

Aus dem Fachbereich Medizin  
der Johann Wolfgang Goethe-Universität  
Frankfurt am Main

betreut am  
Zentrum der Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde (Carolinum)  
Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik  
Direktor: Prof. Dr. Hans-Christoph Lauer

## **Vergleich der Befunde apikaler Läsionen zwischen DVT- und OPTG-Aufnahmen**

Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades der Zahnmedizin  
des Fachbereichs Medizin  
der Johann Wolfgang Goethe-Universität  
Frankfurt am Main

vorgelegt von  
Mohamed Badis Nabli

aus Tunis

Frankfurt am Main, 2019

Dekan:	Prof. Dr. Josef Pfeilschifter
Referent:	Prof. Dr. Hans-Christoph Lauer
Korreferent:	Prof. Dr. Stefan Rüttermann
Tag der mündlichen Prüfung:	[12.12.2019]

Meiner lieben Familie gewidmet.

## Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis .....	4
Abkürzungsverzeichnis .....	6
1 Einleitung .....	7
2 Literaturübersicht .....	9
2.1 Geschichte der zahnärztlichen Radiologie .....	9
2.2 Bildgebende Verfahren in der Zahnmedizin .....	9
2.2.1 Panoramaschichtaufnahme (PSA) .....	9
2.2.2 Digitale Volumentomographie (DVT).....	11
2.3 Apikale Aufhellungen .....	13
3 Problemstellung und Ziel der Untersuchung .....	15
4 Material und Methode .....	16
4.1 Material .....	16
4.1.1 Bildgebung .....	16
4.1.2 Software .....	18
4.1.3 Literaturrecherche .....	20
4.1.4 Patientengut .....	20
4.2 Methode .....	21
4.2.1 Messung der Messstrecken in Panoramaschichtaufnahmen.....	23
4.2.2 Messung in dreidimensionalen Röntgenbilder .....	24
4.2.3 Eingabe der Befunde.....	27
4.2.4 Messung der Kompaktadicke .....	30
4.2.5 Statistische Methodik .....	32
5 Ergebnisse .....	33
5.1 Deskriptive Statistik.....	33
5.1.1 Patientencharakteristik .....	33
5.1.2 Zeitintervall zwischen DVT- und OPG-Aufnahmen .....	35
5.1.3 Indikationen .....	35
5.2 Befundung der apikalen Aufhellung .....	39
5.2.1 Übereinstimmung zwischen den Messungen in den zwei Bildmodalitäten.....	42
5.2.2 Vergleich der Messungen zwischen OPG und DVT in allen Zahnregionen.....	42

---

5.3	Einfluss der Höhe, Breite und Tiefe auf die Sichtbarkeit der apikalen Aufhellung in den verschiedenen Zahnregionen .....	48
5.3.1	Einfluss der Höhe, Breite und Tiefe auf die Sichtbarkeit der apikalen Aufhellung im Oberkiefer.....	51
5.4	Messungen der bukkalen und palatinalen Kompaktadicke .....	54
5.4.1	Zusammenhang zwischen der Übereinstimmung von DVT und OPG und der Kompaktadicke .....	55
6	Diskussion.....	58
6.1	Methodenkritik .....	58
6.1.1	Patienten .....	58
6.1.2	Auswertung .....	59
6.2	Ergebnisdiskussion .....	60
6.2.1	Sichtbarkeit der apikalen Aufhellung im OPG und DVT .....	60
6.2.2	Einfluss der Höhe, Breite und Tiefe auf die Sichtbarkeit der apikalen Aufhellung im Oberkiefer.....	61
6.2.3	Einfluss der Kompaktadicke auf die Sichtbarkeit der apikalen Aufhellung im Oberkiefer.....	61
7	Schlussfolgerung, klinische Relevanz und Ausblick .....	63
8	Zusammenfassung.....	64
9	Summary.....	66
10	Literaturverzeichnis .....	68
11	Anhang.....	76
12	Danksagung .....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
13	Lebenslauf .....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
	Schriftliche Erklärung .....	77

## Abkürzungsverzeichnis

ALARA	As Low As Reasonably Achievable (Prinzip der möglichst geringen Strahlenbelastung)
CBCT	Cone-Beam-Computertomografie
CT	Computertomografie
DGZMK	Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
DVT	Digitale Volumentomografie
kV	Kilovolt
mA	Milliampere
mm	Millimeter
Mw	Medianwert
OPG	Orthopantomogramm
OPT	Orthopantomografie
PAI	Periapikaler Index
PSA	Panoramaschichtaufnahme
sek	Sekunde
Tab.	Tabelle
2D	Zweidimensional
3D	Dreidimensional

### 1 Einleitung

Die zahnärztliche Radiologie ist heutzutage ein unverzichtbares diagnostisches Hilfsmittel im Alltag des Zahnarztes. Was für das bloße Auge unsichtbar ist, wird durch das Röntgenverfahren einsehbar, entweder durch zweidimensionale oder durch dreidimensionale bildgebende Verfahren. Diese werden bei vielen Fragestellungen in der Zahnmedizin sowie in der Oralchirurgie, Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie und Kieferorthopädie angewendet. Die Panoramaschichtaufnahmen und Zahnfilme zählen zu den radiologischen Standardverfahren bei der Beurteilung der anatomischen und pathologischen Strukturen in der zahnärztlichen Praxis. Trotz der fortschreitenden Weiterentwicklung der beiden Verfahren lassen sich bestimmte Nachteile nicht komplett vermeiden, die Einfluss auf die Befundung haben. Aufgrund des Summationseffektes der Röntgenstrahlen werden die durchstrahlten Strukturen übereinander projiziert. Die Überlagerung der Hart- und Weichgewebestrukturen erschwert das Erkennen von Details der anatomischen sowie pathologischen Strukturen (1, 2).

Ende der 1990er-Jahre ermöglichte eine neue Entwicklung der Tomografie in der zahnärztlichen Radiologie die volumetrische Darstellung des Gesichtsschädels. Die digitale Volumetomografie (DVT) erzeugt eine verzerrungsfreie, dreidimensionale Darstellung der anatomischen Gegebenheiten mit einer, im Vergleich zu konventionellen Computertomografie (CT)-Systemen (2), reduzierten Strahlendosis.

Die Anwendungsbereiche der DVT in der Zahnmedizin, Oralchirurgie und in der Mund-, Kiefer-, Gesichtschirurgie sind breit gefächert.

Das neue Röntgenverfahren ist zum Beispiel für die Planung einer komplexen Implantatbehandlung, für die Diagnostik von Erkrankungen der Kiefergelenke und für die Beurteilung der Lage von retinierten oder verlagerten Zähnen von zentraler Bedeutung. Auch für die Befundung von Gesichtsfrakturen, für die Diagnose von intraossären pathologischen Veränderungen und bei der Lokalisation von Fremdkörpern wird dieses Verfahren angewendet (3).

Laut der Deutschen Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde (DGZMK) ist die DVT ein ergänzendes diagnostisches Verfahren für rein

zahnmedizinische Fragestellungen (4). Sie wird bei anatomischen Abweichungen oder spezifischen Fragestellungen angewendet.

Die DVT wird in vielen Bereichen der Zahnmedizin genutzt, zum Beispiel in der Parodontologie (5, 6), bei der Lokalisation von Weisheitszähnen (7, 8), für die Insertion von Implantaten (9), im kieferorthopädischen Bereich (10, 11) und in der Endodontie. Hier wird sie bei besonderen endodontischen Indikationen angewandt, wie beispielsweise bei Wurzelfrakturen (12-14), bei Wurzelresorption (15-17), Wurzelperforation (18) Instrumentenfraktur (19), bei komplexer Wurzelanatomie und Morphologie (20-22), bei der Diagnose und Behandlung dentoalveolärer Traumen (23, 24) sowie bei apikalen Veränderungen (25-28).

Die DGZMK hat am 6. April 2009 die S1-Leitlinie veröffentlicht und die verschiedenen DVT-Indikationen nach zahnmedizinischen Fachgebieten eingeteilt, wie zum Beispiel:

In der zahnärztlichen Prothetik:

- Zusätzliche Informationen zur Diagnostik der Pfeilerwertigkeit
- Visualisierung des quantitativen und qualitativen Knochenangebotes

In der Funktionsdiagnostik und -therapie:

- Ausschluss primärer Kiefergelenkerkrankungen

In der konservierenden Zahnheilkunde:

- Apikale Veränderungen bei Vorliegen klinischer Auffälligkeiten, wenn diese auf zweidimensionalen Aufnahmen nicht detektierbar bzw. räumlich korrelierbar sind

Es werden noch weitere Indikationsgebiete im Bereich der chirurgischen Zahnheilkunde, Implantologie, Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie sowie in der Kieferorthopädie benannt (4).

Um die diagnostischen Möglichkeiten der digitalen Volumentomographie zu untersuchen, beschäftigt sich die vorliegende Arbeit mit der Befundung der apikalen Läsion im Oberkiefer mittels DVT im Vergleich zur Diagnostik anhand der Panoramaschichtaufnahme.



## **2 Literaturübersicht**

### **2.1 Geschichte der zahnärztlichen Radiologie**

Am 8. November 1895 entdeckte der Physiker Wilhelm Conrad Röntgen durch verschiedene Untersuchungen mit einer Kathodenstrahlröhre die Röntgenstrahlen. Er fertigte am 23. Januar 1896 eine Röntgenaufnahme an, auf der man die Hand seiner Frau gut erkennen konnte. Einige Tage später veröffentlichte der deutsche Physiker seine erste Mitteilung ‚Über eine neue Art von Strahlen‘. Für die Entdeckung erhielt Wilhelm Conrad Röntgen den Nobelpreis für Physik im Jahre 1901 (1).

Im Januar 1896 machte sich der Braunschweiger Zahnarzt Dr. Otto Walkhoff die Röntgenstrahlen für die Zahnmedizin zunutze. Er fertigte die erste Zahnaufnahme mit einer Belichtungsdauer von 25 Minuten an. Im Jahr 1904 gab es das erste zahnärztliche Röntgengerät von der Firma Reiniger, Gebert und Schall, aber die Entwicklung einer Winkelröhre wurde erst 1919 durch Garretson J.L. durchgeführt. Mit der neuen Beweglichkeit der Röhre verbesserten sich die Projektionsbedingungen deutlich. Ab 1925 wurde sie in den zahnärztlichen Röntgengeräten installiert (29, 30).

### **2.2 Bildgebende Verfahren in der Zahnmedizin**

#### **2.2.1 Panoramaschichtaufnahme**

##### **Funktionsprinzip der Panoramaschichtaufnahme:**

Um eine überlagerungsfreie und orthoradiale Darstellung der Zähne zu ermöglichen, hat Y. V. Paatero die Pantomografie mit ursprünglich einem Rotationszentrum zu einer Methode mit drei Rotationszentren weiterentwickelt. Damit entsteht eine Aufnahme, die nicht nur die Zähne, sondern auch die aufsteigenden Äste und die Kiefergelenke darstellt (29, 31).

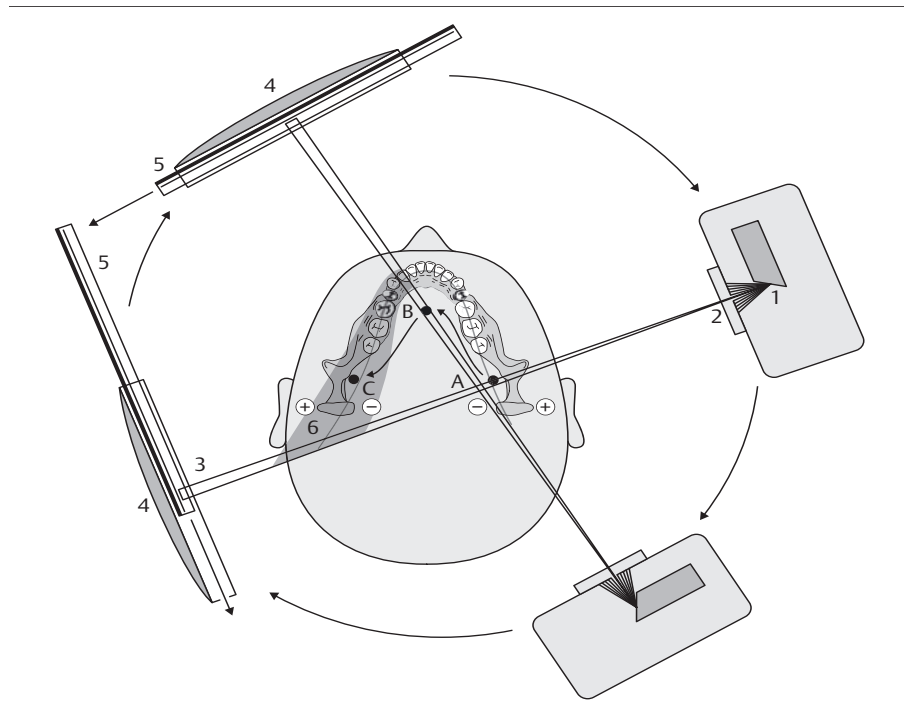


Abb. 2.1: Funktionsprinzip eines Panoramaschichtgerätes; 1= Röntgenfokus, 2 = primäre Schlitzeblende, 3 = vertikale Schlitzeblende, 4 = Kassettenträger(Sensorträger), 5 = Filmkassette(Sensor) (1).

Der Röntgenstrahl (Abb. 2.1) verlässt die primäre Schlitzeblende (2) und trifft den imaginären Drehpunkt A sowie die vertikale Schlitzeblende (3) des Bildempfängers auf der Projektionsfläche der gegenseitig ablaufenden Kassette(Sensor) (5). Die Röntgenröhre rotiert mit dem Bildempfänger über die Drehpunkte B und C um den Kopf des Patienten im Uhrzeigersinn, während sich der Kassettenträger(Sensorträger) (4) in Gegenrichtung bewegt (1, 32). Die heutigen Geräte besitzen ein sich ständig bewegendes Rotationszentrum (Pseudofokus), sodass unendlich viele Rotationszentren entstehen (33-35).

## 2.2.2 Digitale Volumentomografie

### Funktionsprinzip der digitalen Volumentomografie:

Ende der 1990er-Jahre entwickelten P. Mozzo und seine Mitarbeiter eine neue Art von Computertomografiergerät, das die Bilder mithilfe einer Kegelstrahltechnik (Cone-Beam) erzeugt. Die niedrige radiologische Leistung und die geringen mechanischen Anforderungen durch die niedrige Scan-Geschwindigkeit bestimmen die Herstellungsfreundlichkeit und den niedrigen Preis dieser neuen Gerätetechnik (2). Anders als die konventionelle CT, die mit einem Zeilensensor und mit einem fächerförmigen Strahl arbeitet, besitzt die DVT (Abb. 2.2) einen Flächendetektor sowie einen Kegelstrahl. Dies ermöglicht es, auf einer zirkulären Bahn ein 3D- Volumen-Abbild des Kopfes zu erhalten(36).

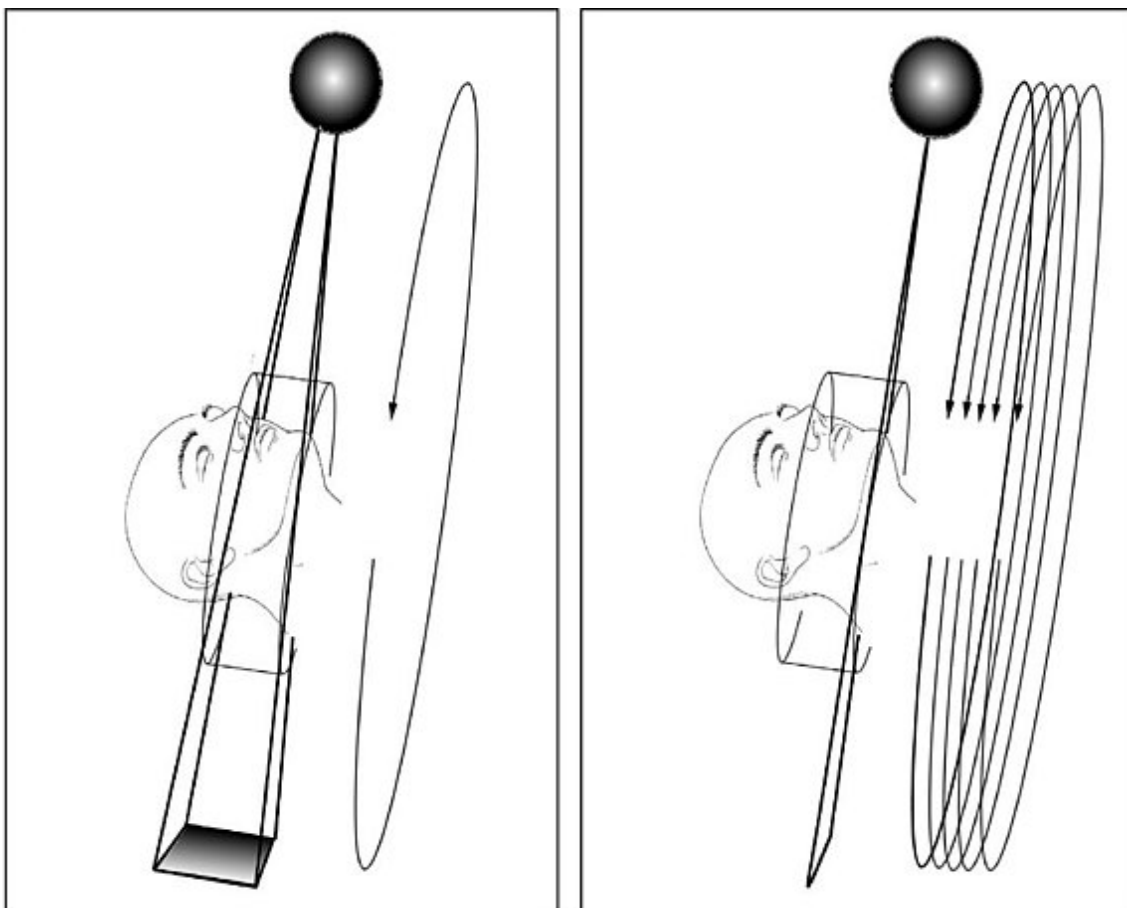


Abb. 2.2: Funktionsprinzipien der digitalen Volumentomografie mit kegelförmigem Röntgenstrahl (rechts) und der Spiral-CT mit fächerförmigem Röntgenstrahl (links) (37)

Das stillstehende Objekt (Abb. 2.3) wird durch eine Rotation von 360 Grad von einem Konusstrahl erfasst. Dabei werden in der Regel zwischen 100 und 400 Aufnahmen erzeugt. Der zweidimensionale Detektor erfasst mehrere Projektionen des Objektes aus verschiedenen Positionen, die anschließend mithilfe des Feldkampalgorithmus zu einem 3D-Datensatz errechnet werden (38, 39).

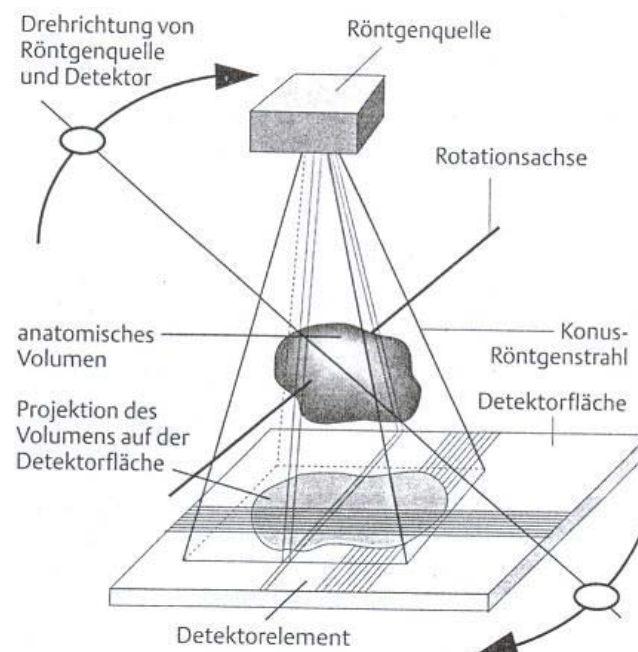


Abb. 2.3: Funktionsprinzip der digitalen Volumentomografie (30)

Die errechneten dreidimensionalen Bilder ermöglichen die Darstellung der anatomischen Strukturen ohne Dimensionsverlust in allen Raumrichtungen (4). Bei besonderen Fragestellungen können aus dem berechneten Volumendatensatz die axialen, koronalen und sagittalen Ansichten generiert werden (29). Das geringere Auftreten von (Metall-)Artefakten bei der DVT gegenüber der CT ist einer der bedeutendsten Entwicklungsschritte, der bei Untersuchungsverfahren in der Zahn-, Mund- und Kieferzahnheilkunde erreicht wurde (30).

### 2.3 Apikale Aufhellungen

Die häufigste Erkrankung des Endodonts ist die Entzündung der Pulpa. Das Auftreten der entzündlichen Pulpaveränderungen ist durch infektiöse, traumatische und iatrogene Einflüsse bedingt.

Beispiele hierfür sind Karies, eine Kronenfraktur mit und ohne Eröffnung der Pulpa und die Austrocknung des Dentins (40).

Für die Entstehung einer Pulpitis ist das Vorhandensein der Bakterien und deren Abbauprodukte entscheidend. Wie bei jeder Entzündungsreaktion entwickelt sich die Pulpitis pathogenetisch in einer initialen zellulären und vaskulären Phase. Bei rechtzeitiger Ausschaltung des Reizes ist eine vollständige Regeneration der Pulpa (*Restitutio ad Integrum*) möglich, da die Pulpa eine reparative Kapazität von normalem Bindegewebe hat (*reversible Pulpitis*). Bei Reizpersistenz breitet sich die Infektion im Endodont aus und löst einen Zerfall des Pulpagewebes aus. Letzteres führt zur vollständigen Pulpanekrose. Eine unbehandelte Pulpainfektion hat die Entstehung einer Parodontitis apicalis als Konsequenz. Sie führt zu einer Entzündung der periapikalen bzw. periradikulären Gewebestrukturen mit Resorption von Knochen und Wurzelzement (40).

Der resorbierte Knochen (Abb. 2.4) wird durch entzündliches Weichgewebe ersetzt. Damit ist eine Absorption der Röntgenstrahlen schwach und lässt sich als eine Aufhellung radiologisch beobachten (41).

Darüber hinaus ermöglicht der Verlust von 30 % bis 50 % des Mineralgehaltes des Knochens eine röntgenologische Sichtbarkeit der periapikalen Strahlendurchlässigkeit (42, 43). Sie wird mittels zwei- und dreidimensionalen Aufnahmen diagnostiziert (44).



*Abb. 2.4: Eine diagnostische Röntgenaufnahme ergibt eine apikale Aufhellung an der Wurzelspitze*

### **3 Problemstellung und Ziel der Untersuchung**

Die Zielsetzung dieser Studie ist die vergleichende Bewertung der diagnostischen Wertigkeit bezüglich der Erkennbarkeit von apikalen Aufhellungen in zweidimensionalen und dreidimensionalen Röntgenaufnahmen im Oberkiefer. Apikale Läsionen können wegen ihrer Größe oder wegen Überlagerung im zweidimensionalen Röntgen übersehen werden. In dieser Arbeit soll von der Hypothese ausgegangen werden, dass sowohl bei zwei- als auch bei dreidimensionalen Aufnahmen die Läsionen gleichermaßen erkannt werden können. Es soll festgestellt werden, ob die Hypothese der Realität entspricht oder ob apikale Läsionen auf den DVTs häufiger erkannt werden. Falls die Hypothese nicht bestätigt wird und die DVT einer zweidimensionalen Aufnahme in der Erkennbarkeit von apikalen Läsionen überlegen ist, stellt sich darüber hinaus die Frage, ob die Stärke der Kompakta eine Rolle in der radiologischen Diagnose einer apikalen Aufhellung im Oberkiefer spielt.

## 4 Material und Methode

### 4.1 Material

#### 4.1.1 Bildgebung

Die für diese Studie verwendeten konventionellen Panoramaschichtaufnahmen wurden mittels Orthophos D3297 (Sirona Dental Systems GmbH) angefertigt.

Die technischen Daten des Gerätes (Tab. 4.1) wurden wie folgt eingestellt:

Röhrenspannung	60 Kv
Röhrenstrom	7 mA
Belichtungszeit	13,3 sek

Tab. 4.1: Technische Daten Orthophos D3297.

Die verwendeten DVT-Aufnahmen wurden mittels des Gendex GXCB-500 angefertigt. Die technischen Daten des Gerätes sind in der folgenden Tabelle 4.2 zusammengefasst:

Brennfleck	0,5 mm
Voxelgrößen	0,4/0,3/0,25/0,2/0,125 mm
Sensortyp	Flat-Panel aus amorphem Silizium
Panelgröße	13 x 13 cm
Sichtfeld	8 cm x 8 cm (h) – Standard-Modus 14 cm x 8 cm (h) – EDS-Modus
Scanzeiten	8,9s (0,3 und 0,4 Voxel, Standard-/EDS-Modus) 23 s (0,125, 0,2 und 0,25 Voxel hochauflösende Scans)
Rekonstruktionszeiten	Unter 20 s – Standard-Modus Unter 95 s –EDS-Modus
Grundfläche	1,22 m breit x 1,17 m tief

Tab. 4.2: Technische Daten Gendex GXCB-500.



Die korrekte Positionierung der Patienten wurde durch eine Röntgenbeauftragte der Bezirkszahnärztekammer Stuttgart, Dr. Dr. Sandra Ketabi, durchgeführt. Die rechtsfertigen Indikationen für die Anfertigung einer DVT-Aufnahme stimmen mit der DGZMK-Leitlinie überein (3, 4). Sie lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Apikale Veränderungen bei Vorliegen von klinischen Auffälligkeiten, wenn diese auf 2D-Aufnahmen nicht detektierbar sind
- Visualisierung des quantitativen und qualitativen Knochenangebotes
- Darstellung von Nervenaustrittspunkten
- Virtuelle Planung von implantatprothetischen Versorgungen
- Lageanomalien von Zähnen
- Präoperative Schnittbilddiagnostik bei der geplanten operativen Entfernung von (teil-)retinierten Weisheitszähnen

### 4.1.2 Software

Die Auswertung der Panoramaschichtaufnahmen und der Zahnfilme erfolgte in einem Raum der Klasse 5 an einem zugelassenen Betrachtungsmonitor der Firma EIZO. Die Befundung wurde mittels der Software DBSWIN von Dürr Dental (Abb. 4.1) durchgeführt. Zur optimalen Visualisierung wurden bei Bedarf der Kontrast und die Helligkeit angepasst.

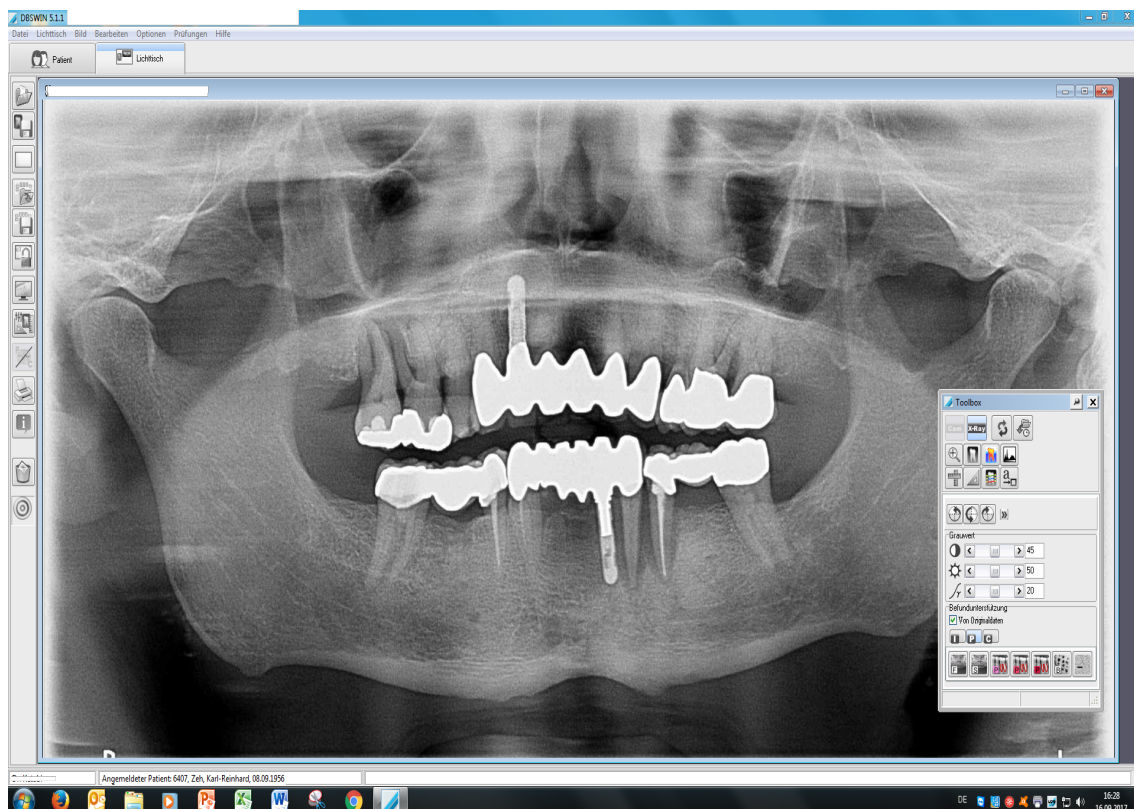


Abb. 4.1: Die Softwareoberfläche von DBSWIN

Die Auswertung der DVT-Datensätze erfolgte mit i-CatVision 2008 (Abb. 4.2). Die Software ermöglicht es, eine detailgetreue Wiedergabe der anatomischen Strukturen darzustellen. Des Weiteren lässt sich die Schichtdicke zwischen 0,12 mm und 0,4 mm variabel einstellen. Während der Befundung wurden Kontrast, Helligkeit und Schichtdicke so gewählt, dass eine optimale Erkennbarkeit möglich wird. Die Navigation erfolgte in der sagittalen, axialen und koronalen Ebene.

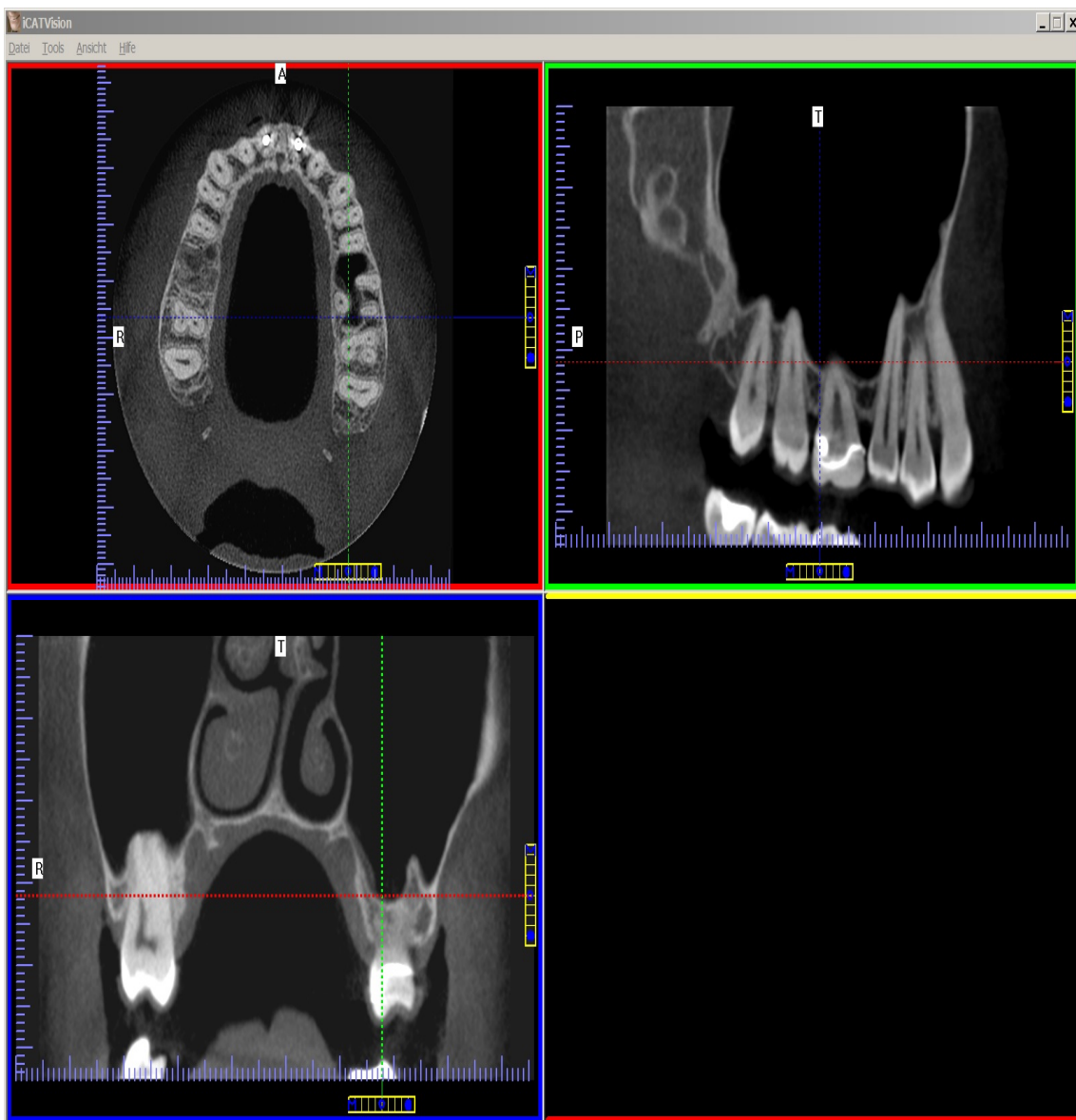


Abb. 4.2: Die Softwareoberfläche von i-CatVision2008

### 4.1.3 Literaturrecherche

In der vorliegenden retrospektiven Studie wurde die Literaturrecherche in PubMed durchgeführt. Die englischen Schlagwörter, nach denen recherchiert wurde, sind ConeBeam-CT in Verbindung mit („AND“) Panoramic Radiography. Das Suchergebnis lieferte 501 Studien. Da die Suche auf einen Bildvergleich zwischen 2D und 3D-Datensatz, eine höhere Patientenzahl und die englische Sprache fokussiert war, wurden 450 Studien ausgeschlossen.

Die anderen verbleibenden 51 Studien, die noch infrage kamen, wurden nach den Themen und den anatomischen Strukturen kategorisiert (Tab. 4.3).

<b>Sinus Maxillaris</b>	<b>Foramen mentale</b>	<b>Canalis Mandibularis</b>	<b>Implantate</b>	<b>Pathologische Diagnostik</b>
8	5	14	8	16

*Tab. 4.3: Die Kategorisierung der Studien.*

### 4.1.4 Patientengut

Aus dem Patientengut einer privaten Zahnarztpraxis in Stuttgart wurden 351 Patientenfälle ausgewählt, bei denen bereits zum Zeitpunkt der Studie sowohl eine Panoramaschichtaufnahme als auch eine DVT-Aufnahme vorlagen. Die Aufnahmen wurden mit unterschiedlichen rechtfertigenden Indikationen und unabhängig von der Studie durchgeführt. Die Patientenkohorte umfasste insgesamt 180 Männer und 171 Frauen. Im Rahmen dieser Untersuchung sind die Patientendaten anonymisiert und die Röntgenbilder durchnummeriert worden. Damit ist eine Zuordnung der Daten zum Patienten nach Abschluss der Befundung ausgeschlossen.

Das Protokoll der Studie wurde von der Ethik-Kommission der Landesärztekammer Baden-Württemberg (F-2014-006-z) genehmigt (siehe Anhang).

### 4.2 Methode

In dieser Studie wurden die Messungen durch einen Zahnarzt mit Berufserfahrung durchgeführt, der im Besitz einer Fachkunde für Strahlenschutz und einer Fachkunde für DVT war. Er besuchte vor der Auswertung einen zweitägigen Intensivkurs der DVT-Fachkunde. In diesem Kurs erlernte er Grundlagen der DVT-Technik, Strahlenschutz, Qualitätssicherung, gesetzliche Bestimmungen, Gerätekunde, Indikationen und Diagnostik.

Die Teilnehmer des Intensivkurses waren verpflichtet, 25 Musterfälle zu befunden. Der Kurs ist vom Regierungspräsidium Kassel zertifiziert (45).

Vor der Auswertung wurden Reliabilitätsuntersuchungen durchgeführt. Der Untersucher wurde von einer Expertin auf dem Gebiet ‚Digitale Volumentomografie und Röntgen‘ eingewiesen. Die Reliabilitätsuntersuchung erfolgte nach den Röntgeneinweisungen und unter standardisierten Bedingungen in einem Raum der Klasse 5 an einem zugelassenen Befundmonitor (EIZO FlexScan S2000 1024x1280 Bildpunkte). Die Messungen dauerten höchstens sechs Stunden pro Tag mit einer dreißigminütigen Pause nach je zwei Stunden. Die Ergebnisse wurden auf ihre Reliabilität untersucht.

Um die Verlässlichkeit der Messungen und Bewertungen der Röntgenbilder zu prüfen, wurden bei zwanzig zufällig ausgewählten Patienten bzw. 640 Zähnen Mehrfachbeurteilungen durchgeführt. Zur Prüfung der Interraterreliabilität wurden diese vom Untersucher und von einer Expertin (Dr. Dr. Sandra Ketabi) auf dem Gebiet ‚Digitale Volumentomografie und Röntgen‘ ausgewertet. Zur Prüfung der Intraraterreliabilität wurden alle Bilder nach einem zeitlichen Abstand von zwei Wochen ein zweites Mal durch denselben Beurteiler ausgewertet. An fünf Zähnen im Oberkiefer sowie an vier Zähnen im Unterkiefer war bei diesen Patienten in der DVT eine apikale Aufhellung erkennbar, all diese waren im Orthopantomogramm (OPG) nicht sichtbar. Dies wurde vom Untersucher und auch in der wiederholten Betrachtung der Bilder gleichermaßen festgestellt. Somit lag eine vollständige Übereinstimmung vor. Die Intraraterreliabilität und auch die Interraterreliabilität kann mit einem Kappa nach Cohen von 1,0 und einem 95 %-Konfidenzintervall für Kappa [0,92; 1,00] als sehr hoch eingestuft werden. War eine apikale Aufhellung sichtbar, so

wurden die Breite, Höhe und Tiefe gemessen. Im Vergleich der Mehrfachbeurteilungen zeigte sich in diesen Messungen im Oberkiefer maximal ein Unterschied von 0,1 mm.

Vor der endgültigen Auswertung bzw. Bewertung wurde der Zahnbefund in den DVT-Aufnahmen und Panoramaschichtaufnahmen auf seine Ähnlichkeit geprüft. Die Zähne, die entweder in DVT- oder in OPG-Aufnahmen fehlten, wurden notiert und nicht befundet. Damit sind fehlerhafte statistische Ergebnisse ausgeschlossen.

Insgesamt wurden 351 DVTs mit konventionellen Röntgenbildern verglichen. Diese sind der Reihe nach durchnummeriert und befundet. Mit Hilfe von Excel 2016 (Microsoft Inc., Redmond, Washington, USA) fand die Verwaltung der Patientendaten und Röntgenindikationen statt. Der erste Schritt bestand in der Befundung der Panoramaschichtaufnahmen. Im Anschluss erfolgte die dazugehörige Untersuchung der DVT-Aufnahme. Die Befunde wurden in eine eigens durch das Institut MediStat GmbH entwickelte Maske eingegeben.

### 4.2.1 Messung der Messstrecken in Panoramiaschichtaufnahmen

Die Auswertung der Panoramiaschichtaufnahmen erfolgte mit DBSWIN von Dürr Dental (Abb. 4.6). Das Programm besitzt ein Tool zur Längenmessung.

Bei Vorliegen einer apikalen Aufhellung wurden die Länge und die Breite in Millimeter (mm) gemessen. Bei der Messung wurden die zwei am weitesten voneinander entfernten Punkte in der vertikalen und horizontalen Ebene ausgewählt und dann wurde die Strecke gemessen.

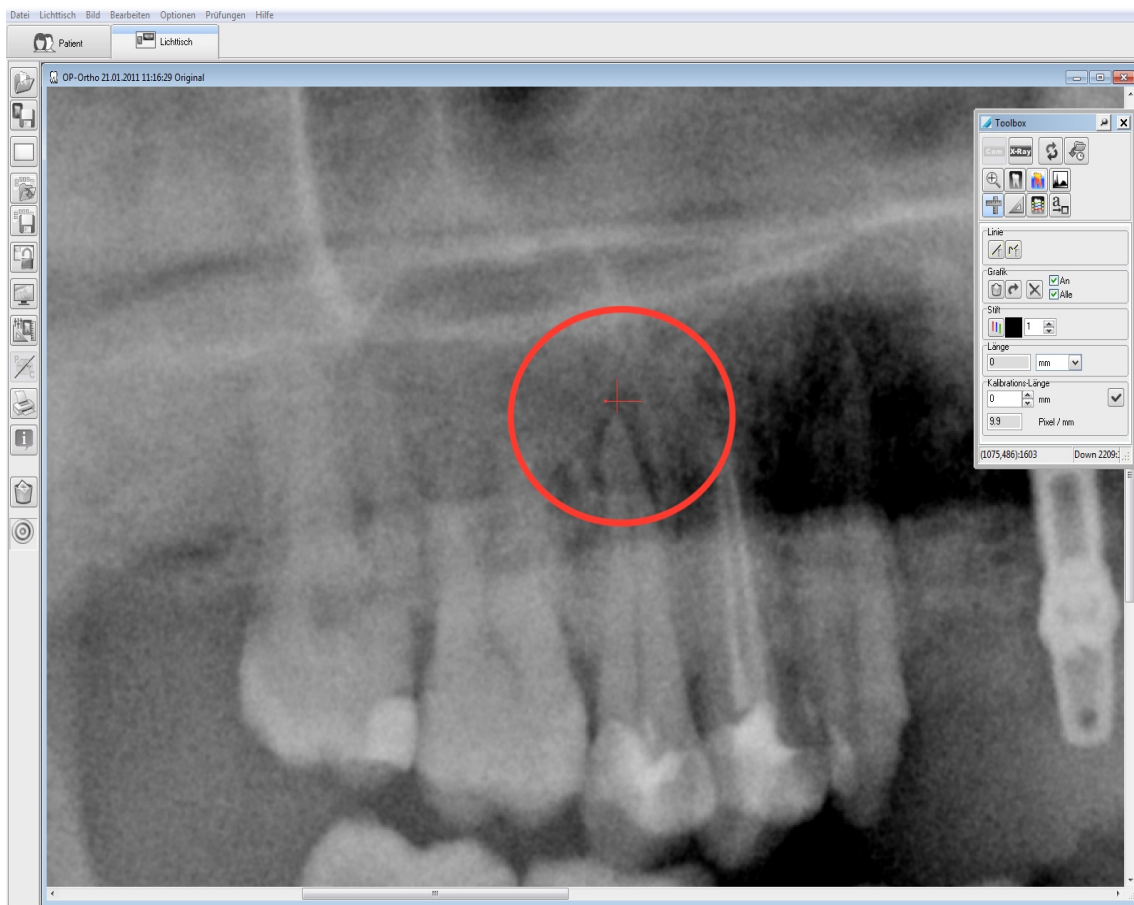


Abb. 4.6: Messung der Länge und Breite einer apikalen Aufhellung in der Panoramiaschichtaufnahme

### 4.2.2 Messung in dreidimensionalen Röntgenbildern

Die DVTs wurden mit der Software i-CatVision 2008 ausgewertet. Die Navigation in den sagittalen, axialen und koronalen Ebenen ermöglichte nicht nur die Messung der Breite und der Länge, sondern auch der Tiefe der apikalen Aufhellung. In jeder Ebene wurden die zwei am weitesten voneinander entfernten Punkte ausgewählt und dann wurde die Strecke in Millimeter gemessen.

Im Frontzahnbereich wurde die Breite in der axialen Ebene (Abb. 4.7) gemessen, die Tiefe sowie die Länge wurden in der sagittalen Ebene (Abb. 4.8) bestimmt.

Im Seitenzahnbereich erfolgte die Messung der Länge und der Breite in der sagittalen Ebene (Abb. 4.9) und die der Tiefe in der koronalen Ebene (Abb. 4.10).



Abb. 4.7: Messung der Breite einer apikalen Aufhellung des Zahnes 22 in der axialen Ebene



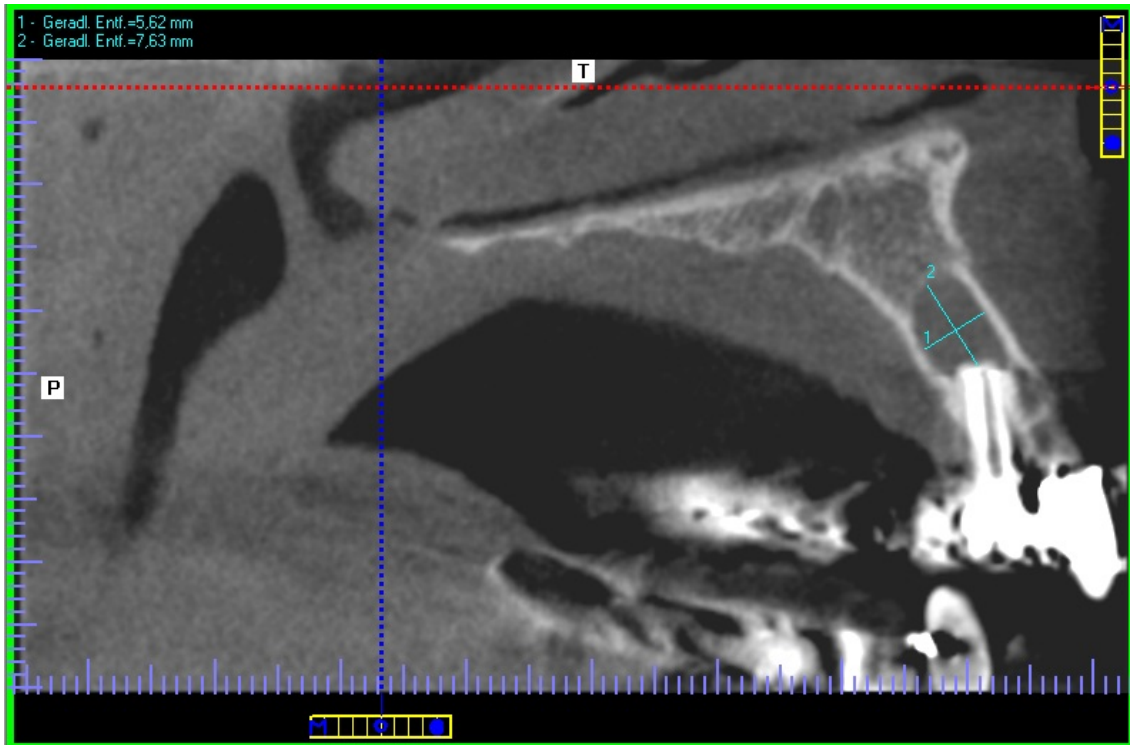


Abb. 4.8: Messung der Länge und Tiefe einer apikalen Aufhellung des Zahnes 22 in der sagittalen Ebene

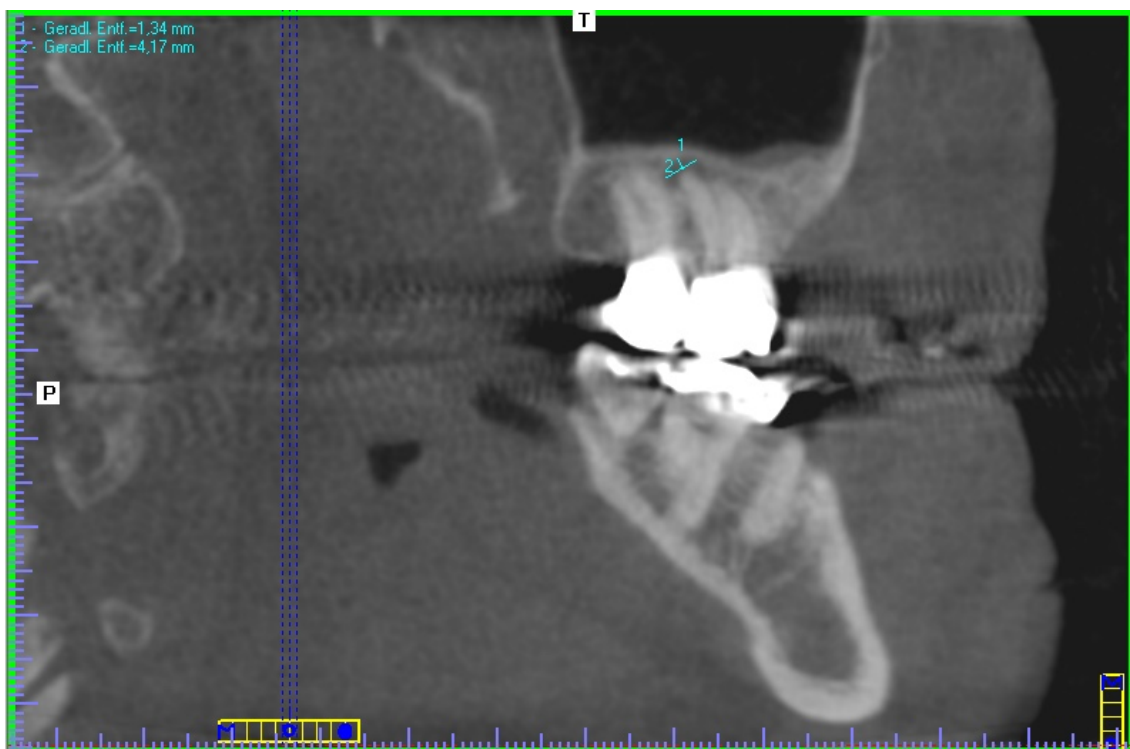


Abb. 4.9: Messung der Länge und Breite einer apikalen Aufhellung des Zahnes 26 in der sagittalen Ebene

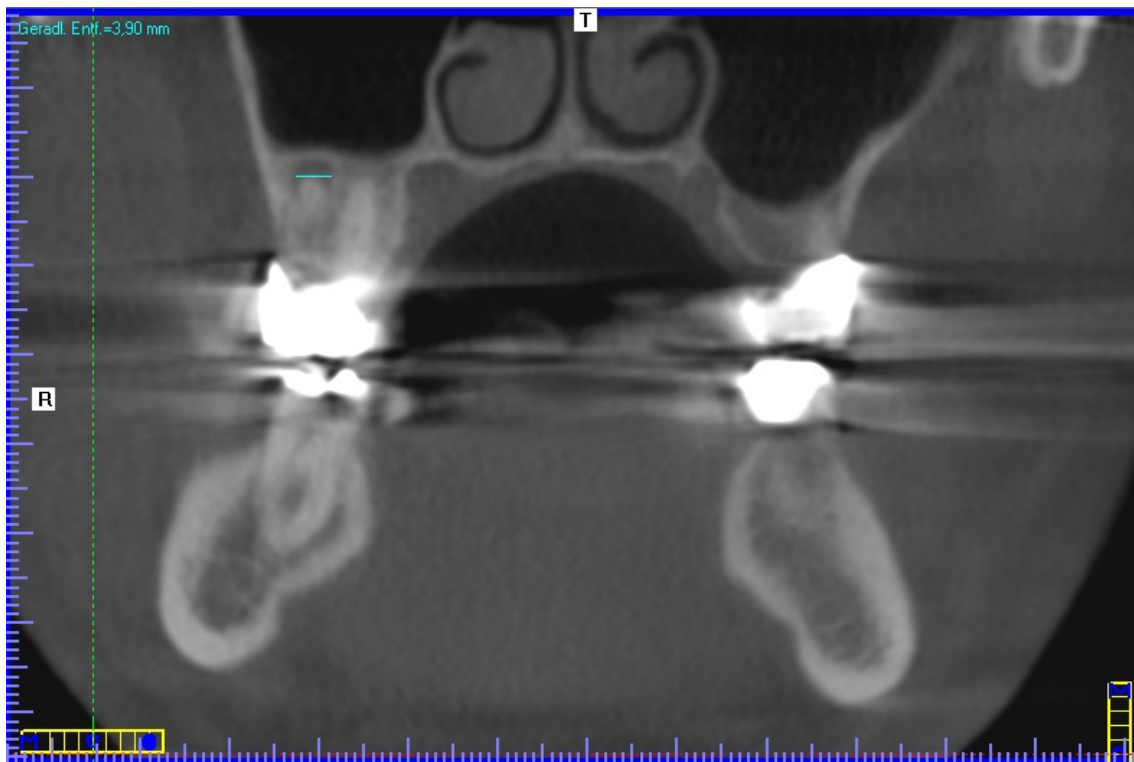


Abb. 4.10: Messung der Tiefe einer apikalen Aufhellung des Zahnes 26 in der koronalen Ebene

### 4.2.3 Eingabe der Befunde

Vor der Auswertung der Röntgenbilder wurde vom Untersucher jeweils ein Patientenfall angelegt. Die Daten wie Patientenummer, Geburtsdatum, Röntgenindikation sowie das Vorhandensein von Panoramaschichtaufnahmen wurden in einem eigens entwickelten Dokumentationsbogen festgehalten (Abb. 4.3).

#### FALL (PATIENT) ANLEGEN

Pat-ID Zurücksetzen

Geburtsdatum Zurücksetzen

Geschlecht Zurücksetzen

w  m

Rö (DVT und OPG/ZF) Kiefer Zurücksetzen

nur OK  nur UK  OK und UK

OK Rö-Indikation: PA Zurücksetzen

nein  ja

OK Rö-Indikation: Implantat Zurücksetzen

nein  ja

OK Rö-Indikation: Endo Zurücksetzen

nein  ja

OK Rö-Indikation: KH Zurücksetzen

nein  ja

OK Rö-Indikation: Sonstiges Zurücksetzen

nein  ja

OPG OK vorhanden Zurücksetzen

nein  ja

ZF OK vorhanden Zurücksetzen


nein  ja

Abb. 4.3: Dokumentationsbogen für die Patientendaten

## 4 Material und Methode


---

Zuerst wurden die zweidimensionalen Röntgenbilder ausgewertet. Wenn eine apikale Aufhellung zu erkennen war, markierte der Untersucher den betroffenen Zahn und notierte die Länge und die Breite in der Maske (Abb. 4.4).

OK OPG: Apikale Aufhellungen Zurücksetzen 


nein  ja  nicht im Feld

---

OK OPG: Apikale Aufhellungen (Auswahl) 


OK OPG: Apikale Aufhellungen an Zahn 18  
 OK OPG: Apikale Aufhellungen an Zahn 17  
 OK OPG: Apikale Aufhellungen an Zahn 16  
 OK OPG: Apikale Aufhellungen an Zahn 15  
 OK OPG: Apikale Aufhellungen an Zahn 14  
 OK OPG: Apikale Aufhellungen an Zahn 13  
 OK OPG: Apikale Aufhellungen an Zahn 12  
 OK OPG: Apikale Aufhellungen an Zahn 11  
 OK OPG: Apikale Aufhellungen an Zahn 21  
 OK OPG: Apikale Aufhellungen an Zahn 22  
 OK OPG: Apikale Aufhellungen an Zahn 23  
 OK OPG: Apikale Aufhellungen an Zahn 24  
 OK OPG: Apikale Aufhellungen an Zahn 25  
 OK OPG: Apikale Aufhellungen an Zahn 26  
 OK OPG: Apikale Aufhellungen an Zahn 27  
 OK OPG: Apikale Aufhellungen an Zahn 28

---

OK OPG: Apikale Aufhellung Breite 25 [mm] 

4

---

OK OPG: Apikale Aufhellung Höhe 25 [mm] Zurücksetzen 

3

Abb. 4.4: Der Auswertungsbogen für die Panoramaschichtaufnahmen

## 4 Material und Methode

---

Anders als bei den 2D-Röntgenbildern untersuchte der Zahnarzt in den DVT-Aufnahmen noch zwei zusätzliche Parameter (Abb. 4.5). Dank der dreidimensionalen Navigation war es möglich, die Tiefe der apikalen Aufhellung und die Kompaktadicke in diesem Bereich zu messen.

OK DVT: Apikale Aufhellungen Zurücksetzen ✔

nein  ja  nicht im Feld

---

OK DVT: Apikale Aufhellungen (Auswahl) ✔

OK DVT: Apikale Aufhellungen an Zahn 18

OK DVT: Apikale Aufhellungen an Zahn 17

OK DVT: Apikale Aufhellungen an Zahn 16

OK DVT: Apikale Aufhellungen an Zahn 15

OK DVT: Apikale Aufhellungen an Zahn 14

OK DVT: Apikale Aufhellungen an Zahn 13

OK DVT: Apikale Aufhellungen an Zahn 12

OK DVT: Apikale Aufhellungen an Zahn 11

OK DVT: Apikale Aufhellungen an Zahn 21

OK DVT: Apikale Aufhellungen an Zahn 22

OK DVT: Apikale Aufhellungen an Zahn 23

OK DVT: Apikale Aufhellungen an Zahn 24

OK DVT: Apikale Aufhellungen an Zahn 25

OK DVT: Apikale Aufhellungen an Zahn 26

OK DVT: Apikale Aufhellungen an Zahn 27

OK DVT: Apikale Aufhellungen an Zahn 28

---

OK DVT: Apikale Aufhellung Breite 22 [mm] ✔

3

---

OK DVT: Apikale Aufhellung Höhe 22 [mm] Zurücksetzen ✔

3,19

---

OK DVT: Apikale Aufhellung Tiefe 22 [mm] Zurücksetzen ✔

2,83

---

OK DVT: Apikale Aufhellung Kompaktadicke bukkal 22 [mm] Zurücksetzen ✔

0,9

---

OK DVT: Apikale Aufhellung Kompaktadicke lingual 22 [mm] Zurücksetzen ✔

3

Abb. 4.5: Der Auswertungsbogen für die DVTs

### 4.2.4 Messung der Kompaktadicke

Die Messung der Kompaktadicke erfolgte vestibulär und palatinal im Seitenzahnbereich (Abb. 4.11) sowie palatinal und labial im Frontzahnbereich (Abb. 4.12) in Höhe der apikalen Aufhellung. Im Frontzahnbereich wurde die Messung in der sagittalen Ebene und im Seitenzahnbereich in der koronalen Ebene durchgeführt.

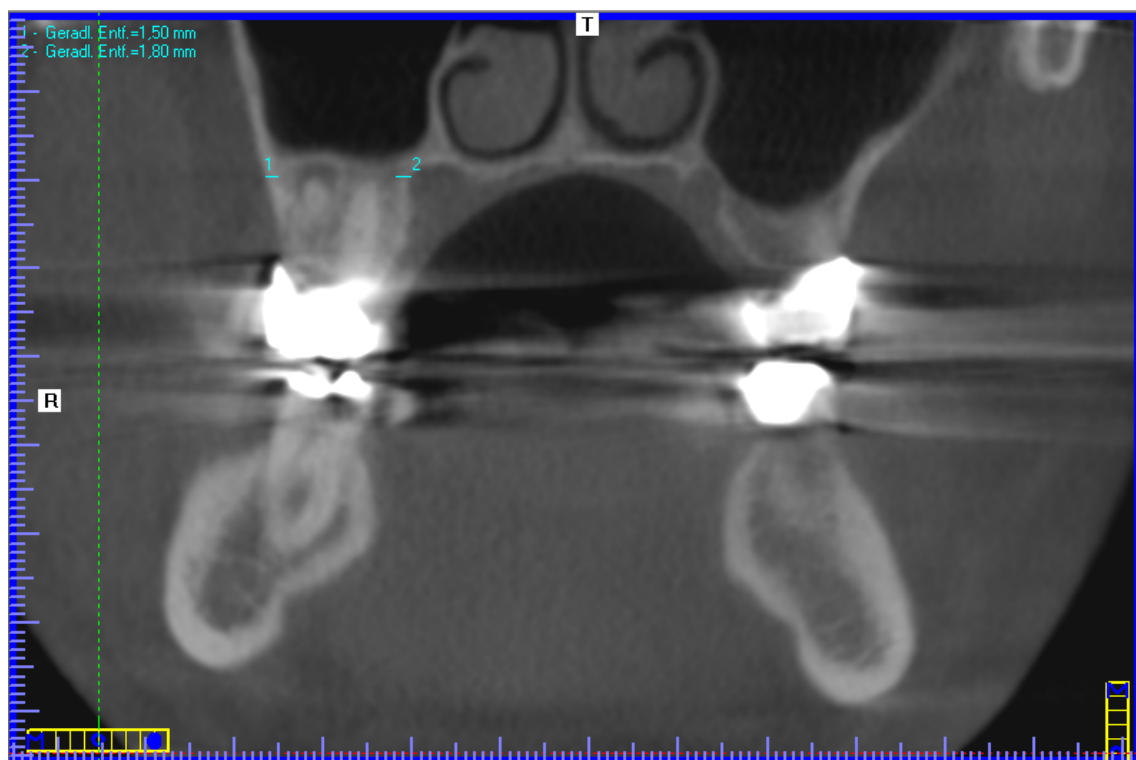


Abb. 4.11: Messung der Kompaktadicke im Seitenzahnbereich in der koronalen Ebene

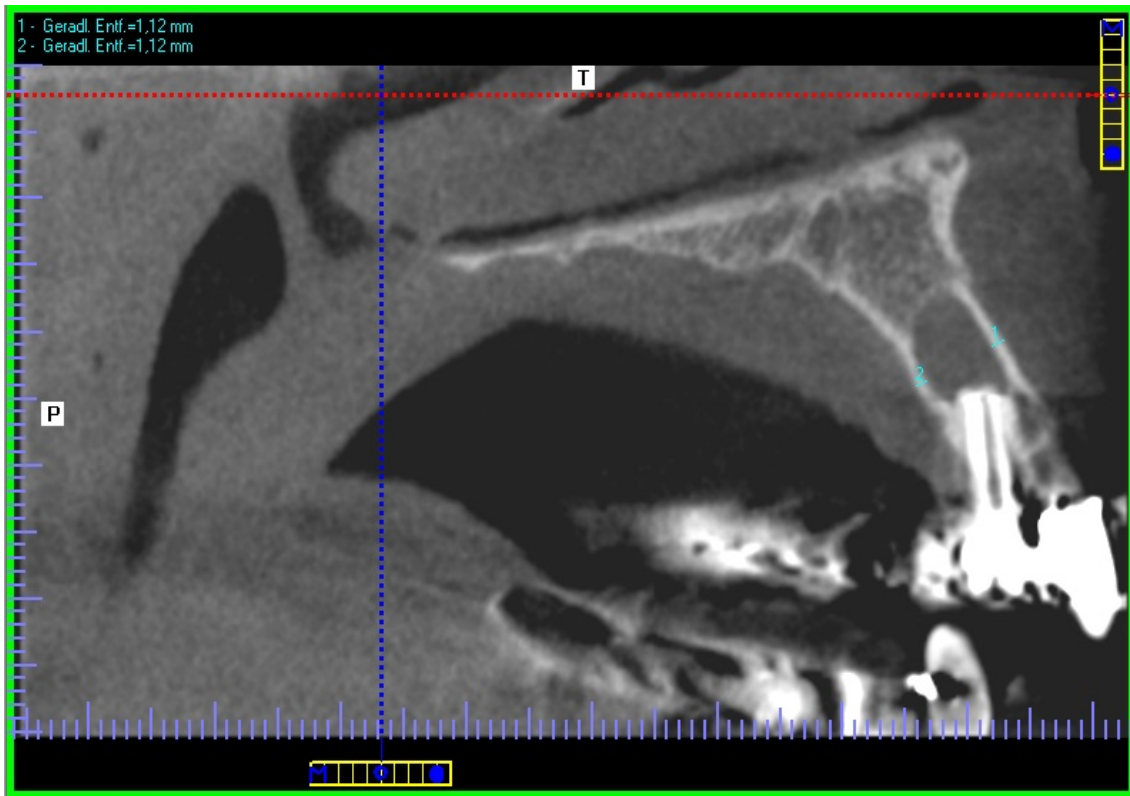


Abb. 4.12: Messung der Kompaktadicke im Frontzahnbereich in der sagittalen Ebene

### 4.2.5 Statistische Methodik

Quantitative Größen wurden anhand von Mittelwert und Standardabweichung, Minimum und Maximum sowie den Quartilen beschreibend dargestellt und mittels Kolmogorov-Smirnov-Test oder bei kleinen Fallzahlen mit dem Shapiro-Wilk-Test auf Normalverteilung geprüft. Aufgrund signifikanter Abweichungen von einer Normalverteilung in den zu prüfenden Größen wurden nicht-parametrische Verfahren zur Analyse eingesetzt. So wurden die Messungen, die mittels DVT erfolgt sind, mit denen, die anhand des OPG ermittelt wurden, als verbundene Beobachtungen mit dem Wilcoxon-Test für Paardifferenzen auf Unterschiede geprüft. Der Vergleich zweier unabhängiger Stichproben erfolgte mit dem U-Test nach Mann und Whitney. Um Zusammenhänge zwischen quantitativen, nicht normalverteilten Parametern zu untersuchen, wurde eine Rang-Korrelationsanalyse nach Spearman durchgeführt.

Zu ordinal und nominal skalierten Größen wurden absolute und prozentuale Häufigkeiten angegeben. Je zwei Größen dieser Skalierung wurden in Kontingenztafeln gegenübergestellt, sodass mit dem Chi-Quadrat-Test geprüft werden konnte, ob eine Abhängigkeit bestand. Bei zu kleinen erwarteten Häufigkeiten wurde alternativ der exakte Test nach Fisher eingesetzt. Für den Vergleich von abhängigen Stichproben, wie Aufnahmen aus DVT und OPG wurde bei Vierfeldertafeln der McNemar-Test und bei Mehrfeldertafeln der Symmetrietest nach Bowker eingesetzt, um die beiden bildgebenden Verfahren auf Unterschiede zur prüfen. Die Übereinstimmung wurde anhand von Cohen's Kappa bewertet.

Es wurde zweiseitig getestet und ein Signifikanzniveau von 5 % zugrunde gelegt. Eine Alpha-Adjustierung für multiples Testen fand nicht statt, die Ergebnisse haben demnach explorativen und beschreibenden Charakter. Für die Durchführung der statistischen Berechnungen wurde IBM SPSS Statistics 25 (SPSS Inc. an IBM Company, Chicago, IL) eingesetzt. Die statistischen Analysen wurden mit Unterstützung des Institutes Medistat GmbH durchgeführt (46).



## 5 Ergebnisse

### 5.1 Deskriptive Statistik

#### 5.1.1 Patientencharakteristik

Im Folgenden werden anhand der ermittelten Daten die Anzahl der Patienten, die Alters- (Abb. 5.2) und die Geschlechtsverteilung (Abb. 5.3) dargestellt. Das Durchschnittsalter lag für die männlichen Patienten bei 58,87 Jahren und bei 58,56 Jahren für die weiblichen Patienten, wobei der jüngste Patient 15 und der älteste 88 Jahre alt war. Dies wird anhand des folgenden Boxplot-Schemas veranschaulicht (Abb. 5.1).

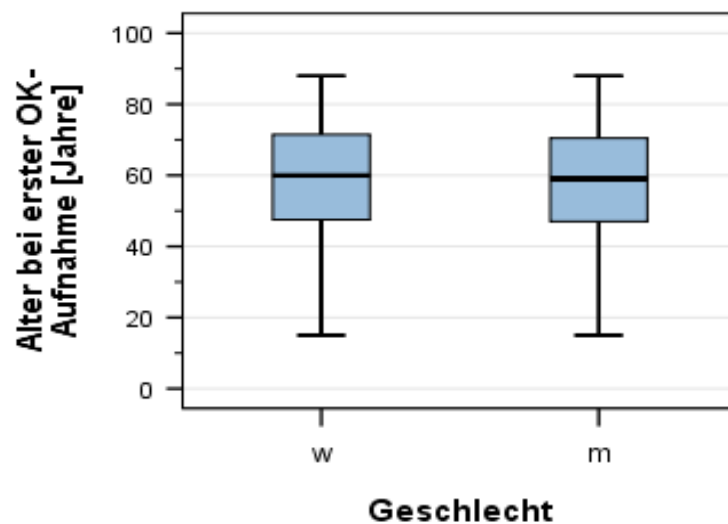


Abb. 5.1: Darstellung der Altersverteilung im Boxplot-Diagramm

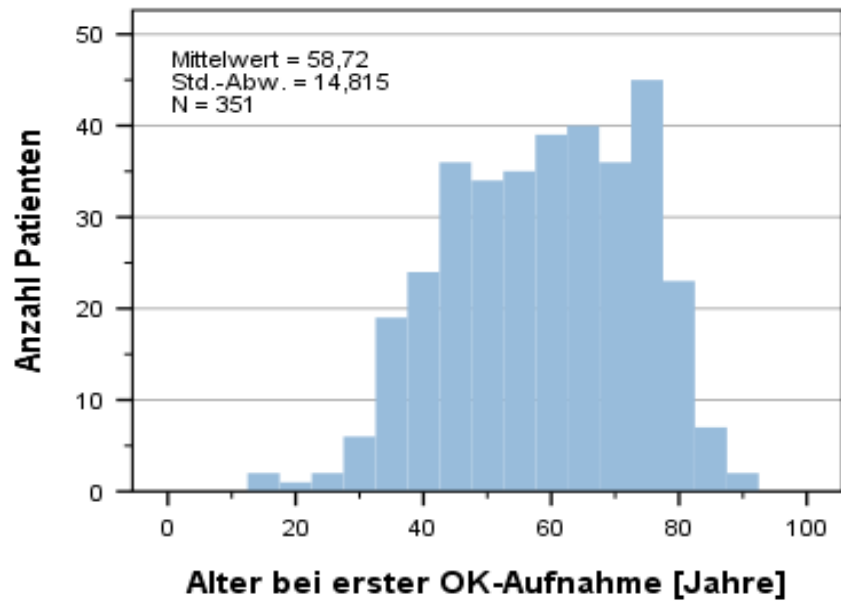


Abb. 5.2: Darstellung der Altersverteilung im Balkendiagramm

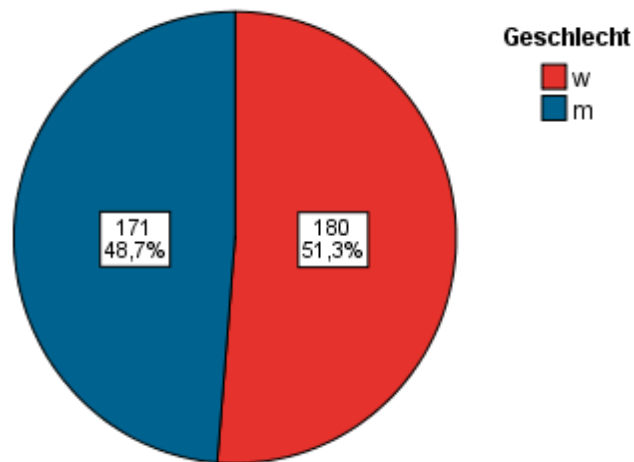


Abb. 5.3: Darstellung der Geschlechtsverteilung

Beim Betrachten der geschlechtlichen Verteilung (Abb. 5.3) der Patienten lässt sich feststellen, dass die Männer mit 51,3 % (n = 180) im Patientengut häufiger vertreten waren als die Frauen mit 48,7 % (n=171).

### 5.1.2 Zeitintervall zwischen DVT- und OPG-Aufnahmen

Die 351 Patienten hatten sowohl DVT- als auch OPG-Aufnahmen in einer indeterminierten Zeitspanne anfertigen lassen. Der maximale Zeitunterschied betrug 3469 Tage und der minimale 0 Tage mit einer Standardabweichung von 437,980 Tagen. Da es sich bei der Entstehung einer apikalen Aufhellung um einen akuten Prozess handelt, wurde zunächst die Zeitspanne eingeeengt, sodass der Abstand zwischen zwei Aufnahmen einen Zeitraum von drei Monaten nicht überschritt. Dementsprechend blieben 199 Patienten (59,6 %) übrig (Tab. 5.1), deren Röntgenaufnahmen mit einem Zeitunterschied von weniger als 90 Tagen aufgenommen worden waren.

<b>Zeit zwischen OPG und DVT &lt; 90 Tage</b>	<b>nein</b>	<b>Anzahl</b>	<b>135</b>
		% von Kiefer	40,4 %
	<b>ja</b>	Anzahl	199
		% von Kiefer	59,6 %
<b>Gesamt</b>		Anzahl	334
		% von Kiefer	100,0 %

Tab. 5.1: Zeitspanne zwischen DVT- und OPG-Aufnahmen < 90 Tage.

### 5.1.3 Indikationen

Die DVT-Aufnahmen wurden aufgrund einer medizinischen Indikation angefertigt. Bei einer Anzahl von 199 Patienten wurden 82,9 % (n = 165) der Aufnahmen zur präimplantologischen Diagnostik verwendet (Abb. 5.4). Davon waren 42,4 % (n = 70) Männer und 57,6 % (n = 95) Frauen (Tab. 5.2).

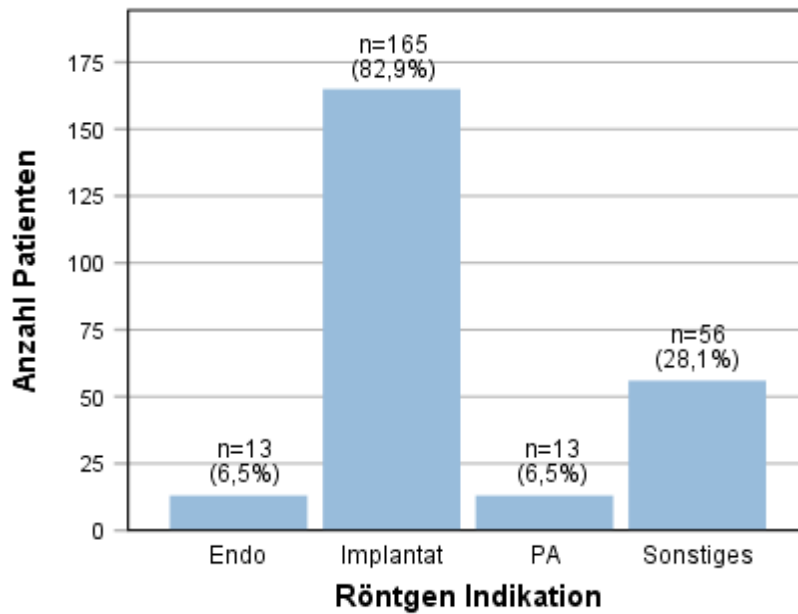


Abb. 5.4: Verteilung der verschiedenen Indikationen bezogen auf das Patientengut

Kiefer				Geschlecht		Gesamt
				w	m	
OK	Rö-Indikation: Implantat	nein	Anzahl	17	17	34
			% innerhalb von Geschlecht	15,2 %	19,5 %	17,1 %
		ja	Anzahl	95	70	165
			% innerhalb von Geschlecht	84,8 %	80,5 %	82,9 %
	Gesamt		Anzahl	112	87	199
			% innerhalb von Geschlecht	100,0 %	100,0 %	100,0 %

Tab. 5.2: Kreuztabelle für die Röntgenindikation: Präimplantologische Diagnostik.

Weitere Indikationen, wie die Diagnose der apikalen Veränderungen oder der Wurzelfraktur, sind in der folgenden Tabelle 5.3 unter ‚Endodontie‘ zusammengefasst.

Kiefer				Geschlecht		Gesamt
				w	m	
OK	Rö-Indikation: Endo	nein	Anzahl	102	84	186
			% innerhalb von Geschlecht	91,1%	96,6%	93,5%
		ja	Anzahl	10	3	13
			% innerhalb von Geschlecht	8,9%	3,4%	6,5%
	Gesamt		Anzahl	112	87	199
			% innerhalb von Geschlecht	100,0 %	100,0 %	100,0 %

Tab. 5.3: Kreuztabelle für die Röntgenindikation: Endodontie.

Bezogen auf die befundeten Patienten ergaben sich noch verschiedene Indikationen für die Anfertigung einer DVT-Aufnahme, wie zum Beispiel:

- Visualisierung des quantitativen und qualitativen Knochenangebotes
- Darstellung von Nervenaustrittspunkten
- Lageanomalien von Zähnen
- Präoperative Schnittbilddiagnostik bei der geplanten operativen Entfernung von (teil-)retinierten Weisheitszähnen

Dies wird in der folgenden Tabelle 5.4 unter ‚Sonstiges‘ zusammengefasst.

Kiefer				Geschlecht		Gesamt
				w	m	
OK	Rö-Indikation: Sonstiges	nein	Anzahl	77	66	143
			% innerhalb von Geschlecht	68,8 %	75,9 %	71,9 %
		ja	Anzahl	35	21	56
			% innerhalb von Geschlecht	31,3 %	24,1 %	28,1 %
	Gesamt		Anzahl	112	87	199
			% innerhalb von Geschlecht	100,0 %	100,0 %	100,0 %

Tab. 5.4: Kreuztabelle für die Röntgenindikation: Sonstiges.

Eine Indikation zur Abklärung von parodontalen Erkrankungen war für die restlichen Aufnahmen gegeben. Die Ergebnisse sind in einer Kreuztabelle dargestellt (Tab. 5.5).

Kiefer				Geschlecht		Gesamt
				w	m	
OK	Rö- Indikation: PA	nein	Anzahl	104	82	186
			% innerhalb von Geschlecht	92,9 %	94,3 %	93,5 %
		ja	Anzahl	8	5	13
			% innerhalb von Geschlecht	7,1 %	5,7 %	6,5 %
	Gesamt		Anzahl	112	87	199
			% innerhalb von Geschlecht	100,0 %	100,0 %	100,0 %

Tab.5.5: Kreuztabelle für die Röntgenindikation: Parodontologie.

## 5.2 Befundung der apikalen Aufhellung

Um die Arbeitshypothese statistisch zu prüfen, kamen der McNemar-Test und der Chi-Quadrat-Test zur Anwendung. Sie untersuchten die Unterschiede zwischen den bildgebenden Verfahren hinsichtlich der Sichtbarkeit der apikalen Aufhellung. Ein p-Wert von  $\leq 0,05$  zeigte das Vorhandensein eines signifikanten Unterschieds an.

In der folgenden Kreuztabelle (Tab. 5.6) wird die Sichtbarkeit der apikalen Aufhellungen in den verschiedenen Zahnregionen im Oberkiefer zwischen OPG und DVT verglichen. Insgesamt wurden 2223 Zähne befundet. In der DVT zeigten sich an 144 Zähnen apikale Aufhellungen. An 121 Zähnen zeigten sich apikale Aufhellungen, die nur in der DVT sichtbar waren. Im OPG waren jedoch nur 23 von insgesamt 144 apikalen Aufhellungen sichtbar. Dem Balkendiagramm (Abb. 5.5) lässt sich entnehmen, dass alle apikalen Aufhellungen, die im OPG erkannt wurden, auch in der DVT zu sehen waren. Jedoch waren von den 144 apikalen Aufhellungen, die in der DVT erkannt wurden, nur 23 im OPG sichtbar.

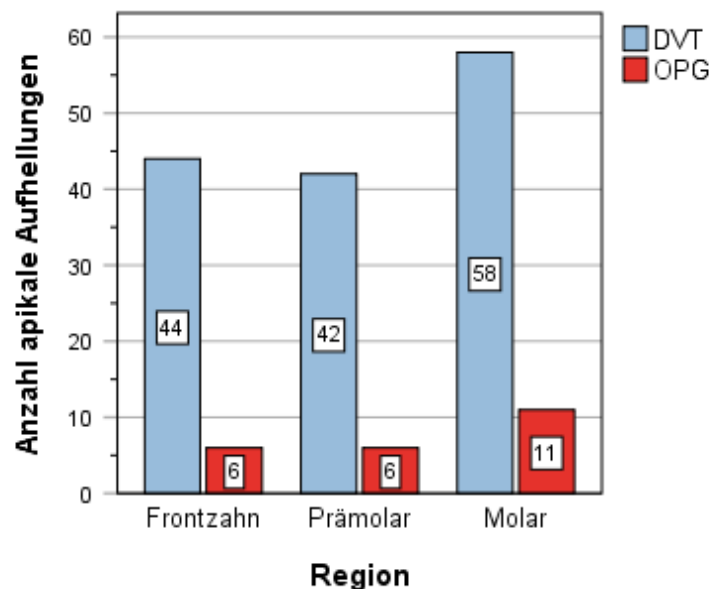


Abb. 5.5: Anzahl der befundeten apikalen Aufhellungen in DVT und OPG in allen Zahnregionen

## 5 Ergebnisse

Kiefer					DVT: Apikale Aufhellungen		Gesamt
					nein	ja	
OK	Frontzahn	OPG: Apikale Aufhellungen	nein	Anzahl	1008	38	1046
			% der Gesamtzahl	95,8%	3,6%	99,4%	
		ja	Anzahl	0	6	6	
			% der Gesamtzahl	0,0%	0,6%	0,6%	
		Gesamt		Anzahl	1008	44	1052
				% der Gesamtzahl	95,8%	4,2%	100,0%
	Prämolar	OPG: Apikale Aufhellungen	nein	Anzahl	553	36	589
			% der Gesamtzahl	92,9%	6,1%	99,0%	
		ja	Anzahl	0	6	6	
			% der Gesamtzahl	0,0%	1,0%	1,0%	
		Gesamt		Anzahl	553	42	595
				% der Gesamtzahl	92,9%	7,1%	100,0%
	Molar	OPG: Apikale Aufhellungen	nein	Anzahl	518	47	565
			% der Gesamtzahl	89,9%	8,2%	98,1%	
		ja	Anzahl	0	11	11	
			% der Gesamtzahl	0,0%	1,9%	1,9%	
Gesamt		Anzahl	518	58	576		
		% der Gesamtzahl	89,9%	10,1%	100,0%		
Gesamt	OPG: Apikale Aufhellungen	nein	Anzahl	2079	121	2200	
		% der Gesamtzahl	93,5%	5,4%	99,0%		
	ja	Anzahl	0	23	23		
		% der Gesamtzahl	0,0%	1,0%	1,0%		
	Gesamt		Anzahl	2079	144	2223	
			% der Gesamtzahl	93,5%	6,5%	100,0%	

Tab. 5.6: Vergleich der Sichtbarkeit zwischen OPG und DVT in den verschiedenen Zahnregionen im Oberkiefer.



Kiefer			Wert	Exakte Signifikanz (2-seitig)
OK	Frontzahn	McNemar-Test		0,000
		Anzahl der gültigen Fälle	1052	
	Prämolar	McNemar-Test		0,000
		Anzahl der gültigen Fälle	595	
	Molar	McNemar-Test		0,000
		Anzahl der gültigen Fälle	576	
	Gesamt	McNemar-Test		0,000
		Anzahl der gültigen Fälle	2223	

Tab. 5.7: Ergebnisse des McNemar-Tests hinsichtlich der Sichtbarkeit der apikalen Aufhellung in DVT und OPG: Es zeigte sich eine statistische Signifikanz.

Wie bereits aus den p-Werten ersichtlich, zeigte der McNemar-Test einen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Bildmodalitäten (McNemar-Test,  $p < 0,001$ ) hinsichtlich der Sichtbarkeit der apikalen Aufhellung in allen Regionen im Oberkiefer (Tab. 5.7). Damit ist die Null-Hypothese, die besagt, dass sowohl bei zwei- als auch bei dreidimensionalen Aufnahmen die apikalen Läsionen gleichermaßen erkannt werden können, abzulehnen.

### 5.2.1 Übereinstimmung zwischen den Messungen in den zwei Bildmodalitäten

Die Übereinstimmung der Messungen zwischen DVT und OPG wurde unter Verwendung des Cohens Kappa berechnet. Die Kappa-Werte von 0,01–0,2, 0,21–0,40, 0,41–0,60, 0,61–0,80, 0,81–0,99 und 1 entsprechen einer sehr schwachen, schwachen, starken, sehr starken bzw. perfekten Übereinstimmung. Anhand der ermittelten Ergebnisse ergab sich eine schwache Übereinstimmung (Cohens Kappa > 0,2) in allen Zahnregionen im Oberkiefer (Tab. 5.8).

Kiefer				Wert
OK	Frontzahn	Maß der Übereinstimmung	Kappa	0,232
		Anzahl der gültigen Fälle		1052
	Prämolar	Maß der Übereinstimmung	Kappa	0,237
		Anzahl der gültigen Fälle		595
	Molar	Maß der Übereinstimmung	Kappa	0,296
		Anzahl der gültigen Fälle		576
	Gesamt	Maß der Übereinstimmung	Kappa	0,262
		Anzahl der gültigen Fälle		2223

Tab. 5.8: Ergebnisse der Cohens- Kappa- Berechnung.

### 5.2.2 Vergleich der Messungen zwischen OPG und DVT in allen Zahnregionen im Oberkiefer

In den 3D-Aufnahmen wurden die Tiefe, die Höhe, die Breite und die Kompaktadicke gemessen, während in den 2D-Aufnahmen nur die Höhe und die Breite gemessen wurden. In der Tabellen 5.9 und 5.10 werden deskriptive Statistiken (Mittelwert, Standardabweichung, Minimum, Maximum und Perzentile) über die Messungen ausgegeben. Die Auswertung der beiden Tabellen lässt sich in der Tabelle 5.11 darstellen.

## 5 Ergebnisse

Deskriptive Statistiken										
Kiefer			N	Mittelwert	Std.-Abweichung	Minimum	Maximum	Perzentile		
								25.	50. (Median)	75.
OK	Frontzahn	DVT: Apikale Aufhellung Breite [mm]	45	3,1398	2,64420	0,40	14,00	1,7450	2,4000	3,5100
		DVT: Apikale Aufhellung Höhe [mm]	49	2,4167	3,18777	0,40	17,00	0,9250	1,2700	2,3000
		DVT: Apikale Aufhellung Tiefe [mm]	49	3,3737	3,20602	1,20	18,00	1,8000	2,5000	3,5000
		DVT: Apikale Aufhellung Kompaktadicke bukkal [mm]	49	1,3071	0,61963	0,00	2,28	1,0000	1,2700	1,7500
		DVT: Apikale Aufhellung Kompaktadicke lingual [mm]	49	1,6365	0,75366	0,00	5,00	1,2700	1,7000	1,8600
		OPG: Apikale Aufhellung Breite [mm]	8	10,275	14,1542	2,0	33,2	2,450	2,800	25,700
	Prämolar	OPG: Apikale Aufhellung Höhe [mm]	8	7,163	10,5852	1,0	24,3	1,100	1,500	18,800
		DVT: Apikale Aufhellung Breite [mm]	43	2,6726	1,38086	1,00	7,20	1,7500	2,3400	3,3000
		DVT: Apikale Aufhellung Höhe [mm]	43	1,7447	1,15150	0,60	5,80	0,9500	1,5000	2,1000
		DVT: Apikale Aufhellung Tiefe [mm]	43	2,5412	1,03962	1,20	5,00	1,6200	2,3000	3,0000
		DVT: Apikale Aufhellung Kompaktadicke bukkal [mm]	43	1,4212	0,67878	0,00	2,40	1,0000	1,5000	1,9200
		DVT: Apikale Aufhellung Kompaktadicke lingual [mm]	43	1,7260	0,52726	0,00	3,00	1,5000	1,7000	2,0000
	Molar	OPG: Apikale Aufhellung Breite [mm]	9	3,667	1,6023	2,0	6,0	2,350	3,200	5,500
		OPG: Apikale Aufhellung Höhe [mm]	9	2,644	0,9645	1,0	4,0	1,850	3,000	3,400
		DVT: Apikale Aufhellung Breite [mm]	61	3,2280	1,63808	1,20	7,50	2,0000	2,7000	4,1000
		DVT: Apikale Aufhellung Höhe [mm]	62	2,0224	1,56409	0,60	9,95	1,0000	1,5000	2,5625
		DVT: Apikale Aufhellung Tiefe [mm]	62	3,2423	2,05305	1,00	13,80	2,0000	2,9250	3,6750
		DVT: Apikale Aufhellung Kompaktadicke bukkal [mm]	60	1,5490	0,84347	0,00	3,60	1,2000	1,5500	2,0000
		DVT: Apikale Aufhellung Kompaktadicke lingual [mm]	60	1,2608	0,60652	0,00	2,28	1,0000	1,2600	1,7375
		OPG: Apikale Aufhellung Breite [mm]	16	5,388	5,8464	1,0	23,0	2,000	3,350	5,450
		OPG: Apikale Aufhellung Höhe [mm]	15	3,240	2,5887	1,0	9,0	1,800	2,100	3,900

Tab. 5.9: Deskriptive Statistik der Messungen in OPG und DVT in den verschiedenen Zahnregionen im Oberkiefer.

Kiefer		N	Mittelwert	Std.-Abweichung	Minimum	Maximum	Perzentile		
							25.	50. (Median)	75.
OK	DVT: Apikale Aufhellung Breite [mm]	149	3,0411	1,94021	0,40	14,00	1,8000	2,4200	3,5000
	DVT: Apikale Aufhellung Höhe [mm]	154	2,0703	2,14395	0,40	17,00	0,9500	1,4300	2,4000
	DVT: Apikale Aufhellung Tiefe [mm]	154	3,0883	2,30687	1,00	18,00	1,8150	2,7000	3,5000
	DVT: Apikale Aufhellung Kompaktadicke bukkal [mm]	152	1,4349	0,73396	0,00	3,60	1,0000	1,5000	1,9000
	DVT: Apikale Aufhellung Kompaktadicke lingual [mm]	152	1,5136	0,66691	0,00	5,00	1,2000	1,5000	1,8000
	OPG: Apikale Aufhellung Breite [mm]	33	6,103	8,1710	1,0	33,2	2,300	3,200	5,400
	OPG: Apikale Aufhellung Höhe [mm]	32	4,053	5,6531	1,0	24,3	1,500	2,200	3,400

Tab. 5.10: Deskriptive Statistik der Messungen in OPG und DVT im Oberkiefer.

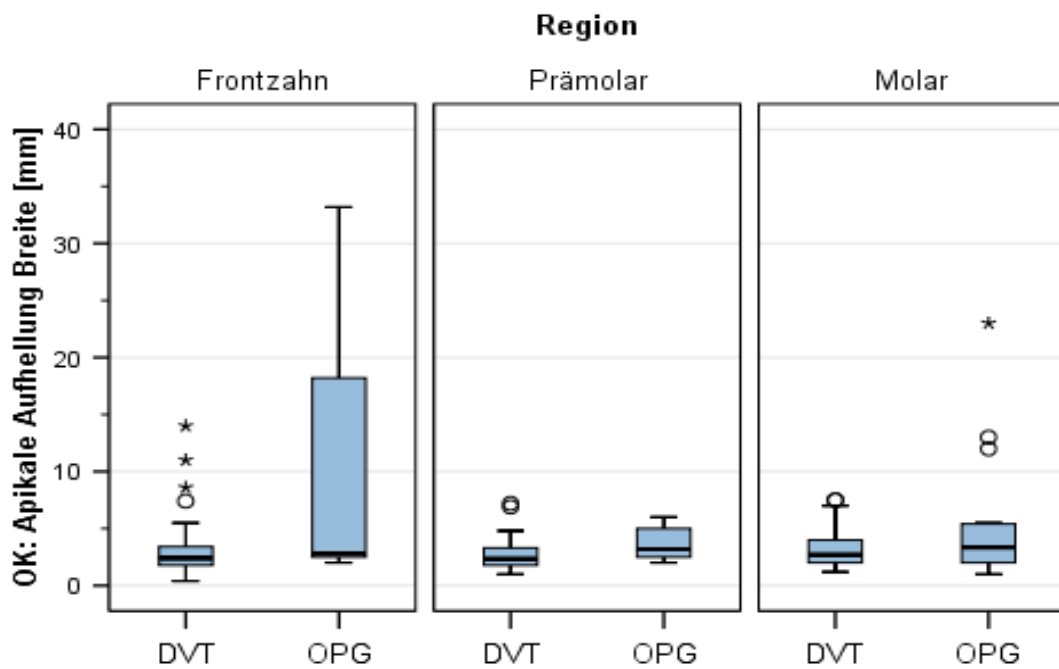


Abb. 5.6: Darstellung der Breitemessungen in allen Zahnregionen im Boxplot-Diagramm

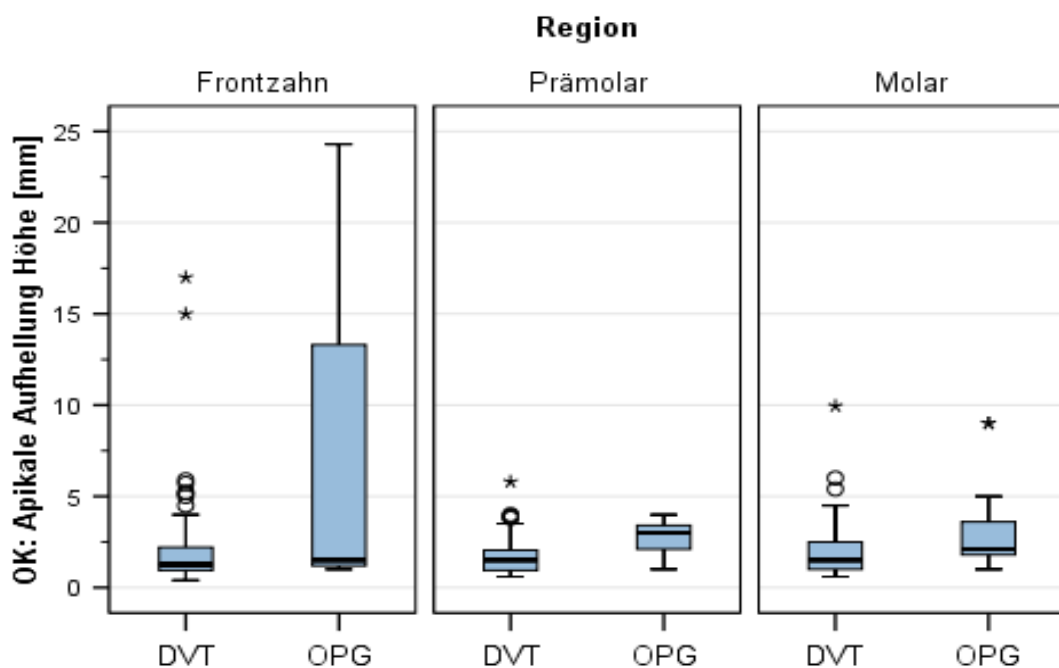


Abb. 5.7: Darstellung der Höhenmessungen in allen Zahnregionen im Boxplot-Diagramm

In den bildlichen Darstellungen des Boxplots wird ersichtlich, dass in allen drei untersuchten Oberkieferregionen die Messwerte in beiden Bildmodalitäten nicht auf einem ähnlichen Niveau liegen. Beide Grafiken (Abb. 5.6 und 5.7) machen eine Varianz der Messungen deutlich. Es lässt sich jedoch erkennen, dass tendenziell höhere Messwerte im Frontzahnbereich erfasst wurden, wenn die Messung in den Panoramaschichtaufnahmen durchgeführt wurde.

In der folgenden Tabelle 5.11 wird eine Gegenüberstellung der Medianwerte in den verschiedenen Zahnregionen zwischen DVT und OPG dargestellt.

<b>Region</b>		<b>Frontzahn (Mw) in mm</b>	<b>Prämolar (Mw) in mm</b>	<b>Molar (Mw) in mm</b>
<b>DVT</b>	Breite	2,4	2,34	2,7
	Höhe	1,27	1,5	1,5
<b>OPG</b>	Breite	2,8	3,2	3,35
	Höhe	1,5	3	2,1

*Tab. 5.11: Vergleich der Medianwerte der gemessenen Höhen und Breiten in DVT und OPG.*

Beim Vergleich der Medianwerte (Mw) ist festzustellen, dass die Messungen in allen Zahnregionen in der DVT kleinere Werte ergeben als die Messungen in den Panoramaschichtaufnahmen.

Um die statistische Signifikanz der Messunterschiede zwischen den beiden Bildgebungstechnologien zu prüfen, wurde der gepaarte Wilcoxon-Rangsummentest angewendet. Es konnten in allen Zahnregionen keine signifikanten Unterschiede nachgewiesen werden (Tab. 5.12 und 5.13). Dies ergibt sich daraus, dass die berechneten p-Werte  $> 0,05$  sind.

## 5 Ergebnisse

<b>Kiefer</b>			<b>OPG: Apikale Aufhellung Breite [mm] - DVT: Apikale Aufhellung Breite [mm]</b>
<b>OK</b>	Frontzahn	Z	-1,214 <sup>b</sup>
		Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	0,225
	Prämolar	Z	-0,314 <sup>c</sup>
		Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	0,753
	Molar	Z	-0,153 <sup>b</sup>
		Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	0,878

b. Basiert auf negativen Rängen.

c. Basiert auf positiven Rängen.

Tab. 5.12: Ergebnisse des Wilcoxon-Tests.

<b>Kiefer</b>			<b>OPG: Apikale Aufhellung Höhe [mm] - DVT: Apikale Aufhellung Höhe [mm]</b>
<b>OK</b>	Frontzahn	Z	-1,214 <sup>b</sup>
		Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	0,225
	Prämolar	Z	-0,943 <sup>b</sup>
		Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	0,345
	Molar	Z	-0,051 <sup>b</sup>
		Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	0,959

b. Basiert auf negativen Rängen.

c. Basiert auf positiven Rängen.

Tab. 5.13: Ergebnisse des Wilcoxon-Tests.

**Analyse von Zusammenhängen zwischen DVT und OPG:**

Um die Zusammenhänge statistisch zu prüfen, wurde aus den Rängen der Daten der Spearman-Korrelationskoeffizient berechnet. Er gibt die Stärke und die Richtung des jeweiligen Zusammenhangs an. Wenn der Korrelationskoeffizient  $|R| \leq 0,2$ ,  $0,2 < |R| \leq 0,5$ ,  $0,5 < |R| \leq 0,8$  und  $0,8 < |R| \leq 1,0$  ist, entspricht dies jeweils keiner Korrelation, schwacher bis mäßiger Korrelation, starker Korrelation bzw. perfekter Korrelation. Der dazu berechnete p-Wert sagt aus, ob es einen signifikanten Zusammenhang zwischen den Messungen von OPG und DVT gibt (Tab. 5.14 und 5.15).

<b>Kiefer</b>					<b>OPG: Apikale Aufhellung Breite [mm]</b>
<b>OK</b>	Frontzahn	Spearman- Rho	DVT: A. Aufhellung Breite [mm]	Korrelationskoeffizient	0,754
				Sig. (2-seitig)	0,084
				N	6
	Prämolar	Spearman- Rho	DVT: A. Aufhellung Breite [mm]	Korrelationskoeffizient	0,029
				Sig. (2-seitig)	0,957
				N	6
	Molar	Spearman- Rho	DVT: A. Aufhellung Breite [mm]	Korrelationskoeffizient	0,091
				Sig. (2-seitig)	0,803
				N	10

Tab. 5.14: Korrelationskoeffizient der Breite nach Spearman-Rho.

Kiefer					OPG: Apikale Aufhellung Höhe [mm]
OK	Frontzahn	Spearman- Rho	DVT: A. Aufhellung Höhe [mm]	Korrelationskoeffizient	0,851
				Sig. (2-seitig)	0,032
				N	6
	Prämolar	Spearman- Rho	DVT: A. Aufhellung Höhe [mm]	Korrelationskoeffizient	0,176
				Sig. (2-seitig)	0,738
				N	6
	Molar	Spearman- Rho	DVT: A. Aufhellung Höhe [mm]	Korrelationskoeffizient	0,196
				Sig. (2-seitig)	0,588
				N	10

Tab. 5.15: Korrelationskoeffizient der Höhe nach Spearman-Rho.

Es ergab sich eine signifikante Korrelation ( $|R| = 0,851$ ,  $p$ -Wert  $< 0,05$ ) im Frontzahnbereich bei der Höhenmessung (Tab. 5.15).

### 5.3 Einfluss der Höhe, Breite und Tiefe auf die Sichtbarkeit der apikalen Aufhellung in den verschiedenen Zahnregionen

Um den Einfluss der Höhe, Breite und Tiefe auf die Sichtbarkeit der apikalen Aufhellungen zu untersuchen, wurden zwei Gruppen gebildet. Die erste Gruppe enthielt die apikalen Aufhellungen, die nur in den DVT-Aufnahmen befundet wurden. Die zweite Gruppe umfasste die apikalen Aufhellungen die in den OPG- und DVT-Aufnahmen zu sehen waren. Um dies genauer zu betrachten, wurden die Messungen in den verschiedenen Zahnregionen verglichen (Tab. 5.16). Dabei ergaben sich die folgende Tabelle und die folgenden Boxplot-Diagramme.



## 5 Ergebnisse

Deskriptive Statistiken											
Kiefer	Region	Sichtbarkeit apikaler Aufhellung		N	Mittelwert	Std.-Abweichung	Minimum	Maximum	Perzentile		
									25.	50. (Median)	75.
OK	Frontzahn	OPG nein, DVT ja	DVT: Apikale Aufhellung Breite [mm]	38	2,72	1,77	0,40	8,60	1,59	2,20	3,37
			DVT: Apikale Aufhellung Höhe [mm]	38	1,92	1,54	0,40	5,90	0,94	1,34	2,25
			DVT: Apikale Aufhellung Tiefe [mm]	38	2,89	1,51	1,20	8,20	1,79	2,54	3,45
		OPG=DVT	DVT: Apikale Aufhellung Breite [mm]	7	5,41	4,98	1,79	14,00	1,80	2,69	11,00
			DVT: Apikale Aufhellung Höhe [mm]	11	4,13	5,98	0,60	17,00	0,85	1,26	4,50
			DVT: Apikale Aufhellung Tiefe [mm]	11	5,03	6,09	1,70	18,00	1,80	2,12	3,70
	Prämolar	OPG nein, DVT ja	DVT: Apikale Aufhellung Breite [mm]	36	2,54	1,27	1,00	7,20	1,59	2,29	3,30
			DVT: Apikale Aufhellung Höhe [mm]	36	1,69	1,03	0,60	4,00	0,95	1,37	2,08
			DVT: Apikale Aufhellung Tiefe [mm]	36	2,46	1,04	1,20	5,00	1,61	2,23	2,88
		OPG=DVT	DVT: Apikale Aufhellung Breite [mm]	7	3,37	1,81	1,50	6,90	1,90	3,00	4,30
			DVT: Apikale Aufhellung Höhe [mm]	7	2,02	1,74	0,67	5,80	0,80	1,50	2,10
			DVT: Apikale Aufhellung Tiefe [mm]	7	2,98	1,02	1,60	5,00	2,70	2,77	3,10
Molar	OPG nein, DVT ja	DVT: Apikale Aufhellung Breite [mm]	47	3,10	1,54	1,20	7,50	2,00	2,55	4,00	
		DVT: Apikale Aufhellung Höhe [mm]	47	1,89	1,56	0,60	9,95	1,00	1,50	2,00	
		DVT: Apikale Aufhellung Tiefe [mm]	47	3,11	1,57	1,20	9,40	2,00	2,80	3,60	
	OPG=DVT	DVT: Apikale Aufhellung Breite [mm]	12	3,95	1,93	1,80	7,50	2,34	3,45	5,73	
		DVT: Apikale Aufhellung Höhe [mm]	13	2,64	1,57	0,90	6,00	1,29	2,75	3,75	
		DVT: Apikale Aufhellung Tiefe [mm]	13	4,02	3,24	1,00	13,80	2,20	3,20	4,80	

Tab. 5.16: Deskriptive Statistik: Vergleich der Messungen (Breite, Höhe, Tiefe) in den verschiedenen Zahnregionen.

Statistik für Test <sup>a</sup>					
Kiefer			DVT: Apikale Aufhellung Breite [mm]	DVT: Apikale Aufhellung Höhe [mm]	DVT: Apikale Aufhellung Tiefe [mm]
			OK	Frontzahn	Mann-Whitney-U
		Wilcoxon-W	834,500	948,000	941,000
		Z	-1,238	-0,048	-0,216
		Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	0,216	0,962	0,829
		Exakte Signifikanz [2*(1-seitige Sig.)]	0,221 <sup>b</sup>		
	Prämolar	Mann-Whitney-U	90,000	113,000	79,000
		Wilcoxon-W	756,000	779,000	745,000
		Z	-1,186	-0,429	-1,549
		Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	0,236	0,668	0,121
		Exakte Signifikanz [2*(1-seitige Sig.)]	0,249 <sup>b</sup>	0,687 <sup>b</sup>	0,128 <sup>b</sup>
	Molar	Mann-Whitney-U	202,000	205,500	261,500
		Wilcoxon-W	1330,000	1333,500	1389,500
		Z	-1,508	-1,797	-0,790
		Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	0,132	0,072	0,429

Tab. 5.17: Ergebnisse des U-Tests.

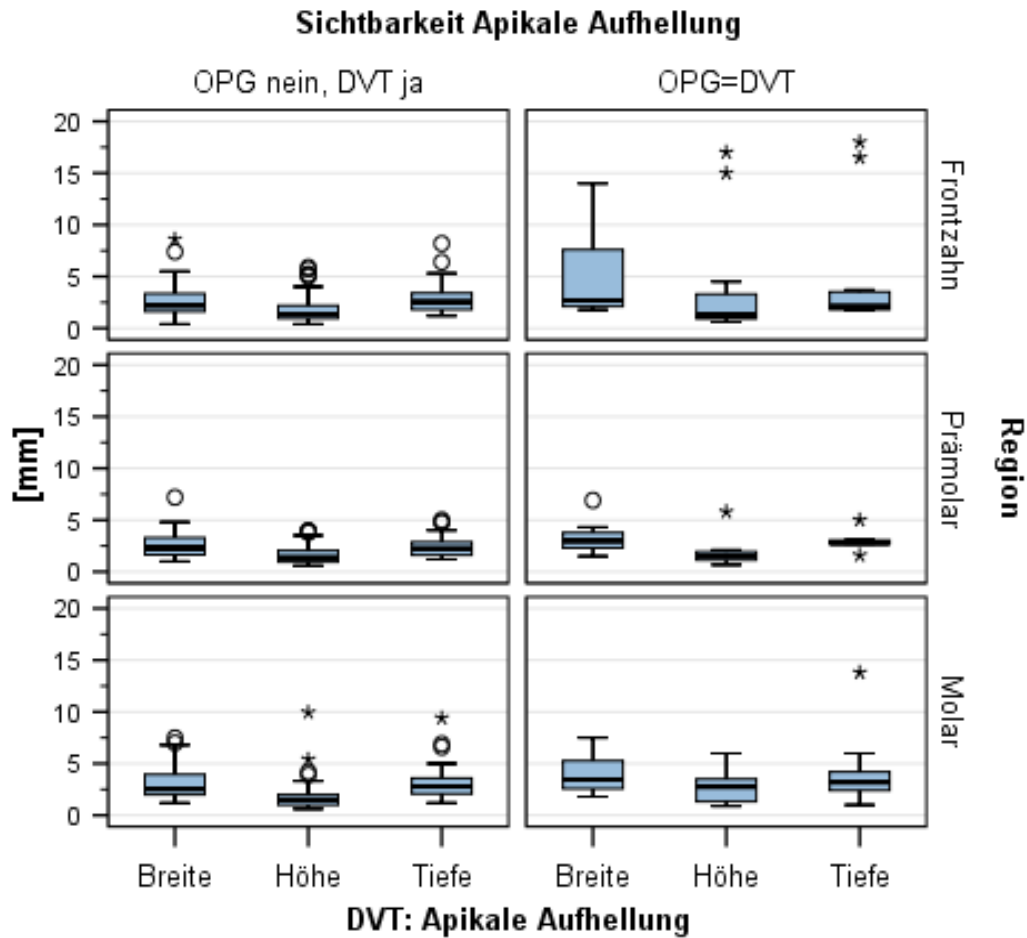


Abb. 5.8: Vergleich der Messungen bei der Sichtbarkeit der apikalen Aufhellung in allen Zahnregionen im Boxplot-Diagramm

Bei Betrachtung der Boxplots (Abb. 5.8) fällt auf, dass die Messwerte der Höhen und Tiefen der apikalen Aufhellungen, die nur in der DVT sichtbar waren, auf dem gleichen Niveau der Höhen und Tiefen der apikalen Aufhellungen, die im OPG und in der DVT sichtbar waren, sind. Für die Breite der apikalen Aufhellungen der ersten Gruppe (OPG nein, DVT ja) liegt eine kleinere Streuung der Messwerte im Frontzahn- und Molarbereich vor als bei der zweiten Gruppe (OPG = DVT).

Region	Parameter	Frontzahn (Mw) in mm	Prämolar (Mw) in mm	Molar (Mw) in mm
<b>DVT ja, OPG nein</b>	Breite	2,20	2,29	2,55
<b>OPG = DVT</b>	Breite	2,69	3	3,45

Tab. 5.18: Vergleich der Medianwerte der gemessenen Breiten.

Beim Vergleich der Medianwerte der Breite (Tab. 5.18) ist festzustellen, dass die Messungen der apikalen Aufhellungen, die nur in der DVT sichtbar waren, kleiner sind. Da zwei voneinander unabhängige Stichproben miteinander verglichen wurden, kam der Mann-Whitney-U-Test zur Anwendung. Der U-Test ist ein nicht parametrischer Test und unempfindlich gegenüber Datenausreißern.

Hierbei zeigte sich in keiner Zahnregion ein signifikanter Unterschied. Dies ergibt sich daraus, dass die berechneten p-Werte  $> 0,05$  sind (Tab. 5.17).

### 5.3.1 Einfluss der Höhe, Breite und Tiefe auf die Sichtbarkeit der apikalen Aufhellung im Oberkiefer

Im Folgenden werden die Messungen in allen Zahnregionen im Oberkiefer zusammengefasst. In der Boxplotdarstellung (Abb. 5.9) liegen die Messwerte der Höhen sowie die der Tiefen der ersten Gruppe (OPG nein, DVT ja) geringfügig unter denen der zweiten Gruppe (OPG = DVT). Hier konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Wenn man die Breite der ersten Gruppe betrachtet (Tab. 5.19), liegen die Messwerte zwischen 0,4 mm und 8,6 mm. Zudem haben sie einen Mittelwert von 2,81 mm sowie eine Standardabweichung von 1,55 mm. Die Breite ist signifikant niedriger als die der zweiten Gruppe. Der Mann-Whitney-U-Tests (Tab. 5.20) zeigte, dass es signifikante Unterschiede nur bezüglich des Einflusses der Breite auf die Sichtbarkeit der apikalen Aufhellung gibt (p-Wert (U-Test,  $p = 0,018$ )  $< 0,05$ ).

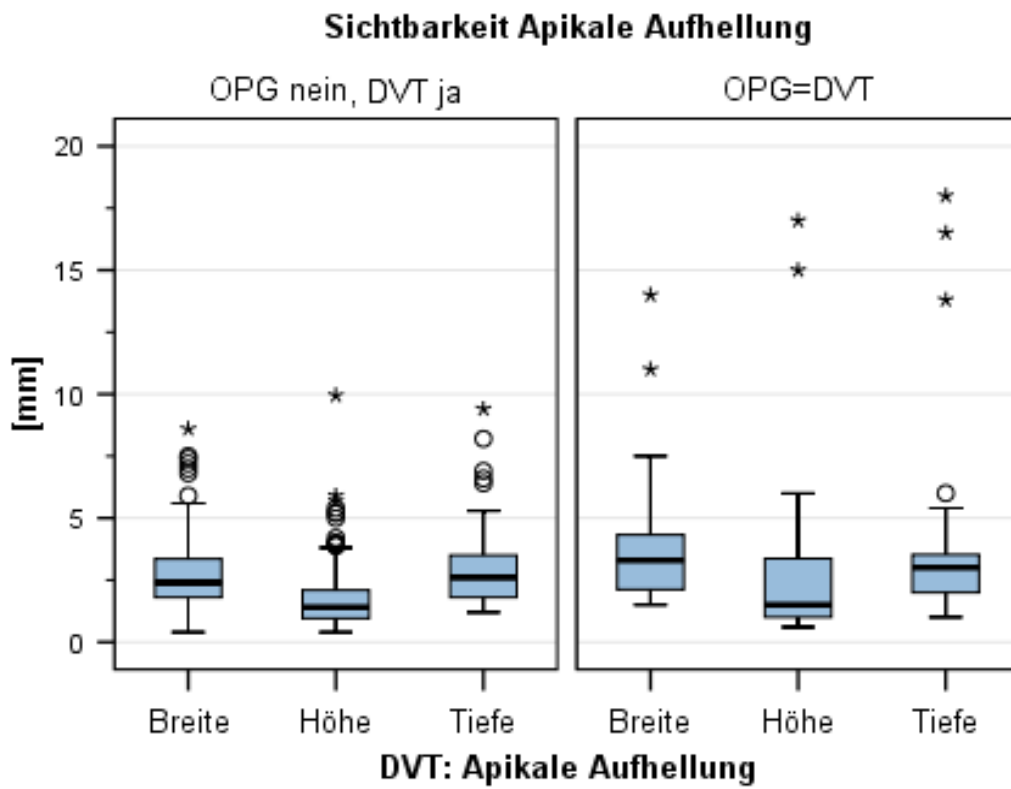


Abb. 5.9: Vergleich der Messungen bei der Sichtbarkeit der apikalen Aufhellung im Oberkiefer im Boxplot-Diagramm

## 5 Ergebnisse

Deskriptive Statistiken										
Kiefer			N	Mittelwert	Std.-Abweichung	Minimum	Maximum	Perzentile		
								25.	50. (Median)	75.
OK	OPG nein, DVT ja	DVT: Apikale Aufhellung Breite [mm]	121	2,81	1,55	0,40	8,60	1,80	2,40	3,38
		DVT: Apikale Aufhellung Höhe [mm]	121	1,84	1,41	0,40	9,95	0,95	1,40	2,13
		DVT: Apikale Aufhellung Tiefe [mm]	121	2,85	1,43	1,20	9,40	1,80	2,60	3,50
	OPG=DVT	DVT: Apikale Aufhellung Breite [mm]	26	4,19	3,00	1,50	14,00	2,07	3,30	4,79
		DVT: Apikale Aufhellung Höhe [mm]	31	3,03	3,78	0,60	17,00	1,00	1,50	3,50
		DVT: Apikale Aufhellung Tiefe [mm]	31	4,15	4,17	1,00	18,00	2,00	3,00	3,70

Tab. 5.19: Deskriptive Statistik der Messwerte der apikalen Aufhellung im Oberkiefer.

Statistik für Test <sup>a</sup>				
Kiefer		DVT: Apikale Aufhellung Breite [mm]	DVT: Apikale Aufhellung Höhe [mm]	DVT: Apikale Aufhellung Tiefe [mm]
OK	Mann-Whitney-U	1108,000	1577,000	1583,500
	Wilcoxon-W	8489,000	8958,000	8964,500
	Z	-2,362	-1,366	-1,336
	Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	0,018	0,172	0,182

Tab. 5.20: Ergebnisse des Mann-Whitney-U-Tests.

### 5.4 Messungen der bukkalen und palatinalen Kompaktadicke

Die folgende Abbildung 5.10 und Tabelle 5.21 geben eine Übersicht der Messwerte in den drei untersuchten Zahnregionen:

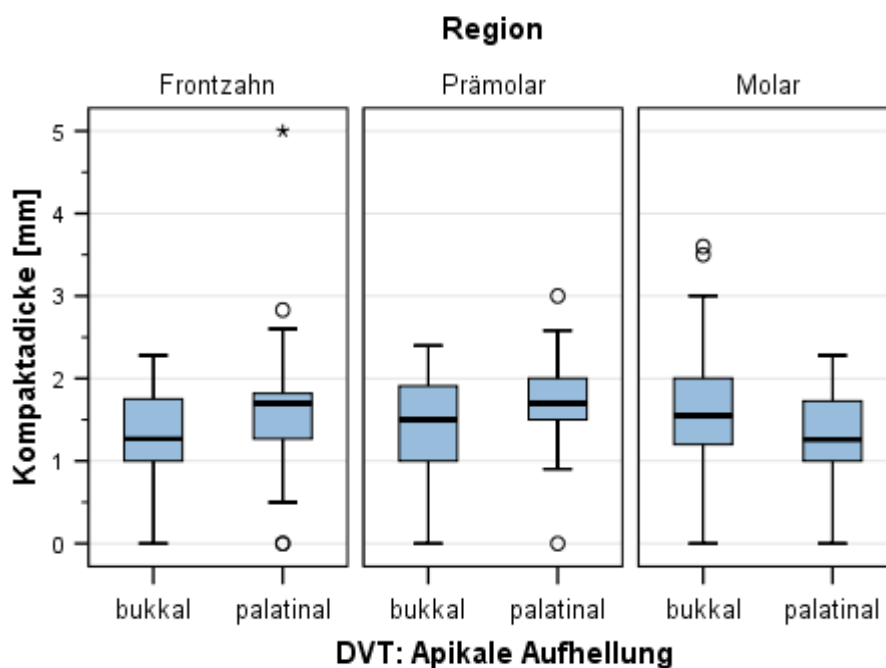


Abb. 5.10: Die Messwerte der palatinalen und bukkalen Kompaktadicke in den verschiedenen Zahnregionen im Boxplot-Diagramm

		Deskriptive Statistiken								
Kiefer			N	Mittelwert	Std.- Abweichung	Minimum	Maximum	Perzentile		
								25.	50. (Median)	75.
OK	Frontzahn	DVT: Apikale Aufhellung Kompaktadicke bukkal [mm]	49	1,31	0,62	0,00	2,28	1,00	1,27	1,75
		DVT: Apikale Aufhellung Kompaktadicke palatinal [mm]	49	1,64	0,75	0,00	5,00	1,27	1,70	1,86
	Prämolar	DVT: Apikale Aufhellung Kompaktadicke bukkal [mm]	43	1,42	0,68	0,00	2,40	1,00	1,50	1,92
		DVT: Apikale Aufhellung Kompaktadicke palatinal [mm]	43	1,73	0,53	0,00	3,00	1,50	1,70	2,00
	Molar	DVT: Apikale Aufhellung Kompaktadicke bukkal [mm]	60	1,55	0,84	0,00	3,60	1,20	1,55	2,00
		DVT: Apikale Aufhellung Kompaktadicke palatinal[mm]	60	1,26	0,61	0,00	2,28	1,00	1,26	1,74

Tab. 5.21: Deskriptive Statistik der Messwerte für die bukkale und palatinalen Kompaktadicke.

Das Boxplot-Diagramm (Abb. 5.10) zeigt höhere Messwerte der palatinalen Kompaktadicke im Frontzahn- und Prämolarebereich als bei der bukkalen Kompaktadicke. Allerdings ist in den Messwerten der bukkalen Kompaktadicke eine größere Streuung der Messwerte erkennbar, sodass der Unterschied nicht signifikant ist. Im Molarbereich ist das Gegenteil der Fall. Die bukkalen Messwerte sind höher als die palatinalen Messwerte.

### 5.4.1 Zusammenhang zwischen der Übereinstimmung von DVT und OPG und der Kompaktadicke

In dieser speziellen Betrachtung wurden die Messwerte der Kompaktadicke anhand der Sichtbarkeit der apikalen Aufhellung in Form von Boxplots verglichen. Sie sind in Tabellen (Tab. 5.22 und 5.23) dargestellt.

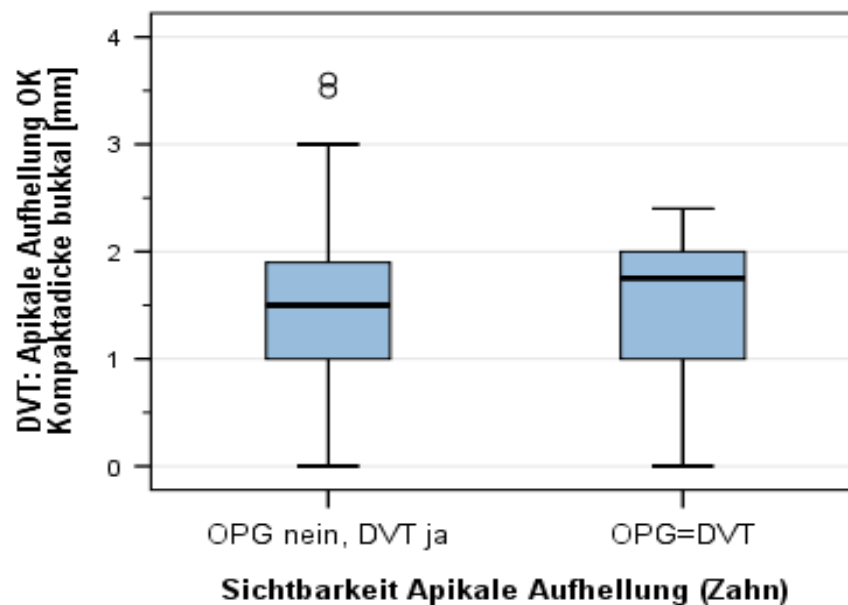


Abb. 5.11: Vergleich der Messwerte der bukkalen Kompaktadicke

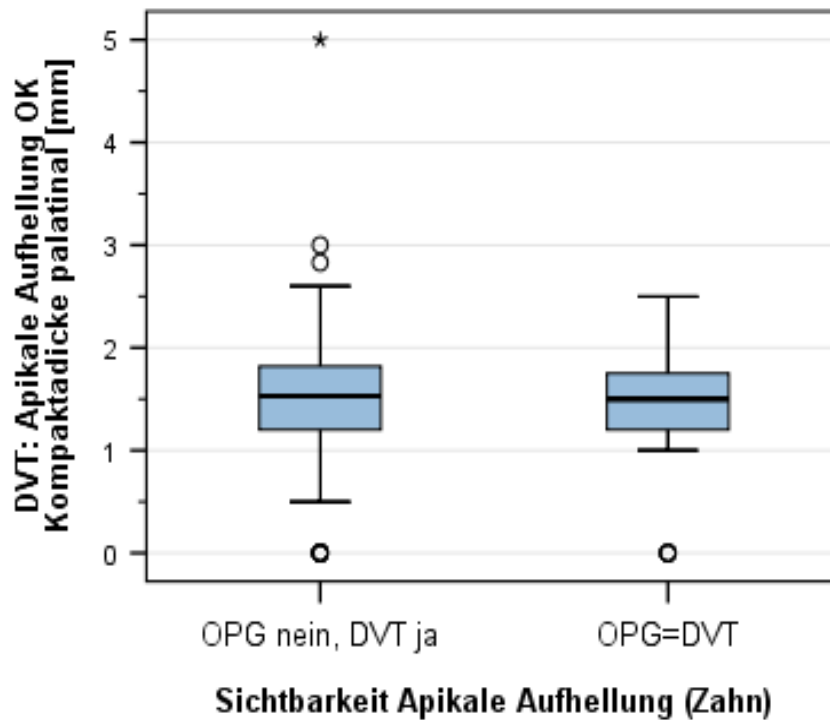


Abb. 5.12: Vergleich der Messwerte der palatinalen Kompaktadicke

Bei Betrachtung des Boxplots (Abb. 5.11 und 5.12) fällt auf, dass in beiden Fällen, unabhängig davon, ob die apikale Aufhellung nur in der DVT oder in OPG und DVT sichtbar war, die Messwerte der Kompaktadicke auf einem ähnlichen Niveau liegen. Ein deutlicher Unterschied in den Messungen ist dem Diagramm nicht zu entnehmen. Die statistische Auswertung konnte eine Abhängigkeit zwischen der Übereinstimmung von DVT mit OPG und der Kompaktadicke (U-Test,  $p \geq 0,05$ ) nicht nachweisen.



## 5 Ergebnisse

Kiefer				N	Mittelwert	Std.-Abweichung	Minimum	Maximum	Perzentile		
									25.	50. (Median)	75.
OK	Frontzahn	OPG nein, DVT ja	DVT: Apikale Aufhellung Kompaktadicke bukkal [mm]	38	1,3429	0,54348	0,00	2,28	1,0000	1,3050	1,7500
			DVT: Apikale Aufhellung Kompaktadicke palatinal [mm]	38	1,7395	0,74712	0,50	5,00	1,2700	1,7000	1,9550
		OPG=DVT	DVT: Apikale Aufhellung Kompaktadicke bukkal [mm]	11	1,1836	0,85349	0,00	2,10	0,0000	1,2700	2,0000
			DVT: Apikale Aufhellung Kompaktadicke palatinal[mm]	11	1,2809	0,69407	0,00	2,10	1,0000	1,5000	1,7000
	Prämolar	OPG nein, DVT ja	DVT: Apikale Aufhellung Kompaktadicke bukkal [mm]	36	1,4503	0,67166	0,00	2,40	1,0000	1,6250	1,9200
			DVT: Apikale Aufhellung Kompaktadicke palatinal[mm]	36	1,7131	0,54815	0,00	3,00	1,5000	1,6600	2,0000
		OPG=DVT	DVT: Apikale Aufhellung Kompaktadicke bukkal [mm]	7	1,2714	0,74992	0,00	2,20	0,6000	1,5000	1,8000
			DVT: Apikale Aufhellung Kompaktadicke palatinal[mm]	7	1,7929	0,43246	1,10	2,50	1,5000	1,8000	2,0000
		OPG ja, DVT nein	DVT: Apikale Aufhellung Kompaktadicke bukkal [mm]	0							
			DVT: Apikale Aufhellung Kompaktadicke palatinal [mm]	0							
	Molar	OPG nein, DVT ja	DVT: Apikale Aufhellung Kompaktadicke bukkal [mm]	47	1,5323	0,86137	0,00	3,60	1,2000	1,5000	2,0000
			DVT: Apikale Aufhellung Kompaktadicke palatinal[mm]	47	1,2953	0,61977	0,00	2,28	1,0000	1,4000	1,8000
OPG=DVT		DVT: Apikale Aufhellung Kompaktadicke bukkal [mm]	11	1,6745	0,85757	0,00	2,40	1,6000	2,0000	2,2500	
		DVT: Apikale Aufhellung Kompaktadicke palatinal [mm]	11	1,1427	0,61268	0,00	1,75	1,0000	1,2700	1,6000	
OPG ja, DVT nein		DVT: Apikale Aufhellung Kompaktadicke bukkal [mm]	0								
		DVT: Apikale Aufhellung Kompaktadicke palatinal [mm]	0								

Tab. 5.22: Deskriptive Statistik Vergleich der Kompaktadicke (bukkal, palatinal) in den verschiedenen Zahnregionen.

Deskriptive Statistiken											
Kiefer				N	Mittelwert	Std.-Abweichung	Minimum	Maximum	Perzentile		
									25.	50. (Median)	75.
OK	OPG nein, DVT ja	DVT: Apikale Aufhellung Kompaktadicke bukkal [mm]		121	1,4484	0,71649	0,00	3,60	1,0000	1,5000	1,9000
		DVT: Apikale Aufhellung Kompaktadicke palatinal [mm]		121	1,5591	0,67206	0,00	5,00	1,2000	1,5300	1,8550
	OPG=DVT	DVT: Apikale Aufhellung Kompaktadicke bukkal [mm]		29	1,3910	0,83389	0,00	2,40	0,8000	1,7500	2,0500
		DVT: Apikale Aufhellung Kompaktadicke lingual [mm]		29	1,3521	0,64340	0,00	2,50	1,1500	1,5000	1,7500
	OPG ja, DVT nein	DVT: Apikale Aufhellung Kompaktadicke bukkal [mm]		0							
		DVT: Apikale Aufhellung Kompaktadicke palatinal [mm]		0							

Tab. 5.23: Deskriptive Statistik Vergleich der Kompaktadicke (bukkal, palatinal) im Oberkiefer.

### **6 Diskussion**

Seit mehreren Jahren gilt die Panoramaschichtaufnahme in der zahnärztlichen Diagnostik als Goldstandard (30). Eine dimensionstreue und nicht übereinander projizierte Darstellung der anatomischen Strukturen ist mittels der Panoramaschichtaufnahme nicht möglich. Dies erschwert die Diagnose pathologischer Befunde. Die Einführung der digitalen Volumentomografie in der Zahnmedizin ermöglicht seit 1998 eine dreidimensionale Bildgebung des Kopfbereiches (2, 47). Dies macht eine exakte Lagebeurteilung und eine überlagerungsfreie Darstellung anatomischer Strukturen in der diagnostischen Zahnmedizin möglich. Somit hat die DVT ein hohes diagnostisches Potenzial. In der Literatur gibt es viele Studien, die sich mit dem Vergleich der diagnostischen Wertigkeit von DVT und OPG in mehreren zahnmedizinischen Bereichen beschäftigten (48-50).

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden die zwei bildgebenden Verfahren auf ihre diagnostische Wertigkeit bezüglich des Erkennens von apikalen Aufhellungen im Oberkiefer verglichen. Dabei konnte ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den DVT- und den Panoramaschichtaufnahmen zugunsten der DVT-Aufnahmen ermittelt werden ( $p < 0,05$ ).

#### **6.1 Methodenkritik**

##### **6.1.1 Patienten**

Sämtliche Patientenfälle stammen aus der Datenbank einer privaten Praxis in Stuttgart. Die Aufnahmen waren studienunabhängig im Praxisalltag angefertigt worden. Ein Kriterium für die Auswahl war, dass bereits zum Zeitpunkt der Studie sowohl eine Panoramaschicht- als auch eine DVT-Aufnahme vorliegen sollten. In dieser Studie wurden zuerst 351 Patienten mit einem unbestimmten Zeitunterschied zwischen den zwei Röntgenaufnahmen ausgewählt. Zunächst wurde die Zeitspanne begrenzt, sodass der Abstand zwischen zwei Aufnahmen einen Zeitraum von 90 Tagen nicht überschritt wie in der Studie von Shahbazian et al. (48). Hierbei ergab sich eine Kohorte von 199 Patienten. Die Zähne, die eine apikale Aufhellung aufwiesen, wurden vor der Auswertung nicht

aussortiert. Der Untersucher musste alle vorhandenen Zähne diagnostizieren. Somit wurde das Ziel einer realitätsnahen Untersuchung erfüllt. Dies steht im Gegensatz zu den anderen Studien, die sich ebenfalls mit dem gleichen Thema befasst haben. In der Studie von Estrela et al. wurden 888 Patienten, die mindestens einen Zahn mit einer Vorgeschichte von sekundären und primären endodontischen Infektionen hatten, ausgewählt. Insgesamt wurden 1508 betroffene Zähne für die Studie aussortiert (51). In der zweiten Studie von Nardi et al. wurden zwischen 2011 und 2016 120 Patienten mit mindestens einer nicht endodontisch behandelten periapikalen Knochenläsion ausgewählt (52).

### **6.1.2 Auswertung**

Wie bereits beschrieben, erfolgte die Auswertung unter standardisierten Bedingungen in einem Raum der Klasse 5 an einem zugelassenen Befundmonitor. Die Messungen dauerten höchstens sechs Stunden pro Tag mit einer dreißigminütigen Pause nach je zwei Stunden. Dies war weder bei Estrela et al. (51) noch bei Nardi et al. (52) der Fall. Das könnte einen Einfluss auf die Ergebnisse gehabt haben. Im Rahmen dieser Arbeit gab es nur einen Untersucher, der zuerst die Panoramaschichtaufnahmen und anschließend nach mindestens zwei Wochen die DVT-Aufnahmen auswertete. In der Studie von Estrela et al. (51) und Nardi et al. (52) gab es jeweils drei kalibrierte und erfahrene Untersucher, die die Aufnahmen auswerteten. Wäre in der vorliegenden Arbeit eine höhere Anzahl von Untersuchern einbezogen worden, hätte eine höhere statistische Aussagekraft erzielt werden können.

Eine periapikale Läsion wurde diagnostiziert, wenn eine mit dem Röntgenapex verbundene radiologische Aufhellung mindestens die doppelte Breite des Parodontallinienraums überschritt. Für die DVT-Aufnahmen wurden die gleichen Kriterien angewendet und die Läsion musste in mehr als einer der Bildebenen sichtbar sein (26, 53-55). In der Studie von Estrela et al. und Nardi et al. wurde der periapikale Index (PAI) von Østravik et al. (56) angewendet. Die apikalen Aufhellungen wurden anhand der Veränderung der Knochenstrukturen und der Größe der Läsion in fünf Scores des PAI-Systems unterteilt.

In der vorliegenden Studie wurden die Parameter Breite, Länge und Tiefe der apikalen Aufhellungen in den DVT-Aufnahmen mittels eines standardisierten und reproduzierbaren Messverfahren von Esposito et al. gemessen (57). Ziel war zu bestimmen, ob die einzelnen drei Parameter einen Einfluss auf die

Sichtbarkeit der Läsion in den OPG-Aufnahmen hatten.

Im Rahmen der Untersuchung der koronalen DVT-Abschnitte wurde die Dicke der Kompakta gemessen. Die Messung erfolgte, wie es in der Studie von Bornstein et al. beschrieben wurde (53). Das Ziel war hierbei, herauszufinden, ob die Kompaktadicke eine Rolle bei der Sichtbarkeit der apikalen Aufhellung in den 2D-Aufnahmen spielte. Die Studien in der Literatur haben diesen Parameter nicht untersucht bzw. die Dicke der Kompakta nicht gemessen (48, 51, 52, 55, 58). Es wurde meistens, wie bei Nardi et al., erwähnt, ob die Ausdehnung der Läsion die Kompakta einbezogen hat oder nur auf die Spongiosa beschränkt war (52).

### **6.2 Ergebnisdiskussion**

#### **6.2.1 Sichtbarkeit der apikalen Aufhellung in OPG und DVT**

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung gab es einen statistisch signifikanten Unterschied zwischen der DVT und der Orthopantomographie (OPT) beim Auffinden von apikalen Läsionen im Oberkiefer. Es wurden insgesamt 144 apikale Aufhellungen mittels der DVT befundet und nur 15,9 % (23) von ihnen waren in den Panoramaschichtaufnahmen sichtbar. Diese Werte stimmen mit den Ergebnissen von Estrela et al. (51) und Shahbazian et al. (48) annähernd überein, die auf 27,8 % und 16 % kamen.

In der Studie von Nardi et al. (52) wurden im Oberkiefer im Frontzahn-, Prämolaren- und Molarenbereich 15 %, 35 % und 20 % der apikalen Aufhellungen im OPG befundet. Die Werte stimmen mit den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchung nur im Frontzahn- (13,6 %) und Molarenbereich (19 %) annähernd überein. Im Prämolarenbereich wurden 14,2 % der apikalen Aufhellungen in den Panoramaschichtaufnahmen erkannt. Trotz der Luft in der Kieferhöhle, trotz des Vorhandenseins von mehreren Wurzeln, die nicht orthogonal zum Röntgenstrahl standen und trotz der wellenförmigen Morphologie des Kieferhöhlenbodens in enger Verbindung mit der Wurzelspitze, wurden die apikalen Läsionen im Molarenbereich in der vorliegenden Arbeit besser als die in anderen Zahnbereichen befundet (52). Es wurde in verschiedenen Studien ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem pathologischen Zahnbefund und der Verdickung der Schneider'schen Membran nachgewiesen (48, 59, 60). Eine Verdickung der Membran in der Kieferhöhle könnte den Untersucher beeinflusst

haben und die verbesserte Diagnostik der apikalen Läsionen im Molarbereich erklären.

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung zeigen, dass eine Unterdiagnose bzw. falsche negative Diagnose der apikalen Aufhellung in den OPG-Aufnahmen hochwahrscheinlich ist. Dies bestätigen auch die Ergebnisse der vergleichbaren Studien (48, 51, 52).

### **6.2.2 Einfluss der Höhe, Breite und Tiefe auf die Sichtbarkeit der apikalen Aufhellung im Oberkiefer**

Im Rahmen dieser Arbeit konnte ein signifikanter Unterschied ( $p = 0,018$ ) zwischen der Breite der apikalen Aufhellungen, die nur in der DVT sichtbar waren, und der Breite der apikalen Aufhellungen die im OPG und in der DVT sichtbar waren, gezeigt werden. Dies betraf nicht die Höhe und die Tiefe. Die Breite der erkannten apikalen Läsionen in den Panoramaschichtaufnahmen und in der DVT hatte einen Mittelwert von 4,19 ( $\pm 3,00$ ) mm und die Breite der apikalen Aufhellungen, die nur in der DVT erkannt wurden, hatte einen Mittelwert von 2,81 ( $\pm 1,55$ ) mm. Diese Ergebnisse zeigen, dass die Breite einen Einfluss auf die Sichtbarkeit der apikalen Aufhellung in den OPG-Aufnahmen hat.

Nardi et al. fanden in ihrer Arbeit heraus, dass die OPG eine geringere Sensitivität beim Auffinden von kleineren Läsionen (2,0–4,5 mm) im Vergleich zu großen Läsionen (4,6–7,0 mm) hat. Es ist hier zu betonen, dass Nardi et al. mit dem PAI-System die apikalen Aufhellungen unterteilten. Die Dimensionen der apikalen Läsionen wurden aufgezeichnet, wobei die größte in einer der drei Ebenen beobachtete Messung berücksichtigt wurde (52). Zusammenfassend kann man sagen, dass aus der Studie von Nardi et al. nicht eindeutig hervorgeht, ob die Breite, die Tiefe oder die Höhe einen signifikanten Einfluss auf die Sichtbarkeit der apikalen Läsionen hat.

### **6.2.3 Einfluss der Kompaktadicke auf die Sichtbarkeit der apikalen Aufhellung im Oberkiefer**

In der Literatur haben sich mehrere Studien mit dem Problem der Visualisierung von apikalen Läsionen in Einzelbildaufnahmen beschäftigt. In einer systematischen Überprüfung erwähnten Wu et al., dass periapikale Läsionen innerhalb der Spongiosa durch periapikale Röntgenaufnahmen nicht erkannt

werden können und dass die Sichtbarkeit der apikalen Läsion von der Kompaktadicke abhängig ist (44). Mehrere Autoren, wie Bender & Seltzer (42, 43), Schwartz & Foster (61) und Radaman & Mitchell (62), haben nachgewiesen, dass die apikalen Läsionen, die nur auf die Spongiosa beschränkt und nicht in die Kompakta eingedrungen sind, mittels Einzelbildaufnahmen nicht nachgewiesen werden können. Andere Autoren wie Patel et al. (58), Barbat & Messer (63), Marmary et al. (64) haben die apikalen Aufhellungen, die nur auf die Spongiosa beschränkt waren, mittels der intraoralen Einzelbildaufnahmen nachweisen können. Im Gegensatz dazu legten Nardi et al. ihren Fokus auf die Panoramaschichtaufnahmen. Sie fanden heraus, dass 0 % und 23,1 % der kleinen und großen Läsionen im Oberkiefer, die nur die Spongiosa betrafen, im OPG sichtbar waren (52).

Anders als die zuvor erwähnten Studien befasste sich die vorliegende Arbeit mit der Messung der Kompaktadicke in den verschiedenen Zahnregionen, die sich auf der gleichen Höhe der apikalen Aufhellung befand. Damit sollte der Einfluss auf die Sichtbarkeit der apikalen Läsion in der OPG-Aufnahme untersucht werden. Hier ließ sich in der Untersuchung kein signifikanter Zusammenhang zwischen der Sichtbarkeit der apikalen Aufhellung und der Dicke der Kompakta feststellen. Laut den Ergebnissen dieser Studie ist somit festzustellen, dass die Kompaktadicke keinen Einfluss auf die Sichtbarkeit der apikalen Aufhellung im Oberkiefer hat.

## **7 Schlussfolgerung, klinische Relevanz und Ausblick**

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit vermögen eine Aussage über die Erkennbarkeit der apikalen Aufhellung in zweidimensionalen und dreidimensionalen Röntgenaufnahmen im Oberkiefer zu geben. Sie validieren die klinischen Studien, die die DVT als Goldstandard für die Diagnose der apikalen Aufhellung bezeichnet haben (26, 51, 55, 58). Es wurde in dieser Arbeit deutlich bewiesen, dass die Gefahr einer Unterdiagnose mittels der Panoramaschichtaufnahmen hoch ist. Um die apikalen Läsionen im Praxisalltag besser zu diagnostizieren, erscheint es zunächst sinnvoll, der DVT den Vorzug zu geben. Dennoch müssen auch die ethischen Gesichtspunkte berücksichtigt werden. Den Patienten gilt es, im Sinne des ALARA-Prinzips (as low as reasonably achievable) (65) zu schützen. Darüber hinaus muss laut § 23 der Röntgenverordnung immer der gesundheitliche Nutzwert gegenüber dem Strahlenrisiko immer überwiegen (66). In diesem Fall bleibt die DVT-Technologie eine Ergänzung zur konventionellen Röntgentechnik.

Laut den Ergebnissen dieser Studie hat die Dicke der Kompakta keinen maßgeblichen Einfluss auf die Sichtbarkeit der apikalen Läsion gezeigt. Ziel nachfolgender Arbeiten sollte es sein, weitergehende Untersuchungen bezüglich des Einflusses der Kieferbreite auf die Sichtbarkeit der apikalen Aufhellungen durchzuführen, um die bisherigen wissenschaftlichen Erkenntnisse zu untermauern.

## 8 Zusammenfassung

Ziel dieser Arbeit war es, eine vergleichende Bewertung der Erkennbarkeit der apikalen Aufhellung in den dreidimensionalen DVT-Aufnahmen und den konventionellen Panoramaschichtaufnahmen im Oberkiefer unter den folgenden Gesichtspunkten vorzunehmen:

Werden die apikalen Aufhellungen sowohl bei zwei- als auch bei dreidimensionalen Aufnahmen gleichermaßen erkannt?

Spielt die Stärke der Kompakta eine Rolle in der radiologischen Diagnose einer apikalen Aufhellung?

Zu diesem Zweck wurden 351 Patienten aus der Datenbank einer privaten Praxis in Stuttgart ausgewählt. Davon erfüllten 199 Patienten die Einschlusskriterien. Es wurden insgesamt 2223 Zähne durch den Untersucher ausgewertet. Es konnten 144 apikale Aufhellungen mittels der DVT diagnostiziert werden, wovon lediglich 23 (15,9 %) mittels der OPT erkannt wurden. Die Ergebnisse dieser Studie zeigen insgesamt einen signifikanten Unterschied zwischen den DVT- und den OPG-Befunden hinsichtlich der Sichtbarkeit der apikalen Aufhellungen im Oberkiefer. Andere Parameter wie die Tiefe, die Breite und die Länge der apikalen Aufhellungen wurden ebenfalls untersucht. Die Messungen erfolgten mittels der Software i-CatVision 2008 für die DVT-Aufnahmen und mittels DBSWIN von Dürr Dental für die OPG-Aufnahmen. Es ergab sich daraus, dass die apikalen Läsionen, die im OPG und in der DVT sichtbar waren, signifikant größere Breiten hatten als die, die nur in der DVT sichtbar waren. Es zeigte sich hierbei ein signifikanter Unterschied (U-Test,  $p = 0,018$ ). Dies weist daraufhin, dass insbesondere schmale apikale Läsionen nicht sicher in OPG-Aufnahmen diagnostiziert werden, während sie in der DVT nachweisbar sind. Des Weiteren wurde in der Studie die Kompaktadicke gemessen. Es bestand kein signifikanter Zusammenhang zwischen der Sichtbarkeit der apikalen Aufhellung und der Kompaktadicke. Zusammenfassend lässt sich anhand der Ergebnisse der vorliegenden Arbeit feststellen, dass die Kompaktadicke keine Rolle bei der Sichtbarkeit der apikalen Läsionen spielt und dass die OPT im Nachweis apikaler Läsionen der DVT eindeutig unterlegen ist. Es wurden dadurch nur 19 % der apikalen



Aufhellungen diagnostiziert und damit ist eine Unterdiagnose sehr wahrscheinlich.

Schlussfolgernd scheint die DVT ein zuverlässiges diagnostisches Mittel bezüglich des Erkennens der apikalen Läsionen zu sein. Mehrere Studien bezeichnen die DVT als Goldstandard und ziehen sie für die Diagnose der apikalen Aufhellungen den konventionellen Röntgenbildern vor. Dieses Vorgehen widerspricht jedoch dem Bestreben nach einer möglichst geringen Strahlenexposition gemäß dem ALARA-Prinzips. Damit bleibt die DVT derzeit eine Ergänzung zur konventionellen Bildgebung.

## 9 Summary

This research study is a comparative assessment of the recognisability of the apical lesions in the three-dimensional digital volume tomography (DVT) images and conventional panoramic images of the upper jaw and seeks to answer the following questions:

Is apical radiolucency recognized equally in both two-dimensional and three-dimensional images?

Does the thickness of cortical bone play a role in the radiological diagnosis of apical lesions?

To achieve the aim of the dissertation, 351 patients were selected from the database of a private practice in Stuttgart. Of these patients, 199 met the criteria that were set for inclusion. A total of 2,223 teeth were evaluated by the examiner: 144 instances of apical radiolucency could be diagnosed using DVT images, of which only 23 (15,9 %) were detected by orthopantomography (OPT). Overall, the results of this study reveal a significant difference between the DVT and orthopantomogramm (OPG) findings in terms of visibility of the maxillary apical radiolucency. Other parameters such as the depth, width and length of the apical lesions were also examined. The measurements were taken using the software i-CatVision 2008 for the DVT recordings and DBSWIN from Dürr Dental for the OPG recordings. The apical lesions visible in the OPG and the DVT scans had significantly greater widths (U-test,  $p = 0,018$ ) than those visible only in the DVT scans only. This indicates that narrow apical lesions are not correctly diagnosed using OPG scans, while they are detectable in the DVT scans. Furthermore, the cortex bone thickness was measured in the study. There was no significant correlation between the visibility of the apical lesions and the cortex bone thickness.

In summary, the results of the present study indicate that the cortex bone thickness does not play any role in the visibility of the apical lesions. Orthopantomography is clearly inferior to DVT scans in the detection of apical lesions. In fact, OPG scans could diagnose only 19 % of the apical radiolucency and thus an underdiagnosis is very likely.

In conclusion, DVT appears to be a reliable diagnostic tool for detecting apical lesions. Several studies refer to DVT as the gold standard and prefer it to conventional x-rays for the diagnosis of apical radiolucency. However, this approach challenges the desire for the lowest possible radiation exposure according to the as-low-as-reasonably-achievable (ALARA) principle and thus DVT is currently used as an addition to conventional imaging.

## 10 Literaturverzeichnis

1. Pasler FA. Zahnärztliche Radiologie. In Pasler FA, ed. *Zahnärztliche Radiologie*. 5th ed. Stuttgart: Thieme Verlag; 2008:
2. Mozzo P, Procacci C, Tacconi A, Martini PT, Andreis IA. A new volumetric CT machine for dental imaging based on the cone-beam technique: preliminary results. *Eur Radiol*. 1998;8(9):1558-64.
3. Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde. S2k-Leitlinie: Dentale digitale Volumentomographie. Düsseldorf: Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde; 2013.  
[http://www.dgzmk.de/uploads/tx\\_szdgzmkdocuments083-005l\\_S2k\\_Dentale\\_Volumentomographie\\_2013-10.pdf](http://www.dgzmk.de/uploads/tx_szdgzmkdocuments083-005l_S2k_Dentale_Volumentomographie_2013-10.pdf). Accessed September 05, 2017.
4. Schulze R, Haßfeld S, Schulze D. *Leitlinien der deutschen Gesellschaft für Zahn Mund – und Kieferheilkunde. Dentale Volumentomographie*. Berlin: AWMF; 2009.  
[https://www.dgzmk.de/uploads/tx\\_szdgzmkdocuments/S1\\_Empfehlung\\_Dentale\\_Volumentomographie.pdf](https://www.dgzmk.de/uploads/tx_szdgzmkdocuments/S1_Empfehlung_Dentale_Volumentomographie.pdf). Accessed September 04, 2017.
5. Noujeim M, Prihoda T, Langlais R, Nummikoski P. Evaluation of high-resolution cone beam computed tomography in the detection of simulated interradicular bone lesions. *Dentomaxillofac Radiol*. 2009;38(3):156-62.
6. Mol A, Balasundaram A. In vitro cone beam computed tomography imaging of periodontal bone. *Dentomaxillofac Radiol*. 2008;37(6):319-24.
7. Kunkel M CR, Haßfeld S, Werkmeister R, Smeets R, Bornes G, Brunsmann F, Frank M, Beck J. S2k-Leitlinie: Operative Entfernung von Weisheitszähnen. Düsseldorf: Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde; 2013.  
[http://www.dgzmk.de/uploads/tx\\_szdgzmkdocuments/Leitlinie\\_Weisheitszahn\\_S2K\\_2013\\_DGZMK.pdf](http://www.dgzmk.de/uploads/tx_szdgzmkdocuments/Leitlinie_Weisheitszahn_S2K_2013_DGZMK.pdf). Accessed September 06, 2017.

8. Neugebauer J, Shirani R, Mischkowski RA, Ritter L, Scheer M, Keeve E, et al. Comparison of cone-beam volumetric imaging and combined plain radiographs for localization of the mandibular canal before removal of impacted lower third molars. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2008;105(5):633-42.
9. Mengel R, Kruse B, Flores-de-Jacoby L. Digital volume tomography in the diagnosis of peri-implant defects: an in vitro study on native pig mandibles. *J Periodontol.* 2006;77(7):1234-41.
10. Holberg C, Steinhauser S, Geis P, Rudzki-Janson I. Cone-beam computed tomography in orthodontics: benefits and limitations. *J Orofac Orthop.* 2005;66(6):434-44.
11. Mussig E, Wortche R, Lux CJ. Indications for digital volume tomography in orthodontics. *J Orofac Orthop.* 2005;66(3):241-9.
12. Edlund M, Nair MK, Nair UP. Detection of vertical root fractures by using cone-beam computed tomography: a clinical study. *J Endod.* 2011;37(6):768-72.
13. Hassan B, Metska ME, Ozok AR, van der Stelt P, Wesselink PR. Detection of vertical root fractures in endodontically treated teeth by a cone beam computed tomography scan. *J Endod.* 2009;35(5):719-22.
14. Hannig C, Dullin C, Hulsmann M, Heidrich G. Three-dimensional, non-destructive visualization of vertical root fractures using flat panel volume detector computer tomography: an ex vivo in vitro case report. *Int Endod J.* 2005;38(12):904-13.
15. Durack C, Patel S, Davies J, Wilson R, Mannocci F. Diagnostic accuracy of small volume cone beam computed tomography and intraoral periapical radiography for the detection of simulated external inflammatory root resorption. *Int Endod J.* 2011;44(2):136-47.

16. Bhuva B, Barnes JJ, Patel S. The use of limited cone beam computed tomography in the diagnosis and management of a case of perforating internal root resorption. *Int Endod J.* 2011;44(8):777-86.
17. Cohenca N, Simon JH, Mathur A, Malfaz JM. Clinical indications for digital imaging in dento-alveolar trauma. Part 2: root resorption. *Dent Traumatol.* 2007;23(2):105-13.
18. Shemesh H, Cristescu RC, Wesselink PR, Wu MK. The use of cone-beam computed tomography and digital periapical radiographs to diagnose root perforations. *J Endod.* 2011;37(4):513-6.
19. Cuje J, Bargholz C, Hulsmann M. The outcome of retained instrument removal in a specialist practice. *Int Endod J.* 2010;43(7):545-54.
20. Patel S, Dawood A, Ford TP, Whaites E. The potential applications of cone beam computed tomography in the management of endodontic problems. *Int Endod J.* 2007;40(10):818-30.
21. Scarfe WC, Levin MD, Gane D, Farman AG. Use of cone beam computed tomography in endodontics. *Int J Dent.* 2010;2009:634567.
22. Matherne RP, Angelopoulos C, Kulild JC, Tira D. Use of cone-beam computed tomography to identify root canal systems in vitro. *J Endod.* 2008;34(1):87-9.
23. Cohenca N, Simon JH, Roges R, Morag Y, Malfaz JM. Clinical indications for digital imaging in dento-alveolar trauma. Part 1: traumatic injuries. *Dent Traumatol.* 2007;23(2):95-104.
24. da Silveira HL, Silveira HE, Liedke GS, Lermen CA, Dos Santos RB, de Figueiredo JA. Diagnostic ability of computed tomography to evaluate external root resorption in vitro. *Dentomaxillofac Radiol.* 2007;36(7):393-6.
25. Yoshioka T, Kikuchi I, Adorno CG, Suda H. Periapical bone defects of root filled teeth with persistent lesions evaluated by cone-beam computed tomography. *Int Endod J.* 2011;44(3):245-52.

26. Lofthag-Hansen S, Huuonen S, Grondahl K, Grondahl HG. Limited cone-beam CT and intraoral radiography for the diagnosis of periapical pathology. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2007;103(1):114-9.
27. Lennon S, Patel S, Foschi F, Wilson R, Davies J, Mannocci F. Diagnostic accuracy of limited-volume cone-beam computed tomography in the detection of periapical bone loss: 360 degrees scans versus 180 degrees scans. *Int Endod J.* 2011;44(12):1118-27.
28. De Paula-Silva FW, Wu MK, Leonardo MR, da Silva LA, Wesselink PR. Accuracy of periapical radiography and cone-beam computed tomography scans in diagnosing apical periodontitis using histopathological findings as a gold standard. *J Endod.* 2009;35(7):1009-12.
29. Fuhrmann A. Zahnärztliche Radiologie. In Fuhrmann A, ed. *Zahnärztliche Radiologie.* Stuttgart: Thieme Verlag; 2013:
30. Rother U. Moderne bildgebende Diagnostik in der Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde. In Elsevier GmbH UFV, ed. *Moderne bildgebende Diagnostik in der Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde.* 2nd ed. München: Elsevier GmbH; 2006:47.
31. Paatero YV. Orthoradial jaw pantomography. *Ann Med Intern Fenn Suppl.* 1959;48(28):222-7.
32. Paatero YV. Pantomography and orthopantomography. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1961;(14):947-53.
33. Hayakawa Y, Wakoh M, Fujimori H, Ohta Y, Kuroyanagi K. Morphometric analysis of image distortion with rotational panoramic radiography. *Bull Tokyo Dent Coll.* 1993;34(2):51-8.
34. Lecomber AR, Faulkner K. Dose reduction in panoramic radiography. *Dentomaxillofac Radiol.* 1993;22(2):69-73.

35. Martinez-Cruz S, Manson-Hing LR. Comparison of focal trough dimensions and form by resolution measurements in panoramic radiography. *J Am Dent Assoc.* 1987;114(5):639-42.
36. Schulze R. Dentale Volumentomographie (DVT) - Grundlagen. Mainz: LowDoseDVT Projekt; 2009.  
<http://www.lowdosedvt.de/media/document/dvtGrundlagen.pdf>. Accessed October 10, 2017.
37. Baumann A, Wiemer K, Staribratova-Reister K, El-Teter N. Die digitale Volumentomographie klinisch unterschätzt und wirtschaftlich überschätzt? *ZMK.* 2008;(4):214-224.
38. Xiao S, Bresler Y, Munson DC. Fast Feldkamp algorithm for cone-beam computer tomography. *IEEE International Conference in Image Processing.* 2003;2:819-22.
39. Neugebauer J, Ritter L, Scheer M, Mischkowski RA, Zöller JE. Dreidimensionale Bildgebende Verfahren in der zahnärztlichen Röntgendiagnostik. *Bayerisches Zahnärzteblatt.* 2008;50-6.
40. Hülsmann M. *Endodontie.* 1st ed. Stuttgart: Thieme Verlag; 2008;45-43.
41. Medeco. Dentalatlas Endodontie. <http://www.medeco.de/zahnheilkunde-dentalatlas/endodontie/diagnose-und-einteilung-von-pulpaerkrankungen/>. Accessed November 04, 2017.
42. Bender IB, Seltzer S. Roentgenographic and direct observation of experimental lesions in bone: I. 1961. *J Endod.* 2003;29(11):702-6.
43. Bender IB, Seltzer S. Roentgenographic and direct observation of experimental lesions in bone: II. 1961. *J Endod.* 2003;29(11):707-12.
44. Wu M-K, Shemesh H, Wesselink PR. Limitations of previously published systematic reviews evaluating the outcome of endodontic treatment. *International Endodontic Journal.* 2009;42(8):656-66.



45. Sirona D. DVT Fachkurse. <https://www1.dentsplysirona.com/de-de/loesungen/themen/fachkurse.html>. Accessed January 11, 2018.
46. Zoubie S. *Zur operativen Versorgung komplexer distaler Radiusfrakturen mit einer winkelstabilen dorsalen Plattenosteosynthese* [dissertation]. Berlin: Universitätsmedizin Berlin; 2014.
47. Arai Y TE, Iwai K, Hashimoto K, Shinoda K. Elopment of a compact computed tomographic apparatus for dental use. *Dentomaxillofac Radiol*. 1999;(28):245-8.
48. Shahbazian M, Vandewoude C, Wyatt J, Jacobs R. Comparative assessment of panoramic radiography and CBCT imaging for radiodiagnostics in the posterior maxilla. *Clin Oral Investig*. 2014;18(1):293-300.
49. Oenning AC, Neves FS, Alencar PN, Prado RF, Groppo FC, Haiter-Neto F. External root resorption of the second molar associated with third molar impaction: comparison of panoramic radiography and cone beam computed tomography. *J Oral Maxillofac Surg*. 2014;72(8):1444-55.
50. Dudic A, Giannopoulou C, Leuzinger M, Kiliaridis S. Detection of apical root resorption after orthodontic treatment by using panoramic radiography and cone-beam computed tomography of super-high resolution. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2009;135(4):434-7.
51. Estrela C, Bueno MR, Leles CR, Azevedo B, Azevedo JR. Accuracy of cone beam computed tomography and panoramic and periapical radiography for detection of apical periodontitis. *J Endod*. 2008;34(3):273-9.
52. Nardi C, Calistri L, Pradella S, Desideri I, Lorini C, Colagrande S. Accuracy of orthopantomography for apical periodontitis without endodontic treatment. *J Endod*. 2017;43(10):1640-6.
53. Bornstein MM, Lauber R, Sendi P, von Arx T. Comparison of periapical radiography and limited cone-beam computed tomography in mandibular molars for analysis of anatomical landmarks before apical surgery. *J Endod*.

2011;37(2):151-7.

54. Liang YH, Jiang L, Gao XJ, Shemesh H, Wesselink PR, Wu MK. Detection and measurement of artificial periapical lesions by cone-beam computed tomography. *Int Endod J*. 2014;47(4):332-8.

55. Low KM, Dula K, Burgin W, von Arx T. Comparison of periapical radiography and limited cone-beam tomography in posterior maxillary teeth referred for apical surgery. *J Endod*. 2008;34(5):557-62.

56. Orstavik D, Kerekes K, Eriksen HM. The periapical index: a scoring system for radiographic assessment of apical periodontitis. *Endod Dent Traumatol*. 1986;2(1):20-34.

57. Esposito S, Cardaropoli M, Cotti E. A suggested technique for the application of the cone beam computed tomography periapical index. *Dentomaxillofac Radiol*. 2011;40(8):506-12.

58. Patel S, Dawood A, Mannocci F, Wilson R, Pitt Ford T. Detection of periapical bone defects in human jaws using cone beam computed tomography and intraoral radiography. *Int Endod J*. 2009;42(6):507-15.

59. Vallo J, Suominen-Taipale L, Huumonen S, Soikkonen K, Norblad A. Prevalence of mucosal abnormalities of the maxillary sinus and their relationship to dental disease in panoramic radiography: results from the Health 2000 Health Examination Survey. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2010;109(3):80-7.

60. Abrahams JJ, Glassberg RM. Dental disease: a frequently unrecognized cause of maxillary sinus abnormalities? *AJR Am J Roentgenol*. 1996;166(5):1219-23.

61. Schwartz SF, Foster JK, Jr. Roentgenographic interpretation of experimentally produced bony lesions. I. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*. 1971;32(4):606-12.

62. Ramadan AB, Mitchell DF. A roentgenographic study of experimental bone destruction. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1962;(15):934-43.
63. Barbat J, Messer HH. Detectability of artificial periapical lesions using direct digital and conventional radiography. *J Endod.* 1998;24(12):837-42.
64. Marmary Y, Koter T, Heling I. The effect of periapical rarefying osteitis on cortical and cancellous bone. A study comparing conventional radiographs with computed tomography. *Dentomaxillofac Radiol.* 1999;28(5):267-71.
65. Moores BM, Regulla D. A review of the scientific basis for radiation protection of the patient. *Radiat Prot Dosimetry.* 2011;147(1-2):22-9.
66. Landesärztekammer Rheinland-Pfalz. Auszug aus: Verordnung über den Schutz vor Schäden durch Röntgenstrahlen ("Röntgenverordnung - RöV"). Mainz: Landesärztekammer Rheinland-Pfalz; 2011. <https://www.laek-rlp.de/downloads/ausz.roev.pdf>. Accessed June 10, 2018.

## 11 Anhang

### LANDESÄRZTEKAMMER BADEN-WÜRTTEMBERG

KÖRPERSCHAFT DES ÖFFENTLICHEN RECHTS

ETHIK-KOMMISSION



Landesärztekammer Baden-Württemberg • Postfach 700361 • 70573 Stuttgart

16.02.2017

Herrn Dr. med. dent. Ali-Reza Ketabi  
Epplestr. 29 a  
70597 Stuttgart

Ansprechpartner/in:  
thomas.karpatsis@laek-bw.de  
Tel.: 0711 76989-92  
Fax: 0711 76989-856

**Internes Aktenzeichen:** F-2014-006-z  
**Titel:** Retrospektiver Vergleich zwischen dentaler Volumetomographie und konventioneller Röntgenaufnahmen  
**Antrag vom:** 10.01.2014

Sehr geehrter Herr Dr. Ketabi,

hiermit bestätigen wir den Eingang Ihrer E-Mail vom 14.02.2014 mit der Meldung, dass die beiden Zahnärzte Frau Angeliki Zelka und Herr Mohamed Badis Nabli an der o.g. Studie teilnehmen.

Die berufsrechtliche Beratung vom 04.02.2014 hat für die beiden o.g. Ärzte ebenfalls Gültigkeit.

Allgemeiner Hinweis:

- Der Ethik-Kommission sind auch nachträgliche Änderungen der Studienunterlagen vorzulegen. Wir möchten Sie bitten, für eine raschere Bearbeitung jede einzelne Änderung im Text deutlich zu markieren (gestrichener Text wird durchgestrichen, ergänzter Text wird unterstrichen).

Mit freundlichen Grüßen

Dr. med. G. Hook  
Stellvertretender Vorsitzender der Ethik-Kommission

## Schriftliche Erklärung

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die dem Fachbereich Medizin der Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main zur Promotionsprüfung eingereichte Dissertation mit dem Titel

Vergleich der Befunde apikaler Läsionen zwischen DVT- und OPTG-Aufnahmen.

im Zentrum der Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde (Carolinum), Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik unter Betreuung und Anleitung von Herrn Prof. Dr. Hans-Christoph Lauer mit Unterstützung durch Herrn Dr. Ali-Reza Ketabi ohne sonstige Hilfe selbst durchgeführt und bei der Abfassung der Arbeit keine anderen als die in der Dissertation angeführten Hilfsmittel benutzt habe. Darüber hinaus versichere ich, nicht die Hilfe einer kommerziellen Promotionsvermittlung in Anspruch genommen zu haben.

Ich habe bisher an keiner in- oder ausländischen Universität ein Gesuch um Zulassung zur Promotion eingereicht. Die vorliegende Arbeit wurde bisher nicht als Dissertation eingereicht.

---

(Ort, Datum)

---

(Unterschrift)