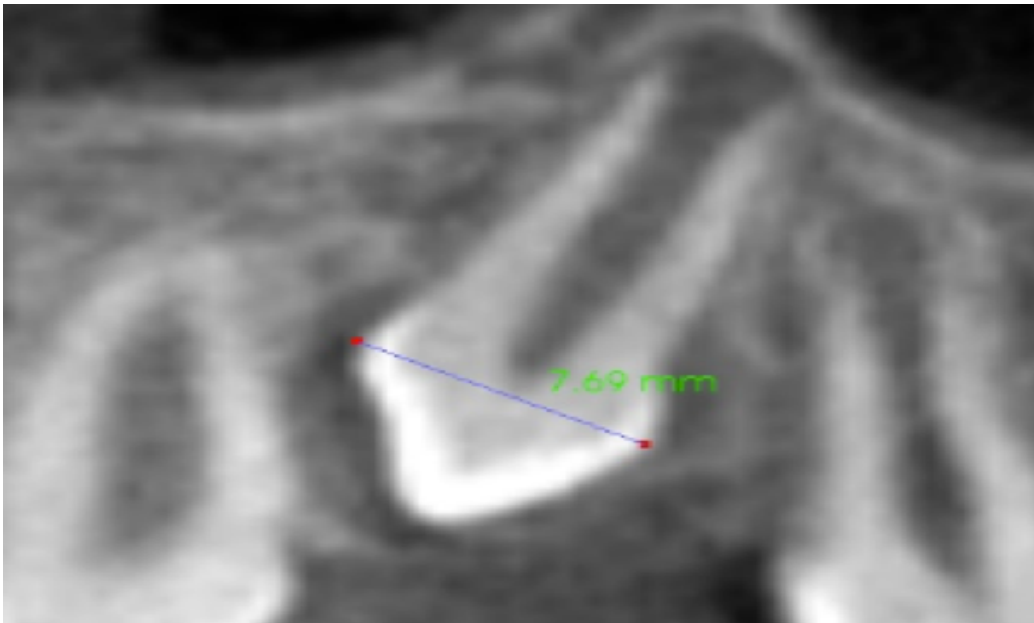
**Abb. 8:** Darstellung des anatomischen Referenzpunktes Basion (Saunders 2003).



**Abb. 9:** Die Koordinaten der impaktierten Eckzähne basieren auf den anatomischen Punkten Apex und Eckzahnspitze. Es werden jeweils drei Koordinaten (transversal, sagittal, vertikal) für den jeweiligen Punkt festgelegt um die genaue maxilläre Position im Kiefer zu bestimmen. (Quelle: MESANTIS®)

### 3.2.2 Intraindividuelle Reproduzierbarkeit der Kronenbreite im DVT

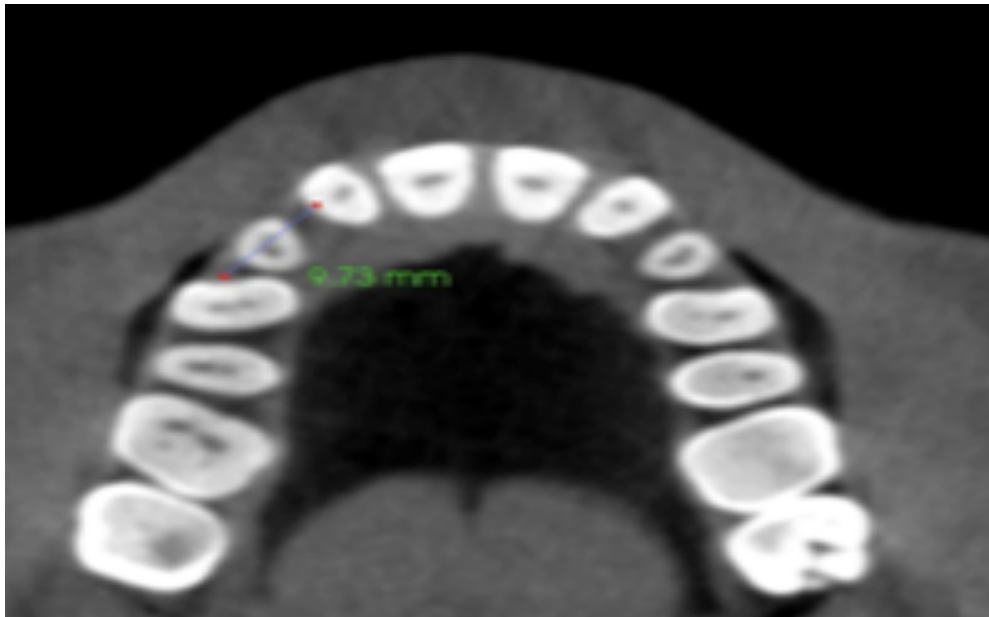
Für die zweite Hypothese wurden die Kronenbreiten von den verlagerten maxillären Eckzähnen mit dem Hilfstool „Section“ von InViVo 5.1 gemessen. Dafür wurde am breitesten Punkt der Krone rechts und links (mesialer und distaler Referenzpunkt) der größte Durchmesser dieser Zähne ermittelt und eine Strecke zwischen diesen beiden Punkten gemessen (**Abbildung 10**), wodurch die Breite der Krone bestimmt wird. Die Messwerte wurden in mm angegeben und in eine Excel-Tabelle übertragen. Ebenso wie in 3.2.1 wurde der Zuverlässigkeitskoeffizient nach Houston, die Korrelationsanalyse nach Pearson und der t-Test nach Fisher zur statistischen Untersuchung der Reproduzierbarkeit benutzt.



**Abb. 10:** Bestimmung der Kronenbreite eines impaktierten Eckzahnes. Es wurde jeweils die mesio-distale Breite an der größten approximalen Zirkumferenz gemessen. (Quelle: MESANTIS®)

### 3.2.3. Platzangebot in der Eckzahnregion impaktierter Eckzähne

Es wurde erwartet, dass für die Einstellung eines impaktierten oberen Eckzahnes in der Regel keine ausreichend breite Lücke in der Eckzahnregion zur Verfügung steht. Die Lücke in der Eckzahnregion wurde mit dem Hilfstool „Section“ in mm vermessen. Als Referenzpunkte dienten der seitliche Schneidezahn und der erste Prämolare (Abbildung 10). Bei noch vorhandenem Milchzahn wurde dieser Zahn „übermessen“, da er keine Relevanz für das Messergebnis besitzt. Die errechnete Distanz der Lücke wurde mit der Breite der Krone des verlagerten Eckzahnes verglichen, um zu ermitteln, ob das vorhandene Platzangebot ausreichend ist. Die Reproduzierbarkeit der Lückenvermessung wurde statistisch über den Zuverlässigkeitskoeffizienten nach Houston, den t-Test nach Fischer und die Korrelationsanalyse nach Pearson überprüft. Des Weiteren wurde der Chi-Quadrat-Test benutzt, um die Häufigkeitsverteilung des Platzangebotes in der Eckzahnregion zu ermitteln.



**Abb. 11:** Messung der Lücke zwischen seitlichem Schneidezahn und erstem Prämolare zur Bestimmung des Platzangebots in der Eckzahnregion bei Übermessung des noch vorhandenen Milchzahnes (Quelle: MESANTIS®).

### **3.2.4 Wurzelresorptionen an Schneidezähnen durch verlagerte Eckzähne**

Es wurde angenommen, dass seitliche Schneidezähne häufiger von Wurzelresorptionen durch verlagerte Eckzähne betroffen sind als zentrale Schneidezähne. Für diese These wurden 240 seitliche Schneidezähne (12, 22) auf ein Wurzelresorptionsvorkommen untersucht. Mit Hilfe des Programms „Arch Section“ konnten vorhandene Resorptionen eruiert werden. Um die Verteilungseigenschaften der Wurzelresorptionen statistisch aufzuzeigen, wurde der Chi-Quadrat-Test angewendet.

### 3.2.5. Ausmaß der Wurzelresorption durch verlagerte Eckzähne

Die Hypothese hierzu besagt, dass Wurzelresorptionen an benachbarten Zähnen, die durch impaktierte Eckzähne verursacht wurden, sich nicht im Resorptionsausmaß unterscheiden.

Im nächsten Schritt wurde ebenfalls mit dem Hilfstool „Arch Section“ das Ausmaß der Wurzelresorptionen an den betroffenen Oberkieferfrontzähnen (3.2.4.) beurteilt (**Tabelle 3**). Um den Schweregrad der Wurzelresorption festzulegen, wurde eine Gradeinteilung festgelegt:

**Tabelle 3:** Einteilung der Wurzelresorption in Grade (Ericson u. Kurol 1986).

<b>Grad 1</b>	<b>Keine Resorption mit intakter Wurzeloberfläche</b>
<b>Grad 2</b>	<b>Leichte Resorption, reicht bis ins Dentin</b>
<b>Grad 3</b>	<b>Moderate Resorption, reicht bis zur Pulpa</b>
<b>Grad 4</b>	<b>Starke Resorption, Pulpa eröffnet</b>

Anschließend fand zur Bestimmung der Verteilung eine statistische Analyse mittels des Chi-Quadrat-Testes statt.

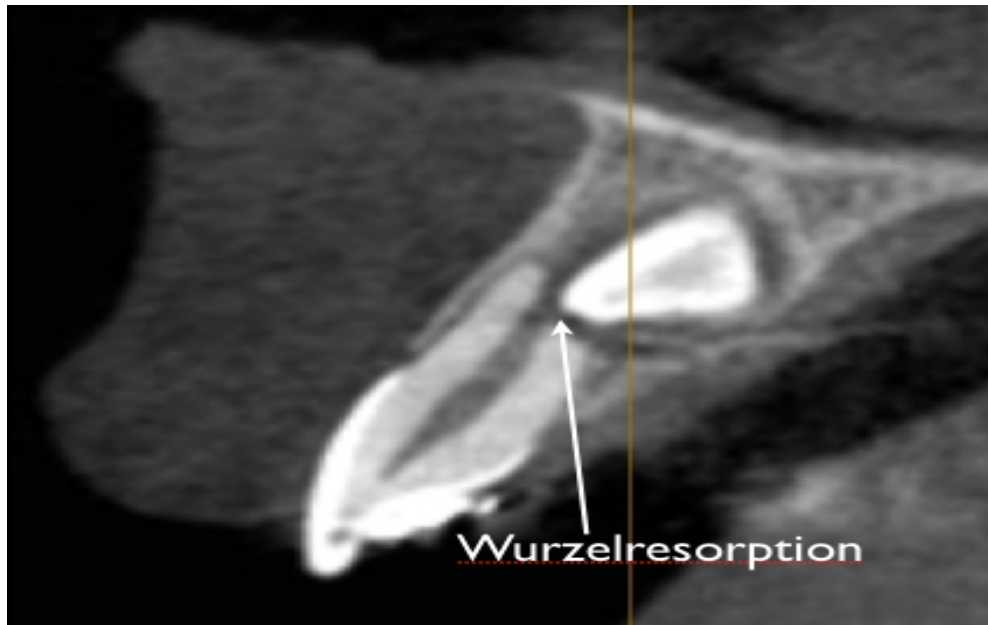
### 3.2.6 Lokalisation der Wurzelresorption, verursacht durch verlagerte Eckzähne

Es wurde angenommen, dass sich die Wurzelresorptionen immer im apikalen Drittel der betroffenen Zähne befinden. In den axialen Schichten konnte die Lage der Wurzelresorption an den benachbarten Schneidezähnen genau bestimmt werden (**Tabelle 4**). Durch die Anwendung der Farbkontrastregulierung war eine deutliche Darstellung der Läsion möglich (**Abbildung 12**). Die statistische Auswertung erfolgte analog zu 3.2.4 und 3.2.5 mit Hilfe des Chi-Quadrat-Testes.

**Tabelle 4:** Einteilung der Lokalisation der Resorption in Grade (Bjerklin und Guitirokh 2011)

<b>Grad 1</b>	<b>oberes Wurzel Drittel</b>
<b>Grad 2</b>	<b>Mittleres Wurzel Drittel</b>
<b>Grad 3</b>	<b>Unteres Wurzel Drittel</b>



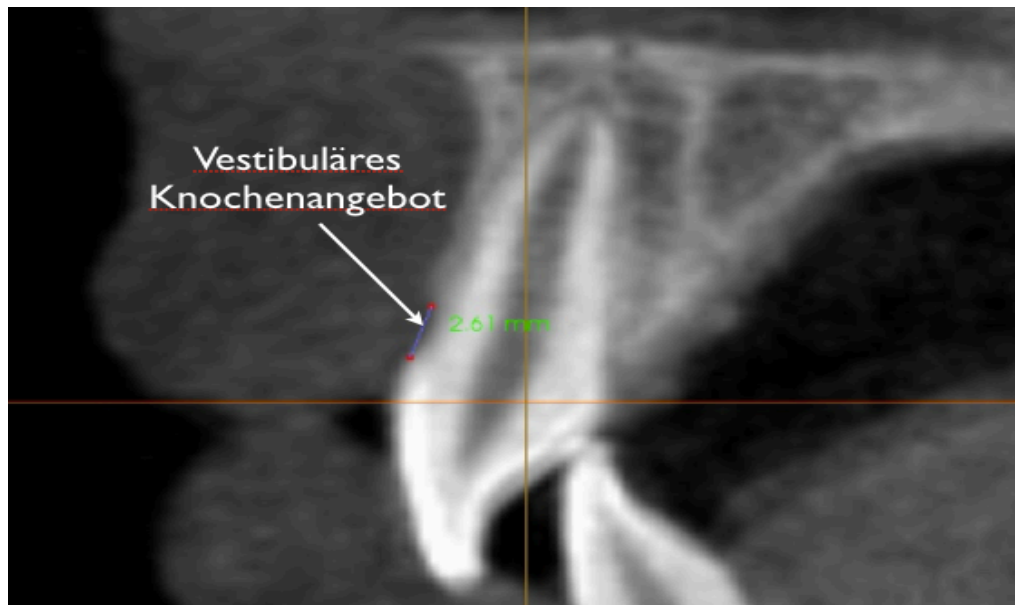


**Abb. 12:** Darstellung eines maxillären 13, der an Zahn 11 im unteren Wurzel Drittel (apikal) eine Wurzelresorption hervorruft (Quelle: MESANTIS®).

### 3.2.7 Korrelation zwischen einem eingeengten Platzangebot und vestibulären Knochendehiszenzen an den oberen Frontzähnen

Die Hypothese besagt, dass es keinen Zusammenhang zwischen einem eingeengten Platzangebot und vestibulären Knochendehiszenzen an den Oberkieferfrontzähnen gibt. Ziel der Messung war darzustellen, ob Patienten mit Platzbedarf wegen eingeengter Lücken in der 3er Region mehr knöcherner Dehiszenzen vestibulär in der 1er Region aufweisen als Patienten ohne Platzbedarf. Mit dem Programm „Arch Section“ wurden die vestibulären Knochendehiszenzen an den zentralen Frontzähnen (11, 21) gemessen. Es dienten dazu die sagittalen Schichten. An dem Frontzahn wurde zunächst die Schmelz-Zement-Grenze markiert und von dort aus bis zum crestalen Knochen gemessen (**Abbildung 13**). Bestand ein Verlust der bukkalen Knochenlamelle von mehr als 2 mm, war von einer Knochendehiszenz auszugehen. Der Wert von 2 mm wurde festgelegt, da im eugnathen Gebiss der Alveolarknochen 1-2 mm unterhalb der Schmelz-Zement-Grenze liegt. Vergleichend dazu wurde die Breite der Lücke (in mm) in der Eckzahnregion gemessen (3.2.3.). Es wurden pro Patient die

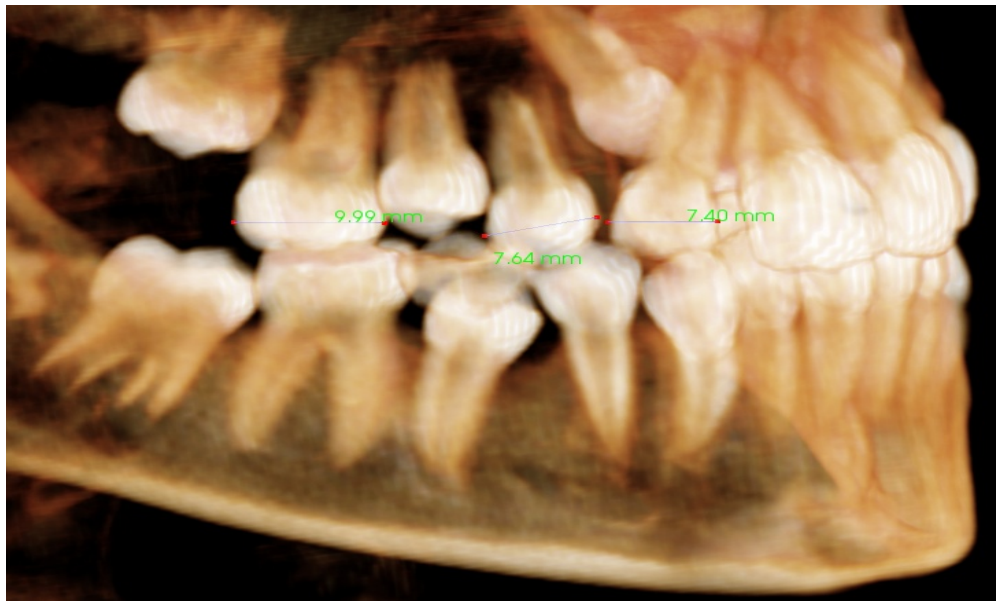
vorhandenen vestibulären Knochendehiszenzen mit der Breite der Lücke bzw. vorhandenem/nicht vorhandenem Platzangebot verglichen. Zur Überprüfung der statistischen Signifikanz wurden die ermittelten Daten mittels des Chi-Quadrat-Tests überprüft.



**Abb. 13:** Messung von der Schmelz-Zement-Grenze zum crestalen Knochen, um die vestibuläre Knochendehiszenz darzustellen (Quelle: MESANTIS®)

### 3.2.8 Kronenbreiten im Modell und im DVT

Die Hypothese lautete, dass es zwischen gemessener Kronenbreite am Modell keine Unterschiede zu gemessener Kronenbreite korrespondierender Zähne im DVT gibt. Für diese Hypothese wurde die mesio-distale Kronenbreite der Zähne 16, 14, 12, 22, 24, 26 im DVT Bild mit Hilfe des Programms „Volume Render“ gemessen (**Abbildung 14**) und dann mit den Zahnbreiten im Kiefermodell verglichen. Die Gipsmodelle stammten zum Einen von den archivierten Modellen des 3D-Röntgeninstituts MESANTIS® und zum Anderen von den behandelnden Ärzten der Patienten. Die Messungen am Modell wurden mit Hilfe einer elektronischen Schieblehre durchgeführt (**Abbildung 15**). Diese wurde vor jedem neuen Patienten auf den Wert 0 zurückgesetzt, um keine verfälschten Messwerte zu erhalten. Die statistische Überprüfung der gewonnenen Daten der Kronenbreiten im Modell sowie der Kronenbreiten im DVT erfolgte unter Zuhilfenahme des t-Testes nach Fisher.



**Abb. 14:** Darstellung der Bestimmung der mesio-distalen Kronenbreite der Zähne 16, 14, 12, 22, 24, 26 in der DVT-Aufnahme (Quelle: MESANTIS®).



**Abb. 15:** Mit Hilfe der elektronischen Schieblehre wurde die mesio-distale Kronenbreite im Situationsmodell bestimmt (Quelle: MESANTIS®).

## 4. Ergebnisse

### 4.1. Intraindividuelle Reproduzierbarkeit der 3D-Koordinaten

Für die Messungen der intraindividuellen Reproduzierbarkeit wurden jeweils die 3D-Koordinaten der Kronenspitze und des Apex von 25 impaktierten Eckzähnen vermessen (siehe 3.2.1).

#### 4.1.1 Messungen am Apex

Die 3D-Koordinaten an der Wurzelspitze der impaktierten Eckzähne konnten reproduzierbar erhoben werden. Die Zuverlässigkeitskoeffizienten R für die Koordinaten am Apex lagen zwischen 70,9% und 99,4%. Die transversalen und sagittalen Koordinaten waren deutlich reproduzierbarer zu erheben als die vertikalen. Die einzelnen Ergebnisse sind in **Tabelle 5** dargestellt.

**Tab. 5:** Darstellung der Zuverlässigkeitskoeffizienten R (Houston) für die 3D-Koordinaten (transversal, sagittal, vertikal) des Apex impaktierter Eckzähne im 1. und 2. Quadranten.

Zuverlässigkeitskoeffizient nach Houston	Transversal	Sagittal	Vertikal
1. Quadrant	99,4%	98,6%	70,9%
2. Quadrant	99,3%	98,6%	76,5%

Zur Überprüfung der Signifikanz wurde zusätzlich der Test auf Unterschied der Differenzen (t-Test) angewendet. Bei diesem Test konnte kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den jeweiligen Messpaaren festgestellt werden (**Tabelle 6**).

**Tab. 6:** Darstellung der p-Werte für die intraindividuelle Erhebung der 3D-Koordinaten am Apex impaktierter Eckzähne. Es bestanden keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen Erst- und Zweitmessung.

<b>t-Test</b>	<b>Transversal</b>	<b>Sagittal</b>	<b>Vertikal</b>
<b>1. Quadrant</b>	p= 0,8999	p= 0,1044	p= 0,0941
<b>2. Quadrant</b>	p= 0,0720	p= 0,2100	p= 0,6661

**Tabelle 7** zeigt eine Übersicht über die Ergebnisse der Korrelationsanalyse nach Pearson. Alle Korrelationen waren signifikant. Der Korrelationskoeffizient ergab für die Erst- und Zweitmessung einen sehr hohen Grad der Übereinstimmung (siehe Tabellenwerte).

**Tab. 7:** Die Korrelationsanalyse nach Pearson ergab zwischen der Haupt- und Wiederholungsmessung der Apex-Koordinaten eine positive Beziehung. Die Korrelationskoeffizienten  $r = 0,7484$  bis  $r = 0,9941$  wiesen auf eine hohe Übereinstimmung hin.

<b>Korrelationskoeffizient r</b>	<b>Transversal</b>	<b>Sagittal</b>	<b>Vertikal</b>
<b>1. Quadrant</b>	r= 0,9636	r= 0,9880	r=0,7484
<b>2. Quadrant</b>	r= 0,9941	r= 0,9871	r= 0,7814

Mit allen drei Tests wurde die Hypothese bestätigt, dass Messungen der 3D-Koordinaten des Apex impaktierter Eckzähne intraindividuell reproduzierbar erfasst werden können.

#### 4.1.2. Messungen an der Eckzahnspitze

Die Untersuchungen der 3D-Koordinaten der Eckzahnspitzen ergab ein ähnliches Ergebnis. Die Zuverlässigkeitskoeffizienten für die Koordinaten an der Eckzahnspitze lagen zwischen 81,4% und 99,7%. Die einzelnen Ergebnisse der statistischen Auswertung sind der nachfolgenden **Tabelle 8** zu entnehmen.

**Tab. 8:** Messergebnisse der Zuverlässigkeitskoeffizienten R (Houston) für die 3D-Koordinaten (transversal, sagittal, vertikal) der Eckzahnspitze impaktierter Canini im 1. und 2. Quadranten.

Zuverlässigkeitskoeffizient R nach Houston	Transversal	Sagittal	Vertikal
1. Quadrant	99,7%	91,9%	88,8%
2. Quadrant	99,3%	99,4%	81,4%

Mit Hilfe des t-Tests konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen Erst- und Zweitmessung für die Koordinaten der untersuchten Eckzahnspitzen nachgewiesen werden. Die detaillierten Ergebnisse sind in **Tabelle 9** dargestellt.

**Tab. 9:** Darstellung der p-Werte für die intraindividuelle Erhebung der 3D-Koordinaten an der Eckzahnspitze impaktierter Eckzähne. Es bestanden keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen Erst- und Zweitmessung.

t-Test	Transversal	Sagittal	Vertikal
1. Quadrant	p=0,7040	p=0,5159	p=0,0918
2. Quadrant	p=0,9352	p=0,1950	p=0,6347

Die Korrelationsanalyse nach Pearson zeigte für alle Koordinaten signifikante positive Zusammenhänge zwischen Erst- und Zweitmessung. Die Erfassung der Eckzahnspitzen wies Korrelationskoeffizienten zwischen 0,7254 und 0,9973 auf. Die einzelnen Ergebnisse sind in **Tabelle 10** dargestellt.

**Tab. 10:** Ergebnisse der Korrelationsanalyse nach Pearson für die 3D-Koordinaten der Eckzahnspitze im 1. und 2. Quadranten. Es bestanden signifikante Korrelationen zwischen Erst- und Zweitmessung.

Korrelationskoeffizient r	Transversal	Sagittal	Vertikal
1. Quadrant	r= 0,9973	r= 0,7254	r=0,9077
2. Quadrant	r= 0,9945	r= 0,9944	r= 0,8341

Mit allen drei Tests wurde die Hypothese bestätigt, dass Messungen der 3D-Koordinaten der Eckzahnspitze impaktierter Eckzähne intraindividuell reproduzierbar erfasst werden können.

#### 4.2. Intraindividuelle Reproduzierbarkeit der Kronenbreite von Eckzähnen

Die mesio-distale Kronenbreite wurde an 88 impaktierten maxillären Eckzähnen von 60 Patienten bestimmt. Der Zuverlässigkeitskoeffizient R nach Houston wurde ermittelt, um eine Aussage über die Zuverlässigkeit der intraindividuellen Erfassung der Variablen treffen zu können. Die Messwerte wiesen mit 99,7% für den 1. Quadranten sowie 98,5% für den 2. Quadranten eine sehr hohe Zuverlässigkeit (>97%) auf.

Zur Überprüfung der Reproduzierbarkeit wurde auch der Test auf Unterschied der Methoden (t-Test) angewendet. Es konnte kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen Erst- (M1) und Zweitmessung (M2) der mesio-distalen Kronenbreite festgestellt werden ( $p < 0,05$ ). Der Messwert lag im 1. Quadranten bei  $p = 0,45$  und im 2. Quadranten bei  $p = 0,44$ .

Zur weiteren statistischen Analyse wurde die Korrelationsanalyse nach Pearson durchgeführt. Die Erst- und Zweitmessung der Kronenbreite ergab signifikante Korrelationen. Der Korrelationskoeffizient betrug für den 1. Quadranten  $r = 0,99$  und für den 2. Quadranten  $r = 0,98$ .

Die Hypothese, dass Messungen der 3D-Koordinaten des Apex impaktierter Eckzähne intraindividuell reproduzierbar erfasst werden können, konnte somit bestätigt werden.

### 4.3. Platzangebot in der Region der impaktierten Eckzähne

Die Reproduzierbarkeit der Lückenvermessung wurde mit Hilfe des Zuverlässigkeitskoeffizienten R nach Houston ermittelt. Im 1. Quadranten lag der Zuverlässigkeitskoeffizient für die Lückenvermessung bei 99,7% und im 2. Quadranten bei 88,9%.

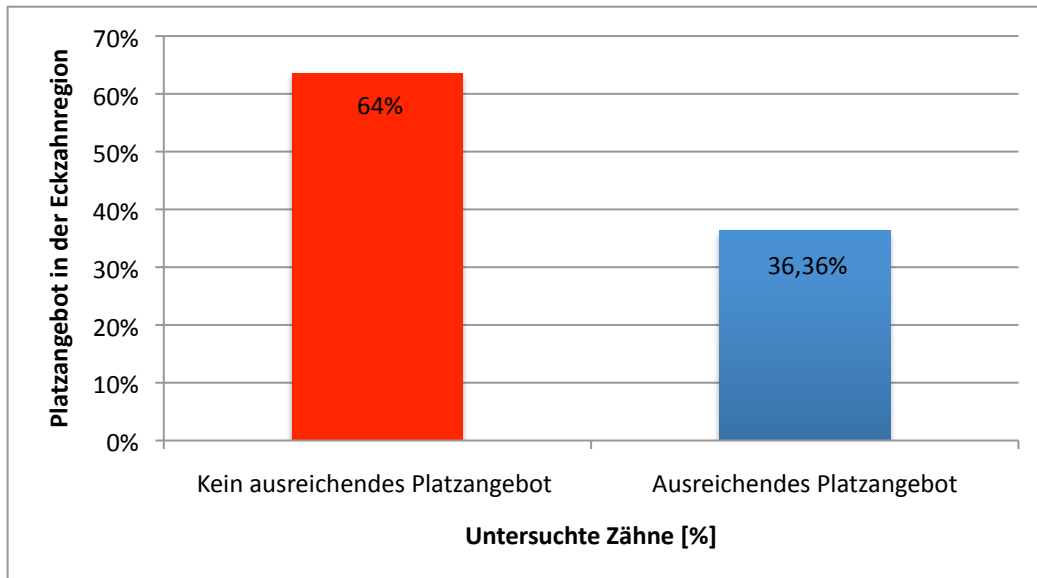
Darüber hinaus wurden der t-Test und die Korrelationsanalyse nach Pearson zur Erhebung von statistischen Signifikanzen durchgeführt. Dabei wurden jeweils die Haupt- und Wiederholungsmessung der Lückenbreite miteinander verglichen.

Mit dem t-Test waren keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Messungen (M1 und M2) nachweisbar. Der p-Wert war sowohl im 1. Quadranten ( $p=0,10$ ) als auch im 2. Quadranten ( $p=0,20$ ) größer als  $p=0,05$ .

Die Korrelationsanalyse ergab, dass beide Messungen signifikant miteinander korrelierten. Im 1. Quadranten betrug der Korrelationskoeffizient  $r=0,99$  und im 2. Quadranten  $r=0,91$ . Damit konnten die Lücken im Bereich der impaktierten Eckzähne intraindividuell reproduzierbar bestimmt werden.

Die Gegenüberstellung der gemessenen Kronenbreiten der impaktierten Eckzähne mit den gemessenen Platzangeboten im Bereich der Eckzahnlücken ergab in der Mehrheit der Fälle keine ausreichend große Lücke zum Einordnen des impaktierten Eckzahnes in die Zahnreihe zur Verfügung. Von den 88 untersuchten Eckzähnen bestand in 56 Fällen kein ausreichendes Platzangebot, bei 32 Eckzähnen war ausreichend Platz für die Einordnung der verlagerten Eckzähne vorhanden (**Abbildung 16**).





**Abb. 16:** Prozentuale Darstellung zum Platzangebot von impaktierten Eckzähnen in der Eckzahnregion. Bei 63,64% (n= 56) war keine ausreichende Lücke zum Einordnen eines verlagerten Eckzahnes vorhanden.

Die Kronenbreite betrug im Durchschnitt 7,25 mm (+/- 1,00 mm) und die Lückenbreite 5,23 mm (+/- 2,61mm). Damit fehlten im Durchschnitt 2,82 mm (+/- 3,04 mm) Platzangebot zum erfolgreichen Einordnen der impaktierten Eckzahnkronen in den Zahnbogen.

Zur statistischen Auswertung der Häufigkeitsverteilung wurden der Chi-Quadrat-Test nach Pearson und der t-Test angewendet. Bei der statistisch signifikanten Mehrheit der Patienten stand keine ausreichend große Lücke zum Einordnen des impaktierten Eckzahnes in die Zahnreihe zur Verfügung. Somit konnte die Hypothese bestätigt werden, dass statistisch signifikant mehr Patienten mit impaktierten Eckzähnen kein ausreichendes Platzangebot für die Eingliederung des impaktierten Eckzahnes aufweisen (**Tabelle 11**).

**Tab. 11:** Statistische Auswertung zum Platzangebot für impaktierte Eckzähne im Zahnbogen mit Hilfe des Chi-Quadrat-Testes. Es war signifikant häufiger kein ausreichendes Platzangebot nachweisbar.

Gruppe	N	Anteil (%)	Exakter P-Wert
Kein ausreichendes Platzangebot	56	63,64%	0,0138
Ausreichendes Platzangebot	32	36,36%	

#### 4.4. Prävalenz von Wurzelresorptionen durch verlagerte Eckzähne

Insgesamt wurden 240 Inzisivi auf Anzeichen von Wurzelresorptionen untersucht, davon 120 mittlere Schneidezähne und 120 seitliche Schneidezähne.

Bei 20% (n= 24) der seitlichen Schneidezähne und bei 5% (n= 6) der mittleren Schneidezähne waren Resorptionen nachzuweisen. Die einzelnen Messergebnisse sind der nachstehenden **Tabelle12** zu entnehmen.

**Tab. 12:** Darstellung der Anzahl bzw. Prozente von mittleren bzw. seitlichen Schneidezähne mit bzw. ohne Wurzelresorptionen durch einen impaktierten Eckzahn.

		<b>Keine Resorption</b>	<b>Resorption vorhanden</b>	<b>Gesamtanzahl (n) der Zähne</b>
<b>Mittlere Schneidezähne</b>	Anzahl (n)	114	6	120
	Prozent (%)	95%	5%	
<b>Seitliche Schneidezähne</b>	Anzahl (n)	96	24	120
	Prozent (%)	80%	20%	
<b>Total</b>	Anzahl (n)	210	30	240
	Prozent (%)	87,5%	12,5%	

Der Chi-Quadrat Test wurde zur statistischen Auswertung der Signifikanz herangezogen. Es wurde ein p-Wert von 0,0004 ermittelt. Daraus ließ sich folgern, dass seitliche Schneidezähne signifikant häufiger von Wurzelresorptionen durch impaktierte Eckzähne betroffen waren. Die Hypothese konnte damit bestätigt werden.

#### 4.5. Ausmaß der Wurzelresorptionen durch verlagerte Eckzähne.

Bei dieser Hypothese wurden alle 30 Schneidezähne, die Wurzelresorptionen aufwiesen, auf das genaue Ausmaß ihrer Wurzelresorption untersucht. Betroffen waren davon 6 mittlere- und 24 seitliche Schneidezähne. (siehe 4.4.)

Der Schweregrad der Wurzelresorption wurde durch die Gradeinteilung von Ericson u. Kurol (1986) festgelegt. (siehe 3.2.5)

Bei der Mehrzahl der Schneidezähne (56,60%) ließ sich eine leichte Wurzelresorption nachweisen. Dagegen trat bei 26,66% der Fälle eine starke- und bei 16,66% eine moderate Resorption auf. Die einzelnen Ergebnisse sind in **Tabelle 13** dargestellt.

**Tab. 13:** Ausmaß der Resorption von leicht bis stark, gemessen an 30 Schneidezähnen.

Resorptionsgrad	Anzahl (n)	Prozent (%)
<b>2: leichte Resorption</b>	17	56,66%
<b>3: moderate Resorption</b>	5	16,66%
<b>4: starke Resorption</b>	8	26,66%
<b>Insgesamt:</b>	30	100%

Zur Überprüfung der statistischen Signifikanz wurde der Chi-Quadrat Test nach Pearson angewendet. Der Test ergab einen Wert von  $p = 0,0205$ . Die Messungen unterschieden sich signifikant voneinander ( $p < 0,05$ ) und die Hypothese konnte nicht bestätigt werden.

Die Ergebnisse zeigten, dass verlagerte Eckzähne unterschiedlich starke Resorptionen an den angrenzenden Zähnen hervorrufen können und sich das graduelle Ausmaß der Wurzelresorptionen voneinander unterscheidet.

#### 4.6. Lokalisation der durch verlagerte Eckzähne verursachten Wurzelresorption

Insgesamt wurden 30 seitliche- und mittlere Schneidezähne auf die Lage ihrer Wurzelresorption untersucht.

Die Resorptionshöhe wurde genau lokalisiert und in Grade eingeteilt (siehe 3.2.6.).

Die Mehrheit der durch impaktierte Eckzähne verursachten Wurzelresorptionen waren mit 63,3% im apikalen Bereich der angrenzenden Schneidezähne zu finden. Im mittleren Wurzel Drittel traten Resorptionen bei 33,3% und im zervikalen Wurzel Drittel bei 3,3% der Fälle auf. Die einzelnen Ergebnisse sind in **Tabelle 14** dargestellt.

**Tab. 14:** Topographische Lage der Wurzelresorptionen an seitlichen und mittleren Schneidezähne, hervorgerufen durch verlagerte maxilläre Eckzähne.

Lage der Resorption	Häufigkeit	Prozent (%)
Oberes Wurzel Drittel	1	3,3%
Mittleres Wurzel Drittel	10	33,3%
Unteres Wurzel Drittel	19	63,3%
Insgesamt	30	100,0%

Die Wurzelresorptionen befanden sich nicht immer im apikalen, sondern auch im mittleren und oberen Wurzel Drittel. Damit trifft die Hypothese nicht zu.

#### **4.7. Korrelationen zwischen einem eingegengten Platzangebot und vestibulären Knochendehiszenzen an den oberen Frontzähnen**

Ziel dieser Hypothese war es herauszufinden, ob es einen Zusammenhang zwischen dem Platzangebot in der Eckzahnregion und vestibulären Knochendehiszenzen an zentralen Schneidezähnen gibt.

Es wurden insgesamt 120 Zähne, davon 60 mittlere Schneidezähne des 1. Quadranten und 60 mittlere Schneidezähne des 2. Quadranten, nach vestibulären Knochendehiszenzen untersucht. Darüber hinaus wurden an denselben Patienten 87 Lücken in der Eckzahnregion vermessen.

Das vorhandene bzw. nicht vorhandene Platzangebot der Lücke wurde mit Hilfe der Messungen aus Hypothese 4.3. beurteilt.

Die Mehrheit der vestibulären Knochendehiszenzen zeigte sich bei eingegengtem aber noch vorhandenem Platzangebot. Dagegen wiesen Patienten ohne Platzangebot in der Eckzahnregion weniger Knochendehiszenzen im Frontzahnbereich auf.

Bei 85% der Patienten bestand ein ausreichendes Platzangebot in der Oberkiefer-Eckzahnregion. 35% aller Patienten wiesen eine vestibuläre Knochendehiszenz auf, was bezogen auf die Gruppe der Patienten mit ausreichendem Platzangebot einen Anteil von ca. 41% ausmacht. Bei 15% aller Patienten war in der Eckzahnregion kein Platzangebot zu finden. 8,3% der Patienten wiesen vestibuläre Knochendehiszenzen auf, was bezogen auf die Gruppe der Patienten ohne ausreichendes Platzangebot einen Anteil von ca. 55% ausmacht.. Die detaillierte Darstellung der Auswertung ist in der nachfolgenden **Tabelle 15** aufgeführt.

**Tab. 15:** Ergebnisse zur Anzahl und prozentualen Verteilung der vestibulären Knochendehiszenzen an den mittleren Schneidezähnen und des Platzangebotes in der maxillären Eckzahnregion.

<b>Platzangebot vs. Vestibuläre Knochendehiszenzen Kreuztabelle</b>				
		<b>Vestibuläre Knochendehiszenzen</b>		<b>Gesamt</b>
		ja	nein	
<b>Platzangebot</b>	ja	Anzahl	21	30
		% der Gesamtzahl	35,0%	50,0%
<b>ausreichend</b>	nein	Anzahl	5	4
		% der Gesamtzahl	8,3%	6,7%
<b>Gesamt</b>		Anzahl	26	34
		% der Gesamtzahl	43,3%	56,7%

Des Weiteren wurden die Messwerte auf statistische Signifikanz mit dem Chi-Quadrat-Test nach Pearson und dem exakten Test nach Fischer untersucht. Es zeigten sich bei beiden Verfahren signifikante Zusammenhänge zwischen Platzangebot und vestibulärer Knochendehiszenz. Die Hypothese konnte wiederlegt werden, dass es keine Korrelationen zwischen einem eingeeengten Platzangebot und vestibulären Knochendehiszenzen an den zentralen Frontzähnen gäbe.

#### **4.8. Kronenbreiten im Modell und im DVT**

Bei der vorliegenden Hypothese wurde bei 13 Patienten die mesio-distale Kronenbreite der Zähne 16, 14, 12, 22, 24 und 26 am Gipsmodell vermessen und vergleichend dazu im DVT bestimmt (siehe 3.2.8.).

Die Messergebnisse beider Methoden wurden gegenübergestellt und statistisch untersucht. Zur Überprüfung der Signifikanz wurde der t-Test nach Pearson angewendet. Der p-Wert war bei allen Messungen nicht signifikant ( $p < 0,05$ ). Es gab keine systematischen Abweichungen zwischen der Modellvermessung mit der elektronischen Schieblehre und der digitalen Kronenbreitenmessung im DVT. Die Ergebnisse der Auswertung sind in **Tabelle 16** zusammengefasst.

Die Hypothese konnte bestätigt werden.

**Tab 16:** Vergleich der Kronenbreitenwerte vom Situationsmodell mit den im DVT gemessenen Werten.

	Mittelwert	Standardabweichung	Median	Minimum	Maximum	Gültige N	p-Wert (zweiseitig)
Zahn 16 Modell	10,38	1,04	10,00	9,00	12,00	13	0,829
Zahn 16 DVT	10,31	1,32	11,00	7,00	12,00	13	
Zahn 14 Modell	7,08	,76	7,00	6,00	8,00	13	1,000
Zahn 14 DVT	7,08	,86	7,00	6,00	9,00	13	
Zahn 12 Modell	6,08	1,89	7,00	,00	7,00	13	0,794
Zahn 12 DVT	6,15	2,19	6,00	,00	10,00	13	
Zahn 22 Modell	6,08	2,02	6,00	,00	8,00	13	0,185
Zahn 22 DVT	6,23	2,05	7,00	,00	8,00	13	
Zahn 24 Modell	7,08	,95	7,00	5,00	8,00	13	0,721
Zahn 24 DVT	7,15	,80	7,00	6,00	8,00	13	
Zahn 26 Modell	10,46	,97	10,00	9,00	12,00	13	0,673
Zahn 26 DVT	10,54	1,20	10,00	9,00	13,00	13	

## 5. Diskussion

Die digitale Volumentomografie (DVT) ist seit ihrer Einführung auf dem nordamerikanischen Markt im Jahre 2001 weltweit in der Zahnmedizin in den Vordergrund gerückt. Sie entwickelt sich in vielen kieferorthopädischen Praxen zunehmend zu einer routinemäßig angewendeten Aufnahmetechnik. Spezielle Indikationsstellungen und pathologische Veränderungen im kranio-fazialen Bereich können mittels DVT leichter diagnostiziert und ein verbessertes Behandlungsmanagement erarbeitet werden.

Die DVT weist in der Diagnostik und Therapieplanung Vorteile gegenüber der konventionellen 2D-Röntgentechnik auf (Grünheid et al. 2011).

Ein Nachteil der 3D-Volumenaufnahmen ist die vergleichsweise hohe Strahlenbelastung. Durch die Verwendung von Low-dose-Einstellungen ist allerdings eine deutliche Reduktion der Strahlenbelastung ohne diagnoserelevante Verluste möglich geworden. Die DVT-Aufnahme besitzt 2-23% der effektiven Dosis einer vergleichbaren MSCT-Aufnahme. Gerade bei Kindern und Jugendlichen sollten dreidimensionale Röntgenaufnahmen aufgrund der Strahlenbelastung nur nach sorgfältiger Nutzen-Risiko-Abwägung durchgeführt werden (Hofmann et al. 2011). Für jede Röntgenaufnahme muss eine Indikation bestehen (Rechtfertigungsgrundsatz der Röntgenverordnung vom 30.4.2003, Stellungnahme Hirschfelder DGKFO 2008)

Die DVT stellt komplexe kranio-faziale Fehlbildungen detailliert und exakt dar. Konventionelle Röntgenaufnahmen sind dagegen in ihrer Darstellungsmöglichkeit limitiert, da die Überlagerung von dentalen Strukturen eine genaue Befundung unmöglich macht.

Ziel dieser Studie ist der Beweis, durch 3D-Koordinaten die Position von impaktierten maxillären Eckzähnen reproduzierbar in einem Koordinatensystem im DVT zu bestimmen und Wurzelresorptionen an den benachbarten Schneidezähnen darzustellen. Es stellt sich außerdem die Frage, wie sich die vestibuläre Knochenlamelle in der Frontzahnregion und das Platzangebot in der Eckzahnregion infolge einer Impaktion verändert.



## 5.1. Diskussion der Methoden

In der vorliegenden Arbeit wurde auf bereits vorhandene DVT-Aufnahmen vom 3D-Röntgeninstitut MESANTIS® zurückgegriffen, welche aufgrund spezifisch rechtfertigender Indikation von Eckzahnimpaktionen angefertigt worden sind. Die verwendeten Datensätze stammen von den verschiedenen MESANTIS® Instituten in Berlin, Hamburg, München, Heilbronn und Wiesbaden. Die jeweiligen Patientenaufnahmen wurden anonym behandelt. Dank des Zugriffs auf das vorhandene Datenarchiv konnten je nach Fragestellung 25-60 digitale Volumentomogramme von unterschiedlichen Patienten bearbeitet werden. Die Größe der Versuchsgruppen ähnelt denen anderer aktueller Studien. Während einige Autoren 17 Computertomografien in Bezug auf impaktierte Eckzähne im Oberkiefer verglichen haben (Hanke et al. 2012) sind es in der Studie von Jung et al. 63 digitale Volumentomogramme (Jung et al. 2012). Es kann daher davon ausgegangen werden, dass die hier ausgewertete Patientenanzahl ausreichend groß ist, um einen signifikanten Aussagewert zu erreichen.

Bei der Patientenauswahl handelt es sich in der Mehrheit um kieferorthopädische Patienten. Aus diesem Grund kann in dieser Arbeit von einer Selektion des Patientenguts gesprochen werden. Ein Rückschluss auf die Prävalenz von Zufallsbefunden in der Gesamtbevölkerung ist demnach nicht zulässig.

Eine maxilläre Eckzahnimpaktion kann in jedem Lebensalter diagnostiziert werden, deshalb können jegliche Altersgruppen berücksichtigt werden. Hanke et al. untersuchten dagegen nur Patienten mit unilateral impaktierten Canini im Alter zwischen 10 und 18 Jahren (Hanke et al. 2012).

Die Vermessung aller Daten erfolgte nur an verzerrungsfrei dargestellten DVT-Aufnahmen. Deutlich dargestellte anatomische Strukturen waren unter anderem Voraussetzung für die Platzierung der Referenzpunkte und die Vermessungen.

DVT-Aufnahmen selbst können technisch multiple Fehlerquellen aufweisen. Während der Aufnahme können z.B. Bewegungen des Patienten, Artefakte von metallischen Füllungen oder Zahnersatz zur Beeinträchtigung der Bildqualität führen. Ebenso können Einstellungsgrößen wie die Voxelgröße oder das FOV die Befunderhebung stark

beeinflussen. Um Fehler bei der Datenanalyse zu vermeiden, wurden von vorne herein nur auswertbare Aufnahmen ausgewählt.

Das Auflösungsvermögen wird innerhalb des Volumens durch die Anzahl der Voxel bestimmt. Das DVT kann pro Kubikmillimeter 2278 Volumenbildpunkte (Voxel) darstellen. Im Vergleich dazu kann ein CT einen Kubikmillimeter nur mit einem einzigen Voxel abbilden (Kopp et al. 2010). Je nach Gerätehersteller haben die Voxel in allen drei Raumebenen Kantenlängen im Submillimeterbereich von 0,076 bis 0,4 mm (Ritter et al. 2009).

Aus Gründen des Strahlenschutzes müssen sich die FoV-Maße nach den individuellen Gegebenheiten des Patienten richten, um die notwendige Größe nicht zu überschreiten. Die Festlegung des passenden FoV erfolgt nach der zu untersuchenden Region, dem Patientenalter und nach dem Geschlecht. Für die vollständige Erfassung der dentalen Region sollte das FoV 8,3 x 10,6 cm (Kinder: 8,3 x 10,3 cm) betragen (Krause et al. 2010).

Um Ungenauigkeiten und Fehler bei den einzelnen Messungen zu vermeiden, erfolgten nach Einführung in die Visualisierungssoftware InVivo® Dental 5.1, eine Vielzahl von Probemessungen. Die eigentliche Befunderhebung fand ca. 4 Wochen nach den Voruntersuchungen statt.

Eine bewusste oder unbewusste Verzerrung der Ergebnisse durch den Anwender kann somit zwar weitestgehend, jedoch nicht gänzlich ausgeschlossen werden.

## **5.2. Diskussion der Ergebnisse**

### **5.2.1 Intraindividuelle Reproduzierbarkeit der 3D-Koordinaten impaktierter Eckzähne**

Die Eignung eines Referenzsystems, um die Verlagerung eines impaktierten Eckzahnes in dreidimensionalen Datensätzen beurteilen zu können, wurde bereits in früheren Studien beschrieben (Hanke et al. 2012, Hofman et al. 2011).

*Hanke et al.* entwickelten in ihrer Studie von 2013 ein Referenzsystem für Mehrschicht-Computertomographie (MSCT)-Datensätze zur Ermöglichung der metrisch exakten Analyse und Beschreibung von impaktierten Eckzähnen. Ausgewählt wurden 17 Patienten mit unilateral verlagerten maxillären Eckzähnen. Ein 3D-System, bestehend

aus sagittaler, axialer und koronaler Ebene, diene als Referenzebene. Das Koordinatensystem wurde definiert über die Referenzpunkte Spina nasalis anterior (ANS), Spina nasalis posterior (PNS) und den A-Punkt. In diesem konstruierten Koordinatensystem wurden nun die Zahnachse und die Impaktion der verlagerten Eckzähne und vergleichend die nicht verlagerten Eckzähne bestimmt. Es konnte ein signifikanter Unterschied zwischen den Ergebnissen der impaktierten und nicht impaktierten Eckzähnen festgestellt werden ( $p < 0,0003$ ). Die Messungen wiesen eine ausreichende Reproduzierbarkeit auf (Hanke et al. 2013).

*Hofman et al.* wiesen die Messpunkt-reproduzierbarkeit von 3D-Datensätzen im CT nach. Sie untersuchten MSCT-Datensätze von 37 Patienten mit verlagerten oberen Eckzähnen und verglichen nicht verlagerte Eckzähne der Gegenseite damit. Als Referenzpunkte dienten Eckzahnapex, Eckzahnspitze, Unterkieferinzisalpunkt, mesiobukkal Höckerspitze des ersten linken und rechten Unterkiefermolaren und der A-Punkt. Über diese Referenzpunkte wurden drei Bezugsebenen konstruiert und die Eckzahnachsen in Beziehung zu diesen Ebenen ermittelt. Über Winkelmessungen wurde jeweils die Verlagerung bestimmt. Bei palatinal verlagerten Eckzähnen war der Winkel zur Frontalebene nur geringfügig größer (Mittelwert:  $19,62^\circ$ ) als bei nicht verlagerten Eckzähnen ( $17,53^\circ$ ). Bei einer bukkalen Verlagerung betrug der Winkel im Mittel  $32,79^\circ$ . Der Winkel zur Kauebene ist bei bukkaler ( $55,16^\circ$ ) und palatinaler ( $56,63^\circ$ ) Verlagerung signifikant kleiner als bei nicht verlagerten Zähnen ( $70,95^\circ$ ). Eine geringe Neigung wiesen bukkal verlagerte (Mittelwert  $8,25^\circ$ ) und nicht verlagerte Eckzähne (Mittelwert  $6,07^\circ$ ) zur Sagittalebene auf (Hofman et al. 2011).

Die exakte dreidimensionale Position von impaktierten Eckzähnen im DVT analysierten *Lai et al.* in ihrer Studie. Sie untersuchten dafür die 3D-Aufnahmen von 113 Patienten in der sagittalen, vertikalen und transversalen Ebene und kamen zu dem Ergebnis, dass 51,49% der Eckzähne eine palatinale und 30,6% eine vestibuläre Verlagerung im Oberkiefer aufwiesen (Lai et al. 2012).

*Kau et al.* hat den sogenannten KPG-Index entwickelt, um die Verlagerung von Oberkiefereckzähnen und deren Beziehung zu benachbarten Strukturen festzustellen. Es kann dabei durch die Betrachtung aller drei Ebenen (x, y und z) eine genaue Beurteilung des Schweregrads der Impaktion des Eckzahnes innerhalb der Zahnreihe und des Kiefers getroffen werden. Darüber soll das Behandlungsmanagement festgelegt werden. Jeder Eckzahn wird nach seiner anatomischen Lage in einer

Rasterskala beurteilt und an der Eckzahnspitze und am Apex werden Nummern von 0-5 eingetragen. Die Befundung findet an drei vor Behandlungsbeginn erstellten Aufnahmen statt. Die Summe der Zahlen von den Referenzpunkten Eckzahnspitze und Apex entscheiden anschließend über die zu erwartende Schwierigkeit der Behandlung. Die Zahl gibt Aufschluss darüber, ob es sich um eine leichte (0-9), moderate (10-14), schwierige (15-19) oder extrem schwierige (>20) Verlagerung und Behandlung handeln wird (Kau et al. 2009).

*San Martin et al.* untersuchten in einer neuen Studie von 2012 an der University of Texas School of Dentistry at Houston Department of Orthodontics 28 impaktierte Eckzähne im DVT hinsichtlich ihrer Verlagerung mit Hilfe des KPG-Index. Laut dem KPG-Index besaßen 4 Eckzähne einen leichten, 11 einen moderaten, 9 einen schwierigen und 4 einen extremen Impaktionsgrad. Anschließend wurde der festgelegte Impaktionsgrad mit der Behandlungszeit der Patienten verglichen. Eckzähne die in „Leicht“ eingeteilt worden waren, benötigten 11,23 Monate, die Kategorien „moderat“ 11,36 Monate, „schwer“ 12,76 Monate und „extrem schwierig“ 13,23 Monate Behandlungszeit. Basierend auf den Ergebnissen dieser Studie kann der KPG-Index nicht bestätigt oder als eine genaue Methode zur Bestimmung der Behandlungszeit für einen Eckzahn benutzt werden (San Martin et al. 2012). In der Literatur existiert soweit ersichtlich keine Studie, in der ein dreidimensionales Koordinatensystem für DVT-Daten verwendet wird. Aus diesem Grund wurde in der hier vorliegenden Studie die Reproduzierbarkeit von 3D-Koordinaten impaktierter Eckzähne in DVT-Aufnahmen überprüft. Die 3D-Koordinaten von 35 impaktierten maxillären Eckzähnen konnten intraindividuell reproduzierbar bestimmt werden.

Bei den Ergebnissen fällt auf, dass die sagittalen und transversalen Koordinaten besser zu bestimmen waren als die Vertikalen. Es kann vermutet werden, dass der Grund dafür eine fehlerhafte manuelle Referenzpunktbestimmung gewesen ist. Einfluss auf die Genauigkeit der Messung hatten u.a. Bildqualität und Farbkontraste der Aufnahmen. Weiterhin kann es zu Fehlern gekommen sein, da die Messungen vom Untersucher manuell durchgeführt wurden. Diese Messungenauigkeiten könnten durch die Programmierung einer automatischen 3D-Koordinatenbestimmung durch die Software reduziert werden.

Die DVT bietet Vorteile bei der Lokalisierung von impaktierten Eckzähnen gegenüber der routinemäßig angewendeten Röntgentechniken (Ahmed et al. 2012) .

*Wriedt et al.* stellten in ihrer Studie die Vorteile der 3D-Diagnostik zur Abklärung der Position und Einstellbarkeit verlagelter oberer Canini gegenüber der konventionellen 2D-Diagnostik (Panoramaschichtaufnahme, OPG) dar. Sie analysierten und verglichen 29 retinierte maxilläre Canini im Modell, der OPG- und der DVT-Aufnahme. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass die Lage des Eckzahnes zu 64% im OPG und DVT gleich beurteilt wurde, aber die DVT-Aufnahme zeigte die größte Übereinstimmung mit der Referenzbefundung. Der Apex des Eckzahnes konnte im DVT als erkennbar gewertet werden, dagegen war er im OPG nur bei einem Viertel zu analysieren. Die Ergebnisse belegen die Unzulänglichkeit von 2D-Aufnahmen als Diagnoseverfahren für eine erfolgreiche Behandlung verlagelter Eckzähne (Wriedt et al. 2011).

*Haney et al.* verglichen ebenfalls traditionelle Röntgen- und DVT-Aufnahmen hinsichtlich der Diagnostik impakterter maxillärer Eckzähne miteinander. Um die vertikale Position der Eckzähne zu ermitteln, verwendeten die Autoren die 2D-Panoramaschichtaufnahme. Okklusale Einzelbildaufnahmen dienten der Darstellung des Abstandes des Eckzahnes zu den benachbarten Zähnen und zwei periapikale Bilder sollten die labial-palatinale Position aufzeigen. Eine präzisere Diagnose und der daraus resultierende Behandlungsplan, konnten mit dem DVT erzielt werden ( $p < 0,001$ ).

Mit Hilfe der DVT-Aufnahme, kann eine zuverlässige Aussage über die 3D-Position (Chen et al. 2009) gemacht und das chirurgisch-kieferorthopädische Management von impaktierten Eckzähnen verbessert werden (Rossini et al. 2012).

### **5.2.2. Intraindividuelle Reproduzierbarkeit der Kronenbreite von Eckzähnen**

Die exakte Vermessung der mesiodistalen Dimension von impaktierten Zähnen spielt eine entscheidende Rolle für das Behandlungsmanagement und die daraus resultierende erfolgreiche kieferorthopädische Einordnung in den Zahnbogen.

Die hier vorgelegte Studie bestätigt die Möglichkeit der exakten Breitenvermessung einer impaktierten Eckzahnkrone im DVT.

Die Vermessung der mesio-distalen Kronenbreiten von 35 Patienten mit impaktierten Canini konnte im 1. Quadranten mit 99,7% und im 2. Quadranten mit 98,5% reproduzierbar bestimmt werden. Der leichte Messunterschied im 2. Quadranten kann durch ungenaues Setzen der Referenzpunkte bzw. durch Unterschiede in der

Bildqualität entstanden sein. Der Test auf Unterschied der Methoden (t-Test) bestätigt, dass kein statistisch signifikanter Unterschied vorliegt ( $p < 0,05$ ).

*Hofman et al.* untersuchten in einer ähnlichen in vitro Studie die mesio-distale Breite von 24 Schweinemolaren im CT und vergleichend dazu im DVT. Überprüft werden sollte ebenfalls die Reproduzierbarkeit und Genauigkeit der Breitenvermessung. Als Referenzpunkte diente die größte Zirkumferenz mesial und distal der Krone. Die CT-Vermessung wies eine leicht geringere Abweichung bei den Messungen (0,10mm) auf als die im DVT (0,11 mm). Trotzdem lag die Standardabweichung für die Messwerte des DVTs unter 5% und ist damit klinisch akzeptabel für die Bestimmung der mesio-distalen Breite von Eckzähnen (Hofmann et al. 2011).

In einer anderen Studie bestimmten *Hofmann et al.* die tatsächliche mesio-distale Breite von noch nicht eruptierten oberen Eckzähnen bei 17 Patienten im CT. Anschließend wurde nach dem Durchbruch und Einordnung dieser Zähne die Breite erneut vermessen und verglichen. Die Bestimmung der mesio-distalen Breite impaktierter maxillärer Eckzähne führt anhand von MSCT-Datensätzen sowohl zu einer hohen Reproduzierbarkeit als auch zu einer hervorragenden Genauigkeit. Es gibt keine statistischen Abweichungen zwischen den verschiedenen Messmethoden. Nachteil des MSCT ist allerdings die erhöhte Strahlenbelastung. *Hofman et al.* sind der Ansicht, dass es bei der Anwendung des DVTs zwar zu einer Strahlenreduktion kommt, aber die Messgenauigkeit bei diesem Verfahren beeinträchtigt wird (Hofmann et al. 2011).

Diese Aussage widerspricht den statistischen Ergebnissen dieser Hypothese und wird somit widerlegt.

### **5.2.3. Platzangebot in der Eckzahnregion der impaktierten Zähne**

Die vorliegende Studie bestätigt die eingangs formulierte Hypothese des mehrheitlichen Platzmangels in der Eckzahnregion, welcher das erfolgreiche Einordnen eines impaktierten oberen Eckzahnes in den Zahnbogen schwierig macht (siehe 4.3.).

Platzmangel im Wechselgebiss steht mit ektopisch verlagerten Eckzähnen im Zusammenhang (Ericson und Kuroi 1988) und kann zu einer bukkalen Verlagerung des Eckzahnes führen (Hudson et al. 2010). Bei einem übermäßigen Platzangebot liegt eher eine palatinale Verlagerung vor (Peck et al. 1994). Der reichlich vorhandene Platz ist meist das Ergebnis einer Mikroodontie oder Aplasie des lateralen Schneidezahnes. Hudson et al. weisen jedoch darauf hin, dass es auch bei nicht vorhandenem Platzmangel aufgrund einer Anomalie des seitlichen Schneidezahnes zu einer bukkalen Verlagerung des Eckzahnes kommen kann (Hudson et al. 2010).

Um einen maxillären impaktierten Eckzahn in den Zahnbogen einzuordnen, ist zunächst die Schaffung einer ausreichend großen Lücke notwendig. Darauf folgt die chirurgische Freilegung und der mechanisch gesteuerte „Durchbruch“ (Marisela et al. 2009).

Eine regelmäßige Kontrolle des Platzangebotes im Wechselgebiss sollte durchgeführt werden. Nur bei ausreichendem Platzangebot kann die Therapie erfolgreich sein (Hudson et al. 2011).

Die Expansion entweder vom Zahnbogen oder von einzelnen Bereichen ist notwendig, um ausreichenden Platz für den Durchbruch des impaktierten Eckzahnes zu schaffen (Smith et al. 2012).

Für den Durchbruch des Eckzahnes sollte zunächst durch festsitzende kieferorthopädische Apparaturen Platz geschaffen werden und dann der Zahn eingeordnet werden (Alqerban et al. 2009)

Kokich empfiehlt bei einem palatinal impaktierten Eckzahn zunächst die Bebänderung des Oberkiefers, um Platz für die Krone zu schaffen und dann die Freilegung des Zahnes durch einen Chirurgen. Nach der Freilegung kommt es in den nächsten 6-9 Monaten zum Einordnen des verlagerten Eckzahnes in den Zahnbogen mit Hilfe gesteuerter kieferorthopädischer Kräfte (Kokich 2004).

#### **5.2.4. Wurzelresorptionsvorkommen an zentralen und seitlichen Schneidezähnen durch verlagerte Eckzähne**

Viele Studien setzen sich mit impaktierten Oberkiefereckzähnen und dem Existieren von Wurzelresorptionen an benachbarten Schneidezähnen mit Hilfe der DVT auseinander. Verschiedene ältere Studien (Lai et al. 2012, Kim et al. 2012, Liu et al. 2008, Walker et al. 2005, Ericson, Kuroi 2000) belegen, dass Wurzelresorptionen an Schneidezähnen, verursacht durch die Impaktion von Eckzähnen, gehäuft an den lateralen Inzisivi auftreten.

Laut vorliegender Studie besitzen 30 von insgesamt 240 Schneidezähnen eine Resorption. Von diesen 30 Zähnen sind 24 laterale und 6 mittlere Schneidezähne von einer Wurzelresorption betroffen.

*Bjerklin et al.* kamen nach ihrer Studie von 2011 zu einem ähnlichen Resultat. Sie untersuchten über 10 Jahre lang das Wurzelresorptionsvorkommen bei Patienten mit impaktierten maxillären Eckzähnen. Die Patienten begannen ihre kieferorthopädische Behandlung zwischen 1976 und 1989. Die Behandlungszeit betrug in der Regel 2,3 Jahre und währenddessen wurden begleitend Röntgenbilder angefertigt. Bei 49 Patienten wurden CT- oder DVT-Aufnahmen erstellt. Bei insgesamt 55 Schneidezähnen, davon 32 Laterale und 23 Zentrale, wiesen insgesamt 36 eine Wurzelresorption auf. Von diesen 36 Schneidezähnen waren 21 laterale- und 15 zentrale Incisivi betroffen. In fast 50% aller Fälle verursachen ektopisch verlagerte maxilläre Eckzähne eine Resorption an den angrenzenden Wurzeln der Schneidezähne (Bjerklin et al. 2011).

*Lai et al.* fanden im Zusammenhang mit einer Eckzahnimpaktion im Oberkiefer bei 41 benachbarten Schneidezähnen Anzeichen einer Wurzelresorption. Wie auch in der hier aufgeführten Studie, wiesen mehr seitliche Schneidezähne (n= 34) als zentrale Schneidezähne (n=7) eine Resorption auf (Lai et al. 2012).

In der chinesischen Bevölkerung analysierten *Yan et al.* die Prävalenz für Wurzelresorptionen, verursacht durch impaktierte Eckzähne an den zentralen und lateralen Schneidezähnen und ersten Prämolaren. 170 Patienten wurden mit Hilfe der DVT betrachtet und in zwei Gruppen, mit und ohne Wurzelresorptionsvorkommen, eingeteilt. Die Autoren kamen zu dem Ergebnis, dass signifikant mehr



Wurzelresorptionen auf der Seite der Impaktion des Eckzahnes zu finden war. Die höchste Prävalenz besaß mit 27% der laterale Schneidezahn, gefolgt vom zentralen Schneidezahn mit 18% und dem Prämolaren mit 10%. Besonders bei vorhandenem Kontakt des impaktierten Eckzahnes zur angrenzenden Wurzel des Nachbarzahns (<1 mm), bestand eine signifikante Häufigkeit an Wurzelresorptionen, im Vergleich zu weiter entfernt stehenden Zähnen (>1 mm). Die bukkale oder palatinale Verlagerung des Eckzahnes hat keinen Einfluss auf das Wurzelresorptionsvorkommen (Yan et al. 2013).

*Rakhshan et al.* untersuchten 132 kieferorthopädische Patienten auf Risikofaktoren, die mit externen Wurzelresorptionen im maxillären Frontzahnbereich assoziiert sind. Das Alter der Patienten bewegte sich zwischen 13-24 Jahre und alle Fälle trugen 11-70 Monate eine feste kieferorthopädische Apparatur. Vor und nach der Behandlung wurden Panoramaschichtaufnahmen erstellt. Darüber wurde jeweils die Länge der Wurzeln und der Kronen der oberen Schneidezähne beurteilt und verglichen. Die Prävalenz für externe Wurzelresorptionen im Schneidezahnbereich lag bei 91,8%. Ein signifikant größerer Anteil der Wurzelresorption war an den lateralen Schneidezähnen zu beobachten. Ein initialer Overjet, eine Prämolarenextraktion und eine lange Behandlungsdauer korrelierten mit externen Wurzelresorptionen und stellten damit Risikofaktoren dar. Ein Overbite und das Alter des Patienten hatten keinen signifikanten Einfluss (Rakshan et al. 2012).

*Kim et al.* untersuchten in der koreanischen Population 186 impaktierte maxillare Eckzähne von 148 Patienten. Augenmerk wurde unter Anderem auf eine Wurzelresorption an den benachbarten Zähnen geworfen. Mittels CT- und Panoramaschichtaufnahmen wurde nach pathologischen Veränderungen der Wurzeln gesucht. Eine Wurzelresorption trat in 49,5% der Fälle auf. Es wurde festgestellt, dass die Gefahr einer Resorption mit der zunehmenden Nähe der Eckzahnkrone zur Wurzel der benachbarten Schneidezähne steigt (Kim et al. 2012).

*Liu et al.* (2008) fanden in ihrer Studie heraus, dass bei 27,2% der Patienten Resorptionen vorzufinden waren. Bei 94,3% der Zähne lag ein Kontakt des verlagerten Oberkiefereckzahnes zur Wurzel des seitlichen Schneidezahnes vor. Es kann bei dem Be- bzw. Entstehen einer Resorption auf den Kontakt des Oberkiefereckzahnes zur Wurzel des benachbarten Schneidezahnes geschlossen werden (Liu et al. 2008).

*Alqerban et al.* verglichen traditionelle Panoramaschichtaufnahmen mit zwei unterschiedlichen DVTs: 3D Accuitomo-XYZ Slice View Tomograph® (J. Morita, Kyoto, Japan) und Scanora® 3D CBCT (Soredex, Tuusula, Finnland). Es besteht ein signifikanter Unterschied bei der Erkennung von Wurzelresorptionen an lateralen Inzisivi, verursacht durch impaktierte Eckzähne zwischen der 2D- und 3D-Aufnahme. Wurzelresorptionskavitäten an lateralen Schneidezähnen sind eindeutig besser im DVT identifizierbar. Es war kein signifikanter Unterschied zwischen den DVT-Aufnahmen der beiden verschiedenen Hersteller erkennbar. Bei der Auswertung der Aufnahmen, kamen die Untersucher bei den DVT-Aufnahmen mehrheitlich zur gleichen Diagnose, dagegen bei der Panoramaschichtaufnahme nicht. Bei 53,9% der lateralen Incisivi wurde im DVT eine Wurzelresorption festgestellt. Bei dem gleichen Patienten vergleichend dazu in der Panoramaschichtaufnahme nur 29,4%. Die 2D-Aufnahme stellt demnach ein unzureichendes diagnostisches Hilfsmittel bei der Beurteilung von Wurzelresorptionen dar (*Alqerban et al. 2011*).

Ebenso fanden *Boticelli et al.* in ihrer Studie signifikant mehr Wurzelresorptionen im DVT als in der konventionellen Röntgenaufnahme. Der Unterschied in der Beurteilung der verschiedenen Aufnahmen liegt an der Überlagerung der anatomischen Strukturen in der 2D-Aufnahme. Aus diesem Grund kann es zu differenten Behandlungsplanungen in 2D- und 3D-Aufnahmen kommen (*S. Boticelli et al. 2010*).

Aus der Literatur geht hervor, dass mittels herkömmlicher Röntgenverfahren eine geringere Prävalenz festgestellt werden konnte als mit dreidimensionalen Bildgebungsverfahren.

*Ericson et al.* (1987) untersuchten 125 Kinder mit verlagerten Oberkieferfrontzähnen mit Hilfe konventioneller Röntgenaufnahmen. Bei 12,5% der Patienten konnte eine Wurzelresorption der seitlichen Oberkieferfrontzähne entdeckt werden (*Ericson et al. 1987*).

Im Gegensatz dazu stellen *Siegel et al.* in ihrer Studie von 2010 ein Wurzelresorptionsvorkommen von 64,4% an den seitlichen Oberkieferfrontzähnen mit Hilfe des CT dar (*Siegel et al. 2010*). Ähnliche Werte finden *Walker et al.* mit der DVT heraus. Sie kommen auf ein 5-fach höheres Vorkommen von Wurzelresorptionen (66,7%) angrenzender Oberkieferfrontzähne (*Walker et al. 2005*).

In der koreanischen Bevölkerung wurde mittels dreidimensionaler Röntgenaufnahmen eine Inzidenz der Wurzelresorption benachbarter Schneidezähne von 49,5% festgestellt (Kim Y et al. 2011).

Bei einer älteren Studie aus dem Jahre 2008 wurden durch die Schweden *Falahat et al.* ähnliche Werte mittels CT eruiert. Bei 44,4% der Fälle lagen Resorptionen der Wurzel an den seitlichen Schneidezähnen durch Oberkiefer Eckzähne vor (Falahat et al. 2008).

Die Werte der Literatur weisen eine große Variation auf. Die Ergebnisse werden geprägt von den verschiedenen Röntgenverfahren, dem Abweichen der Patientenzahl und dem Schweregrad der Verlagerung des jeweiligen Eckzahnes. Auch die differenzierte Untersuchung eines oder beider Oberkieferschneidezähne könnte dazu führen, dass Divergenzen der Prävalenz/Inzidenz entstehen.

Die dreidimensionale Bilddarstellung zur Beurteilung von Wurzelresorptionen benachbarter Schneidezähne bei vorliegendem verlagertem Caninus sollte demnach routinemäßig Berücksichtigung in der kieferorthopädischen Behandlungsplanung finden.

#### **5.2.5. Ausmaß der Wurzelresorptionen durch verlagerte Eckzähne**

Das Vorkommen von Wurzelresorptionen an lateralen Inzisivi, verursacht durch impaktierte maxilläre Eckzähne, tritt in verschiedenen Schweregraden auf. In der vorliegenden Studie besaßen von 30 untersuchten zentralen und seitlichen Schneidezähnen 17 eine leichte-, 5 eine moderate- und 8 eine starke Wurzelresorption.

*Bjerklin et al.* untersuchten in einer ähnlichen Studie 36 laterale und zentrale Schneidezähne auf Wurzelresorptionen. Sie teilten dabei die Resorption ebenfalls in unterschiedliche Grade ein (nach Ericson S und Kuroi J. 2000). Die Mehrzahl der Schneidezähne (n= 17) besaßen eine moderate Resorptionsläsion im apikalen Bereich. Nur insgesamt 7 Zähne wiesen eine leichte und 12 eine schwere Wurzelresorption auf.

*Bjerklin et al.* stellten ebenfalls fest, dass eine Wurzelresorption, verursacht durch einen impaktierten Eckzahn, vergleichbar ist mit einer Resorption, die nach einer kieferorthopädischen Behandlung auftritt. Eine kieferorthopädisch induzierte Wurzelresorption entsteht durch eine künstlich hervorgerufene Entzündung, die mit Hartgewebeverlust einhergeht. Gleiches tritt durch einen impaktierten Eckzahn an angrenzenden Zähnen auf. Die Resorption kommt zum Stillstand, sobald keine

kieferorthopädischen Kräfte mehr wirken. Wird der verlagerte Eckzahn entfernt bzw. eine Distanz zwischen den Zähnen hergestellt, kommt es ebenfalls zum Resorptionsstopp. Incisivi mit Wurzelresorptionen zeigen keine klinisch auffälligen Symptome in der Langzeitbeobachtung bzw. -kontrolle. Im Gegenteil, die Langzeitprognose der Zähne mit einer Wurzelresorption ist gut. Gibt es allerdings eine eindeutige Indikation für eine Extraktion, sollte der Incisivi mit Wurzelresorption einem gesunden Prämolaren vorgezogen werden (Bjerklin et al. 2011).

*Dudic et al.* verglichen hinsichtlich kieferorthopädisch indizierter apikaler Wurzelresorptionen und deren Beurteilung Panoramaschichtaufnahmen (OPTG) und DVT-Aufnahmen miteinander. Insgesamt 275 Zähne (92 Schneidezähne, 43 Eckzähne, 76 Prämolaren und 64 Molaren) von 22 Patienten wurden gegen Ende der kieferorthopädischen Behandlung mit festen Apparaturen auf das Vorkommen von Wurzelresorptionen bewertet. Die Einteilung der Wurzelresorption erfolgte in keine, leichte, moderate, schwere und extreme Wurzelresorption. Zwischen den beiden Aufnahmeverfahren wurde bei der Auswertung der apikalen Wurzelresorption ein signifikanter Unterschied festgestellt. 56,5% und 31% der Zähne zeigten Resorptionen im OPTG und DVT, 33,5% und 49% wiesen leichte, wohingegen 8% und 19% moderate Resorptionen im OPTG und DVT zeigten. Schwere Wurzelresorption wurden nur bei zwei Zähnen im DVT diagnostiziert. Die Autoren kamen zu dem Ergebnis, dass durch kieferorthopädische Bewegungen verursachte apikale Wurzelresorptionen im OPTG nicht ausreichend beurteilt werden können. Das DVT dagegen stellt ein wichtiges diagnostisches Werkzeug beim Aufzeigen von Wurzelresorptionen während der kieferorthopädischen Behandlung dar (Dudic et al. 2009).

*Albaker et al.* untersuchten in ihrer Studie einen 10 jährigen chinesischen Jungen mit impaktiertem Eckzahn und Wurzelresorption am benachbarten Schneidezahn. Durch ein festes palatinales Gerät sollte die Wurzelspitze des Schneidezahnes vom Eckzahn weg bewegt werden. Die Prämolaren (14,24) wurden zuvor extrahiert. Mit der palatinalen Apparatur wurde Torque auf die Wurzel des lateralen Schneidezahnes ausgeübt. Nach 3 Monaten wurde die Position des lateralen Schneidezahnes im Röntgenbild kontrolliert. Der Schneidezahn hatte eine aufrechtere Position angenommen, so dass der verlagerte Eckzahn einfacher distal entlang der Wurzel durchbrechen konnte. Es konnte kein Voranschreiten der Wurzelresorption festgestellt werden. Spätere Röntgenaufnahmen bestätigten das erfolgreiche Durchbrechen von

beiden Eckzähnen. Der Einsatz der palatinalen Apparatur hat durch die Distanzierung der Wurzel des lateralen Schneidezahnes vom verlagerten Eckzahn einer weiteren Wurzelresorption vorgebeugt. Der Wurzeltorque des Schneidezahnes konnte nur über die Extraktion der Prämolaren möglich gemacht werden. Mit Hilfe der Extraktion kann distal mehr Platz für die Eruption der impaktierten Eckzähne geschaffen werden, ohne die Wurzeln der angrenzenden Schneidezähne zu beschädigen (Albaker und Wong 2010).

Bei *Bjerklin et al.* traten in der Mehrzahl keine leichten, sondern moderate Resorptionen auf. Die Festlegung der einzelnen Grade gestaltete sich zum Teil schwierig, weil die Schmelz- und Dentinschichten nicht immer exakt zu unterscheiden waren und die Läsionstiefe nicht eindeutig zu beurteilen war.

Die Annahme der Interpretationsschwierigkeit von Wurzelresorptionstiefen ist wahrscheinlich auch auf die Ergebnisse der hier vorliegenden Arbeit übertragbar. Es liegt im Ermessen des Betrachters, ob es sich um eine leichte oder bereits moderate Wurzelresorption handelt. In dieser Hinsicht wäre es sinnvoll, die Einteilung der Grade mit einer Abmessung der verschiedenen Zahnhartsubstanzen in mm-Dimension zu ergänzen, um eindeutige Ergebnisse festzulegen. Eine weitere Fehlerquelle stellt die unterschiedliche Bildqualität der einzelnen Aufnahmen dar. Umso besser die Aufnahme, desto eindeutiger und präziser die Befundung.

Das Vorhandensein von Wurzelresorptionen ist wesentlich einfacher in DVT-Aufnahmen zu diagnostizieren, allerdings ist eine genaue Einteilung der Resorptionskrater im Schmelz- und Dentinbereich schwierig (Boticelli et al. 2010).

*Algerban et al.* simulierten in einer in-vitro Studie 2009 an 8 extrahierten linken seitlichen Schneidezähnen verschiedene Stärken von Wurzelresorptionen. Die künstlichen Läsionen reichten von einer leichten- (0,15-0,30 mm), moderaten- (0,60-1,00 mm) bis zu einer starken Wurzelresorption (1,50-3,00 mm). Hinsichtlich des vorher festgelegten Wurzelresorptionsausmaßes wurden die Läsionen der Zähne in der Panoramaschichtaufnahme und in zwei verschiedenen DVTs ausgewertet und die Befundung miteinander verglichen. Die Ergebnisse des OPTGs und der DVTs unterschieden sich signifikant voneinander. In der 2D-Aufnahme wurden 21% der Kavitäten an den seitlichen Schneidezähnen erkannt. Dagegen wurden bei der Befundung der 3D-Aufnahmen 40-41% der Wurzelresorptionen richtig erkannt. Die

falsch-negative Bewertung lag beim OPTG bei 22% und bei der DVT-Methode bei 5-6%. 75% der Beobachter entdeckten die Wurzelresorptionen im DVT. Läsionen mit einer Tiefe von <0,20 mm wurden im OPTG nicht erkannt. Die dreidimensionale Aufnahme ist wesentlich sinnvoller für die Erkennung von Wurzelresorptionen und deren Ausmaß, besonders bei Differenzierung von leichten und schweren Wurzelresorptionen. Die Bestimmung der moderaten Wurzelresorption stellt sich auch im DVT als schwierig heraus, da die meisten Beobachter eine moderate Resorption als eine Schwere deuteten. Dies kann durch die hohe Auflösung der einzelnen Schichten entstehen und zu einer Überinterpretation der Läsionstiefe führen.

Die Verwendung der dritten Dimension verändert die Prävalenz von Wurzelresorptionen. Die detaillierte Resorptionsbestimmung ist mit der zweidimensionalen Röntgenaufnahme nicht möglich und damit geht ein unzureichendes Behandlungsmanagement der betroffenen Zähne einher. Das Vorhandensein einer Wurzelresorption nimmt Einfluss auf den gesamten Behandlungsplan, eine frühzeitige Erkennung ist daher wichtig. Im Falle einer schweren Wurzelresorption ist das Risiko des Verlustes des Zahnes relativ hoch. Eine DVT-Aufnahme liefert wichtige Informationen über den Zustand der angrenzenden Wurzeln der Schneidezähne und ist nützlich für die Erkennung einer Wurzelresorption, die im Zusammenhang mit einem impaktierten Eckzahn steht. Ein möglicher Kontakt zwischen dem Schmelz des Eckzahnes und dem Wurzelzement des benachbarten Schneidezahns kann erörtert und das Risiko einer voranschreitenden Wurzelresorption bestimmt werden (Alqerban et al. 2009).

*Oberoi et al.* untersuchten 29 DVT-Scans von Patienten mit impaktierten Eckzähnen unter anderem auf das Vorkommen von Wurzelresorptionen an den angrenzenden seitlichen Schneidezähnen. Die Ergebnisse ähnelten denen der vorliegenden Arbeit. Bei 15 Fällen lag eine leichte, bei 6 Fällen eine moderate und bei 4 Fällen eine schwere Wurzelresorption vor. Der Anteil der leichten Resorptionen überwiegt (Oberoi et al. 2012).

Die Studie bestätigt die Ergebnisse der hier vorliegenden Arbeit, dass das Auffinden von Wurzelresorptionen an seitlichen Schneidezähnen durch die Anwendung eines DVTs signifikant besser ist, als mit einer konventionellen Röntgenaufnahme. Für die Behandlungsplanung von Patienten mit ektopisch verlagerten Eckzähnen stellt die frühzeitige Diagnostizierung von Wurzelresorptionen und deren Ausmaß eine wichtige

Rolle dar. Die Resorption entscheidet über die Langzeitprognose des Zahnes und über eine evtl. notwendige Extraktion.

#### **5.2.6. Lokalisation der Wurzelresorption verursacht durch verlagerte Eckzähne**

Eine durch impaktierten Eckzahn verursachte Wurzelresorption kann sich in unterschiedlichen Wurzelabschnitten befinden. In dieser Studie befinden sich bei 30 untersuchten Oberkieferschneidezähnen 63,3% der Wurzelresorptionen im apikalen Bereich. Zervikal finden sich nur 3,3% und im mittleren Wurzel Drittel 33,3%.

Bjerklin *et al.* gingen bei Ihrer Studie nach einem ähnlichen Diagnoseschema vor. Inhalt der Arbeit war es unter Anderem, die Wurzelresorption mittels CT genau zu lokalisieren. Allerdings teilten sie die Wurzel nicht nur in cervikales, mittleres Drittel und Apex ein, sondern noch zusätzlich in das apikale Drittel. Dies führt zu einer noch genaueren Lokalisierung der Resorptionsläsion. Mehrheitlich fanden Sie bei 36 untersuchten seitlichen und mittleren Schneidezähnen eine Wurzelresorption im mittleren Drittel (n= 18). Danach folgten Apex (n= 9), cervikales (n= 5) und apikales Wurzel Drittel (n= 4). Eine 3D-Aufnahme ist nützlich, um die Wurzelkontur und den Bereich der Resorption darzustellen und damit eine genaue Diagnose zu treffen. Jedoch empfehlen die Autoren das DVT aufgrund der geringeren Strahlenbelastung dem CT vorzuziehen (Bjerklin *et al.* 2011).

*Lai et al.* wiesen dagegen in ihrer Studie von 2012 vermehrt Wurzelresorptionen an den Schneidezähnen im mittleren Wurzel Drittel auf (48,78%). Im apikalen Drittel fanden sich bei 41 Schneidezähnen etwas weniger Resorptionen (46,34%). Genauso wie in der hier aufgeführten Arbeit lag der geringste Anteil der Wurzelresorptionen im zervikalen Wurzelbereich (4,88%) (Lai *et al.* 2012).

*Silveira et al.* untersuchten 2007 die diagnostischen Möglichkeiten des CT hinsichtlich der Erkennung von externen Wurzelresorption und deren Lokalisation an der Wurzel. An 59 Unterkiefer-Schneidezähnen wurden 131 externe Wurzelresorptionen unterschiedlicher Lage und Tiefe simuliert. Der Durchmesser der Kavitäten lag bei 0,6 mm, 1,2 mm, und 1,8 mm. Die Tiefe variierte zwischen 0,3 mm, 0,6 mm und 0,9 mm (kleiner, mittlerer und großer Defekt) und wurde jeweils im zervikalen, mittleren und apikalen Drittel der bukkalen Wurzeloberfläche verteilt. 117 Läsionen wurden befundet (89%). Im apikalen Drittel wurden 32 von 44 Kavitäten erkannt (72,72%). Im mittleren

und zervikalen Drittel wurden jeweils 97,7% identifiziert. Kleine Defekte wurden nur zu 28,6% entdeckt, dagegen mittlere zu 86,66% und große Defekte zu 100%. Das CT zeigte eine gute diagnostische Möglichkeit zur Erkennung der simulierten externen Wurzelresorptionen. Schwierig gestaltete sich die Erkennung von kleinen Defekten im apikalen Drittel der Wurzel (Silveira et al. 2007).

Das apikale und mittlere Wurzel Drittel sind am häufigsten von Resorptionen betroffen. *Ericson und Kurol* fanden heraus, dass 82% der seitlichen Schneidezähne meistens im mittleren Wurzel Drittel, 13% im apikalen Bereich und der Rest im cervikalen Drittel von Wurzelresorptionen betroffen sind (hier Algerban et al. 2009, Quelle: Erison S, Kurol J 1987)

Die Ergebnisse der hier vorgelegten Arbeit und der beiden aufgeführten anderen Arbeiten sind ähnlich. Bei den Studien von *Bjerklin et al.* und *Ericson und Kurol* treten vermehrt Resorptionen im mittleren Wurzel Drittel auf. Bei *Bjerklin et al.* könnte dies an dem zusätzlichen Parameter „apikales Drittel“ liegen. Die Spanne zwischen Apex und mittlerem Drittel ist groß und Resorptionen die theoretisch im apikalen Drittel liegen könnten, werden hier in den Bereich des Apex eingeordnet.

Die Befundung wird geprägt von der subjektiven Beurteilung des Beobachters, so dass es zu Abweichungen in der Diagnose kommen kann.

### **5.2.7. Korrelationen zwischen einem eingegengten Platzangebot und vestibulären Knochendehiszenzen an den oberen Frontzähnen**

In der Literatur findet die Betrachtung der vestibulären Knochenlamelle von Schneidezähnen im Zusammenhang mit einem verlagerten Oberkieferreckzahn bis jetzt nur wenig Beachtung. Vielmehr wird im Allgemeinen über die Prävalenz von Knochendehiszenzen berichtet.

Die Studie von *Braut et al.* bestätigt die Prävalenz von Dehiszenzen der vestibulären Knochenlamelle. Inhalt dieser Arbeit sind die Untersuchungen der Dicke der Knochenlamelle im anterioren Oberkieferbereich mittels DVT. Beurteilt wurden in 125 digitalen Aufnahmen insgesamt 498 Zähne. Zur Untersuchung wurde auch in diesem Fall die sagittale Schichtaufnahme zur Beurteilung der Knochendehiszenzen gewählt. Die Knochendicke wurde an zwei Referenzpunkten gemessen. Der erste Punkt befand sich 4 mm apikal der Schmelz-Zement-Grenze und der Zweite in der Wurzelmitte. In



90% der Fälle lag an der vestibuläre Knochenlamelle eine Dehiszenz vor. Am ersten Referenzpunkt konnte zu 27,5% ein Fehlen der Knochenlamelle festgestellt werden. In 10% der Fälle konnte am zweiten Referenzpunkt ein Defekt befundet werden. Die Breite der vestibulären Knochenlamelle betrug zwischen 0,5-0,7 mm. Nur bei dem Rest der Zähne lag eine Dicke Knochenlamelle vor. Die Knochendicke nimmt von posterior (Bereich der Prämolaren) nach anterior (zentrale Schneidezähne) ab. Dehiszenzen, die außerhalb der Referenzpunkte auftraten, wurden in die Gesamtbetrachtung mit einbezogen (Braut et al. 2011).

Die Prävalenz von Knochendehiszenzen der bukkalen Knochenlamelle im Frontzahnbereich wurde vereinzelt in der Literatur beschrieben. *Yagci et al.* untersuchten das Vorkommen von Dehiszenzen und Fenestrationen bei Klasse I-, Klasse II- und Klasse III-Anomalien im Ober- und Unterkiefer mit Hilfe des DVTs. Innerhalb dieser Studie wurden 129 Fälle mittels digitaler Volumetomographie untersucht. Unterschiede traten in der Verteilung der Knochendefekte im Ober- und Unterkiefer sowie innerhalb der einzelnen Zahngruppen auf. Bei einer Klasse I-Verzahnung konnte in der Prävalenz zwischen Ober- und Unterkiefer keine Abweichung ermittelt werden. Im Unterkiefer kamen die Autoren zu dem Ergebnis, dass es bei Klasse II- und Klasse III- Anomalien zu einer erhöhten Prävalenz von Knochendefekten kommt. Die Untersuchung der Prävalenz innerhalb der Zahngruppen zeigte ein gehäuftes Auftreten von vestibulären Knochendehiszenzen im Unterkieferfrontzahnbereich. Dies kann mit der dünneren Knochenlamelle in der anterioren Unterkieferregion zusammenhängen. Dehiszenzen der bukkalen Knochenlamelle wurde bei rapider maxillärer Expansion beobachtet. Dies deutet daraufhin, dass durch Bewegung der Zahnwurzel in den bukkalen Bereich der Knochenumbau in dieser Region überschritten wird und es zu Defekten kommt. Die Bewegung eines einzelnen Zahnes in bukkolinguale Richtung hat den gleichen Effekt. Die Autoren sehen bei einer Oberkieferexpansion die Gefahr des Auftretens von vestibulären Knochendehiszenzen (*Yagci et al. 2012*).

*Ferreira* untersuchte in seiner Studie das linguale und bukkale Knochenangebot des Alveolarknochens unter Berücksichtigung unterschiedlicher Schädelwachstumstypen. Es wurden 30 kieferorthopädische Patienten berücksichtigt und mittels digitaler Volumetomographie untersucht. *Ferreira* kam zu dem Ergebnis, dass kein Zusammenhang zwischen dem Vorkommen von Knochenläsionen und dem

Schädelwachstumstyp vorliegt. Er eruierte lediglich, dass die vestibuläre Knochenlamelle im Ober- und Unterkiefer ein geringere Knochendicke aufweist als lingual. Ein geringeres Knochenangebot konnte insbesondere im Frontzahnggebiet beider Kiefer ermittelt werden. Im Oberkiefer konnte an den Eckzähnen und an den ersten Molaren ein vermindertes Knochenangebot festgestellt werden. Eine Ebenfalls geringe Knochendicke tritt im Unterkiefer an den Eckzähnen und an den Prämolaren auf (Ferreira 2010).

Grundsätzlich sollte gerade vor Beginn einer kieferorthopädischen Behandlung eine dreidimensionale Röntgenaufnahme angefertigt werden, um bereits vorhandene vestibuläre Knochendehiszenzen bzw. eine dünne Knochenlamelle festzustellen und die Therapie danach auszurichten. Das Vorhandensein von Knochendefekten an benachbarten Schneidezähnen spielt eine wichtige Rolle bei der Behandlungsplanung. Die Alveolararchitektur stellt einen limitierenden Faktor für die häufig notwendige Lückenöffnung durch Zahnbewegung in der Eckzahnregion für die folgende Eingliederung des Eckzahnes dar. Das Auffinden von Dehiszenzen mit traditionellen Röntgenaufnahmen ist nahezu unmöglich. Das DVT ermöglicht die genaue Befundung und Vermessung von Knochenläsionen (Ising et al. 2010).

In Anbetracht der Prävalenz dieser Arbeit sollte auf die dreidimensionale Aufnahmetechnik mittels DVT nicht verzichtet werden, um Rückschlüsse auf die mögliche Einordnung eines impaktierten Eckzahns zu ziehen.

#### **5.2.8. Kronenbreiten im Modell und im DVT**

Die Kronenbreitenmessungen bei 13 Patienten unterscheiden sich nicht im Modell und DVT.

*Hofmann et al.* überprüften in einer ähnlichen Studie bei 17 Patienten die tatsächliche Kronenbreite von impaktierten Eckzähnen anhand von MSCT-Datensätzen. Bestimmt wurden die am weitesten mesial und distal gelegenen anatomischen Referenzpunkte an der größten Zirkumferenz der Approximalflächen. Nach dem Durchbruch und erfolgreicher kieferorthopädischer Einordnung der impaktierten maxillären Eckzähne in den Zahnbogen wurde die tatsächliche Dimension der mesio-distalen Breite an Kiefermodellen kontrolliert. Die Vermessung am Modell erfolgte mit Hilfe einer Dentalschieblehre. *Hofmann et al.* kamen zum Ergebnis, dass die Messergebnisse der

prä- und posteruptiven Breiten der MSCT-Datensätze und der Modellvermessung übereinstimmen. Genau wie in der hier vorliegenden Arbeit kam es keiner statistischen Abweichung zwischen beiden Methoden. Die Autoren behaupten, dass es bei der Verwendung des DVTs für die Breitenbestimmung von Eckzahnkronen zwar zu einer Strahlenreduktion komme, aber die Messgenauigkeit beeinträchtigt sei. Bei der Nutzung des MSCTs komme es zu einer hohen Reproduzierbarkeit und hervorragenden Genauigkeit der mesio-distalen Breitenbestimmung. Andere radiologische Verfahren, wie das DVT, können diese Parameter nicht im gleichen Sinne erreichen (Hofmann et al. 2011). Diese Aussage kann über die hier aufgeführten statistischen Ergebnisse eindeutig widerlegt werden.

*Hofmann et al.* untersuchten in einer in-vitro Studie die mesio-distale Breite von noch nicht durchgebrochenen Schweinezahnkeimen der zweiten Molaren im Unterkiefer im DVT und MSCT. Der mesiale und distale Referenzpunkt wurde jeweils über den am weitesten mesial/distal gelegenen Punkt der Zahnkrone bestimmt und die Strecke vermessen. Die Autoren kamen zu dem Ergebnis, dass die Breite sowohl im MSCT als auch im DVT bestimmt werden kann, wobei die Messungen im MSCT gering besser ausfielen (Hofmann et al. 2011).

*Al-Khatib et al.* betrachten in ihrer Arbeit von 2012 die Genauigkeit von 3D-Systemen in Bezug auf die Vermessung der mesio-distalen Kronenbreiten und Zahnbogenbreiten im Ober- und Unterkiefer. Es wurden 35 Kiefermodelle aus Alginat hergestellt. Diese wurden anschließend vermessen mit einer digitalen Messschiebelehre und vergleichend mit einem photogrammetrischen System, bestehend aus zwei Digitalkameras beurteilt. Analysiert wurden die Ergebnisse mit der Australis Software. Es konnte kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen der direkten Vermessung der Kiefermodelle mit der Schieblehre und den 3D-Vermessungen festgestellt werden. Der Unterschied zwischen direkter und indirekter Methode lag unterhalb 0,5 mm. Die Studie belegt die Zuverlässigkeit von 3D photogrammetrischen Systemen hinsichtlich der mesio-distalen Kronenbreiten- und Zahnbogenbreitenvermessung (Khatib et al. 2012).

In einer ähnlichen Studie untersuchten *Bell et al.* 22 Gipsmodelle und vergleichend dazu 3D-Aufnahmen derselben Modelle. Die digitalen Aufnahmen wurden mit Hilfe der photostereometrischen Technik erstellt und im digitalen Format gespeichert. Es konnte kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den beiden Messmethoden

festgestellt werden. Der Unterschied der Messungen zwischen den Gipsmodellen und den 3D-Aufnahmen lag bei 0,27 mm (Bell et al. 2003).

*Hirogaki et al.* kamen auf einen Messunterschied von 0,3 mm. Sie scannten die Gipsmodelle mittels Laser und nahmen die Vermessung an computerrekonstruierten Modellen vor. Die Ergebnisse wurden mit den direkten Vermessungen am Modell verglichen (Hirogaki et al. 2001).

*Asquit et al.* untersuchten 10 kieferorthopädische Modelle konventionell und digital. Die Modelle wurden über das Arius 3D-Foundation System eingescannt und 3D-Aufnahmen erstellt. An den Modellen wurden folgende Parameter bestimmt: mesio-distale Kronenbreite, intercanine und intermolare Breite, Zahnbogenbreite, Overjet und Länge der Schneidezahnkronen. Die Parameter konnten in den digitalen Modellen zuverlässig gemessen werden. Der Messunterschied zwischen beiden Methoden lag bei weniger als 0,5 mm und war damit nicht klinisch signifikant (Asquit et al. 2007).

Traditionelle Gips- und digitale Modelle zeigen die gleiche Zuverlässigkeit beim Vermessen von Kronenbreiten. Aber gerade bei pathologischen Zuständen bietet die „Cross Sections“-Einstellung der Software Vorteile bei der genauen Messung und reduziert dadurch die Fehlerquote (Mangiacapra et al. 2009).

*Stevens et al.* sehen keine signifikanten Vorteile der digitalen Modellvermessung gegenüber der konventionellen Vermessung an Gipsmodellen. Sie bewerteten bei 24 Modellen die Reproduzierbarkeit der Zahnbreite und die Okklusion und verglichen die Werte mit denen der digitalen Analyse. Es konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Aus diesem Grund, sehen die Autoren keine Notwendigkeit, die Modellvermessung in digitaler Form auszuführen und die Befundung bzw. Therapieplanung an Gipsmodellen fallen zu lassen. Sie sehen die Vermessung in den digitalen Modellen als schwieriger an. Aufgrund der Funktionen wie „zoom“ und „rotation“ erscheinen anatomische Gegebenheiten nicht regelgerecht. Gerade im Bereich der posterioren Zähne erscheint es auf dem Bildschirm, als gäbe es einen Kreuzbiss oder positiven Überbiss, der an den Gipsmodellen nicht zu erkennen ist. Außerdem bemängeln Stevens et al., dass die Details der Mittellinie und die Okklusale Beziehung nicht eindeutig dargestellt seien (Stevens et al. 2006).

*Santoro et al.* berichten, dass digital vermessene Zahnbreiten mit der Software Ortho CAD immer kleiner sind (Santoro et al. 2003).

*Stevens et al.* begründen die nicht signifikanten Messabweichungen beider Methoden über die evtl. vorhandenen Verzerrungen in der Abformung, verschiedene Positionierung der Markierung am Zahn durch Behandler über Mausclick und ungenaue Messung im Bereich von Kontaktpunkten und Zahngrenzen am Modell (Stevens et al. 2006).

In der vorliegenden Arbeit konnte kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen der Kronenbreitenmessung mit der Schieblehre am Modell und im DVT festgestellt werden. Die Ergebnisse bestätigen die Resultate der anderen Studien. Aufgrund der digitalen Modellvermessung können Material und Stauraum für Gipsmodelle eingespart werden. Die Daten der digitalen Modelle können gespeichert werden, sind dauerhaft abrufbar und können per E-Mail versendet werden. Des Weiteren sind sie jederzeit reproduzierbar und können nicht wie Gipsmodelle beschädigt werden, so dass wichtige Information nicht verloren gehen kann.

### **5.3. Schlussfolgerung**

Abschließend werden die in der Fragestellung gestellten Hypothesen nochmals aufgegriffen und anhand der ermittelten Ergebnisse beantwortet.

#### ***1. Die quantitative Beschreibung des Verlagerungsmaßes eines impaktierten Eckzahnes ist über 3D-Koordinaten intraindividuell reproduzierbar möglich.***

Die Hypothese kann bestätigt werden. Die 3D-Koordinaten (transversal, sagittal, vertikal) konnten für die Referenzpunkte Eckzahnapex und Eckzahnspitze intraindividuell reproduzierbar bestimmt werden. Die Zuverlässigkeitskoeffizienten R für die Koordinaten am Apex lagen zwischen 70,9% und 99,4% und für die Koordinaten an der Eckzahnspitze zwischen 81,4% und 99,7%.

#### ***2. Die tatsächliche Kronenbreite von Eckzähnen kann im DVT intraindividuell reproduzierbar bestimmt werden.***

Die Hypothese kann bestätigt werden. Die mesio-distale Kronenbreitenmessung von impaktierten Canini konnte im 1. Quadranten mit einem Zuverlässigkeitskoeffizienten R von 99,7% und im 2. Quadranten mit 98,5% bestimmt werden.

#### ***3. Für die Einstellung eines impaktierten oberen Eckzahnes steht in der Regel keine ausreichend breite Lücke in der Eckzahnregion zur Verfügung.***

Die Hypothese kann bestätigt werden. Nur bei 36,6% der Eckzähnen bestand ein ausreichendes Platzangebot in der Eckzahnregion. Kein Platz war bei 63,64% der Eckzähne zu finden.

#### ***4. Seitliche Schneidezähne sind signifikant häufiger von Wurzelresorptionen durch verlagerte Eckzähne betroffen als zentrale Schneidezähne.***

Die Hypothese kann bestätigt werden. Bei 80% der seitlichen und 20% der mittleren Schneidezähne war eine Wurzelresorption nachzuweisen.

**5. Wenn Wurzelresorptionen durch einen impaktierten Eckzahn an benachbarten Zähnen vorhanden sind, gibt es keine signifikanten Unterschiede im graduellen Ausmaß der Resorptionen.**

Die Hypothese kann nicht bestätigt werden. An den benachbarten Schneidezähnen traten unterschiedlich starke Wurzelresorptionen auf. 56% der Schneidezähne wiesen eine leichte, 16,66% eine moderate und 26,66% eine starke Resorption auf.

**6. Wenn Wurzelresorptionen durch einen impaktierten Eckzahn an benachbarten Zähnen vorhanden sind, befinden sich diese immer im apikalen Drittel der betroffenen Zähne.**

Die Hypothese kann nicht bestätigt werden. 63,3% der benachbarten Zähne besaßen Wurzelresorptionen im apikalen, 33,3% im mittleren und 3,3% im zervikalen Bereich.

**7. Es gibt keine signifikanten Korrelationen zwischen einem eingegengten Platzangebot und vestibulären Knochendehiszenzen an den oberen Frontzähnen.**

Die Hypothese kann nicht bestätigt werden. Ein eingegengtes Platzangebot war bei 15% der Patienten nachzuweisen und davon wiesen 8,3% vestibuläre Knochendehiszenzen auf. Dagegen besaßen 85% ausreichend Platz in der Eckzahnregion und hatten ein vestibuläres Knochendehiszenzvorkommen von 35%.

**8. Zwischen gemessener Kronenbreite korrespondierender Zähne am Modell und im DVT gibt es keinen statistisch signifikanten Unterschied.**

Die Hypothese kann bestätigt werden. Es konnte keine statistische Signifikanz zwischen der mesio-distalen Kronenbreitenvermessung im DVT und im Gipsmodell festgestellt werden.

In der zahnärztlichen bzw. kieferorthopädischen Literatur werden relativ häufig impaktierte Eckzähne als klassische rechtfertigende Indikation für die Anfertigung eines DVTs in der Kieferorthopädie angegeben. Die reine Anfertigung eines DVTs mit

zahllosen Einzelschichten hat für sich alleine betrachtet aber noch keinen besonders hohen diagnostischen Nährwert. Erst durch eine systematische Auswertung des aufgenommen Volumens kann das volle diagnostische Potential eines DVTs bei impaktierten Eckzähnen ausgeschöpft werden. MESANTIS® hat aufgrund der mehr als 13-jährigen klinischen Erfahrung im Bereich 3D-Röntgen bereits vor vielen Jahren einen standardisierten Eckzahnreport entwickelt. Impaktierte Eckzähne werden dabei für die DVT-Überweiser obligat in drei spezifischen Ansichten dargestellt: -1. 3D-gerenderte Darstellung der Zähne ohne umgebenden Knochen, -2. sagittale Darstellung der Frontzähne mit Darstellung des vestibulären Knochenangebots und -3. axiale Darstellung der impaktierten Eckzähne und benachbarten Zahnwurzeln. Ursprünglich ist der MESANTIS® Eckzahn-Report aus der klinischen Routine entstanden. In der 3D-gerenderten Darstellung kann mit der vorgestellten Koordinatenanalyse das individuelle Verlagerungsausmaß eines impaktierten Eckzahnes sowohl quantifizierbar als auch reproduzierbar erfasst werden. In den sagittalen Schichten zur Beurteilung des vestibulären Knochenangebotes der Frontzähne, konnten bei 35% der Patienten vestibuläre Knochendehiszenzen erhoben werden. Mit Hilfe der axialen Schichten konnten bei 20% der Patienten Wurzelresorptionen an den Zahnwurzeln in unmittelbarer Umgebung der impaktierten Eckzähne nachgewiesen werden. Daher sollten alle drei Aspekte bei der Auswertung von DVTs mit impaktierten Eckzähnen standardisiert Berücksichtigung finden. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie untermauern eindrucksvoll die diagnostischen Vorzüge des MESANTIS®Eckzahn-Reports und rechtfertigen damit retrospektiv den vergleichsweise hohen auswertungstechnischen Zeitaufwand zur Erstellung eines solchen Eckzahn-Reports.



## 6. Literaturverzeichnis

Ahmed F, Brooks SL, Kapila SD. Efficacy of identifying maxillofacial lesions in cone-beam computed tomographs by orthodontists and orthodontic residents with third-party software. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2012;141(4): 451-459

Albaker BK, Wong RWK. Diagnosis and management of root resorption by erupting canines using cone-beam computed tomography and fixed palatal appliance: a case report. *J Med Case Rep.* 2010;9(4):399

Alif SH, Haque S, Nimmi N, Ashraf A, Khan SH, Khan MH. Panoramic radiological study to identify locally displaced maxillary canines in Bangladeshi population. *Imaging Sci Dent.* 2011;41(4):155-159

Al-Khatib AR, Rajion AZ, Masudi S, Hassan R, Townsend GC. Validity and reliability of tooth size and dental arch measurements: a stereo photogrammetric study. *Aust Orthod J.* 2012; 28(1):22-29

Al-Nimri KS, Bsoul E. Maxillary palatal canine impaction displacement in subjects with congenitally missing maxillary lateral incisors. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2011;140(1):81-86

Alqerban A, Jacobs R, Fieuws S, Nackaerts O. The SEDENTEXCT Project Consortium and Guy Willems. Comparison of 6 cone-beam computed tomography systems for image quality and detection of simulated canine impaction-induced external root resorption in maxillary lateral incisors. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2011;140(3):129-139

Alqerban A, Jacobs R, Fieuws S, Willems G. Comparison of two cone beam computed tomographic systems versus panoramic imaging for localization of impacted maxillary canines and detection of root resorption. *Eur J Orthod.* 2011;33(1):93-102

Alqerban A, Jacobs R, Lambrechts P, Loozen G, Willems G. Root resorption of the maxillary lateral incisor caused by impacted canine: a literature review. *Clin Oral Investig.* 2009;13(3):247-255

Algerban A, Jacobs R, Souza PR, Willems G. In vitro comparison of 2 cone-beam computed tomography systems and panoramic imaging for detecting simulated canine impaction-induced external root resorption in maxillary lateral incisors. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2009;136(6):764-765

Anatmage. Reference Manual for InVivoDental 4.0. 2008:6

Arai Y, Tammisalo E, Iwai K, Hashimoto K, Shinoda K. Development of a compact computed tomographic apparatus for dental use. *Dentomaxillofac Radiol.* 1999;28(4):245-248.

Artun J, Van't Hullenaar R, Doppel D, Kuijpers-Jagtman AM. Identifications of orthodontic patients a risk of severe apical root resorption. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2009;135(4):448-455

Asquit J, Gillgrass T, Mossey P. Three-dimensional imaging of orthodontic models: a pilot study. *Eur J Orthod.* 2007;29(5):517-522

Bakland LK. Root resorption. *Dent Clin North Am.* 1992;36(2):491-507

Baumgartner A, Rath J. CT für den Mundraum. *Dental Magazin* 2007;3(15):10-13.

Baumrind S, Korn EL, Boyd RL. Apical root resorption in orthodontically treated adults. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1996;110(3):311-320

Becker A, Chaushu G, Chaushu S. Analysis of failure in the treatment of impacted maxillary canines. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2010;137(6):743-754

Becker A, Sharabi S, Chaushu S. Maxillary tooth size variation in dentitions with palatal canine displacement. *Eur J Orthod* 2002; 24(3):313-318

Bedoya MM, Park JH. A review of the diagnosis and management of impacted maxillary canines. *J Am Dent Assoc.* 2009;140(12):1485-1493

Bell A, Ayoub AF, Siebert P. Assessment of the accuracy of a three-dimensional imaging system for archiving dental study models. *J Orthod.* 2003;30(3):219-223

Bishara SE. Impacted maxillary canines: a review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1992;101(2):159-171

Bjerklin K, Guitirokh CH. Maxillary incisor root resorption induced by ectopic canines. *Angle Orthod.* 2011;81(5):800-806

Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet* 1986;1(8476):307-310

Bodore K, Albaker A, Wong WK. Diagnosis and management of root resorption by erupting canines using cone-beam computed tomography and fixed palatal appliance: a case report. *J Med Case Rep.* 2010;4:399

Bolhari B, Meraji N, Nosrat A. Extensive idiopathic external root resorption in first maxillary molar: a case report. *Iran Endod J* 2013;8(2):72-74

Boticelli S, Verna C, Cattaneo PM, Heidmann J, Melsen B. Two- versus three-dimensional imaging in subjects with unerupted maxillary canines. *Eur J Orthod.* 2011;33(4):344-349

Braut V, Bornstein M, Belser U, Buser D. Thickness of the Anterior Maxillary Facial Bone Wall- A Retrospective Radiographic Study Using Cone Beam Computed Tomography. *Int J Periodontics Restorative Dent.* 2011;31(2):125-131

Bumann A, Wiemer K, Staribratova-Reister K, El-Teter N, Kamp N. Die digitale Volumentomographie –klinisch unterschätzt und wirtschaftlich überschätzt?. *ZMK* 2008; 4(2):222

Bumann A, persönliche Mitteilung, Berlin 2014.

Celikoglu M, Kamak H, Oktay,H. Investigation of transmigrated and impacted maxillary and mandibular canine teeth in an orthodontic patient population. *J Oral Maxillofac Surg.* 2010;68(5):1001-1006

Cevidances LHC, Motta A, Proffit WR, Ackerman JL, Styner M. Cranial base superimposition for 3-dimensional evaluation of soft- tissue changes. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2010;137(4):120-129

Chapokas A, Khalid A, Schincaglia GP. The impacted maxillary canine: a proposed classification for surgical exposure. *Oral Surg, Oral Med Oral Pathol Oral Radiol.* 2012;113(2):222-228

Chaushu S, Becker A, Zeltser R, Branski S, Vasker N, Chaushu G. Patients perception of recovery after exposure of impacted teeth: a comparison of closed-versus open-eruption techniques. *J Oral Maxillofac Surg.* 2005;63(3):323-329

Chaushu S, Zilberman Y, Becker A. Maxillary incisor impaction and its relationship to canine displacement. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2003;124(2):144-150.

Chaushu S, Sharabi S, Becker A. Dental morphologic characteristics of normal versus delayed developing dentitions with palatally displaced canines. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2002;121(4):339-346

- Chen J, Li S, Fang S. Quantification of tooth displacement from cone-beam computed tomography images. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2009;136(3):393-400
- Cohnen M, Kemper J, Mobes O, Pawelzik J, Modder U. Radiation dose in dental radiology. *Eur Radiol.* 2002;12(3):634-637
- Coppenrath E, Draenert F, Lechel U. Cross-sectional imaging in dentomaxillofacial diagnostics: dose comparison of dental MSCT and NewTom 9000 DVT. *RoFo* 2008;180(5):396-401
- Crismani AG, Freudenthaler JW, Weber R, Bantleon HP. Impaktierte obere Eckzähne-konventionelle Röntgendiagnostik und Therapie. *Schweiz Monatsschr Zahnmed.* 2000;110(1):1257-1263
- Christell H, Birch S, Hedesiú M, Horner K, Ivanauskaitė D, Nackaerts O, Rohlin M, Lindh C. The SEDENTEXCT, Variation in costs of cone beam CT examinations among healthcare systems. *Dentomaxillofac Radiol.* 2012;41(7):571-577
- Da Silveira HD, Silveira HED, Liedke GS, Lermen CA, Dos Santos RB, De Figueiredo JAP. Diagnostic ability of computed tomography to evaluate external root resorption in vitro. *Dentomaxillofac Radiol.* 2007;36(7):393-396
- Dalchow CV, Weber AL, Yanagihara N, Bien S, Werner JA. Digital volume tomography: radiologic examinations of the temporal bone. *Am J Roentgenol.* 2006;186(2):416-423
- Diedrich P. Kieferorthopädie 3. Urban & Fischer 2002,4 Auflage:85-98
- Dudic A, Giannopoulou C, Leuzinger M, Kiliaridis S. Detection of apical root resorption after orthodontic treatment by using panoramic radiography and cone-beam computed tomography of super-high resolution. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2009;135(4):434-437
- Ericson S, Kurol J. Resorption of incisors after ectopic eruption of maxillary canines: a CT study. *Angle Orthod.* 2000;70(6):415-423
- Ericson S, Kurol J. Resorption of maxillary lateral incisors caused by ectopic eruption of the canines : a clinical and radiographic analysis of predisposing factors. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1988;94(6):503-513
- Ericson S, Kurol J. Early treatment of palatally erupting maxillary canines by extraction of the primary canines. *Eur J Orthod.* 1988;10(4):283-295.
- Ericson S, Kurol J. Radiographic examination of ectopic erupting maxillary canines. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1987;91(6):483-492

- Ericson S, Kurol J. Incisor resorption caused by maxillary cuspids: a radiographic study. *Angle Orthod.* 1987;57(4):332-346
- Ericson S, Kurol J. Radiographic assessment of maxillary canine eruption in children with clinical signs of eruption disturbance. *Eur J Orthod.* 1986;8(3):133-140
- Falahat B, E.S, Mak D'Amico R, Bjerklin K. Incisor root resorption due to ectopic maxillary canines: a long-term radiographic follow-up. *Angle Orthod.* 2008;78(5):778-785.
- Fattahi H, Ghaeed F, Alipou A. Association between maxillary canine impaction and Arch dimensions. *Aust Orthod J.* 2012;28(1): 57-62
- Ferguson JW. Management of the unerupted maxillary canine. *Br Dent J.* 1990;169(1):11-17
- Ferreira M. Avalliação da espessura das tabas osseas alveolar vestibular e lingual dos maxilares por meio da tomografia computadorizada de feixe cônico. *Medizinische Dissertation* 2010 Sao Paulo
- Franzier-Bowers SA, Simmons D, Wright JT, Proffit WR, James L. Ackerman. Primary failure of eruption and PTH1R: the importance of a genetic diagnosis for orthodontic treatment planning *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2010;137(2):160-167
- Fu PS, Wang JC, Wu YM, Huang TK, Chen WC, Tseng YC, Tseng CH, Hung CC. Unilaterally impacted maxillary central incisor and canine with ipsilateral transposed canine-lateral incisor. *Angle Orthod.* 2013;83(5):920-926
- Fuhrmann A, Schulze D, Rother U, Vesper M. Digitale Schichtverfahren in der dento-maxillo-fazialen Radiologie. *IJCD.* 2003;2:129
- Garib SA, Yatabe MS, Ozawa TO, Da Silva Filho OG. Alveolar bone morphology under the perspective of the computed tomography: Defining the biological limits of tooth movement. *Dental Press J Orthod.* 2011;15(5):192-204
- Gavala S, Donta C, Tsiklakis K, Boziari A, Kamenopoulou V, Stamatakis HC. Radiation dose reduction in direct digital panoramic radiography. *Eur J Radiol.* 2009;71(1): 42-48.
- Gomes-Filho IS, Sarmento VA, de Castro MS, da Costa NP, da Cruz SS, Trindade SC, de Freitas CO, de Santana Passos J. Radiographic features of periodontal bone defects: evaluation of digitized images. *Dentomaxillofac Radiol* 2007;36(5):256-262.

- Grande T, Stolze A, Goldbecher H, Kahl-Nieke B. The displaced maxillary canine- a retrospective study. *J Orofac Orthop*. 2006;67(6):441-449
- Grenga V, Bovi M. Piezoelectric surgery for exposure of palatally impacted canines. *J Clin Orthod* 2004;38(8):446-448
- Goetze E, Wriedt S. Retinierte Zähne Einstellen oder entfernen. *Wissen kompakt* 3 2013;7(3):37-42
- Grünheid T, Kolbeck-Schieck JR, Pliska BT, Ahmad M, Larson BE. Dosimetry of a cone-beam computed tomography machine compared with a digital x-ray machine in orthodontic imaging. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2012;141(4):436-443
- Guo Q, Zhang S, Wang C, Wei F, Ly T, Wang N, Liu D. Three-dimensional evaluation of upper anterior alveolar bone dehiscence after incisor retraction and intrusion in adult patients with bimaxillary protrusion malocclusion. *J Zhejiang Univ Sci B*. 2011;12(12):990-997
- Haney E, Gansky SA, Lee JS, Johnson E, Maki K, Miller AJ, Huang JC. Comparative analysis of traditional radiographs and cone-beam computed tomography volumetric images in the diagnosis and treatment planning of maxillary impacted canines. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2010;137(5):590-597
- Hanke S, Hirschfelder U, Keller T, Hofmann E. 3D CT based rating of unilateral impacted canines. *J Craniomaxillofac Surg*. 2012;40(8):268-276
- Hartung J, Elpelt B, Klösener KH. Statistik: Lehr- und Handbuch der angewandten Statistik, mit zahlreichen, vollständig durchgerechneten Beispielen. Oldenbourg Verlag 2005;14 Auflage:1-928
- Hassel TM. Tissues and cells of the periodontium, *Periodontol* 2000 1993;3:9-38
- Henze N. Stochastik für Einsteiger. Vieweg 2010;8 Auflage:1-357
- Hirogaki Y, Sohmura T, Satoh, H, Takahashi J. Complete 3D reconstruction of dental cast shape using perceptual grouping. *IEEE Trans Med Imaging*. 2001;20(10):1093-1101
- Hirsch E, Wolf U, Heinicke F, Silva MA. Dosimetry of the cone beam computed tomography Veraviewepocs 3D compared with the 3D Accuitomo in different fields of view. *Dentomaxillofac Radiol*. 2008;37(5):268-273

- Hofmann E, Medelnic J, Fink M, Lell M, Hirschfelder U. Three- dimensional volume tomographic study of the imaging accuracy of impacted teeth: MSCT and CBCT comparison- an in vitro study. *Eur J Orthod.* 2013;35(3):286-294
- Hofmann E, Medelnic J, Keller T, Steinhäuser S, Hirschfelder U. CT-gestützte Bestimmung der mesio-distalen Breite impaktierter oberer Eckzähne. *J Orofac Orthop.* 2011;72(1):33-44
- Hofmann E, Rodich M, Hirschfelder U. Zur Topographie verlagerter Eckzähne. *J Orofac Orthop.* 2011;72(4):247-260
- Hudson A, Harris A, Mohamed N. Early identification and management of mandibular canine ectopia. *SADJ* 2011;66(10): 462-464
- ICRP, Annals of the ICRP: ICRP Publication 103 - The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Amsterdam, Elsevier. 2007;103
- Ising N, Kim KB, Araujo E, Buschang P. Evaluation of dehiscences using cone beam computed tomography. *Angle Orthod.* 2012;82(1):122-130
- Jacobs SG. Localization of the unerupted maxillary canine: How to and when to. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1999;115(3):314-322
- Jacoby H. The etiology of maxillary canine impactions. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1983;84(2):125-32
- Jung YH, Liang H, Benson BH, Flint DJ, Cho BH. The assessment of impacted maxillary canine position with panoramic radiography and cone beam CT. *Dentomaxillofac Radiol.* 2012;41(5):356-360
- Kamburoglu K, Kursun S, Yuksel S, Oztas B. Observer ability to detect ex vivo simulated internal or external cervical root resorption. *J Endod.* 2011;37(2):168-175
- Kau CH PP, Gallerano RL, English JD. A novel 3D classification system for canine impactions- the KPG index, *Int J Med Robotics Comput Assist Surg* 2009;5:291-296.
- Keewe E. Jahrbuch Digitale Dentale Technologien 2011; Auflage 2:75 (Accessed 2011 at <http://www.zwp-online.info/epaper/pub/gim/ddthb/2011/ddt01111/page75.html>)
- Kim YHH, Jang KT. The position of maxillary canine impactions and the influenced factors to adjacent root resorption in the Korean population. *Eur J Orthod.* 2011;34(3):302-306
- Kim E, Kim KD, Roh BD, Cho YS, Lee SJ. Computed tomography as a diagnostic aid for extracanal invasive resorption *J Endod.* 2003;29(7):463-465

Kochel JB. Die parodontalen Verhältnisse verlagerter Eckzähne und Frontzähne im Oberkiefer nach chirurgisch-kieferorthopädischer Therapie-eine retrospektive Untersuchung Medizinische Dissertation 2003, Universität Würzburg

Kokich VG, Mathews DP. Chirurgisch-kieferorthopädische Behandlung retinierter oberer Eckzähne. *Inf Orthod Kieferorthop.* 2006;38(4):288-293

Kokich V. Surgical and orthodontic management of impacted maxillary canines. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2004;126(3):278-283

Konda P, Ahmed MU, Ali SM, Konda A. Impacted Maxillary Canine- At a Glance. *IJCD* 2011;2(6):65-70

Kopp S. Digitale Volumetomographie- die präzise Darstellung dentaler Strukturen. Beilageblatt in *DFZ.* 2011;55:1

Kopp S, Ottl PP. Digitale Volumetomografie- Makro versus Mikro. *DDN* 2010;4:42-48

Krause J. Untersuchungen zum erforderlichen Field of View für die bildgebende 3D-Diagnostik in der Zahnmedizin. Medizinische Dissertation 2010, Universitätsmedizin Charité Berlin

Lai SC, Bornstein MM, Mock L, Heuberger BM, Dietrich T, Katsaros C. Impacted maxillary canines and root resorptions of neighbouring teeth: a radiographic analysis using cone-beam computed tomography. *Eur J Orthod.* 2013;35(4):529-538

Linge L, Linge BO. Patient characteristics and treatment variables associated with apical root resorption during orthodontic treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1991;99(1):35-43

Litsas G, Acar A. A review of early displaced maxillary canines: etiology, diagnosis and interceptive treatment. *Open Dent J.* 2011;5:39-47

Liu DG, Zhang WL, Zang ZY, Wu Y, Ma X. Localization of impacted maxillary canines and observation of adjacent incisor resorption with cone-beam computed tomography. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2008;105(1):91-98

Loubele M, Bogaerts R, Van Dijck E, Pauwels R, Vanheusden S, Suetens P, Marchal G, Sanderink G, Jacobs R. Comparison between effective radiation dose of CBCT and MSCT scanners for dentomaxillofacial applications. *Eur J Radiol.* 2009;71(3):461-468.



Ludlow JB, Davies-Ludlow LE, White SC. Patient risk related to common dental radiographic examinations: the impact of 2007 International Commission on Radiological Protection recommendations regarding dose calculation. *J Am Dent Assoc.* 2008;139(9):1237-1243

Ludlow JB, Davies-Ludlow LE, Brooks SL. Dosimetry of two extraoral direct digital imaging devices: NewTom cone beam CT and Orthophos Plus DS panoramic unit. *Dentomaxillofac Radiol.* 2003;32(4):229-234.

Mangiacapra R, Butti AC, Salvato A, Biagi R. Traditional plaster casts and dental digital models: intra-examiner reliability of measurement. *Prog Orthod.* 2009;10(2):48-53

Mohandesan H, Ravanmehr H, Valaei N. A radiographic analysis of external root resorption of maxillary incisors during active orthodontic treatment. *Eur J Radiol.* 2007;29(2):134-139

Mossey PA, Campell HM, Luffingham JK. The palatal canine and the adjacent lateral incisor: a study of a west of Scotland population. *Br J Orthod.* 1994;21(2):169-174

Ngan P, Hornbrook R, Weaver B. Early timely management of ectopically erupting maxillary canines. *Sem Orthod.* 2005;11(3):152-163

Ngan DC, Kharbanda OP, Geenty JP, Darendeliler MA. Comparison of radiation levels from computed tomography and conventional dental radiographs. *Aust Orthod J.* 2003;19(2):67-75.

Oberoi S, Knueppel S. Three-dimensional assessment of impacted canines and root resorption using cone beam computed tomography. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol.* 2012;113(2):260-267

Oliver T. Palatally displaced canines: the relationship to dental maturation, vertical facial morphology and dental anomalies of genetic origin. Medizinische Dissertation 2008, University of Queensland, Australia

Park JH, Srisurapol T, Tai K. Impacted Maxillary Canines: Diagnosis and Management. *Dent Today.* 2012;31(9):62

Patel A, Sandler J. Richtlinien für Röntgenaufnahmen in der kieferorthopädischen Praxis. *Inf Orthod Kieferorthop.* 2009;41(4):51-60

Patrick F, Mcsherry K. Ectopic maxillary canine: a review. *Br J Orthod.* 1998;25(3):209-216

Patzelt SBM. Bestimmung der Effektiven Dosis, des Dosisflächenprodukts und eines Korrelationskoeffizienten bei diversen dentalen digitalen Volumentomographen. Medizinische Dissertation 2010, Universität Freiburg

Peck S, Peck L, Kataja M. Concomitant occurrence of canine malposition and tooth agenesis: evidence of orofacial genetic fields. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2002;122(6):657-660

Peck S, Peck L, Kataja M. Site specificity of tooth agenesis in subjects with maxillary canine malpositions. *Angle Orthod.* 1996;66(6):473-476

Peck S, Peck L, Kataja M. The palatally displaced canine as a dental anomaly of genetic origin. *Angle Orthod.* 1994;64(4):249-256

Pinho T. Impaction of both maxillary central incisors and a canine. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2012;142(3):374-383

Pirinen S, Arte S, Apajalahti S. Palatal displacement of canine is genetic and related to congenital absence of teeth. *J Dent Res.* 1996;75(10):1742-1746

Rakhshan V, N. Nateghian, M. Ordoubazari. Risk factors associated with external apical root resorption of the maxillary incisors: a 15-year retrospective study. *Aust Orthod J.* 2012;28(1):51-56

Rebellato J, Schabel B. Treatment of a patient with an impacted transmigrant mandibular canine and a palatally impacted maxillary canine. *Angle Orthod.* 2003;73(3):328-336

Richardson G, Russel K. A review of impacted permanent maxillary cuspids: diagnosis and prevention. *J Can Dent Assoc.* 2000;66(9):497-501

Ritter L, Neugebauer J, Zöller JE. DVT Indikationen und Anwendung. *BDIZ EDI konkret* 2009;2:76-79

Rossini G, Cavallini C, Cassetta M, Galluccio G, Barbato E. Localization of impacted maxillary canines using cone beam computed tomography. Review of the literature. *Ann Stomatol (Roma)* 2012;3(1):14-18

Rusu MC, Comes CA, Stanciu D, Ciuluvica RC, Motoc A, Niculescu MC, Jianu AM. Altered anatomy in a case with a buccally impacted maxillary canine tooth. *Rom J Morphol Embryol.* 2010;51(4):783-786

Sajnani AK, King NM. Dental age of children and adolescents with impacted maxillary canines. *J Orofac Orthop.* 2012;73(5):359-364

Sameshima GT, Sinclair PM. Predicting and preventing root resorption: part 1. Diagnostic factors. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2001;119(5):505-510

San Martin DE, English JD, Kau CH, Gallerano KR, McGrory RL, Salas AM, Bouquot J,

- Xia JJ. Validating KPG-Index- 3D Classification System canine impactions. *Tex Dent J.* 2012;129(3):265-274
- Santoro M, Galkin S, Teredesai M, Nicolay OF, Cagialosi TJ. Comparison of measurements made on digital and plaster models. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2003;124(1):101-105
- Sayin M, Turkkahraman H. Effects of lower primary canine extraction on the mandibular dentition. *Angle Orthod.* 2006;76(1):31-35
- Schindel RH, Duffy SL. Maxillary transverse discrepancies and potentially impacted maxillary canines in mixed-dentition patients. *Angle Orthod.* 2007;77(3):430-435
- Schmidt AD, Kokich VG. Periodontal response to early uncovering, autonomous eruption, and orthodontic alignment of palatally impacted maxillary canines. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2007;131(4):449-455
- Schnelle C. Vergleich der Strahlenexposition bei der digitalen Volumentomographie, der Panoramaschichtaufnahme und der Computertomographie. Medizinische Dissertation 2001, Heinrich Heine Universität Düsseldorf
- Schroeder HE, Listgarten MA. The gingival tissues: the architecture of periodontal protection. *Periodontol 2000.* 1997;13:91-120
- Schroeder HE. Pathologie oraler Strukturen. Krager 1997;3 Auflage:101-111
- Schulze D, Heiland M, Thurmann H, Adam G. Radiation exposure during midfacial imaging using 4- and 16-slice computed tomography, cone beam computed tomography systems and conventional radiography. *Dentomaxillofac Radiol.* 2004;33(2):83-86
- Serino G, Wennstrom JL, Lindhe J, Eneroth L. The prevalence and distribution of gingival recession in subjects with a high standard of oral hygiene. *J Clin Periodontol.* 1994;21(1):57-63.
- Siegel RSW, Dyras M, Urbanik A, Wojciechowski W, Sztuk S. Assessment of degree and extent of resorption of incisor roots adjacent to impacted maxillary canines. *Przegl Lek.* 2010;67(4):268-274.
- Smith B, Stewart K, Liu S, Eckert G, Kula K. Prediction of orthodontic treatment of surgically exposed unilateral maxillary impacted canine patients. *Angle Orthod.* 2012;82(4):723-731

Stevens DR, Flores-Mir C, Nebbe B, Raboud DW, Heo G, Major P. Validity, reliability, and reproducibility of plaster vs digital study models: comparison of peer assessment rating and Bolton analysis and their consistent measurements. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2006;129(6):794-803

Strub JR, Türp JC, Witkowski S, Hürzeler MB, Kern M. Curriculum Prothetik Quintessenz Verlags-GmbH 2005;3:115-116

Stylianos I, Koutzoglou A, Kostaki A. Effect of surgical exposure technique, age, and grade of impaction on ankylosis of an impacted canine, and the effect of rapid palatal expansion on eruption: A prospective clinical study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2012;143(3):342-352

Theodorakou C, Walker A, Horner K, Pauwells R, Bogaerts R, Jacobs R. Estimation of paediatric organ and effective doses from dental cone beam CT using anthropomorphic phantoms. *Br J Radiol.* 2012;85(1010):153-160

Unterrichtung durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU). Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung:

Jahresbericht 2005 (Accessed May 20, 2011

at: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-20100331990>)

Vermette ME, Kokich VG, Kennedy DB. Uncovering labially impacted teeth: apically positioned flap and closed-eruption technique. *Angle Orthod.* 1995;65(1):23-24

Währisch K, Buchholz M. persönliche Mitteilung, Berlin 2014.

Walker L, Enciso R, Mah J. Three-dimensional localization of maxillary canines with cone-beam computed tomography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2005;128(4):418-423

Weltman B, Vig KW, Fields HW, Shanker S, Kaizar EE. Root resorption associated with orthodontic tooth movement: a systematic review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2010;137(4):462-476

Wolf H, Rateitschak E, Rateitschak H. Farbatlant in der Zahnmedizin Band 1. Parodontologie. Georg Thieme Verlag 2004;3 Auflage:8-9

Wriedt S, Jaklin J, Al-Nawas B, Wehrbein H. Impacted upper canines: examination and treatment proposal based on 3D versus 2D diagnosis. *J Orofac Orthop.* 2012;73(1):28-40

- Yadav S, Upadhyay M, Uribe F, Nanda R. Palatally impacted maxillary canine with congenitally missing lateral incisors and midline diastema. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2013;144(1):141-146
- Yan B, Sun H, Fields H, Wang L, Luo L. Etiologic factors for buccal and palatal maxillary canine impaction: A perspective based on cone-beam computed tomography analyses. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2013;143(4):527-534
- Yan B, Sun Z, Fields H, Wang L. Maxillary Canine impaction increases root resorption risk of adjacent teeth: A problem of physical proximity. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2012;142(6):750-757
- Yagci A, Veli I, Uysal T, Ucar F, Ozer T, Enhos S. Dehiscence and fenestration in skeletal Class I, II, and III malocclusions assessed with cone-beam computed tomography. *Angle Orthod.* 2012;82(1):67-74
- Yoneyama T, Okamoto H, Lindhe J, Socransky SS, Haffajee AD. Probing depth, attachment loss and gingival recession, Findings from a clinical examination in Ushiku, Japan. *J Clin Periodontol.* 1988;15(9):581-591
- Zöller JE. Digitale Volumetomografie in der Zahn-, Mund-, und Kieferheilkunde. Quintessenz 2007;1 Auflage:53

## 7. Eidesstattliche Erklärung

„Ich, Sonja Spangler, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: „Dentale Volumentomographie zur Diagnostik von impaktierten Eckzähnen- quantitative Untersuchung zum Knochenangebot, zur Lage und zur Resorption benachbarter Zähne“ selbstständig und ohne nicht offengelegte Hilfe Dritter verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel genutzt habe.

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

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

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

29.01.2014

Sonja Spangler

## **8. Lebenslauf**

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

## **9. Publikationsliste**

“Localization of impacted maxillary canines about 3D-coordinates and root resorption of neighbouring teeth using cone –beam computed tomography” (in preparation)

“Evaluation of mesiodistal crown widths, dental space measurements and bone dehiscences with regard to impacted maxillary canines using cone beam computed tomography” (in preparation)

## **10. Danksagung**

An dieser Stelle möchte ich allen Menschen danken, die mir mein Studium und die Fertigstellung meiner Promotion ermöglicht haben.

Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. Axel Bumann für die Bereitstellung des interessanten Themas dieser Arbeit und dem gesamten MESANTIS® Team Berlin für die allzeit hilfsbereite und freundliche Betreuung bei der Durchführung der Messungen.

Ganz besonders möchte ich mich auch bei meinen lieben Eltern bedanken, die mir mein Zahnmedizinstudium ermöglichten und mich immer in jeder Hinsicht unterstützt haben.

Außerdem möchte ich die Gelegenheit nutzen mich bei Laurenz Stief für sein Engagement und seine Hilfsbereitschaft zu bedanken.

Carl-Georg Porth möchte ich nicht nur dafür danken, dass er mich während meiner Doktorarbeit stets unterstützt und ermutigt hat, sondern auch für seine ständige Zuwendung und seinen Rückhalt.