

**Untersuchungen dreidimensionaler DVT-Datensätze im Vergleich mit  
zweidimensionalen OPTG-Aufnahmen in der zahnmedizinischen  
Routine-Diagnostik  
– eine retrospektive Studie –**

Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades  
der Hohen Medizinischen Fakultät  
der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität  
Bonn

Christina Otto  
aus Kirchen

2012

Angefertigt mit Genehmigung  
der Medizinischen Fakultät der Universität Bonn

1. Gutachter: Priv.-Doz. Dr. med. dent. Ernst-Heinrich Helfgen
2. Gutachter: Prof. Dr. med. dent. Matthias Frentzen

3. Tag der Mündlichen Prüfung: 10.10.2012

Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde  
der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn  
Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik, Propädeutik und Werkstoffwissenschaften  
Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. dent. Helmut Stark

Gewidmet meiner Patentante Dr. Elisabeth Otto



## Inhaltsverzeichnis

<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>7</b>
<b>1. Einleitung</b> .....	<b>8</b>
1.1 Grundlagen der Orthopantomographie .....	10
1.1.1 Historischer Überblick.....	10
1.1.2 Funktionsweise.....	11
1.2 Grundlagen der Computertomographie .....	14
1.2.1 Historischer Überblick .....	14
1.2.2 Funktionsweise .....	15
1.3 Grundlagen der digitalen dentalen Volumentomographie.....	17
1.3.1 Historischer Überblick .....	17
1.3.2 Funktionsweise .....	18
1.4 GALILEOS Comfort von Sirona .....	22
<b>2. Zielsetzung und Arbeitshypothese</b> .....	<b>24</b>
<b>3. Material und Methode</b> .....	<b>25</b>
3.1 Patienten .....	25
3.2 Material DVT.....	26
3.3 Material OPTG.....	29
3.4 Datenerfassung und statistische Analyse .....	30
<b>4. Ergebnisse</b> .....	<b>35</b>
4.1 Erklärung zum Aufbau des Ergebnisteils .....	35
4.2 Beurteilung von Komplikationen vor Molarenextraktion im Oberkiefer .....	36
4.3 Beurteilung einer Weisheitszahnregion im Unterkiefer .....	40
4.4 Erkennen von Pathologien am rechten Kondylus .....	44
4.5 Erkennen von Pathologien der Kieferhöhle .....	48

4.6 Beurteilung von parodontalem Knochenabbau.....	52
4.7 Beurteilung von konservierenden Restaurationen .....	56
4.8 Artefakte .....	61
4.9 Zusammenfassung der Ergebnisse .....	63
<b>5. Diskussion .....</b>	<b>66</b>
5.1 Diskussion Material und Methode.....	67
5.1.1 Patienten.....	67
5.1.2 Methode .....	68
5.2 Diskussion der Ergebnisse .....	69
<b>6. Schlussfolgerung.....</b>	<b>80</b>
<b>7. Zusammenfassung .....</b>	<b>82</b>
<b>8. Anhang.....</b>	<b>83</b>
8.1 Tabellen.....	83
8.2 Bildquellenverzeichnis .....	89
8.3 Abbildungen.....	90
<b>9. Literaturverzeichnis .....</b>	<b>92</b>
<b>10. Danksagung.....</b>	<b>103</b>

## Abkürzungsverzeichnis

ALARA	As low as reasonable achievable
CCD	Charged-Coupled Device
CE	graphisches Symbol der Europäischen Kommission
CT	Computertomographie
DICOM	Digital Imaging and Communications in Medicine (Dateiformat)
DGZMK	Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
DVT	digitale dentale Volumentomographie / digitales dentales Volumentomogramm
erf	erfahren
GB	Giga Byte
HU	Hounsfield Units
ICRP	International Commission on Radiological Protection
kV	Kilovolt
mA	Milliampere
MDCT	Multidetektor Computertomographie
MRT	Magnetresonanztomographie
MW	Mittelwert
OK	Oberkiefer
OPTG	Orthopantomographie / Orthopantomogramm
PSA	Panoramaschichtaufnahme
SD	Standardabweichung
Sv	Sievert
UK	Unterkiefer
unerf	unerfahren
VGA	Video Graphics Array, ein Grafikkartenstandard
6er	oberer erster Molar
8er	Weisheitszahn

## 1. Einleitung

Im Jahre 1895 entdeckte der deutsche Physiker Wilhelm Conrad Röntgen während verschiedener Experimente mit einer Kathodenstrahlröhre die von ihm als X- und später nach ihm selbst benannten Röntgenstrahlen. Der Nachweis dieser elektromagnetischen Strahlung, welche in der Lage ist Materie zu durchdringen, erbrachte Röntgen den Nobelpreis im Jahre 1901. Bis heute gehört die Entdeckung und Weiterentwicklung der Röntgentechnik zu den bahnbrechenden Ereignissen der Wissenschaft und stellt eine unverzichtbare Größe der Diagnostik in allen Fachbereichen der Medizin dar (Pasler, 2008; Röntgen, 1896).

Bereits gegen Ende des 19. Jahrhunderts fand die Röntgentechnologie erste Anwendung in der Zahnmedizin (Rollins, 1896). Heute beläuft sich die zahnmedizinische Röntgendiagnostik in Deutschland auf etwa 0,6 Röntgenuntersuchungen pro Einwohner und Jahr, was ca. einem Drittel (37%) der Gesamtzahl aller Röntgenuntersuchungen entspricht (Bundesamt für Strahlenschutz, 2009). Dabei stellen die zweidimensionale Orthopantomographie, welche eine Gesamtübersicht beider Kiefer des Patienten wiedergibt, und der einzelne Zahnfilm für detailliertere Abbildungen einzelner zahntragender Bereiche seit Jahrzehnten den Goldstandard in der zahnmedizinischen Diagnostik dar (Mischkowski et al., 2007; Rother, 2006). Trotz stetiger Weiterentwicklung und Verbesserung dieser konventionellen Techniken – z. B. durch digitale Aufnahme- und Betrachtungsverfahren – lassen sich bestimmte Nachteile nicht komplett eliminieren. So behindern bei der konventionellen Orthopantomographie (auch Panoramaschichtaufnahme genannt) häufig mitabgebildete Nachbarstrukturen – wie bspw. die Wirbelsäule – die Diagnosemöglichkeit. Sowohl lufthaltige Räume des pneumatisierten Schädels als auch Weichgewebsstrukturen führen zu Additions- und Subtraktionseffekten in der Röntgenaufnahme. Die Erklärung dafür ist, dass Körperstrukturen mit unterschiedlichen Dichten, welche sich im Strahlengang überlagern, zu einer verstärkten oder abgeschwächten Darstellung der eigentlichen Schicht führen (Pasler, 2008). Die zweidimensionale Ansicht bietet zudem keine ausreichende Aussage über die genaue Lage einzelner Strukturen im Raum, was für bestimmte Fragestellungen eine zusätzliche Aufnahme

in einer zweiten Ebene erforderlich macht. Viele dieser Einschränkungen in der konventionellen Röntgentechnik lassen sich heute durch computergestützte dreidimensionale (3D-) Bildgebungsverfahren vermeiden (Horch, 2003). Hier gewannen in der Vergangenheit die Computertomographie (CT) und die Magnetresonanztomographie (MRT) bei der Diagnostik im Kopf-Halsbereich immer mehr an Bedeutung (Lippold und Ruppin, 2008; Nakagawa et al., 2002).

Während die MRT vorwiegend Weichgewebe abbildet, stellt die CT eine sehr kosten- und strahlenintensive Möglichkeit zur Darstellung von Hartgewebsstrukturen dar. Dem gegenüber steht seit seiner Einführung 1998 im zahnmedizinischen Sektor die digitale dentale Volumentomographie (DVT). Diese neue Entwicklung umgeht die diagnostischen Einschränkungen der konventionellen Aufnahmetechniken und liefert eine verzerrungsfreie, räumliche Abbildung anatomischer Strukturen der Mundhöhle und des Schädels. Ein weiterer Vorteil ist die reduzierte Strahlendosis im Vergleich zu den CT-Systemen (Ludlow et al., 2006; Neugebauer et al., 2007; Zöller, 2007b).

Seit 1998/99 steht die DVT zur Erzeugung dreidimensionaler Datensätze im Kopfbereich in der zahnmedizinischen Diagnostik zur Verfügung (Arai et al., 1999; Mozzo et al., 1998). Seitdem wurde diese Technologie stetig weiterentwickelt, sodass zum heutigen Zeitpunkt zahlreiche Systeme auf dem deutschen Markt zur Verfügung stehen (Bumann, 2010). Das Indikationsspektrum einer DVT-Aufnahme ist vielfältig und beinhaltet unter anderem die genaue Lokalisation verlagerter Zähne, die präoperative Implantatplanung und die Kiefergelenkdiagnostik (Heurich et al., 2002; Nakagawa et al., 2002; Ritter et al., 2007b; Tsiklakis et al., 2004; Zöller, 2007b). Die Darstellungen knöcherner Anteile sowohl des Ober- und Unterkiefers als auch des Mittelgesichts unterscheiden sich trotz gleicher Ansichtsmöglichkeiten in longitudinalen (Schädel von vorne), transversalen (Schädel von der Seite) und axialen Schichten (Schädel von oben) von der Bildgebung einer CT. Der Unterschied zum konventionellen Orthopantomogramm (OPTG) durch den Zugewinn der 3. Dimension ist ebenfalls deutlich.

## 1.1 Grundlagen der Orthopantomographie

### 1.1.1 Historischer Überblick

Die Anfänge der Tomographieverfahren reichen zurück bis zum Beginn des 19. Jahrhunderts. 1917 entwickelte der österreichische Mathematiker Radon ein Verfahren, das noch heute als Grundlage für die Bildberechnung in der Tomographie verstanden werden kann (Radon, 1917). Diese theoretische Erkenntnis war zu der damaligen Zeit jedoch noch nicht praktisch umsetzbar.

Die Technik der Orthopantomographie wurde aus dem Prinzip der Tomographie, die auch Schnitt- oder Schichtbildverfahren genannt wird, entwickelt. Dies ließ sich der Franzose Bocage bereits 1921 patentieren (Hendee, 1989). Die ersten Aufnahmen entstanden zunächst auf der Basis der sogenannten Panographie und wurden bereits 1922 von Zulauf und 1933 von Numata angefertigt (Rother, 2006).

Bei dieser zunächst noch intraoralen – d. h. innerhalb der Mundhöhle befindlichen Technik – wurde ein mit Blei auf der Rückseite beschichteter Film an der Innenseite des Kieferknochens positioniert. Die Röntgenstrahlenquelle bewegte sich außerhalb des Mundes von der einen Kieferhälfte zur anderen um den Kopf des Patienten und belichtete den Film über eine Schlitzblende. Die Panographie basierte jedoch noch auf dem Prinzip der Summationsaufnahmetechnik – d. h. verschiedene Strukturen werden in gleicher Ebene abgebildet (Rother, 2006). Die anatomischen Gegebenheiten der gebogenen Knochenstruktur beider Kiefer und der Zahn an sich mit seiner Wurzel und seinem komplexen Halteapparat stellen bis heute eine Herausforderung für das Erzielen metrisch genauer und abbildungsscharfer Röntgenaufnahmen dar. Ein theoretisches Verfahren, welches die Darstellung einer bestimmten Schicht aus der speziellen Anatomie der Kiefer ermöglichte, wurde 1939 von K. Heckmann entwickelt. Erst der Finne Paatero konnte jedoch seine Ideen von 1949 bis zur Fertigung eines brauchbaren Gerätes 1951 mit extraoralem – d. h. außerhalb der Mundhöhle liegendem – Film verwirklichen (Pasler, 2008).

Zunächst rotierten Film und Röntgenstrahler für die rechte und linke Kieferhälfte um zwei separate Drehachsen. Die Bewegung von Röntgenfilm und Röntgenstrahlenquelle um drei Raumachsen machte es später möglich, neben einer nahezu orthoradialen Dar-

stellung (1:1-Aufnahme) der Zähne zusätzlich den aufsteigenden Unterkieferast und die Kiefergelenke mit abzubilden (Paatero, 1959). Das erste Orthopantomographiegerät OP3 wurde 1961 serienreif von den Firmen Palomex und Siemens produziert (Rother, 2006). Seither ist die Qualität und das Aufnahmeverfahren dieser Technik stetig verbessert und optimiert worden. Nicht zuletzt die Einführung digitaler Verarbeitungssysteme bietet heute sowohl dem Behandler als auch dem Patienten eine strahlenreduziertere, hochauflösende Bildgebung (Benson et al., 2011). Die Strahlenbelastung einer Panoramafilmaufnahme liegt in der Regel, abhängig von digitalen oder analogen Systemen, zwischen 5-21  $\mu\text{Sv}$  (Visser et al., 2000).

### 1.1.2 Funktionsweise

Bei der Orthopantomographie oder Panoramafilmaufnahme (PSA) wird der Patient so im Gerät positioniert, dass er optimal zwischen der Strahlenfokus-Filmebenen-Anordnung eingestellt ist. Eine genaue Ausrichtung ist hier ausschlaggebend für die Vermeidung von Fehlaufnahmen, die spätere Bildqualität und eine reduzierte Strahlenexposition. Hierzu sollte der Patient gerade mit gestrecktem Hals und abgesenkten Schultern im Gerät stehen oder sitzen. Der Kopf wird anhand der Mittsagittalen und der Frankfurter Horizontalen – der gedachten Verbindungslinie zwischen unterem Rand der knöchernen Augenhöhle und knorpeliger Struktur oberhalb des Ohrläppchens – ausgerichtet. Die meisten Geräte verfügen hierzu über ein Lichtvisier zur Orientierung. Mit den Frontzähnen beißt der Patient auf eine Aufbissvorrichtung, um Überlagerungen zu vermeiden und um die Frontzähne möglichst in der gewünschten Schicht abzubilden (Abb. 1).



Abb. 1: Darstellung der Patientenpositionierung im OPTG-Gerät (Sirona, 2012a)

Anschließend rotieren Röntgenstrahlenquelle und Filmkassettenträger oder digitaler Sensor um die drei innerhalb des Zahnbogens während des Umlaufs gleitenden Rotationszentren. Eine fokusnahe und eine fokusferne Schlitzblende bündeln die Strahlen, welche auf die Projektionsfläche des Films auftreffen. Der läuft in entgegengesetzter Richtung ab und zeichnet genau eine scharfe Schicht der gefragten Region auf (Abb. 2). Diese ist in den einzelnen Kieferabschnitten variabel für Kinder und Erwachsene einstellbar. Während des Umlaufs sollte der Patient entspannt atmen und seine Zunge leicht an den Gaumen anlegen, um Luftteinschlüsse zu vermeiden (Pasler, 2008).

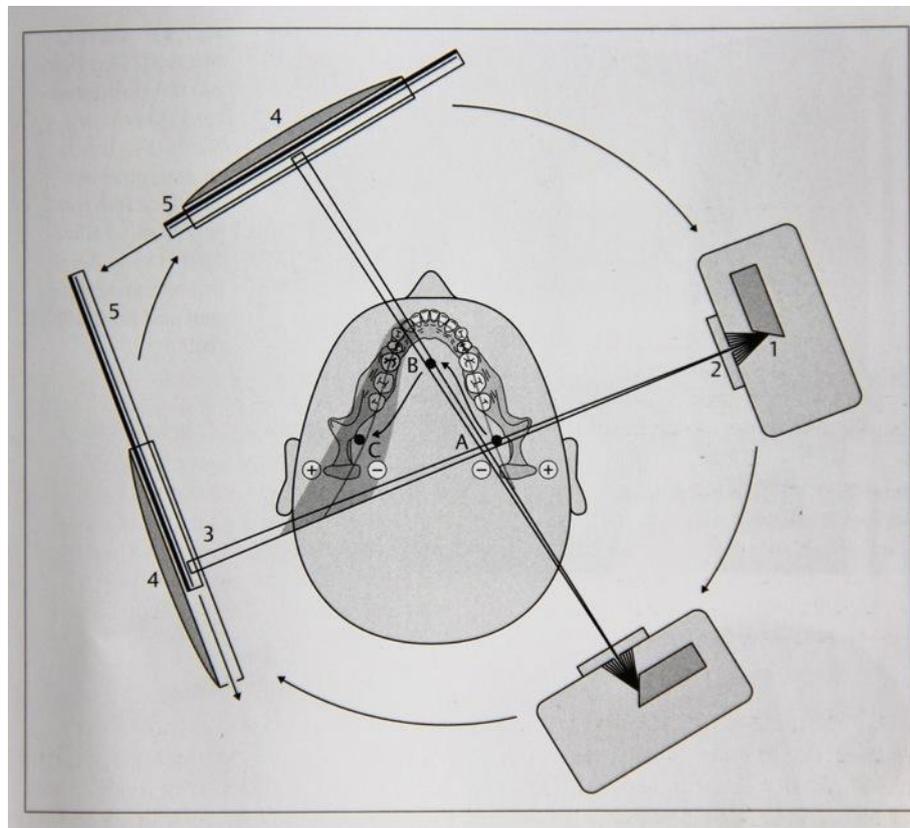


Abb. 2: Funktionsweise Orthopantomographie mit 1 = Röntgenfokus, 2 = primäre Schlitzblende, 3 = vertikale Schlitzblende, 4 = Halterung, 5 = Bildempfängersystem. Röhre und Bildempfänger rotieren im Uhrzeigersinn um die Drehpunkte A, B und C, während sich der Bildträger in Gegenrichtung bewegt (Pasler, 2008)

Es werden nur diejenigen Bereiche scharf abgebildet, welche in Abhängigkeit von der Filmbewegung mit der gleichen linearen Geschwindigkeit vom Strahlenbündel durch-

drungen werden (Scheutzel, 1989). Dies ist der Bereich mit der geringsten Bewegungsunschärfe. Alle davor und dahinter liegenden Objekte (Bereich der relativen Unschärfe) werden unscharf auf dem Film verzeichnet (Mc David, 1982; Schwenger und Ehrenfeld, 2008).

Die Entwicklung der Orthopantomographie revolutionierte die zahnmedizinische Bildgebung und stellt bis zum heutigen Tag den Goldstandard der zahnmedizinischen und kieferchirurgischen Übersichtsdiagnostik dar. Als zweidimensionale (2D-) Projektionsansicht zeigt das OPTG eine gute Übersicht über die Zähne und knöchernen Strukturen des Ober- und Unterkiefers sowie des angrenzenden Gesichtsschädels einschließlich der Kiefergelenke (Mischkowski et al., 2007).

Neben vielen Vorteilen, wie der guten Übersicht und der deutlich reduzierteren Strahlenexposition gegenüber anderen Tomographieverfahren die in der Zahnmedizin zum Einsatz kommen, hat das OPTG auch einige Nachteile (Schnelle, 2001). Der deutlichste Unterschied zur CT oder DVT ist, wie bereits beschrieben, die alleinige zweidimensionale Darstellung der Strukturen. Dreidimensionale Einschätzungen wie z. B. das Knochenangebot vor Implantation, Nervverläufe, verlagerte Zähne oder Wurzelkonfigurationen sind nur eingeschränkt möglich. An dieser Stelle wird häufig eine zusätzliche Aufnahme in zweiter Ebene notwendig, was eine zusätzliche Strahlenbelastung für den Patienten nach sich zieht (Mischkowski et al., 2007).

Aufgrund der komplexen Anatomie des Kiefers und der Dichteunterschiede der Strukturen im Strahlenfeld kommt es unvermeidbar zu Überlagerungen – z. B. der Wirbelsäule oder lufthaltiger Räume des pneumatisierten Schädels. Objekte, welche sich vor bzw. hinter der aufgezeichneten Schicht befinden, werden verzerrt und unscharf in das Röntgenbild abgebildet. Dieses Problem stellt sich vor allem bei nicht achsgerecht stehenden Frontzähnen (Mischkowski et al., 2007; Pasler, 2008). Zusätzlich führt der technisch bedingte große Abstand zwischen Patient und Röntgenstrahlenquelle zu einem Vergrößerungsfaktor von 1,2-1,5, der sich in einzelnen Kieferregionen durch anatomische Gegebenheiten unterscheiden kann (Schwenger und Ehrenfeld, 2008). Die Orthopantomographie stellt damit kein metrisch genaues Aufnahmeverfahren dar und kann zum Ausmessen von Längen nur bedingt zur Rate gezogen werden (Küker, 2010).

## 1.2 Grundlagen der Computertomographie

### 1.2.1 Historischer Überblick

Die Computertomographie kann als Weiterentwicklung der bis dato konventionellen Tomographieverfahren verstanden werden. Nach theoretischer Vorarbeit des Amerikaners Allan M. Cormack in den 60er Jahren und dem Wiederaufgreifen der Erkenntnisse Radons über computergestützte Bildberechnungen (Cormack 1963, 1964), folgte die Einführung des ersten CTs für die klinische Anwendung 1972 durch Sir Godfrey Hounsfield (Hounsfield, 1973). 1979 wurden Cormack und Hounsfield mit dem Nobelpreis für Medizin geehrt (Nobel Foundation, 1979).

Anders als bei konventionellen Schichtverfahren wie der Orthopantomographie, bei der ausschließlich eine Schicht scharf abgebildet wird und sich alle anderen Schichten überlagern, ist es seit der Computertomographie erstmals möglich mathematische Algorithmen einzusetzen, um überlagerungsfreie Schichtbilder des menschlichen Körpers zu erhalten. Dadurch werden Dichteunterschiede zwischen unterschiedlichen Weibgewebstypen deutlich hervorgehoben (Alkadhi et al., 2011; Ambrose, 1973; Zöller, 2007a). Durch das 1989 entwickelte Prinzip der Spiral-Computertomographie, bei der sich der Patiententisch kontinuierlich und nicht mehr schrittweise nach vorne bewegt, kommt es nicht mehr zu Datenlücken durch die Atmung oder die Bewegung des Patienten (Kalender, 1994). Die Einführung von Mehrzeilendetektorsystemen im Jahr 1998 machen es seitdem sogar möglich bis zu 256 Schichten gleichzeitig zu erfassen (Celebi et al., 2011).

Betrachtet man die Anfänge der Computertomographie, so ist hier zunächst Hounsfields erster Kopfscanner EMI Mark I von 1972 vom Typ der 1. Generation zu nennen. Dieses System verwendete einen sehr feinen Röntgenstrahl (Nadelstrahl) und ein Detektorenpaar. Während der Patient lag, musste die Röntgenstrahler-Detektoreinheit linear verschoben und stetig um einen kleinen Winkel verändert werden. Die zweite Generation der CT-Geräte beinhaltete ein Flächendetektorsystem, welches bereits einen Winkelbereich von  $10^\circ$  abdeckte und damit zu einer deutlich verkürzten Expositionszeit beitrug. Die heutigen Geräte der 3. Generation arbeiten mit einem fächerförmigen Röntgenstrahler und einem Detektor aus 700-900 Detektorelementen, welche kontinuierlich

um den Patienten rotieren und einen Winkelbereich von 45-55° erfassen. Im Jahr 2010 zeigte der schnellste CT-Scanner eine Umlaufzeit von 0,27 s (Alkadhi et al., 2011).

### 1.2.2 Funktionsweise

In einem modernen Mehrzeilengerät (MDCT= Multidetektor-CT) kreist eine Röntgenröhre um den liegenden Patienten (Abb. 3). Die strahlenregistrierenden Detektoren befinden sich kranzförmig um den Tisch angeordnet. Während des "Scans" wird der Patient aus verschiedenen Richtungen von einem fächerförmigen Röntgenstrahl durchdrungen (Abb.4). Je nach Dichte des durchstrahlten Gewebes kommt es schichtweise zu unterschiedlichen Abschwächungen des Röntgenstrahls. Diese Strahlen treffen auf die Detektoren und werden dort in elektrische Signale umgewandelt, welche anschließend mit Hilfe der sogenannten Fourier-Transformation in ein Bildsignal übertragen werden. Durch diese computergestützte zweidimensionale Rekonstruktion können überlagerungsfreie Schnittbilder erstellt werden. Die registrierten Absorptionsunterschiede werden im generierten Bild durch unterschiedliche Grauwerte dargestellt (Schwenzer und Ehrenfeld, 2011). Eine Skala für den Röntgenschwächungswert bilden die sogenannten Hounsfield-Units (HU). Wasser trägt z. B. einen HU-Wert von 1 und Luft einen HU-Wert von 0 (Robb, 1982). Diese Werte werden in ca. 4000 mögliche Graustufen aufgelöst. Da dies für das menschliche Auge eine Größe nicht unterscheidbarer Farbunterschiede darstellt, erfolgt eine sogenannte Fensterung, welche die 4000 Grauwerte auf 256 Graustufen eines Bildschirms abbildet (Zöllner, 2007b).

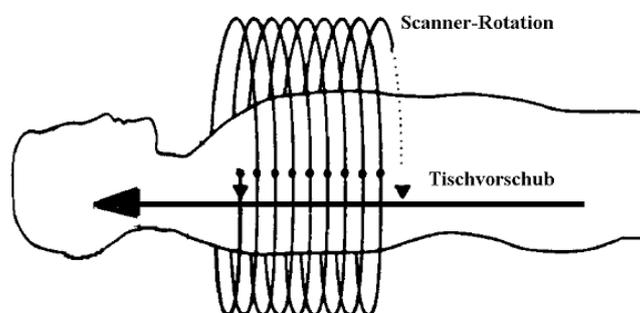
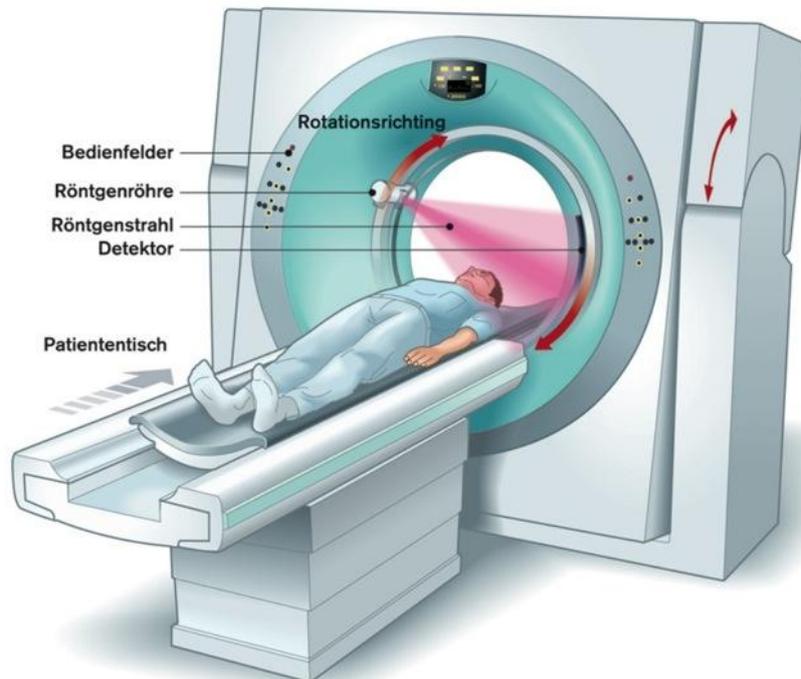


Abb. 3: Funktionsweise der CT. In einem modernen Mehrzeilengerät (MDCT= Multidetektor-CT) kreist eine Röntgenröhre um den liegenden Patienten (Ludewig, 2000)

## Computertomographie (CT)



*Abb. 4: Patientenpositionierung in der CT-Einheit (-Gantry). Die strahlenregistrierenden Detektoren befinden sich kränzförmig um den Tisch angeordnet. Während des "Scans" wird der Patient aus verschiedenen Richtungen von einem fächerförmigen Röntgenstrahl durchdrungen (Kock, 2012)*

Seit Einführung der Technik führen verbesserte Detektorsysteme, neue Erkenntnisse in der Rekonstruktion von Bilddaten und eine verminderte Strahlenbelastung durch verkürzte Umlaufzeiten zu der Möglichkeit der Darstellung von immer mehr Einzelschnittbildern und damit zur Generierung von Volumendaten des Patienten (Fuchs, 2002). Dies kommt bereits im Rahmen der digitalen dentalen Volumentomographie auf anderem Wege zur Anwendung (Zöller, 2007b). Es sollte die Anfertigung einer CT-Aufnahme im Mund-, Kiefer- und Gesichtsbereich heute sehr streng gestellt werden und nur in komplexen Fällen der Weichgewebs- bzw. Tumor- und Frakturdiagnostik zur Anwendung kommen, da durch Einführung der DVT strahlenschonendere Alternativen bestehen (Fuhrmann et al., 2003; Ludlow, 2008).

## 1.3 Grundlagen der digitalen dentalen Volumentomographie

Während bei der Computertomographie die eigentliche dreidimensionale Darstellung durch Überlagerung zweidimensionaler Schichtaufnahmen zustande kommt, handelt es sich bei der digitalen dentalen Volumentomographie direkt um reine dreidimensionale Rekonstruktionen (Zöller, 2007b).

### 1.3.1 Historischer Überblick

Die digitale dentale Volumentomographie stellt ein Röntgenverfahren dar, welches speziell für die zahnmedizinische Diagnostik entwickelt, im Jahr 1998/1999 zum ersten Mal klinische Anwendung fand (Mozzo et al., 1998). Seit den neunziger Jahren wurde zunächst in der Allgemeinmedizin nach geeigneten Methoden gesucht, um die dreidimensionale Bildgebung mobil im Operationssaal einsetzen zu können. Die Verwendung mobiler C-Bögen – basierend auf dem Prinzip der digitalen dentalen Volumentomographie – führte letztendlich zu mobilen 3D-Röntgengeräten für die zahnärztliche Praxis (Ritter et al., 2007a; Zöller, 2007b). Besonders im Rahmen komplizierter Weisheitszahnentfernungen, Fraktur- und Kiefergelenkdiagnostik kann die 3D-Darstellung hilfreich sein (Heiland et al., 2004; Heurich, 2002; Zain-Alabdeen, 2011; Zöller, 2007a). Zudem ist der Bedarf an hochwertigem Zahnersatz in den letzten Jahren stark gestiegen. Immer mehr Patienten wünschen festsitzende, implantatgetragene Versorgungen, welche präoperative dreidimensionale Diagnostiken notwendig machen (Neugebauer et al., 2007; Zöller, 2007a). Um die hohe Strahlenbelastung einer konventionellen Kopf-CT zu umgehen, stellte sich der Wunsch nach strahlenhygienisch günstigeren Alternativen.

Als Vergleichsgröße der unterschiedlichen Strahlenexpositionen dient die sogenannte effektive Dosis, die in Sievert (Sv) gemessen wird. Sie berücksichtigt neben der unterschiedlichen Strahlenempfindlichkeit der einzelnen Organe auch das mögliche Risiko stochastischer Effekte durch Strahlung im Gewebe. Damit wird die Äquivalentdosis, welche die Strahlenwirkung in biologischer Materie misst, mit einem organspezifischen Gewebewichtungsfaktor multipliziert, der von der internationalen Strahlenschutzkommis-

sion (ICRP) festgelegt wird. Diese Produkte werden anschließend addiert. Auf diese Weise erhält man die effektive Dosis und kann verschiedene Geräte miteinander vergleichen (Pasler, 2008).

Die effektive Dosis – berechnet nach den ICRP-Gewichtungsfaktoren von 2007 – schwankt zwischen denen auf dem Markt angebotenen DVT-Geräten. Insgesamt bietet die Studienlage zum Thema Strahlenexposition bei der digitalen dentalen Volumentomographie undeutliche Ergebnisse (Schulze et al., 2009). Sirona gibt eine effektive Dosis von 43–175  $\mu\text{Sv}$  – Standard: 100  $\mu\text{Sv}$  – für ihr Gerät an (Sirona, 2012b). Laut Ludlow (et al., 2008) liegt das Gerät GALILEOS Comfort von Sirona bei einer effektiven Dosis von 70-128  $\mu\text{Sv}$ . Andere Geräte erreichen Werte von 19-368  $\mu\text{Sv}$  (Pauwels et al., 2010). Dies verdeutlicht die um mindestens 3-5mal höhere Strahlenexposition gegenüber der konventionellen Orthopantomographie und fordert damit die erhöhte Sorgfaltspflicht des Zahnarztes bei Anordnung dieser Aufnahmetechnik (Ludlow et al., 2006; 2008).

Mit dem Einsatz der neuen Technik konnte die Strahlenbelastung für dreidimensionale Darstellungen damit bis zu 15fach gegenüber herkömmlichen CT-Verfahren reduziert werden (Burzlaff, 2008; Scarfe et al., 2006). Die mittlere effektive Dosis eines Menschen durch Röntgenuntersuchungen in Deutschland liegt pro Jahr bei ca. 1,7 mSv. Zum Vergleich dazu beträgt die effektive Dosis einer Schädel-CT bereits zwischen 1,7-2,3 mSV (Bundesamt für Strahlenschutz, 2009).

### 1.3.2 Funktionsweise

Der Aufbau eines modernen DVT-Gerätes besteht aus folgenden Bauelementen:

- einer Röntgenröhre,
  - dem Generator für die Energieversorgung
  - dem Detektor, der ein Bildsignal generiert
  - dem Gerät, das Röhre, Patient und Detektor einander zuordnet
- (Abb. 5) (Zöller, 2007a).

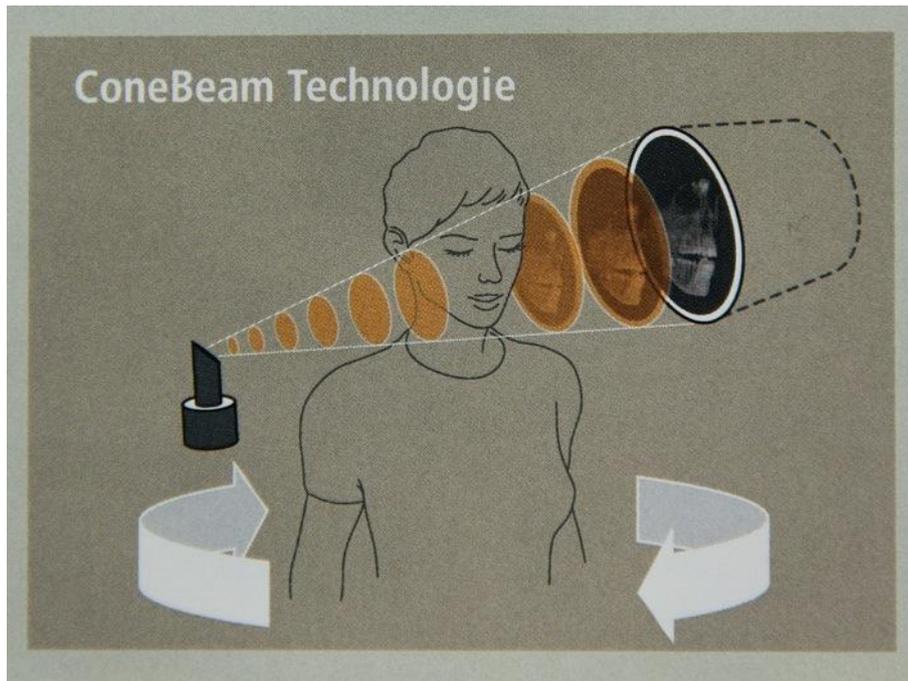


*Abb. 5: Exemplarische Abbildung eines digitalen dentalen Volumentomographen (Sirona, 2012b)*

Die grundlegende Technologie basiert im Gegensatz zur CT, welche mit einem engen fächerförmigen Strahlenbündel arbeitet, auf dem sogenannten ConeBeam Verfahren. Dieses bedient sich eines kegelförmigen (Cone) Röntgenstrahls (Beam) zum Erstellen von Bilddaten (Ritter et al., 2006; 2007a) (Abb. 6).

Durch diese konusförmige Strahlengeometrie wird mittels eines zweidimensionalen Detektors durch eine einzige Drehung um das Objekt ein dreidimensionaler Volumendatensatz errechnet. Während des Scans erzeugt die Röntgenröhre in kurzen Abständen Röntgenstrahlen in Kegelstrahlenform, die auf das Objekt – den Patienten – auftreffen. Der Detektor (Sensor) hinter dem aufzunehmenden Objekt erfasst die einzelnen Projektionsbilder. Er erzeugt zweidimensionale Projektionen des Objekts aus verschiedenen Blickrichtungen. Hieraus kann über dreidimensionale Bildrekonstruktionsalgorithmen ein dreidimensionales Bildvolumen berechnet werden. Der grundsätzliche Unterschied zum 2D-Rekonstruktionsverfahren ist, dass durch die Kegelstrahlgeometrie Details eines Ob-

jekts auf unterschiedlichen Bereichen des Detektors repräsentiert werden und keine einheitliche Schicht entsteht. Der am häufigsten verwendete mathematische Grundsatz zur Lösung dieses Problems ist der 1984 entwickelte Feldkampalgorithmus von L. A. Feldkamp, L. C. Davis und J. W. Kress (Feldkamp et al., 1984; Zöller, 2007b).



*Abb. 6: Funktionsweise der digitalen dentalen Volumentomographie – Während des Scans erzeugt die Röntgenröhre in kurzen Abständen Röntgenstrahlen in Kegelstrahlenform, die auf das Objekt – den Patienten – auftreffen. Der Detektor (Sensor) hinter dem aufzunehmenden Objekt erfasst die einzelnen Projektionsbilder (Sirona, 2012c)*

Seit erster Studien zum Einsatz der digitalen dentalen Volumentomographie in der Zahnheilkunde in den neunziger Jahren (Arai et al., 1999; Mozzo et al., 1998) hat sich der Markt der angebotenen DVT-Systeme rasant entwickelt (Ritter et al., 2007a).

Trotz gemeinsamer Grundfunktionalität lassen sich heute drei Systeme unterscheiden. Es gibt zum einen Geräte, die zunächst ausschließlich für konventionelle Panoramaschichtaufnahmen ausgelegt sind und die zur Diagnostik kleinerer Teilbereiche in 3D-Darstellung aufgerüstet werden können. Auf der anderen Seite existieren die speziell für die dreidimensionale Aufnahmetechnik entwickelten Geräte, welche sich jedoch hin-

sichtlich ihres Aufnahmevolumentens unterscheiden. Die Volumina reichen von klein ( $6 \times 6 \times 6 \text{ cm}^3 - 8 \times 8 \times 8 \text{ cm}^3$ ) bis großvolumig ( $15 \times 15 \times 15 \text{ cm}^3$ ). Ein weiterer Unterschied liegt in den verwendeten Detektoren. Hier stehen zum einen die Bildverstärkertechnologie und zum anderen der Flat Panel Detektor zur Verfügung (Baba et al., 2004; Ritter et al., 2007a).

Beides sind digitale Systeme basierend auf der Verarbeitung einer Pixelmatrix. Ersterer wandelt Röntgenquanten in Elektronen um und beschleunigt diese auf einen Schirm, welcher anschließend Lichtquanten auf eine CCD- (Charge-Coupled Device) Kamera weiterleitet. Diese generiert Ladungen für jedes einzelne Pixel. Durch einen Verstärkungsfaktor von etwa 10.000 kann die benötigte Röntgenstrahlendosis reduziert werden. Diese Technik wurde innerhalb der letzten Jahre stetig optimiert und kommt heute in vielen Geräten zur Anwendung. Als Nachteil ist hier der erhöhte Platzbedarf zu nennen. Bei der Flat Panel Detektor-Methode werden Röntgenstrahlen durch eine Konverterschicht, die meist aus Caesium-Iodid besteht, in Photonen konvertiert oder direkt über eine Schicht aus amorphem Selen in Elektronen umgewandelt. Diese treffen anschließend über eine Schicht aus Photodioden an eine Auslesematrix und werden registriert. Hier kann keine Verstärkung erfolgen, was eine höhere Dosis im Vergleich zum Bildverstärker nötig macht (Ritter et al., 2007a).

Das DVT-Gerät erzeugt einen Volumendatensatz, welcher die anatomische Situation des Patienten geometriegetreu und verzerrungsfrei abbildet. Überlagerungen von Nachbarstrukturen, wie sie im OPTG vorkommen, können völlig vermieden werden. Alle Ansichten lassen sich aus den generierten Daten berechnen. Aus diesem Grund treten Fehltaufnahmen sehr selten bis überhaupt nicht auf (Ehrl, 2007; Zöller, 2007b).

Laut aktueller DGZMK S1-Leitlinie ist die DVT im Prinzip in allen Fachbereichen der Zahnheilkunde anwendbar (Schulze et al., 2009). Dennoch zeichnen sich Einsatzbereiche ab, in denen eine DVT-Aufnahme zum heutigen Zeitpunkt nur bedingt empfohlen werden kann oder die konventionelle Orthopantomographie für eine valide Diagnostik ausreichend ist.

## 1.4 GALILEOS Comfort von Sirona

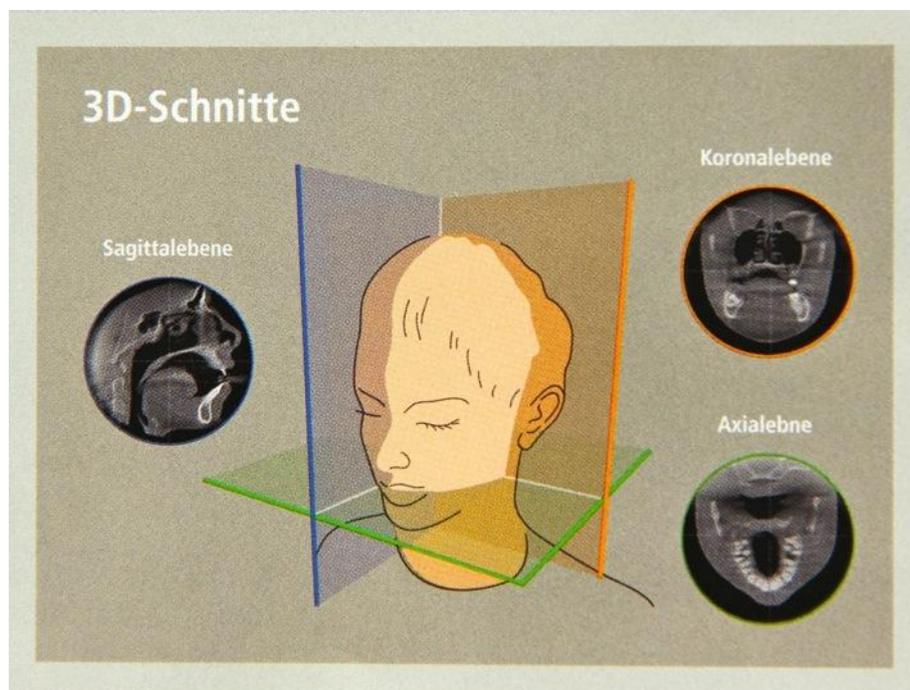
Der dentale digitale Volumentomograph GALILEOS Comfort (Sirona Dental Systems Inc., Bensheim, Deutschland) ist seit dem Jahr 2007 auf dem Markt erhältlich. Seit 2008 ergänzt das System GALILEOS Compact die Produktpalette von Sirona um eine günstigere Basisversion. 2009 standen für das konventionelle Panoramaschichtgerät Orthophos XG 5 und – XG plus bereits Erweiterungstechniken zur 3D-Aufnahme zur Verfügung und seit 2011 bedient Sirona den Markt mit einem 2D-3D-Kombi Gerät (Sirona, 2012a). Dies verdeutlicht die rasante Entwicklung und den Bedarf an dieser neuen Röntgentechnologie.

Durch das große Volumen von  $15 \times 15 \times 15 \text{ cm}^3$  ist das Gerät in der Lage, die gesamte Anatomie des Gesichtsschädels abzubilden und ist für ein breites Anwendungsspektrum einsetzbar (Lippold und Ruppin, 2008). Die Strahlendosis ist vergleichbar mit der natürlichen Röntgenstrahlenexposition der Passagiere während eines fünfstündigen Fluges in 10.000 m Höhe. Dies entspricht einem Zwanzigstel der Computertomographie (Burzlaff, 2008). Durch den gepulsten Scan beträgt die reine Belichtungszeit nur 2-6 s (Sirona, 2012b).

In Deutschland ist das Gerät GALILEOS Comfort mit CE-Zertifizierung zugelassen und kann mit der zahnärztlichen Approbation, dem Nachweis über die Fachkunde im Strahlenschutz und einer entsprechenden Fortbildung speziell für die DVT-Diagnostik betrieben werden (Dirsch, 2008).

Die 3D-Benutzersoftware Galaxis ist speziell für die Fachkenntnisse und den Erfahrungsbereich von Zahnmedizinern ausgelegt und wird als besonders benutzerfreundlich bezeichnet (Simon, 2008). Die Navigation durch den 3D-Volumendatensatz startet mit der gewohnten Panoramaansicht, da die Befundung konventioneller 3D-Bilder – wie z. B. einer Computertomographie – nicht zur Ausbildung eines Zahnmediziners gehören (Scheifele und Reichart, 2007). Weitere Optionen sind sagittale, axiale und coronale Schnitte sowie eine 3D-Darstellung des gesamten Schädels im Überblick (Abb. 7). Zusätzlich gewährleistet ein Inspektionsfensters von 5 cm Höhe und 4 cm Breite eine Darstellung exakt parallel zum Zahnbogen und ist somit mit konventionellen intraoralen

Röntgentechniken, wie dem Zahnfilm, vergleichbar. Die Zähne sind mit Schmelz, Dentin (Zahnbein), Pulpa (Gefäß- und Nervengewebe) und ihrer Wurzelkonfiguration deutlich erkennbar. Zusätzlich bietet Sirona das einzige Gerät mit integriertem und umfassendem Implantatplanungsprogramm und einem sogenannten "Viewer", der alle Grundfunktionen der Diagnosesoftware unterstützt (Simon, 2008). Neuestes Erweiterungselement ist ein Gesichtsscanner, mit dessen Hilfe genaue Profilverläufe erstellt werden können (Sirona, 2012c).



*Abb. 7: Darstellungsvarianten des errechneten dreidimensionalen Datensatzes. Neben der Abbildung des gesamten Schädelvolumens sind Darstellungen von 3D-Schnitten in allen drei Raumebenen möglich (Sirona, 2012d)*

## 2. Zielsetzung und Arbeitshypothese

Die digitale dentale Volumentomographie hat mittlerweile Einzug über die Kliniken und chirurgischen Zentren in kleinere Zahnarztpraxen gehalten. Trotzdem bleibt die Frage bestehen, in welchen Fällen die dreidimensionale Aufnahme wirklich der konventionellen Panoramaschichttechnik überlegen ist und in welchen Fällen aus Kosten-, aber vorwiegend aus Strahlenschutzgründen, die zweidimensionale konventionelle Aufnahme als diagnostische Maßnahme ausreichend ist.

Die hier vorliegende Studie verfolgt den primären Endpunkt, die diagnostische Aussagekraft der beiden Röntgentechniken Panoramaschichtaufnahme und digitale dentale Volumentomographie an der Darstellung ausgewählter Strukturen zu vergleichen.

Die konkrete Fragestellung lautet daher: Was bringt die 3. Dimension bezüglich Diagnostik und Therapieplanung und gibt es Unterschiede für erfahrene und unerfahrene Untersucher?

### 3. Material und Methode

#### 3.1 Patienten

Über eine retrospektive Recherche in der Bilddatenbank der Poliklinik für Mund-, Kiefer- und plastische Gesichtschirurgie am Universitätsklinikum Köln wurden zunächst 50 Patienten ausgewählt, bei denen sowohl ein OPTG als auch eine DVT-Aufnahme existieren. Aus diesem 50 Patienten umfassenden Pool wurden 15 Patienten selektiert, welche folgende Kriterien aufwiesen:

- mindestens ein Oberkiefermolar, vorzugsweise ein 6er
- mindestens ein Unterkieferweisheitszahn
- konservierende Restaurationen

Die Auswahl dieser Regionen basierte auf zuvor beschriebenen Indikationen für eine OPTG-Aufnahme und den Empfehlungen der DGZMK-Leitlinien für die Anfertigung einer DVT. Ziel war es, möglichst das gesamte Einsatzspektrum beider Röntgentechniken in der zahnärztlichen Praxis abzudecken und gleichzeitig neue Einsatzgebiete zu evaluieren. Hier lag die Intension der ersten beiden Kriterien bei der präoperativen Diagnostik vor schwierigen Extraktionen im Bereich der Kieferhöhle und im Bereich des N. alveolaris inferior. Außerdem sollten Regionen beurteilt werden, für welche derzeit weder das OPTG noch das DVT erste Wahl sind.

Die Patienten im Alter von 11-60 Jahren (Tab. 1) waren innerhalb eines kurzen zeitlichen Abstandes mit beiden Geräten geröntgt worden. Dies brachte die Gewährleistung auf beiden Bildern jeweils die gleichen Strukturen vergleichen zu können. Unter den Patienten betrug der männliche Anteil 80 % (zwölf Patienten) und der weibliche Anteil 20 % (drei Patientinnen).

Jahre	10 – 20	20 – 30	30 – 40	40 – 50	50 – 60
Anzahl der Patienten	3	8	2	1	1

*Tab. 1: Dekadische Darstellung des Alters der inkludierten Patienten*

Der zeitliche Abstand zwischen den beiden Aufnahmeverfahren unter den Patienten betrug bis zu 3 Monate. Nur bei zwei Patienten konnte ein Abstand von 5 bzw. 7 Monaten festgestellt werden. In elf Fällen erfolgte die DVT-Aufnahme vor dem OPTG. Vier Patienten wurden zuerst mittels des Panoramaschichtgerätes geröntgt. Eine häufige Indikation für die Bildgebung durch beide Geräte stellt die Unterkiefer- oder Mittelgesichtsfraktur dar. Hier erfolgt nach einigen Monaten häufig eine Kontrollübersicht mit Hilfe des OPTGs. Aus diesem Grund sind zehn der 15 Patienten mittels Miniplatten versorgt. Diese Regionen wurden aus der Befundung vollständig herausgenommen. Sie spielen jedoch beim Thema Metallartefakte eine nicht unerhebliche Rolle und werden im weiteren Verlauf der Studie diskutiert.

Das Protokoll der Studie wurde von der Ethik-Kommission der medizinischen Fakultät der Universität zu Köln (Nr. 05-111) genehmigt. Für jeden Patienten wurde eine schriftliche Einverständniserklärung erlangt.

### 3.2 Material DVT

Die untersuchten DVT-Datensätze wurden mit dem Gerät GALILEOS Comfort aufgenommen. Dieser digitale dentale Volumentomograph wurde speziell für die zahnmedizinische Diagnostik entwickelt und besteht aus einer Röntgenstrahlenquelle und einem 2D-Detektor. Diese Komponenten sind gegenüberliegend an einem nach unten offenen U-förmigen Arm angebracht (Abb. 8). Zusammen fährt dieser Komplex einen Bogen von 200° um den Kopf des Patienten und produziert pro zurückgelegter 1°-Rotation eine zweidimensionale Aufnahme. Dieser gesamte Vorgang (Scan) dauert bei dem vorliegenden Gerät 14 s. Dem Patienten ist es möglich, während dieser Zeit zu stehen oder zu sitzen. Eine exakte Positionskontrolle ist über eine Kinnstütze gewährleistet. Die räumliche Ausdehnung dieses digitalen dentalen Volumentomographen ist mit der eines digitalen Panoramaschichtgerätes vergleichbar. Die empfohlenen Raummaße von Sirona betragen 1,8 x 1,8 x 2,5 m<sup>3</sup>.



*Abb. 8: Verwendetes Gerät GALILEOS Comfort der Poliklinik für Mund-, Kiefer- und plastische Gesichtschirurgie am Universitätsklinikum Köln*

Die Röhrenspannung des GALILEOS Comfort ist auf 85 kV festgesetzt und die Anodenstromstärke liegt bei 5-7 mA. Veränderungen der Belichtungszeit sind über das Anpassen des Belichtungszeitproduktes (mAs) möglich und können im Bereich zwischen 14-56 mAs in Schritten von 7 mAs optimiert werden. Alle DVT-Aufnahmen wurden mit 28 mAs geröntgt. Dies entspricht den Routineangaben von Sirona. Bei dem hier untersuchten Volumentomographen beruht der Röntgenstrahlendetektor auf einer Bildverstärkertechnologie mit CCD-Sensor. Die Röntgenstrahlenquelle erzeugt ein konusförmiges Strahlenbündel, welches auf den gegenüberliegenden flächenförmigen Bilddetektor auftrifft. Dieser speichert alle auf der Kreisbahn aufgenommenen zweidimensionalen Rohdatensätze mit einer Pixelmatrix von 1024 x 1024 Bildpunkten, definiert über eine 12-Bit Grauskala, und ist in der Lage, mittels einer mathematischen Umwandlung einen drei-

dimensionalen Volumendatensatz mit einer Größe von  $15 \times 15 \times 15 \text{ cm}^3$  zu rekonstruieren. Sowohl das 2D-Rohdatenmaterial als auch die Volumendaten werden in einem eigenen Format abgespeichert und können problemlos in netzwerkkompatible DICOM-Formate exportiert werden. Im 3D-Bereich wird die Bildmatrix in Voxeln angegeben. Sie wird bei diesem Gerät für den Routinemodus auf  $512 \times 512 \times 512$  Bildpunkte mit Kantenlänge von 0,3 mm herunterskaliert. Kleinere Ausschnitte des Volumens können zusätzlich in einem hochauflösenden Modus von  $1024 \times 1024 \times 1024$  Voxel mit Kantenlänge von 0,15 mm betrachtet werden. Die Dauer der Rekonstruktion des dreidimensionalen Datensatzes beträgt, abhängig von den zum Einsatz kommenden Hardwarekomponenten, ca. 2,5-4,5 min.

Das verwendete Gerät GALILEOS Comfort von Sirona wurde entsprechend dem Medizinproduktegesetz CE-zertifiziert. Das System wird gemäß der aktuellen Strahlenschutzverordnung gewartet.

Die Benutzeroberfläche der geräteeigenen Betrachtungssoftware von Sirona – GALILEOS Viewer – ist in sieben quadratische Untersuchungsfenster eingeteilt, die beliebig vergrößert, verkleinert oder sogar komplett ausgeblendet werden können. Eine Beispieloberfläche ist in Abbildung 9 dargestellt. Oben links wird automatisch eine an das konventionelle OPTG angelehnte Panoramaansicht konstruiert. Diese Aufnahme basiert auf einer Kurve, welche das Programm entlang des Zahnbogens bildet und daraus ein parabolisches Volumen erzeugt. Trotz der Möglichkeiten einer automatischen Schichtkorrektur, der Rotation der Darstellung, des Navigierens durch die einzelnen Schichten und der Darstellungsmöglichkeiten analog dem konventionellen Zahnfilm, konnten die Untersucher von diesen Funktionen keinen Gebrauch machen, sondern bekamen nur eine Abbildung eines zuvor auf die entsprechende Region optimierten Fensters vorgelegt.

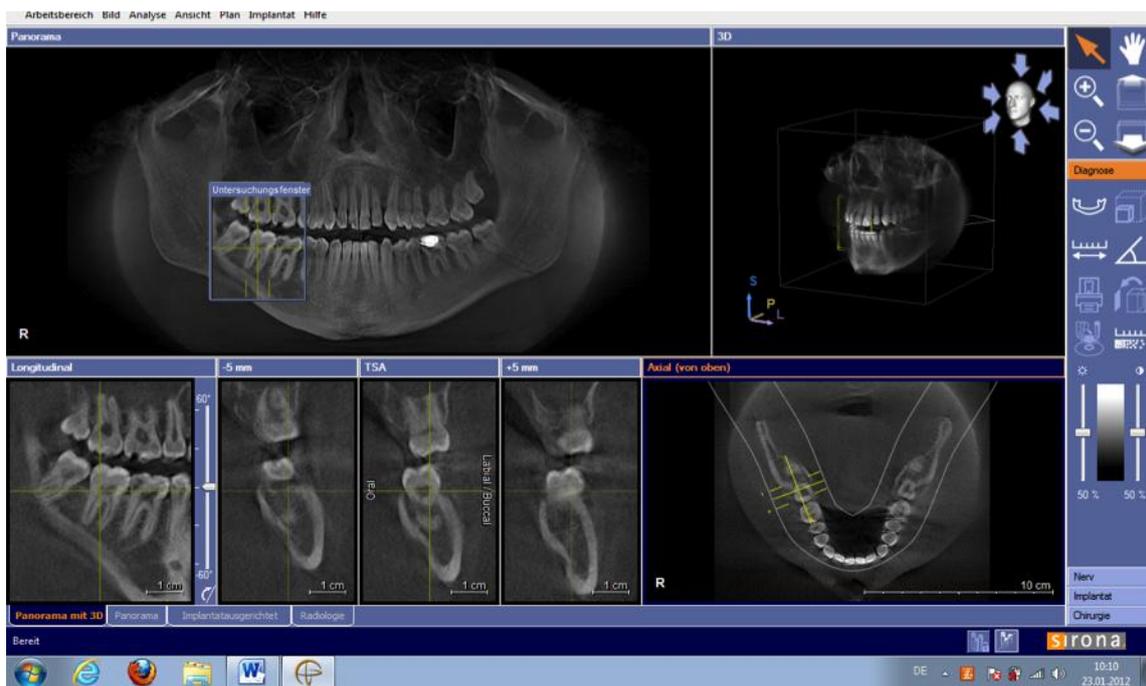


Abb. 9: Übersicht einer Bildschirmoberfläche der verwendeten Betrachtungssoftware – GALILEOS Viewer – von Sirona

### 3.3 Material OPTG

Die Diagnosemöglichkeiten in der 3. Dimension der DVT-Aufnahmen wurden in dieser Studie mit Panoramiaschichtaufnahmen verglichen, die mittels des digitalen OPTG-Gerätes Orthophos Multipuls (Sirona Dental Systems Inc., Bensheim) erstellt wurden (Abb. 10). Die Aufnahmen entstanden alle mit einer Röhrenspannung von 71 kV bei einer Stromstärke von 15 mA und einer Belichtungszeit von 1400 ms. Alle technischen Daten zu OPTG- und DVT-Gerät sind in den Tabellen 1 und 2 im Anhang zu entnehmen.



*Abb. 10: In dieser Studie verwendetes OPTG-Gerät Orthophos Multipuls von Sirona*

### 3.4 Datenerfassung und statistische Analyse

Die in dieser Studie angewandte Methodik ist angelehnt an einen von Mischkowski (et al., 2007) veröffentlichten Versuchsaufbau zum Vergleich der diagnostischen Wertigkeit von errechneten Panoramarekonstruktionen aus dem DVT-Datensatz eines Vorserienmodells des GALILEOS Comfort mit konventionellen OPTG-Abbildungen.

Die OPTG-Aufnahmen aus der zum Orthophos-Gerät zugehörigen Sidexis Software in der Version 1.11 (Sirona Dental Systems Inc., Bensheim) wurden als JPEG-Format in eine PowerPoint-Präsentation (Microsoft Office 2010; Microsoft Corp., Redmond, WA) eingefügt. Für die Darstellung der DVT-Datensätze erfolgte durch Screenshot eine Kopie der jeweils interessanten Bildschirmoberflächen aus der GALILEOS eigenen Betrachtungssoftware – GALILEOS Viewer. Diese wurden ebenfalls in die PowerPoint-Abfolge eingefügt. Die Präsentation, bestehend aus OPTG und jeweils sechs Screenshots pro Patient, wurde auf einer Befundungsstation, bestehend aus einem kalibrierten Befundungsmonitor und einem Computer (Superga-VGA Computer, Bildschirmdiagonale 15 Zoll, Auflösung 1024 x 1280 Bildpunkte, 32-bit-Architektur), welche laut DIN V 6868-57 und QS-Richtlinie für die radiologische Befundung zugelassen sind, installiert. Die Befundungsstation befand sich in einem speziell dafür vorgesehenen Diagnoseraum

in der Universitätszahnklinik Bonn. Dieser verfügte über eine Fensterverdunkelung, um eine optimale Röntgendiagnostik zu ermöglichen (Abb. 11).



*Abb. 11: Aufbau der Befundungsstation in einem speziell dafür vorgesehenen Diagnose-  
raum in der Zahnklinik der Universität Bonn*

Die Präsentation wurde unter diesen standardisierten Bedingungen von insgesamt zehn Untersuchern befundet. Davon waren fünf Zahnärzte erfahren im Umgang mit der dentalen und maxillofazialen Radiologie und im Umgang mit der DVT-Technologie (zwei Oralchirurgen, zwei Kieferorthopäden, ein Zahnarzt für Prothetik) und fünf erst kürzlich approbierte Zahnärzte, mit einer Berufserfahrung unter einem Jahr und ohne Erfahrung in DVT-Diagnostik. Zu Beginn der Befragung wurden die 15 OPTG-Aufnahmen für die Befunder verblindet und die Reihenfolge der einzelnen Bilder randomisiert. Anschließend folgten zu jedem OPTG die passenden Screenshots aus dem 3D-Datensatz. Im Rahmen der Auswertung war es den Probanden dann erlaubt, zwischen der Bilderserie eines Patienten vor und zurück zu wechseln, um immer den direkten Vergleich zum erst gezeigten OPTG zu gewährleisten. Kontrast- und Helligkeitseinstellungen standen den Betrachtern nicht zur Verfügung. Diese, sowie die Vergrößerung der zu untersuchenden Bereiche, wurden voreingestellt und mittels Screenshot übertragen. Die möglichen Zu-

gewinne durch die 3. Dimension und die diagnostischen Möglichkeiten in OPTG und dreidimensionalem Datensatz wurden anhand verschiedener Fragestellungen untersucht. Jeder Befunder erhielt pro Patient einen zweiseitigen Fragebogen (Abbildungen 1 und 2 im Anhang). Der erste Fragebogen sollte unter alleiniger Betrachtung des OPTGs ausgefüllt werden.

Die Fragen waren in die folgenden Kategorien aufgeteilt:

- Therapieplanung (Frage 1+2)
- Diagnostik von Pathologika (Frage 3-5)
- Bewertung von konservierenden Restaurationen (Frage 6)
- Artefakte (Frage 7)

Bei den Fragen 1-6 sollten die folgenden Regionen beurteilt werden:

1. Beurteilung von Komplikationen vor Molarenextraktion im Oberkiefer
2. Beurteilung einer Weisheitszahnregion im Unterkiefer
3. Erkennen von Pathologien am rechten Kondylus
4. Erkennen von Pathologien der Kieferhöhle
5. Beurteilung von parodontalem Knochenabbau
6. Beurteilung von konservierenden Restaurationen (Füllungen, Kronen, Wurzelfüllungen)

Für die Darstellung im OPTG standen dem Untersucher folgende Antwortmöglichkeiten zur Verfügung:

- Ja – Nein – nicht beurteilbar – bzw.
- suffizient – insuffizient – nicht beurteilbar (bei Frage 6)

In Frage 7 sollte die Einschränkung durch Artefakte ausschließlich mit einer Ja/Nein-Aussage beantwortet werden. Zusätzlich war hier Auskunft über die Art des störenden

Artefaktes anzugeben. Hierzu stand jedem Betrachter eine Tabelle von evtl. vorkommenden Artefakten zur Verfügung:

- anatomische Artefakte, welche Additions- und Subtraktionseffekte auslösen z. B.:
  - Überlagerung der Wirbelsäule
  - Lufteinschlüsse zwischen Zunge und Gaumen
  - lufthaltige Räume wie Kieferhöhlen und Epipharynx
  - Weichteile
- Artefakte durch das Röntgengerät z. B.:
  - Aufbisshalter
- Metallartefakte z. B. durch:
  - Restaurationen und Miniplatten
- Bewegungsartefakte
- Schichtfehler

Neben der Erkennbarkeit verschiedener Befunde sollte jeder Untersucher außerdem bei Frage 1-6 eine Aussage zur generellen subjektiven Diagnosemöglichkeit mittels ordinal skalierten Notenvergabe durchführen. Dabei stand der Wert 1 für eine – sehr deutliche Darstellung – der Region und der Wert 5 für eine – nicht erkennbare Darstellung. Der sich anschließende zweite Fragebogen bezog sich auf die sechs folgenden, aus dem 3D-Datensatz gewonnenen Abbildungen. Für Frage 1-6 wurden hier exakt die Regionen fokussiert und mittels Screenshot kopiert, die schon im OPTG von den Befundern bewertet worden waren. Die einzelnen Bereiche wurden in jeder der Untersuchungsebenen der GALILEOS Viewer-Software optimal für den jeweiligen Befund eingestellt. Pro Frage stand dem Untersucher damit eine Bildschirmoberfläche aus dem GALILEOS Viewer zur Verfügung. Identisch zum ersten Fragebogen erfolgte hier die Notenvergabe von 1-5 zur generellen subjektiven diagnostischen Beurteilung. Zusätzlich sollte der direkte Vergleich bzw. der mögliche Zugewinn durch die 3. Dimension zur Darstellung der gleichen Region im OPTG gezogen werden.

Hier hatte jeder Untersucher die Wahl zwischen folgenden Antwortmöglichkeiten:

- die Aufnahme bestätigt meine Verdachtsdiagnose und hilft mir bei der weiteren Therapieplanung
- die Aufnahme bestätigt meine Verdachtsdiagnose, wäre aber nicht notwendig gewesen
- ich komme zu einer anderen Diagnose, da die Darstellung im DVT besser ist
- nicht beurteilbar

Die Frage zu den Artefakten sollte in diesem Bewertungsbogen analog dem ersten Bogen beantwortet werden.

Für die Beantwortung beider Fragebögen zu jedem der 15 Patienten brauchten die Untersucher im Schnitt eine Stunde.

Die Patientendaten, Scandaten und Befundungsergebnisse wurden mittels Microsoft Excel 2010 (Microsoft Inc., Redmond, Washington, USA) verwaltet. Aus den ordinal vergebenen Befundungsnoten wurden Mittelwerte und Standardabweichungen errechnet und mittels Boxplot dargestellt. Die übrigen Antworten wurden quantitativ erfasst und mittels Kreuztabellen verglichen. Zusätzlich wurde bei allen Aussagen der Unterschied zwischen den erfahrenen und unerfahrenen Befundern analysiert. Die statistischen Unterschiede zwischen den beiden Aufnahmeverfahren und den Untersuchergruppen wurden für jede Region mittels des t-Tests und des chi-Quadrattests untersucht. Das Signifikanzniveau wurde wie üblich mit  $p < 0,05$  angenommen. Die statistische Analyse wurde mit Hilfe von IBM SPSS Version 20.0 für Windows (SPSS Inc., Chicago, Illinois, USA) durchgeführt. Das Studiendesign und die statistische Analyse wurden durch das Institut für Medizinische Biometrie, Informatik und Epidemiologie (IMBIE) der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn überprüft.

## 4. Ergebnisse

### 4.1 Erklärung zum Aufbau des Ergebnisteils

Der Ergebnisteil orientiert sich an den sechs verschiedenen Befundungsregionen mit evtl. vorkommenden Artefakten. Für jeden Bereich erfolgte eine Gliederung der Ergebnisse in folgende Abschnitte:

#### 1) Ergebnisse aus der Notenvergabe

Dieser Teil nimmt ausschließlich Bezug auf die subjektive ordinale Notenvergabe bzgl. der diagnostischen Auswertbarkeit der jeweiligen Region auf dem Röntgenbild.

- a) Hier geht es zunächst darum, die Ergebnisse von allen Untersuchern für alle Patienten zu betrachten. Für zehn Zahnärzte und 15 Patienten gab es pro Frage 150 Aussagen zu jeder Region.
- b) Des Weiteren soll zwischen der Erfahrung der Untersucher unterschieden werden. Die Gruppe der zehn Kollegen bestand aus fünf Erfahrenen und aus fünf Unerfahrenen. Es gab pro Frage je 75 Aussagen der einen und je 75 Aussagen der anderen Gruppe.
- c) Ferner erfolgt eine Übersicht über die Aussagen individuell für jeden Patienten. Jede Frage wurde bei jedem Patienten von zehn Untersuchern bewertet.

#### 2) Ergebnisse aus den Multiple-Choice Fragen

- a) In diesem Teil soll zunächst die allgemeine Häufigkeit der gegebenen Antworten von allen Untersuchern bezogen auf alle Patienten dargestellt werden. Für die OPTG-Ansichten war hier jedoch nur die Antwortmöglichkeit – nicht beurteilbar – relevant, da eine Aussage über

die wirkliche Diagnose nicht vorlag. Zu beachten im DVT ist wie im ersten Teil, dass jede Frage insgesamt 150 mal beantwortet werden sollte.

- b) Im zweiten Teil dieses Bereiches soll erneut zwischen der Erfahrung der Untersucher unterschieden werden. Dargestellt sind hier sowohl für das OPTG als auch für das DVT die Häufigkeiten der gegebenen Antworten (jeweils 75 Antworten pro Untersucherguppe).
- c) Wie für den ersten Teil erfolgt auch hier am Ende ein Überblick über die Häufigkeit der gegebenen Antworten individuell für jeden der 15 Patienten.

## 4.2 Beurteilung von Komplikationen vor Molarenextraktion im Oberkiefer

**Zu 1a)** Ergebnisse aller Untersucher betrachtet für alle Patienten

Eine Übersicht über die Häufigkeit der Notenvergabe ist in den Tabellen 2 und 3 dargestellt. Für die Befundungsdarstellung der genannten Region ergab sich ein Mittelwert von 1,79 ( $\pm 0,832$ ) bei den DVT-Aufnahmen und 2,66 ( $\pm 0,810$ ) bei den OPTG-Aufnahmen bezogen auf alle Befunder. Der t-Test zeigte diesbezüglich, dass diese Region signifikant besser für das DVT bewertet wurde ( $p < 0,001$ ).

Noten	Häufigkeit	Prozent
1	7	4,7
2	60	40
3	62	41,3
4	19	12,7
5	2	1,3

*Tab. 2: Deskriptive Statistik der Notenvergabe im **OPTG** für alle Untersucher zur Beurteilung von Komplikationen vor Molarenextraktion im Oberkiefer*

Noten	Häufigkeit	Prozent
1	64	42,7
2	60	40
3	21	14
4	4	2,7
5	1	0,7

*Tab. 3: Deskriptive Statistik der Notenvergabe im **DVT** für alle Untersucher zur Beurteilung von Komplikationen vor Molarenextraktion im Oberkiefer*

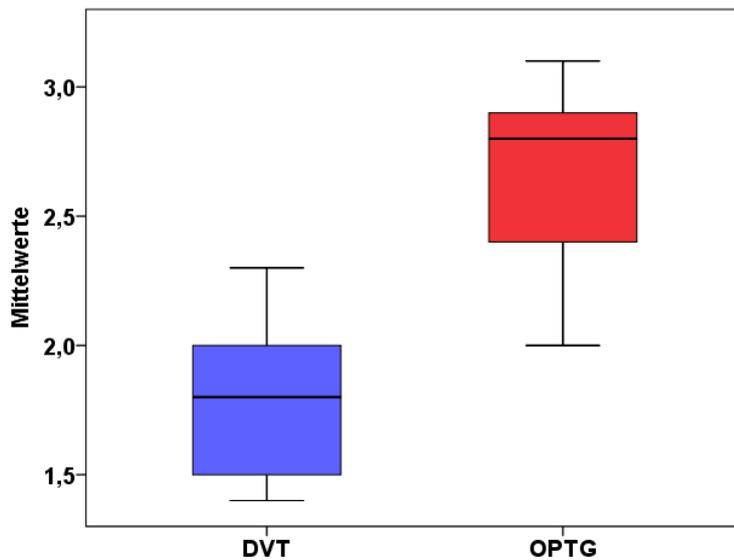


Abb. 12: Graphische Darstellung der Mittelwerte aus der Notenvergabe bezogen auf alle Untersucher für **OPTG und DVT** zur Beurteilung von Komplikationen vor Molarenextraktion im Oberkiefer

#### Zu 1b) Ergebnisse bezogen auf die Erfahrung der Untersucher

Hier zeigen die Tabellen 4 und 5 eine Übersicht über die Notenvergabe bezogen auf die Erfahrung der Untersucher. Für die erfahrene Gruppe ergab sich daraus ein Mittelwert von 1,55 ( $\pm 0,664$ ) fürs DVT und 2,60 ( $\pm 0,771$ ) fürs OPTG. Für die unerfahrene Gruppe konnten Werte von 2,03 ( $\pm 0,915$ ) für die DVT-Aufnahmen und 2,72 ( $\pm 0,847$ ) für die OPTG-Bilder registriert werden. Daraus ergab der t-Test eine signifikant bessere Bewertung durch die erfahrene Gruppe ( $p < 0,001$ ) im DVT. Im OPTG dagegen konnte mit  $p = 0,308$  kein signifikanter Unterschied gezeigt werden.

Noten	Erfahrung			
	erfahren		unerfahren	
	Häufigkeit	Prozent	Häufigkeit	Prozent
1	4	5,3	3	4,0
2	30	40,0	30	40,0
3	34	45,3	28	37,3
4	6	8,0	13	17,3
5	1	1,3	1	1,3

Tab. 4: Deskriptive Statistik der Notenvergabe im **OPTG** bezogen auf die Erfahrung der Untersucher zur Beurteilung von Komplikationen vor Molarenextraktion im Oberkiefer

Noten	Erfahrenheit			
	erfahren		unerfahren	
	Häufigkeit	Prozent	Häufigkeit	Prozent
1	41	54,7	23	30,7
2	27	36,0	33	44,0
3	7	9,3	14	18,7
4	0	0,0	4	5,3
5	0	0,0	1	1,3

Tab. 5: Deskriptive Statistik der Notenvergabe im **DVT** bezogen auf die Erfahrung der Untersucher zur Beurteilung von Komplikationen vor Molarenextraktion im Oberkiefer

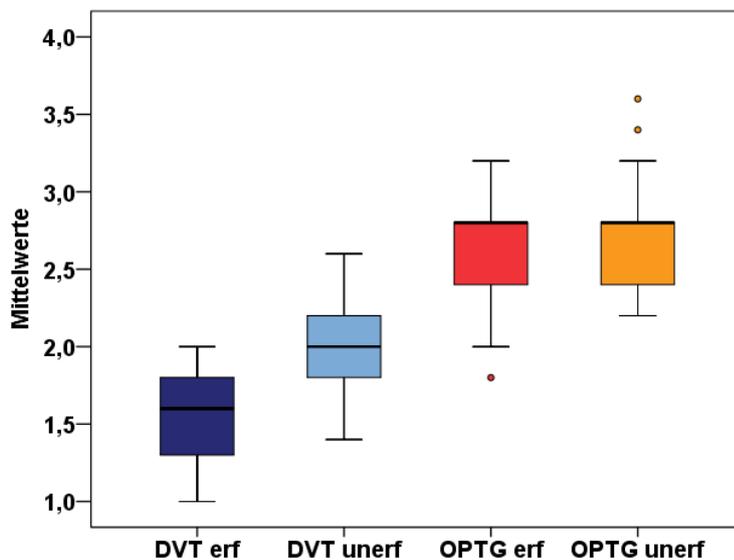


Abb. 13: Graphische Darstellung der Mittelwerte aus der Notenvergabe bezogen auf die Erfahrung der Untersucher für **OPTG und DVT** zur Beurteilung von Komplikationen vor Molarenextraktion im Oberkiefer

**Zu 2a)** Ergebnisse der allgemeinen Häufigkeit der gegebenen Antworten von allen Untersuchern bezogen auf alle Patienten

Das OPTG wurde bei dieser Frage viermal (2,67 %) mit – nicht beurteilbar – bewertet. Tabelle 6 zeigt die Häufigkeit der Antworten im DVT.

Antwortmöglichkeiten	Häufigkeit	Prozent
Ich komme zu einer anderen Diagnose, da die Darstellung im DVT besser ist	39	26
Bestätigt meine Verdachtsdiagnose und hilft mir bei der weiteren Therapieplanung	52	34,7
Nicht beurteilbar	2	1,3
Bestätigt meine Verdachtsdiagnose, wäre aber nicht notwendig gewesen	57	38

Tab. 6: Deskriptive Statistik der gegebenen Antworten für alle Untersucher im **DVT** zur Beurteilung von Komplikationen vor Molarenextraktion im Oberkiefer

**Zu 2b)** Ergebnisse der allgemeinen Häufigkeit der gegebenen Antworten bezogen auf die Erfahrungheit der Untersucher

Hier geben die Tabellen 7 und 8 eine Übersicht über die Häufigkeit der gegebenen Antworten bezogen auf die Erfahrungheit. Der chi-Quadratstest erbrachte mit  $p = 0,127$  für die Antwortmöglichkeiten – bestätigt und hilft mir weiter und bestätigt, wäre aber nicht notwendig gewesen – keine statistische Signifikanz zwischen den Untersuchergruppen.

Antwortmöglichkeiten	Erfahrungheit			
	erfahren		unerfahren	
	Häufigkeit	Prozent	Häufigkeit	Prozent
Nein	29	38,7	22	29,3
Ja	44	58,7	51	68,0
Nicht beurteilbar	2	2,7	2	2,7

Tab. 7: Deskriptive Statistik der gegebenen Antworten bezogen auf die Erfahrungheit der Untersucher im **OPTG** zur Beurteilung von Komplikationen vor Molarenextraktion im Oberkiefer

Antwortmöglichkeiten	Erfahrenheit			
	erfahren		unerfahren	
	Häufigkeit	Prozent	Häufigkeit	Prozent
Ich komme zu einer anderen Diagnose, da die Darstellung im DVT besser ist	16	21,3	23	30,7
Bestätigt meine Verdachtsdiagnose und hilft mir bei der weiteren Therapieplanung	24	32,0	28	37,3
Nicht beurteilbar	0	0,0	2	2,7
Bestätigt meine Verdachtsdiagnose, wäre aber nicht notwendig gewesen	35	46,7	22	29,3

Tab. 8: Deskriptive Statistik der gegebenen Antworten bezogen auf die Erfahrung der Untersucher im **DVT** zur Beurteilung von Komplikationen vor Molarenextraktion im Oberkiefer

### 4.3 Beurteilung einer Weisheitszahnregion im Unterkiefer

**Zu 1a)** Ergebnisse aller Untersucher betrachtet für alle Patienten

In den Tabellen 9 und 10 ist das Ergebnis der Notenvergabe für alle Untersucher dargestellt. Die Mittelwerte bei der Bewertung unterer Weisheitszähne lagen bei 2,32 ( $\pm 1,107$ ) für die DVT-Gruppe und 2,51 ( $\pm 0,888$ ) für die OPTG-Gruppe. Der t-Test zeigte in diesem Fall mit  $p = 0,179$  keinen signifikanten Unterschied zwischen den Bildgebungsmodalitäten.

Noten	Häufigkeit	Prozent
1	11	7,3
2	73	48,7
3	51	34
4	8	5,3
5	7	4,7

Tab. 9: Deskriptive Statistik der Notenvergabe im **OPTG** für alle Untersucher zur Beurteilung einer Weisheitszahnregion im Unterkiefer

Noten	Häufigkeit	Prozent
1	41	27,3
2	47	31,3
3	42	28
4	13	8,7
5	7	4,7

Tab. 10: Deskriptive Statistik der Notenvergabe im **DVT** für alle Untersucher zur Beurteilung einer Weisheitszahnregion im Unterkiefer

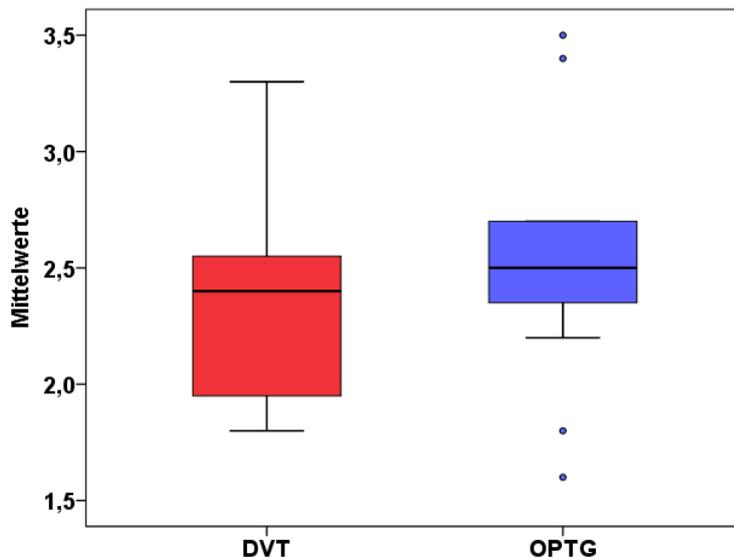


Abb. 14: Graphische Darstellung der Mittelwerte aus der Notenvergabe bezogen auf alle Untersucher für **OPTG** und **DVT** zur Beurteilung einer Weisheitszahnregion im Unterkiefer

#### Zu 1b) Ergebnisse bezogen auf die Erfahrung der Untersucher

Die Tabellen 11 und 12 zeigen eine Übersicht der Notenvergabe bzgl. der Erfahrung der Untersucher. Für die erfahrene Gruppe lag der Mittelwert bei 2,13 ( $\pm 1,131$ ) im DVT und 2,43 ( $\pm 0,825$ ) im OPTG. Die unerfahrene Gruppe kam im DVT auf 2,51 ( $\pm 1,057$ ) und im OPTG auf 2,60 ( $\pm 0,944$ ). Hier zeigte der t-Test im DVT eine signifikant bessere Beurteilung der erfahrenen Untersucher mit  $p = 0,003$ . Für die Auswertung im OPTG ergab sich keine signifikante Abweichung ( $p = 1,49$ ).

Noten	Erfahrung			
	erfahren		unerfahren	
	Häufigkeit	Prozent	Häufigkeit	Prozent
1	6	8,0	5	6,7
2	39	52,0	34	45,3
3	24	32,0	27	36,0
4	4	5,3	4	5,3
5	2	2,7	5	6,7

Tab. 11: Deskriptive Statistik der Notenvergabe im **OPTG** bezogen auf die Erfahrung der Untersucher zur Beurteilung einer Weisheitszahnregion im Unterkiefer

Noten	Erfahrenheit			
	erfahren		unerfahren	
	Häufigkeit	Prozent	Häufigkeit	Prozent
1	28	37,3	13	17,3
2	20	26,7	27	36,0
3	20	26,7	22	29,3
4	3	4,0	10	13,3
5	4	5,3	3	4,0

Tab. 12: Deskriptive Statistik der Notenvergabe im **DVT** bezogen auf die Erfahrung der Untersucher zur Beurteilung einer Weisheitszahnregion im Unterkiefer

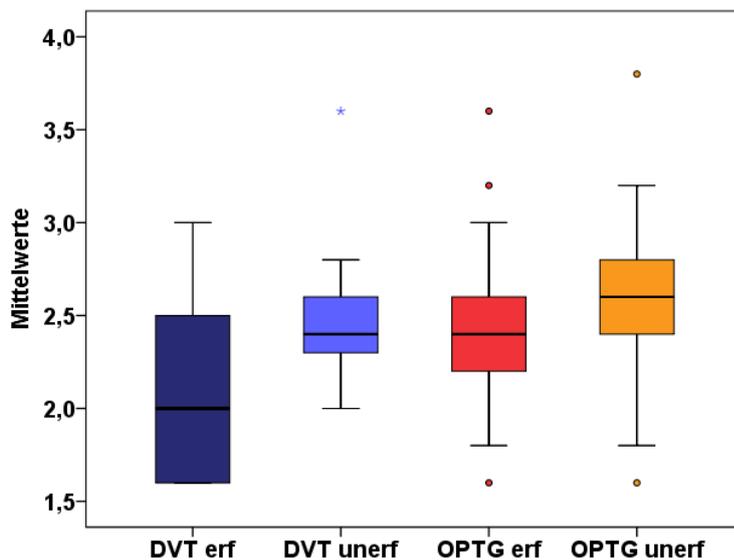


Abb. 15: Graphische Darstellung der Mittelwerte aus der Notenvergabe bezogen auf die Erfahrung der Untersucher für **OPTG und DVT** zur Beurteilung einer Weisheitszahnregion im Unterkiefer

**Zu 2a)** Ergebnisse der allgemeinen Häufigkeit der gegebenen Antworten von allen Untersuchern bezogen auf alle Patienten

Die OPTG-Ansicht wurde achtmal (5,33 %) mit – nicht beurteilbar – angegeben.

Für die DVT-Ansichten gibt Tabelle 13 eine Übersicht über die Häufigkeit der gegebenen Antworten.

Antwortmöglichkeiten	Häufigkeit	Prozent
Ich komme zu einer anderen Diagnose, da die Darstellung im DVT besser ist	28	18,7
Bestätigt meine Verdachtsdiagnose und hilft mir bei der weiteren Therapieplanung	48	32
Nicht beurteilbar	16	10,7
Bestätigt meine Verdachtsdiagnose, wäre aber nicht notwendig gewesen	58	38,7

Tab. 13: Deskriptive Statistik der gegebenen Antworten für alle Untersucher im **DVT** zur Beurteilung einer Weisheitszahnregion im Unterkiefer

**Zu 2b)** Ergebnisse der allgemeinen Häufigkeit der gegebenen Antworten bezogen auf die Erfahrung der Untersucher

Unterschiede bzgl. der Erfahrung lassen sich aus den Tabellen 14 und 15 entnehmen. Hier zeigte der chi-Quadratstest mit  $p = 0,031$  einen signifikanten Unterschied zwischen den Untersuchergruppen. Die erfahrene Gruppe gab deutlich häufiger an, die Aufnahme nicht mehr benötigt zu haben, während die unerfahrene Gruppe häufig den Nutzen für eine weitere Therapieplanung sah.

Antwortmöglichkeiten	Erfahrung			
	erfahren		unerfahren	
	Häufigkeit	Prozent	Häufigkeit	Prozent
Nein	40	53,3	42	56,0
Ja	32	42,7	28	37,3
Nicht beurteilbar	3	4,0	5	6,7

Tab. 14: Deskriptive Statistik der gegebenen Antworten im **OPTG** bezogen auf die Erfahrung der Untersucher zur Beurteilung einer Weisheitszahnregion im Unterkiefer

Antwortmöglichkeiten	Erfahrenheit			
	erfahren		unerfahren	
	Häufigkeit	Prozent	Häufigkeit	Prozent
Ich komme zu einer anderen Diagnose, da die Darstellung im DVT besser ist	12	16,0	16	21,3
Bestätigt meine Verdachtsdiagnose und hilft mir bei der weiteren Therapieplanung	20	26,7	28	37,3
Nicht beurteilbar	6	8,0	10	13,3
Bestätigt meine Verdachtsdiagnose, wäre aber nicht notwendig gewesen	37	49,3	21	28,0

Tab. 15: Deskriptive Statistik der gegebenen Antworten im **DVT** bezogen auf die Erfahrung der Untersucher zur Beurteilung einer Weisheitszahnregion im Unterkiefer

#### 4.4 Erkennen von Pathologien am rechten Kondylus

**Zu 1a)** Ergebnisse aller Untersucher betrachtet für alle Patienten

Die Tabellen 16 und 17 geben eine Übersicht über die Notenvergabe in dieser Region. Bei der Diagnostik zum Erkennen von Pathologien zeigte sich für den rechten Kondylus ein Mittelwert von 2,53 ( $\pm$  1,283) im DVT und von 3,32 ( $\pm$  1,125) im OPTG. Der t-Test ergab in diesem Fall eine signifikant bessere Darstellung im DVT ( $p = 0,037$ )

Noten	Häufigkeit	Prozent
1	5	3,3
2	32	21,3
3	54	36
4	28	18,7
5	31	20,7

Tab. 16: Deskriptive Statistik der Notenvergabe im **OPTG** für alle Untersucher zum Erkennen von Pathologien am rechten Kondylus

Noten	Häufigkeit	Prozent
1	32	21,3
2	58	38,7
3	28	18,7
4	12	8
5	20	13,3

Tab. 17: Deskriptive Statistik der Notenvergabe im **DVT** für alle Untersucher zum Erkennen von Pathologien am rechten Kondylus

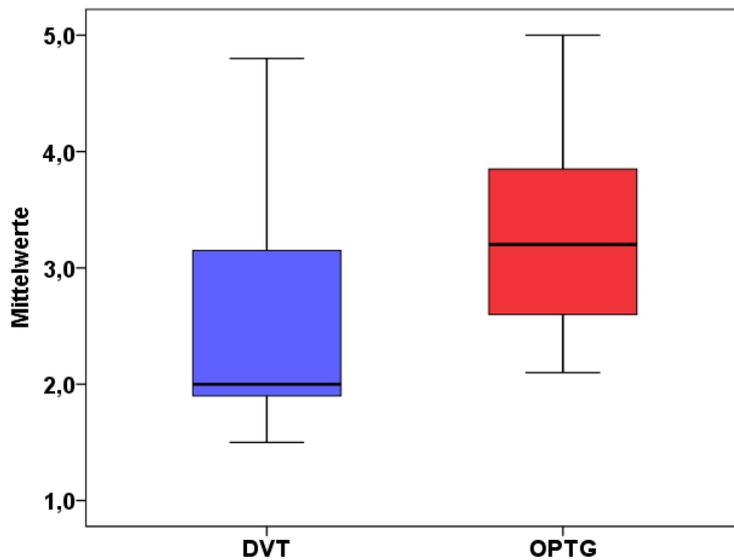


Abb. 16: Graphische Darstellung der Mittelwerte aus der Notenvergabe bezogen auf alle Untersucher für **OPTG** und **DVT** zum Erkennen von Pathologien am rechten Kondylus

#### Zu 1b) Ergebnisse bezogen auf die Erfahrung der Untersucher

Der Einfluss der unterschiedlichen Erfahrung auf die Notenvergabe kann den Tabellen 18 und 19 entnommen werden. Die erfahrenen Befunder isoliert betrachtet führte im Mittel zu einem Wert von 2,45 ( $\pm 1,427$ ) in der DVT-Ansicht und 3,43 ( $\pm 1,176$ ) im OPTG. Das Gleiche untersucht für die unerfahrenen Untersucher führte im DVT zu 2,61 ( $\pm 1,126$ ) und im OPTG zu 3,21 ( $\pm 1,069$ ). Der t-Test zeigte keinen signifikanten Unterschied für die Darstellung im DVT ( $p = 0,324$ ). Im OPTG wurde ebenfalls ohne signifikante Abweichung bewertet ( $p = 0,108$ ).

Noten	Erfahrungheit			
	erfahren		unerfahren	
	Häufigkeit	Prozent	Häufigkeit	Prozent
1	3	4,0	2	2,7
2	14	18,7	18	24,0
3	25	33,3	29	38,7
4	14	18,7	14	18,7
5	19	25,3	12	16,0

Tab. 18: Deskriptive Statistik der Notenvergabe im **OPTG** bezogen auf die Erfahrung der Untersucher zum Erkennen von Pathologien am rechten Kondylus

Noten	Erfahrenheit			
	erfahren		unerfahren	
	Häufigkeit	Prozent	Häufigkeit	Prozent
1	22	29,3	10	13,3
2	27	36,0	31	41,3
3	10	13,3	18	24,0
4	2	2,7	10	13,3
5	14	18,7	6	8,0

Tab. 19: Deskriptive Statistik der Notenvergabe im **DVT** bezogen auf die Erfahrung der Untersucher zum Erkennen von Pathologien am rechten Kondylus

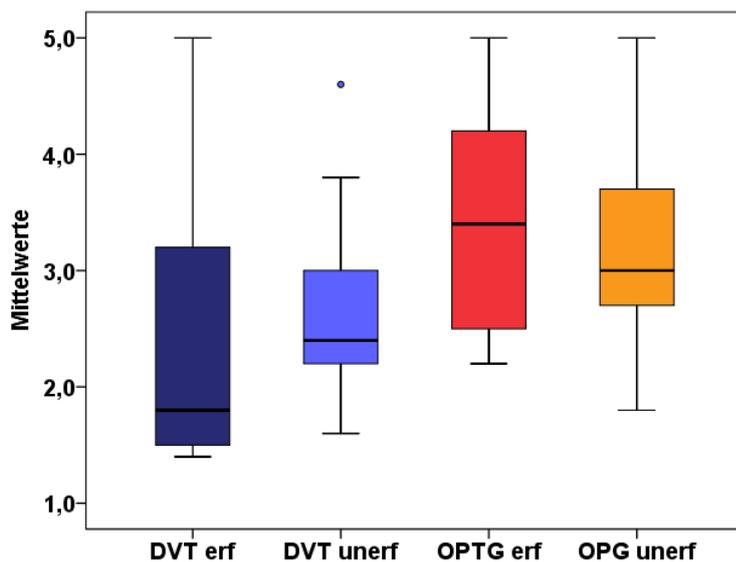


Abb. 17: Graphische Darstellung der Mittelwerte aus der Notenvergabe bezogen auf die Erfahrung der Untersucher für **OPTG und DVT** zum Erkennen von Pathologien am rechten Kondylus

**Zu 2a)** Ergebnisse der allgemeinen Häufigkeit der gegebenen Antworten von allen Untersuchern bezogen auf alle Patienten

In der zweidimensionalen Darstellung wurde 35 mal (23,33 %) mit – nicht beurteilbar – geurteilt.

Die Häufigkeit der gegebenen Antworten im DVT ist in Tabelle 20 veranschaulicht.

Antwortmöglichkeiten	Häufigkeit	Prozent
Ich komme zu einer anderen Diagnose, da die Darstellung im DVT besser ist	40	26,7
Bestätigt meine Verdachtsdiagnose und hilft mir bei der weiteren Therapieplanung	31	20,7
Nicht beurteilbar	28	18,7
Bestätigt meine Verdachtsdiagnose, wäre aber nicht notwendig gewesen	51	34

Tab. 20: Deskriptive Statistik der gegebenen Antworten im **DVT** für alle Untersucher zum Erkennen von Pathologien am rechten Kondylus

**Zu 2b)** Ergebnisse der allgemeinen Häufigkeit der gegebenen Antworten bezogen auf die Erfahrung der Untersucher

Die Häufigkeit der vergebenen Antwortmöglichkeiten unter Berücksichtigung der Erfahrung zeigen die Tabellen 21 und 22.

Hier zeigte sich zwischen den Untersuchern kein signifikanter Unterschied im chi-Quadratstest bezüglich der Antworten – bestätigt und hilft – sowie – bestätigt aber nicht nötig – ( $p = 0,178$ ).

Antwortmöglichkeiten	Erfahrung			
	erfahren		unerfahren	
	Häufigkeit	Prozent	Häufigkeit	Prozent
Nein	48	64,0	50	66,7
Ja	7	9,3	10	13,3
Nicht beurteilbar	20	26,7	15	20,0

Tab. 21: Deskriptive Statistik der gegebenen Antworten im **OPTG** bezogen auf die Erfahrung der Untersucher zum Erkennen von Pathologien am rechten Kondylus

Antwortmöglichkeiten	Erfahrenheit			
	erfahren		unerfahren	
	Häufigkeit	Prozent	Häufigkeit	Prozent
Ich komme zu einer anderen Diagnose, da die Darstellung im DVT besser ist	20	26,7	20	26,7
Bestätigt meine Verdachtsdiagnose und hilft mir bei der weiteren Therapieplanung	12	16,0	19	25,3
Nicht beurteilbar	15	20,0	13	17,3
Bestätigt meine Verdachtsdiagnose, wäre aber nicht notwendig gewesen	28	37,3	23	30,7

Tab. 22: Deskriptive Statistik der gegebenen Antworten im **DVT** bezogen auf die Erfahrung der Untersucher zum Erkennen von Pathologien am rechten Kondylus

#### 4.5 Erkennen von Pathologien der Kieferhöhle

**Zu 1a)** Ergebnisse aller Untersucher betrachtet für alle Patienten

Eine Übersicht über die Notenvergabe bei dieser Region geben die Tabellen 23 und 24. Für die Kieferhöhlen konnte ein Mittelwert von 1,51 ( $\pm 0,730$ ) für die Darstellung im DVT und ein Wert von 3,01 ( $\pm 0,835$ ) für die OPTG-Bildgebung festgestellt werden. Dies führte zu einem signifikant besseren Ergebnis für das DVT ( $p < 0,001$ ).

Noten	Häufigkeit	Prozent
1	1	0,7
2	42	28
3	67	44,7
4	34	22,7
5	6	4

Tab. 23: Deskriptive Statistik der Notenvergabe im **OPTG** für alle Untersucher zum Erkennen von Pathologien der Kieferhöhle

Noten	Häufigkeit	Prozent
1	92	61,3
2	43	28,7
3	12	8
4	3	2
5	0	0

Tab. 24: Deskriptive Statistik der Notenvergabe im **DVT** für alle Untersucher zum Erkennen von Pathologien der Kieferhöhle

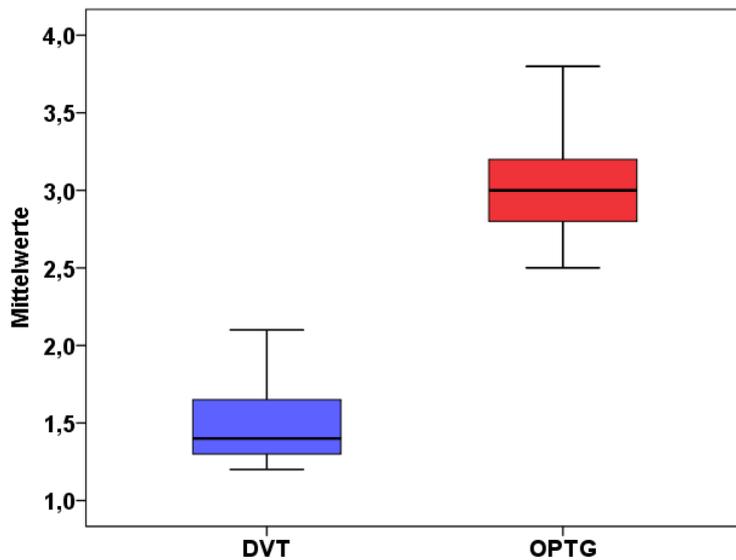


Abb. 18: Graphische Darstellung der Mittelwerte aus der Notenvergabe bezogen auf alle Untersucher für **OPTG** und **DVT** zum Erkennen von Pathologien der Kieferhöhle

#### Zu 1b) Ergebnisse bezogen auf die Erfahrung der Untersucher

Der Unterschied in der Notenvergabe bzgl. der Erfahrung der Untersucher ist in den Tabellen 25 und 26 dargestellt. Daraus ergaben sich die Mittelwerte von 1,20 ( $\pm 0,435$ ) im DVT und 3,03 ( $\pm 0,915$ ) im OPTG für die erfahrenen sowie 1,81 ( $\pm 0,833$ ) im DVT und 3,00 ( $\pm 0,753$ ) in den OPTG-Ansichten bei den unerfahrenen Betrachtern. Hier konnte für die DVT-Aufnahmen im t-Test eine signifikant bessere Darstellung durch die erfahrene Gruppe ermittelt werden ( $p < 0,001$ ). Im OPTG zeigte sich mit  $p = 0,769$  keine signifikante Differenz zwischen den Untersuchern.

Noten	Erfahrung			
	erfahren		unerfahren	
	Häufigkeit	Prozent	Häufigkeit	Prozent
1	1	1,3	0	0,0
2	24	32,0	18	24,0
3	25	33,3	42	56,0
4	22	29,3	12	16,0
5	3	4,0	3	4,0

Tab. 25: Deskriptive Statistik der Notenvergabe im **OPTG** bezogen auf die Erfahrung der Untersucher zum Erkennen von Pathologien der Kieferhöhle

Noten	Erfahrenheit			
	erfahren		unerfahren	
	Häufigkeit	Prozent	Häufigkeit	Prozent
1	61	81,3	31	41,3
2	13	17,3	30	40,0
3	1	1,3	11	14,7
4	0	0,0	3	4,0

Tab. 26: Deskriptive Statistik der Notenvergabe im **DVT** bezogen auf die Erfahrung der Untersucher zum Erkennen von Pathologien der Kieferhöhle

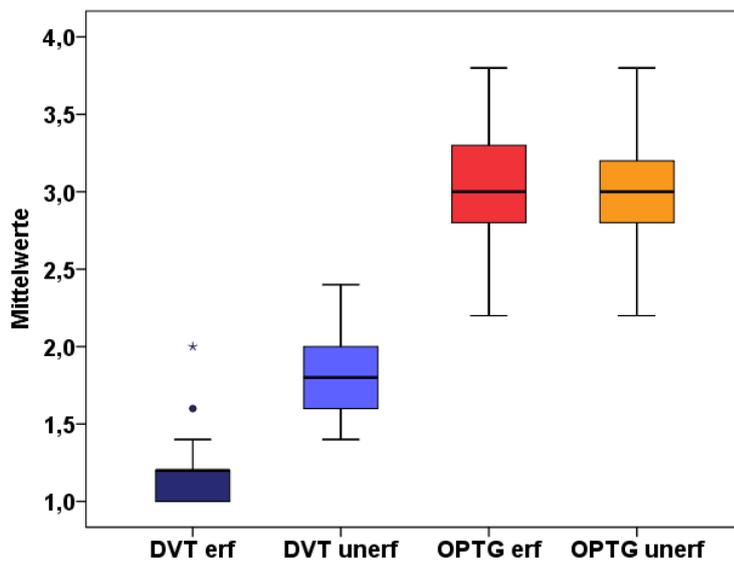


Abb. 19: Graphische Darstellung der Mittelwerte aus der Notenvergabe bezogen auf die Erfahrung der Untersucher für **OPTG und DVT** zum Erkennen von Pathologien der Kieferhöhle

**Zu 2a)** Ergebnisse der allgemeinen Häufigkeit der gegebenen Antworten von allen Untersuchern bezogen auf alle Patienten

In den OPTG-Darstellungen antworteten die Untersucher elfmal (7,33 %) mit – nicht beurteilbar.

Die Ergebnisse der Antworten im DVT sind Tabelle 27 zu entnehmen.

Antwortmöglichkeiten	Häufigkeit	Prozent
Ich komme zu einer anderen Diagnose, da die Darstellung im DVT besser ist	67	44,7
Bestätigt meine Verdachtsdiagnose und hilft mir bei der weiteren Therapieplanung	32	21,3
Nicht beurteilbar	2	1,3
Bestätigt meine Verdachtsdiagnose, wäre aber nicht notwendig gewesen	49	32,7

Tab. 27: Deskriptive Statistik der gegebenen Antworten im **DVT** für alle Untersucher zum Erkennen von Pathologien der Kieferhöhle

**Zu 2b)** Ergebnisse der allgemeinen Häufigkeit der gegebenen Antworten bezogen auf die Erfahrungheit der Untersucher

Die Tabellen 28 und 29 geben eine Übersicht über die gegebenen Antworten der unterschiedlichen Untersuchergruppen in dieser Region. Für diese Fragestellung wurde erneut signifikant im chi-Quadratstest mit  $p = 0,001$  deutlich, dass die Erfahrenen die DVT-Aufnahme öfter mit – nicht mehr nötig – ansahen, während die unerfahrene Gruppe eher zusätzliche Vorteile und den Nutzen für die weitere Therapie angab.

Antwortmöglichkeiten	Erfahrungheit			
	erfahren		unerfahren	
	Häufigkeit	Prozent	Häufigkeit	Prozent
Nein	43	57,3	54	72,0
Ja	25	33,3	17	22,7
Nicht beurteilbar	7	9,3	4	5,3

Tab. 28: Deskriptive Statistik der gegebenen Antworten im **OPTG** bezogen auf die Erfahrungheit der Untersucher zum Erkennen von Pathologien der Kieferhöhle

Antwortmöglichkeiten	Erfahrenheit			
	erfahren		unerfahren	
	Häufigkeit	Prozent	Häufigkeit	Prozent
Ich komme zu einer anderen Diagnose, da die Darstellung im DVT besser ist	33	44,0	34	45,3
Bestätigt meine Verdachtsdiagnose und hilft mir bei der weiteren Therapieplanung	24	32,0	8	10,7
Nicht beurteilbar	0	0,0	2	2,7
Bestätigt meine Verdachtsdiagnose, wäre aber nicht notwendig gewesen	18	24,0	31	41,3

Tab. 29: Deskriptive Statistik der gegebenen Antworten im **DVT** bezogen auf die Erfahrung der Untersucher zum Erkennen von Pathologien der Kieferhöhle

#### 4.6 Beurteilung von parodontalem Knochenabbau

**Zu 1a)** Ergebnisse aller Untersucher betrachtet für alle Patienten

Die Tabellen 30 und 31 geben eine Übersicht über das Ergebnis der Notenvergabe. Parodontaler Knochenabbau führte in den DVT-Aufnahmen insgesamt betrachtet zu einem Mittelwert von 2,46 ( $\pm 0,924$ ) und in den OPTG-Aufnahmen zu 2,62 ( $\pm 0,897$ ). Für dieses Kriterium konnte nach dem t-Test keine statistisch bessere Signifikanz für ein Verfahren ermittelt werden ( $p = 0,429$ ).

Noten	Häufigkeit	Prozent
1	10	6,7
2	67	44,7
3	49	32,7
4	20	13,3
5	4	2,7

Tab. 30: Deskriptive Statistik der Notenvergabe im **OPTG** für alle Untersucher zur Beurteilung von parodontalem Knochenabbau

Noten	Häufigkeit	Prozent
1	13	8,7
2	47	31,3
3	49	32,7
4	22	14,7
5	19	12,7

Tab. 31: Deskriptive Statistik der Notenvergabe im **DVT** für alle Untersucher zur Beurteilung von parodontalem Knochenabbau

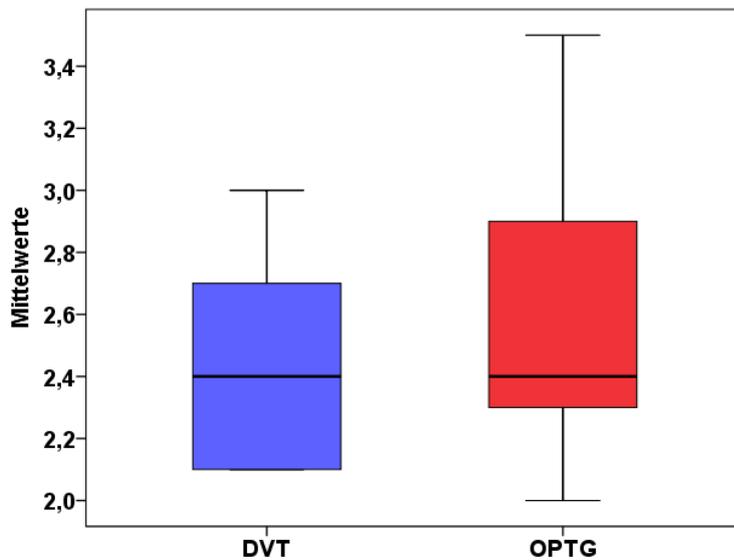


Abb. 20: Graphische Darstellung der Mittelwerte aus der Notenvergabe bezogen auf alle Untersucher für **OPTG** und **DVT** zur Beurteilung von parodontalem Knochenabbau

#### Zu 1b) Ergebnisse bezogen auf die Erfahrung der Untersucher

In den Tabellen 32 und 33 ist das Ergebnis der Notenvergabe bezogen auf die Erfahrung veranschaulicht. Die getrennte Betrachtung erbrachte Mittelwerte von 2,56 ( $\pm 0,933$ ) im DVT und 2,45 ( $\pm 0,827$ ) im OPTG für die Erfahrenen. Die Unerfahrenen bewerteten im Mittel mit 2,36 ( $\pm 0,91$ ) für die 3D-Ansicht und mit 2,76 ( $\pm 0,942$ ) im OPTG. Die Gruppe der unerfahrenen Auswerter zeigte hier eine signifikant bessere Bewertung der DVT-Aufnahmen ( $p = 0,042$ ). Bezüglich der OPTG-Auswertung besteht eine signifikant bessere Beurteilung durch die erfahrene Gruppe ( $p = 0,049$ ).

Noten	Erfahrenheit			
	erfahren		unerfahren	
	Häufigkeit	Prozent	Häufigkeit	Prozent
1	7	9,3	3	4,0
2	36	48,0	31	41,3
3	23	30,7	26	34,7
4	9	12,0	11	14,7
5	0	0,0	4	5,3

Tab. 32: Deskriptive Statistik der Notenvergabe im **OPTG** bezogen auf die Erfahrung der Untersucher zur Beurteilung von parodontalem Knochenabbau

Noten	Erfahrenheit			
	erfahren		unerfahren	
	Häufigkeit	Prozent	Häufigkeit	Prozent
1	10	13,3	13	17,3
2	25	33,3	31	41,3
3	29	38,7	22	29,3
4	10	13,3	9	12,0
5	1	1,3	0	0,0

Tab. 33: Deskriptive Statistik der Notenvergabe im **DVT** bezogen auf die Erfahrung der Untersucher zur Beurteilung von parodontalem Knochenabbau

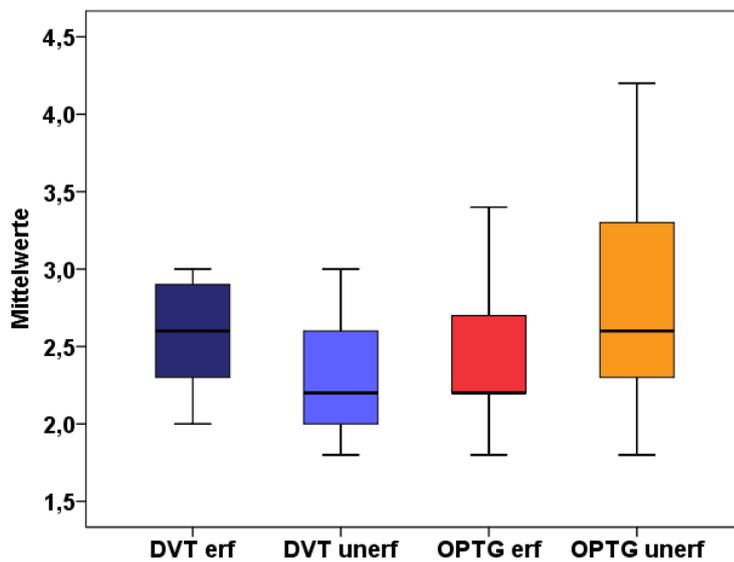


Abb. 21: Graphische Darstellung der Mittelwerte aus der Notenvergabe bezogen auf die Erfahrung der Untersucher für **OPTG und DVT** zur Beurteilung von parodontalem Knochenabbau

**Zu 2a)** Ergebnisse der allgemeinen Häufigkeit der gegebenen Antworten von allen Untersuchern bezogen auf alle Patienten

Hier urteilten die Befunder im OPTG dreimal (2 %) mit – nicht beurteilbar.

Die Antworten zu den dreidimensionalen Ansichten finden sich in Tabelle 34.

Antwortmöglichkeiten	Häufigkeit	Prozent
Ich komme zu einer anderen Diagnose, da die Darstellung im DVT besser ist	21	14
Bestätigt meine Verdachtsdiagnose und hilft mir bei der weiteren Therapieplanung	15	10
Nicht beurteilbar	9	6
Bestätigt meine Verdachtsdiagnose, wäre aber nicht notwendig gewesen	105	70

Tab. 34: Deskriptive Statistik der gegebenen Antworten im **DVT** für alle Untersucher zur Beurteilung von parodontalem Knochenabbau

**Zu 2b)** Ergebnisse der allgemeinen Häufigkeit der gegebenen Antworten bezogen auf die Erfahrungheit der Untersucher

Die Häufigkeit der Antworten, unterschieden nach Erfahrungheit der Untersucher, können den Tabellen 35 und 36 entnommen werden. Der chi-Quadratstest zeigte hier mit  $p = 0,107$  keine Signifikanz bezüglich der Antworten – hilft mir weiter – und – unnötig – zwischen den Untersuchergruppen.

Antwortmöglichkeiten	Erfahrungheit			
	erfahren		unerfahren	
	Häufigkeit	Prozent	Häufigkeit	Prozent
Nein	54	72,0	33	44,0
Ja	21	28,0	39	52,0
Nicht beurteilbar	0	0,0	3	4,0

Tab. 35: Deskriptive Statistik der gegebenen Antworten im **OPTG** bezogen auf die Erfahrungheit der Untersucher zur Beurteilung von parodontalem Knochenabbau

Antwortmöglichkeiten	Erfahrenheit			
	erfahren		unerfahren	
	Häufigkeit	Prozent	Häufigkeit	Prozent
Ich komme zu einer anderen Diagnose, da die Darstellung im DVT besser ist	5	6,7	16	21,3
Bestätigt meine Verdachtsdiagnose und hilft mir bei der weiteren Therapieplanung	5	6,7	10	13,3
Nicht beurteilbar	6	8,0	3	4,0
Bestätigt meine Verdachtsdiagnose, wäre aber nicht notwendig gewesen	59	78,7	46	61,3

Tab. 36: Deskriptive Statistik der gegebenen Antworten im **DVT** bezogen auf die Erfahrung der Untersucher zur Beurteilung von parodontalem Knochenabbau

#### 4.7 Beurteilung von konservierenden Restaurationen

**Zu 1a)** Ergebnisse aller Untersucher betrachtet für alle Patienten

Eine Übersicht über die Notenvergabe zu dieser Region geben die Tabellen 37 und 38. Die Beurteilung konservierender Restaurationen erreichte im Mittel 2,91 ( $\pm 1,147$ ) im DVT und 2,72 ( $\pm 0,913$ ) im OPTG. Hier zeigte sich mit ( $p = 0,204$ ) ebenfalls kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Geräten.

Noten	Häufigkeit	Prozent
1	8	5,3
2	61	40,7
3	50	33,3
4	27	18
5	4	2,7

Tab. 37: Deskriptive Statistik der Notenvergabe im **OPTG** für alle Untersucher zur Beurteilung von konservierenden Restaurationen

Noten	Häufigkeit	Prozent
1	13	8,7
2	47	31,3
3	49	32,7
4	22	14,7
5	19	12,7

Tab. 38: Deskriptive Statistik der Notenvergabe im **DVT** für alle Untersucher zur Beurteilung von konservierenden Restaurationen

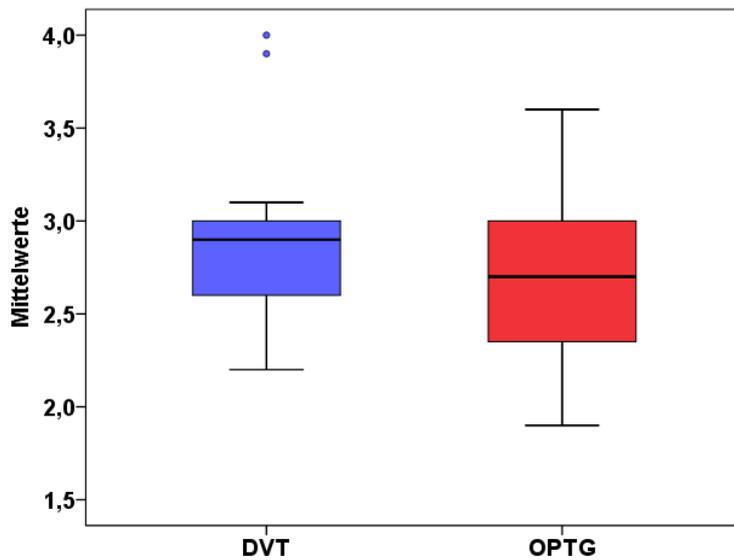


Abb. 22: Graphische Darstellung der Mittelwerte aus der Notenvergabe bezogen auf alle Untersucher für **OPTG** und **DVT** zur Beurteilung von konservierenden Restaurationen

### Zu 1b) Ergebnisse bezogen auf die Erfahrung der Untersucher

Die Tabellen 39 und 40 zeigen die unterschiedliche Bewertung der erfahrenen und unerfahrenen Untersuchergruppe. Daraus ergaben sich Mittelwerte von 3,36 ( $\pm 1,123$ ) im DVT und 2,49 ( $\pm 0,906$ ) im OPTG für die erfahrene Gruppe und 2,47 ( $\pm 0,991$ ) im DVT sowie 2,95 ( $\pm 0,868$ ) im OPTG für die unerfahrene Gruppe. Über den t-Test ließ sich ein signifikant besseres Ergebnis durch die unerfahrenen Bewerter im DVT ermitteln ( $p < 0,001$ ). Im OPTG lag die signifikant bessere Aussage bei der erfahrenen Gruppe ( $p = 0,001$ ).

Noten	Erfahrung			
	erfahren		unerfahren	
	Häufigkeit	Prozent	Häufigkeit	Prozent
1	7	9,3	1	1,3
2	36	48,0	25	33,3
3	22	29,3	28	37,3
4	8	10,7	19	25,3
5	2	2,7	2	2,7

Tab. 39: Deskriptive Statistik der Notenvergabe im **OPTG** bezogen auf die Erfahrung der Untersucher zur Beurteilung von konservierenden Restaurationen

Noten	Erfahrenheit			
	erfahren		unerfahren	
	Häufigkeit	Prozent	Häufigkeit	Prozent
1	2	2,7	11	14,7
2	16	21,3	31	41,3
3	26	34,7	23	30,7
4	15	20,0	7	9,3
5	16	21,3	3	4,0

Tab. 40: Deskriptive Statistik der Notenvergabe im **DVT** bezogen auf die Erfahrung der Untersucher zur Beurteilung von konservierenden Restaurationen

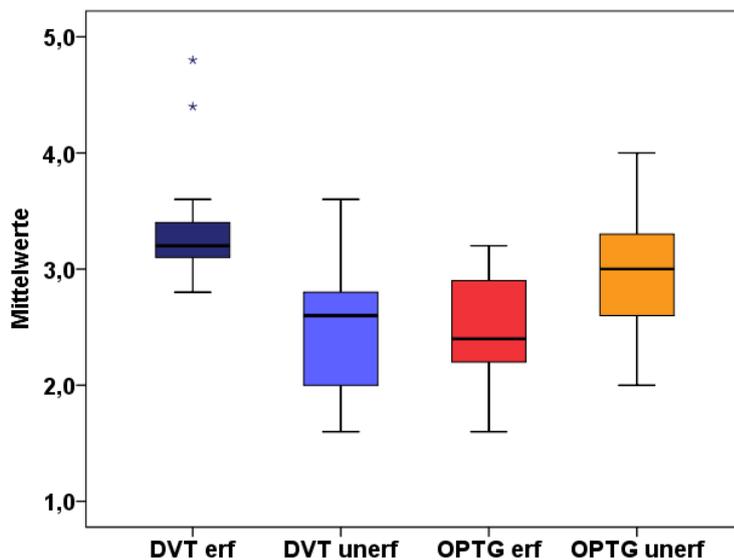


Abb. 23: Graphische Darstellung der Mittelwerte aus der Notenvergabe bezogen auf die Erfahrung der Untersucher für **OPTG und DVT** zur Beurteilung von konservierenden Restaurationen

**Zu 2a)** Ergebnisse der allgemeinen Häufigkeit der gegebenen Antworten von allen Untersuchern bezogen auf alle Patienten

Für diese Region gaben die Untersucher im OPTG 13 mal (8,67 %) – nicht beurteilbar – an.

Die Antworten im DVT können aus der Tabelle 41 entnommen werden.

Antwortmöglichkeiten	Häufigkeit	Prozent
Ich komme zu einer anderen Diagnose, da die Darstellung im DVT besser ist	35	23,3
Bestätigt meine Verdachtsdiagnose und hilft mir bei der weiteren Therapieplanung	9	6
Nicht beurteilbar	32	21,3
Bestätigt meine Verdachtsdiagnose, wäre aber nicht notwendig gewesen	74	49,3

Tab. 41: Deskriptive Statistik der gegebenen Antworten im **DVT** für alle Untersucher zur Beurteilung von konservierenden Restaurationen

**Zu 2b)** Ergebnisse der allgemeinen Häufigkeit der gegebenen Antworten bezogen auf die Erfahrung der Untersucher

Die Häufigkeit aller Antwortmöglichkeiten im OPTG und im DVT bezogen auf die Erfahrung der Untersucher sind in den Tabellen 42 und 43 veranschaulicht. Der chi-Quadratstest zeigte mit  $p = 0,313$  keine Signifikanz zwischen den Antwortmöglichkeiten – bestätigt und hilft – und – bestätigt aber nicht unbedingt nötig.

Antwortmöglichkeiten	Erfahrung			
	erfahren		unerfahren	
	Häufigkeit	Prozent	Häufigkeit	Prozent
suffizient	36	48,0	28	37,3
insuffizient	37	49,3	36	48,0
Nicht beurteilbar	2	2,7	11	14,7

Tab. 42: Deskriptive Statistik der gegebenen Antworten im **OPTG** bezogen auf die Erfahrung der Untersucher zur Beurteilung von konservierenden Restaurationen

Antwortmöglichkeiten	Erfahrenheit			
	erfahren		unerfahren	
	Häufigkeit	Prozent	Häufigkeit	Prozent
Ich komme zu einer anderen Diagnose, da die Darstellung im DVT besser ist	9	12,0	26	34,7
Bestätigt meine Verdachtsdiagnose und hilft mir bei der weiteren Therapieplanung	3	4,0	6	8,0
Nicht beurteilbar	24	32,0	8	10,7
Bestätigt meine Verdachtsdiagnose, wäre aber nicht notwendig gewesen	39	52,0	35	46,7

*Tab. 43: Deskriptive Statistik der gegebenen Antworten im **DVT** bezogen auf die Erfahrung der Untersucher zur Beurteilung von konservierenden Restaurationen*

**Zu 1c)** Für alle Regionen zusammengefasst:

In Tabelle 3 im Anhang sind die Ergebnisse bezogen auf jeden der 15 Patienten individuell veranschaulicht. Jede Frage (1-6) wurde bei jedem Patienten (15) von jeweils zehn Untersuchern bewertet. Dargestellt ist für jede Frage jeweils Mittelwert, Median, Standardabweichung und Minimum-Maximum.

**Zu 2c)** Für alle Regionen zusammengefasst:

Die Tabellen 4 und 5 im Anhang zeigen die Häufigkeiten der gegebenen Antworten aus den Multiple-Choice Fragen individuell für jeden Patienten im OPTG und im DVT. Zu beachten ist auch hier, dass jede Frage insgesamt von zehn Untersuchern, davon fünf erfahrene und fünf unerfahrene beantwortet wurde.

## 4.8 Artefakte

Die Tabellen 44 und 45 geben einen Überblick, wie häufig sich die Untersucher durch evtl. vorkommende Artefakte beeinträchtigt gefühlt haben.

Antwortmöglichkeiten	Häufigkeit	Prozent
Nein	110	73,3
Ja	40	26,7

Tab. 44: Deskriptive Statistik, wie häufig sich die Untersucher im **OPTG** durch vorhandene Artefakte beeinträchtigt fühlten

Antwortmöglichkeiten	Häufigkeit	Prozent
Nein	53	35,3
Ja	97	64,7

Tab. 45: Deskriptive Statistik, wie häufig sich die Untersucher im **DVT** durch vorhandene Artefakte beeinträchtigt fühlten

Die Tabellen 46 und 47 zeigen die Unterschiede zwischen der Beurteilung durch die erfahrene und die unerfahrene Gruppe.

Antwortmöglichkeiten	Erfahrenheit			
	erfahren		unerfahren	
	Häufigkeit	Prozent	Häufigkeit	Prozent
Nein	47	62,7	63	84,0
Ja	28	37,3	12	16,0

Tab. 46: Deskriptive Statistik, wie häufig sich sowohl unerfahrene als auch erfahrene Untersucher im **OPTG** durch vorhandene Artefakte beeinträchtigt fühlten

Antwortmöglichkeiten	Erfahrenheit			
	erfahren		unerfahren	
	Häufigkeit	Prozent	Häufigkeit	Prozent
Nein	11	14,7	42	56,0
Ja	64	85,3	33	44,0

Tab. 47: Deskriptive Statistik, wie häufig sich sowohl unerfahrene als auch erfahrene Untersucher im **DVT** durch vorhandene Artefakte beeinträchtigt fühlten

Die Antworten für die Betrachtung für jeden Befunder (fünf erfahrene und fünf unerfahrene) auf jeden einzelnen Patienten bezogen, ist in Tabelle 6 im Anhang zusammengefasst.

Für die Frage, welche Artefakte die Untersucher jeweils in den beiden Bildgebungsmodalitäten gestört haben, ergaben sich unterschiedliche Antworten. Die Häufigkeiten sind in folgenden Tabellen zusammengefasst:

Artefakte	Häufigkeit	Prozent
nichts	109	72,7
Schichtfehler	2	1,3
Wirbelsäule	2	1,3
Luft zwischen Zunge und Gaumen	17	11,3
Luft zwischen Kieferhöhle und Epipharynx	6	4
Weichteiladdition/-subtraktion	2	1,3
Aufbisshalter	2	1,3
Metall	5	3,3
Bewegung	3	2
Kombination aus: Wirbelsäule, Weichteiladdition, Aufbisshalter	2	1,3

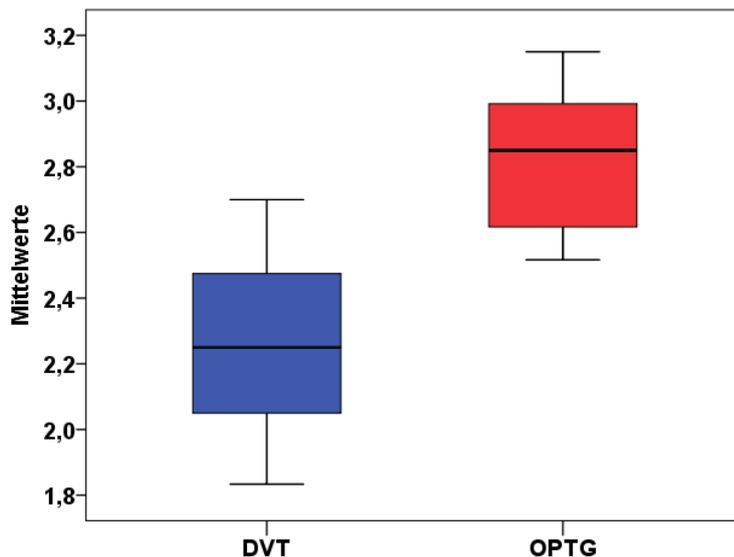
*Tab. 48: Deskriptive Statistik über die Art der vorhandenen Artefakte im **OPTG***

Artefakte	Häufigkeit	Prozent
nichts	107	71,3
Schichtfehler	1	0,7
Metall	42	28

*Tab. 49: Deskriptive Statistik über die Art der vorhandenen Artefakte im **DVT***

## 4.9 Zusammenfassung der Ergebnisse

Der Gesamtmittelwert, errechnet für alle sechs betrachteten Regionen, lag im OPTG bei 2,81 ( $\pm 0,217$ ) und im DVT bei 2,25 ( $\pm 0,252$ ). Der t-Test ergab daraus ein insgesamt signifikant besseres Ergebnis für die dreidimensionale Bildgebungsmodalität mit  $p < 0,001$ . Hier ist nochmals zu berücksichtigen, dass für die Untersucher nur eine eingeschränkte Möglichkeit der 3D-Software zur Verfügung stand und sich trotzdem ein deutlich positiveres Ergebnis für die DVT-Technologie vermerken lässt.



*Abb. 24: Graphische Darstellung der Gesamtmittelwerte aus der Notenvergabe für **OPTG und DVT***

Tabelle 50 gibt einen zusammenfassenden Überblick über die Mittelwerte aus der Notenvergabe und den Ergebnissen des t-Tests. Eine Übersicht in gleicher Form mit zusätzlicher Unterscheidung zwischen erfahrenen und unerfahrenen Untersuchern ist im Anhang in Tabelle 7 dargestellt. Einen graphischen Überblick zu den Antworten der Multiple-Choice Fragen geben die Abbildungen 25 und 26.

Frage	MW DVT (SD)	MW OPTG (SD)	T-Test (p)	
Frage 1	1,79 (± 0,832)	2,66 (± 0,810)	p < 0,001	→ DVT > OPTG
Frage 2	2,32 (± 1,107)	2,51 (± 0,888)	p = 0,179	→ DVT = OPTG
Frage 3	2,53 (± 1,283)	3,32 (± 1,125)	p = 0,037	→ DVT > OPTG
Frage 4	1,51 (± 0,730)	3,01 (± 0,835)	p < 0,001	→ DVT > OPTG
Frage 5	2,46 (± 0,924)	2,62 (± 0,897)	p = 0,429	→ DVT = OPTG
Frage 6	2,91 (± 1,147)	2,72 (± 0,913)	p = 0,204	→ DVT = OPTG

Tab. 50: Deskriptive Statistik der Gesamtergebnisse für alle Untersucher – dargestellt sind die Mittelwerte (MW) aus der Notenvergabe mit Standardabweichung (SD) für **OPTG** und **DVT** und das Ergebnis des t-Tests

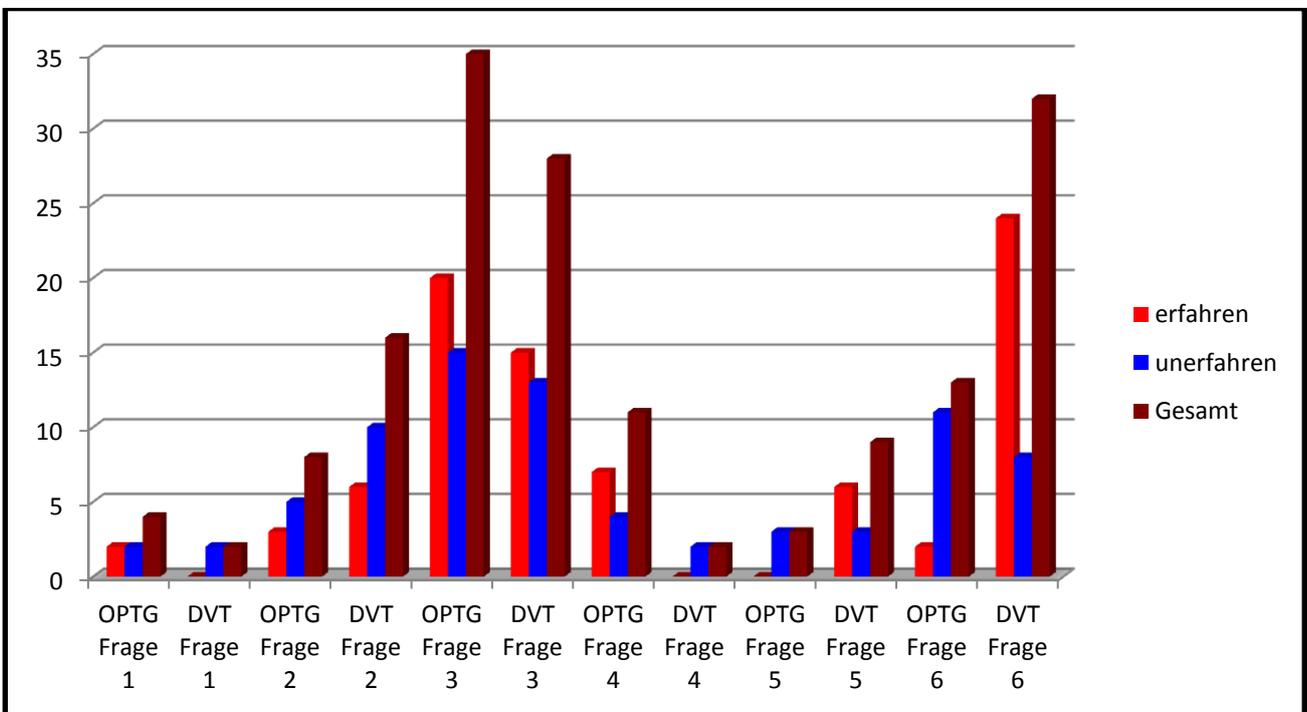


Abb. 25: Graphische Übersicht wie häufig sowohl **OPTG** als auch **DVT** von den Untersuchern mit der Aussage "nicht beurteilbar" bewertet wurden

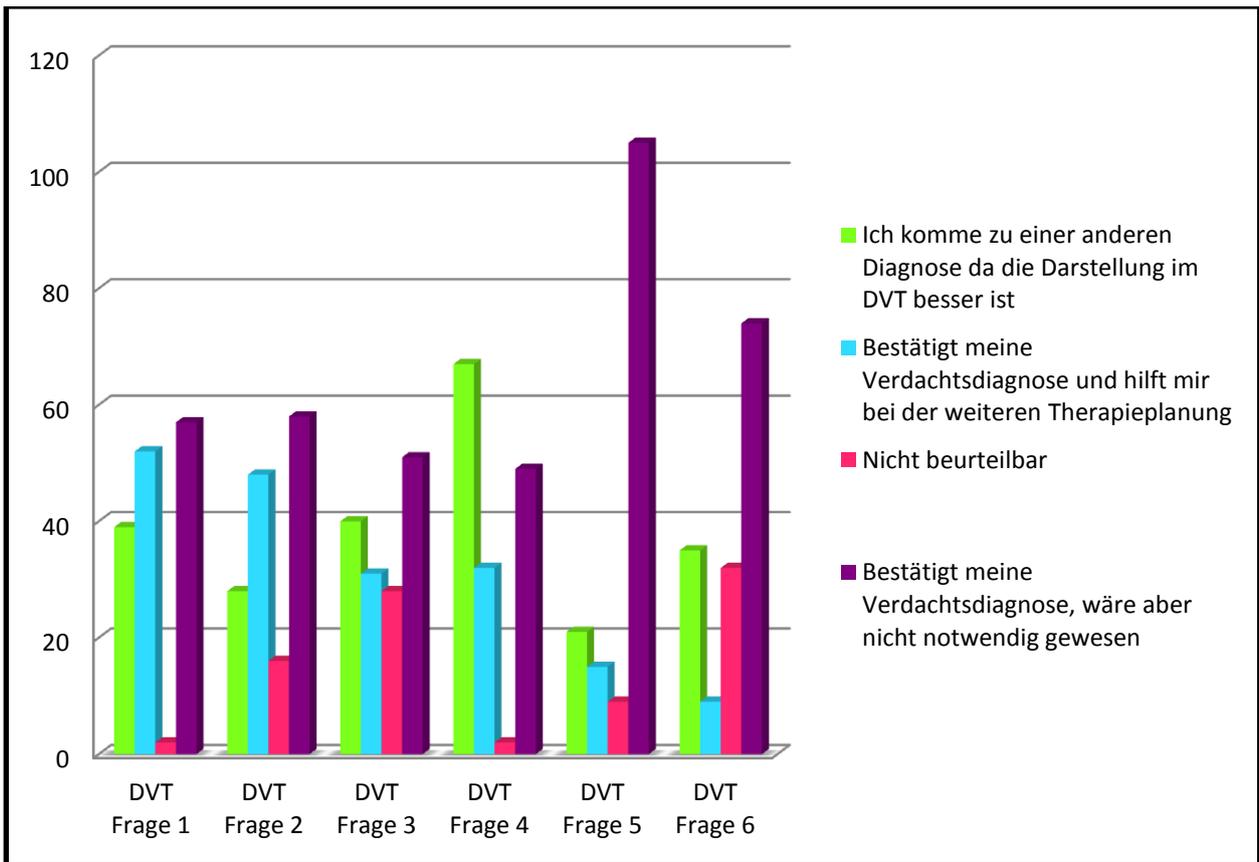


Abb. 26: Graphische Übersicht über die Häufigkeit der vergebenen Antworten im **DVT** für alle Untersucher

## 5. Diskussion

Die Ergebnisse dieser Studie führen zu klinisch relevanten Erkenntnissen. Keines der beiden Röntgenverfahren kann als das eindeutig bessere bezeichnet werden. Die dreidimensionalen Darstellungen des verwendeten DVT-Gerätes können zur Diagnostik spezifischer Bereiche durchaus empfohlen werden. Es ist möglich, die untersuchten Regionen jeweils in ihrer exakten anatomischen Lage zueinander und ohne Verzerrung und Überlagerung zu beurteilen. Dies bestätigt bereits Pulsfort (2009) in einer Studie mit dem gleichen Modell des digitalen dentalen Volumentomographen von Sirona im direkten metrischen Vergleich zu einem modernen Multidetektor-CT.

Liang (et al., 2009a) untersuchten fünf DVT-Geräte im Vergleich zum CT: Accuitomo 3D, i-CAT, NewTom 3G, Galileos und Scanora 3D. Dabei schnitt das Accuitomo 3D am besten beim Erkennen von anatomischen Strukturen ab. Der einzige Vorteil des CT zeigte sich in geringer vorhandenem Bildrauschen. Im direkten metrischen Vergleich erzielte das System Galileos von Sirona das zweitbeste Ergebnis (Liang et al., 2009b).

Seit der Einführung der DVT-Systeme in den zahnmedizinischen Sektor im Jahr 1998 hat sich diese Technologie rasant weiterentwickelt. In größeren radiologischen Zentren ist die Art von diagnostischem Zugewinn bereits etabliert (Neugebauer et al., 2007). Konstruktionsverbesserung und Kostenreduzierung tragen in den letzten Jahren auch zunehmend zu einem Einzug dieser Technik in kleinere Praxen bei. Der Markt an verschiedenen Systemen wächst stetig, sodass zahlreiche Systeme von unterschiedlichen Herstellern in Deutschland verzeichnet werden können (Bumann, 2010).

Empfehlungen zur Anwendung und Indikationen für die digitale dentale Volumentomographie sind in den letzten Jahren zahlreich beschrieben worden. Laut aktueller DGZMK-Leitlinie kann das DVT in vielen Bereichen der Zahnmedizin zum Einsatz kommen (Schulze et al., 2009). Doch wächst mit steigendem Einsatz der neuen Technik auch die Kritik an unnötiger Strahlen- und Kostenbelastung für den Patienten und das deutsche Gesundheitssystem, wo lange die Orthopantomographie als Goldstandard in der zahnmedizinischen Diagnostik ausreichend war. Die digitale dentale Volumentomographie ist als Position nicht in der GOÄ (Gebührenordnung für Ärzte) oder GOZ (Ge-

bührenordnung für Zahnärzte) enthalten. Sie ist demnach gemäß § 6 Abs. 2 GOÄ als analoge Leistung abrechenbar, d. h. sie wird "nach einer Art, Kosten- und Zeitaufwand gleichwertigen Leistung" des Gebührenverzeichnisses berechnet, was laut Bundeszahnärztekammer den Gebührensätzen 5370 (Computergesteuerte Tomographie im Kopfbereich) und 5377 (Zuschlag für computergesteuerte Analyse – einschließlich speziell nachfolgender 3D-Rekonstruktion) entspricht. Trotz neuer GOZ 2012 ist das Problem weiterhin immanent und die undeutliche Abrechnungssituation führt nicht selten zu Konflikten zwischen Krankenkassen und Ärzten. Nach wie vor bedeutet eine angefertigte DVT-Aufnahme private Kosten für den Patienten (Langhoff, 2012).

## 5.1 Diskussion Material und Methode

### 5.1.1 Patienten

Die Röntgenbilder entstammen alle der Datenbank der Poliklinik für Mund-, Kiefer- und plastische Gesichtschirurgie der Universitätsklinik in Köln. Ein Kriterium für die Auswahl war u. a., dass von jedem Patienten Röntgenaufnahmen beider Geräte vorliegen mussten. Da dies vor allem bei Frakturen der Fall war, bestand eine Hauptschwierigkeit darin, Aufnahmen ohne frakturversorgende Miniplatten zu finden. Obwohl diese Regionen aus der jeweiligen Fragestellung ausgeschlossen wurden, kam es dennoch zu zusätzlichen metallischen Artefakten, die in einigen Aufnahmen die Diagnosemöglichkeiten beeinträchtigten. Ebenfalls kritisch anzumerken ist der unterschiedliche Abstand zwischen den Aufnahmen. In zwei Fällen war dieser mit 5 bzw. 7 Monaten abweichend groß. Es können also kleinere Unterschiede zwischen den Regionen möglich gewesen sein. Beachtung finden müssen zudem die unterschiedliche Altersverteilung der Patienten und damit auch die Differenzen in Größe und Gewicht. Laut Ritter (et al., 2006) sinkt die Bildqualität mit dem Alter geringfügig, ist jedoch im Mittel noch als gut anzusehen. Außerdem ist anzunehmen, dass die Aufnahmen von unterschiedlichen Personen aufgenommen wurden. Die Standardisierung ist deshalb nicht konsistent. Mit dem vorlie-

genden Studiendesign sollte jedoch das Ziel verfolgt werden, eine möglichst realitätsnahe Situation zu simulieren.

Für die Beurteilung der Kiefergelenke muss beachtet werden, dass in vier OPTG-Aufnahmen und in zwei DVT-Aufnahmen die Kiefergelenke aufgrund von Aufnahme Fehlern bzw. zu kleinem Volumen der Aufnahme nicht abgebildet waren. Dieser Nachteil kann in OPTG-Aufnahmen gerade bei Patienten mit breitem Schädel auftreten, wenn diese nicht richtig positioniert werden. Solche Aufnahme Fehler kommen im DVT nicht vor. Hier wird eine mangelnde Aufnahmequalität fast ausschließlich durch technisch bedingte Mängel hervorgerufen – in diesem Fall durch ein zu kleines Aufnahmevolumen für sehr große Patienten – die durch Weiterentwicklung der Technologie in Zukunft zu vermeiden wären (Schulze et al., 2011). Die Bilder waren, wie bereits erwähnt, zufällig ausgewählt und wurden bewusst nicht aus der Studie ausgeschlossen.

### 5.1.2 Methode

Wie bereits beschrieben, basierte die Grundidee der Methodik auf einer von Mischkowski (et al., 2007) veröffentlichten Studie. Es wurden jedoch bewusst mehr Untersucher in den vorliegenden Versuchsablauf einbezogen als in der bereits bestehenden Arbeit, um eine höhere statistische Aussagekraft zu erhalten. Klingberg (2008) befragte ebenfalls bei ähnlichem Versuchsaufbau mit dem 3DX Accuitomo, und Schöllchen (2011) mit dem New Tom<sup>®</sup> nur drei bzw. zwei Zahnärzte.

Die zehn Untersucher wurden in dieser Studie zudem unter dem Aspekt ausgewählt, dass ein Gleichgewicht in der Erfahrung im Umgang mit der DVT-Diagnostik bestehen sollte, was weder bei Mischkowski (et al., 2007) noch bei Klingberg (2008) und Schöllchen (2011) mit ausschließlich erfahrenen Kollegen der Fall war. Diese Situation sollte zum einen den realitätsnahen Alltag in der Zahnmedizin widerspiegeln und zum anderen einer möglichen Beeinflussung der Studie durch den Erfahrungsgrad mit der jeweiligen Aufnahmetechnik vorbeugen.

Mit den zur Befundung stehenden Regionen sollte zudem möglichst das gesamte Einsatz- und Indikationsspektrum beider Röntgentechniken in der niedergelassenen zahnärztlichen Praxis abgedeckt werden. Durch die Verblindung und Randomisierung der

OPTG-Aufnahmen sollten für jede Darstellung gleiche Bedingungen unabhängig der Reihenfolge geschaffen werden.

Für den Ablauf der Untersuchung muss berücksichtigt werden, dass nur begrenzte Möglichkeiten der DVT-Technologie für die Untersucher zu Verfügung standen. Die einzelnen 3D-Rekonstruktionen konnten nicht vom Betrachter selbst nach eigenen Bedürfnissen eingestellt und nachjustiert werden. Ziel war es, eine Situation aus dem Praxisalltag zu simulieren, wo solche Screenshots zwischen verschiedenen Behandlern ausgetauscht und konkrete Fragestellungen zu einer bestimmten Region eines Patienten diskutiert werden können, ohne dass die komplette Software zur Verfügung stehen muss (Simon, 2008).

## 5.2 Diskussion der Ergebnisse

### Beurteilung von Komplikationen vor Molarenextraktion im Oberkiefer

Eine häufige Komplikation bei Extraktion oberer Molaren und Prämolaren ist die Eröffnung der Kieferhöhle. Dies zieht für den Patienten im schlimmsten Fall eine aus der Mundhöhle aufsteigende Entzündung nach sich. Diese Komplikation ist jedoch bei entsprechender Lage der Wurzeln kaum vermeidbar. Durch umfangreiche dreidimensionale Diagnostik kann die Wurzelkonfiguration jedoch bereits im Vorfeld eingeschätzt werden. Die Entscheidung, den Zahn sofort operativ zu entfernen, kann unter Umständen schonender sein und eine kleinere Eröffnung des Sinus zur Folge haben. Die Komplikationen für den Patienten werden dadurch minimiert (Horch, 2003). Howe (2009) bestätigt in seiner Studie die Genauigkeit der digitalen dentalen Volumetomographie zur Untersuchung des Knochens zwischen Oberkiefermolar und Kieferhöhle.

Die Darstellungs- und Befundungsmöglichkeiten wurden für diese Region von allen Untersuchern insgesamt signifikant besser auf den DVT-Aufnahmen bewertet ( $p < 0,001$ ). Die Note 1 – sehr gute Darstellung – wurde hier deutlich öfter vergeben (42,7 %) als für die OPTG-Bilder (4,7 %). Mit einem Median von 2 wurden auch in einer veröffentlichten Arbeit von Schöllchen (2011) mit dem DVT-Gerät New Tom vor allem die Beurteilbarkeit

der Lage eines Zahnes mit seiner Wurzel bzw. seinen Wurzeln und deren Beziehung zu Nachbarstrukturen als besonders gut eingestuft.

Auffällig ist hier zudem die signifikant bessere Bewertung durch die erfahrene Untersucherguppe für die dreidimensionale Bildgebung ( $p < 0,001$ ). Im OPTG hingegen wurde die zu untersuchende Region durch beide Gruppen gleich benotet ( $p = 0,308$ ). Schaut man auf die einzelnen Mittelwerte für jeden Patienten, so wird deutlich, dass diese in 13 von 15 Fällen besser für das DVT ausfielen. Klingberg (2008) erhielt in ihrer Studie mit dem DVT Gerät 3DX Accuitomo ebenfalls in 80 % der Beurteilung von Knochengrenzen, u.a. dem Boden der Kieferhöhle, ein deutlich besseres Ergebnis in dreidimensionaler Ansicht gegenüber der konventionellen Panoramaschichtaufnahme.

Übereinstimmungen zwischen den erfahrenen und unerfahrenen Betrachtern gab es im OPTG in sechs von 15 Patienten. Im DVT dagegen gab es in keinem Fall eine Übereinstimmung. In der zweidimensionalen Ansicht waren sich die Erfahrenen viermal untereinander und die Unerfahrenen zweimal untereinander einig. Im DVT galt dies nur einmal für die erfahrene Gruppe. Die jungen Fachkollegen bewerteten hier das OPTG zwar nicht signifikant ( $p = 0,127$ ), aber häufiger als hilfreich und sogar als deutlichere Darstellung, während die erfahrene Gruppe eher die Notwendigkeit in Frage stellte und bereits durch die zweidimensionale Bildgebung ausreichend informiert war. Auch Schöllchen (2011) stellte in seiner Studie einen Informationsgewinn durch die dreidimensionale Bildgebung bzgl. der Beurteilung von Wurzelkonfigurationen und deren Bezug zu Nachbarstrukturen fest. Die Notwendigkeit dieser Aufnahme sahen jedoch ebenfalls nur knapp über 50 % der Untersucher.

### Beurteilung einer Weisheitszahnregion im Unterkiefer

Im chirurgischen Bereich der Zahnmedizin dient das DVT unter anderem der Diagnostik von Frakturen, verlagerten Zähne und Hartgewebprozessen wie z. B. Zysten. Ebenfalls im Rahmen der dreidimensional-navigierten Implantologie bieten sich große Vorteile für die Diagnostik von Knochenangebot, Nervverläufen und Therapieplanung (Schulze et al., 2009).

Die Entfernung von Weisheitszähnen gehört zum Routineeingriff in jeder chirurgisch orientierten Zahnarztpraxis. Vor jedem operativen Eingriff muss der Patient über mögliche

Komplikationen aufgeklärt werden, welche gerade im Unterkiefer nicht unbeträchtlich sind (Horch, 2003). Vor allem bei engem Kontakt von Zahnwurzeln zum Unterkiefervornerv kann eine dreidimensionale Röntgendiagnostik für das operative Vorgehen nützlich sein und ermöglicht, durch exakte Darstellung der Lagebeziehungen, einen sichereren und schonenderen Operationsverlauf für den Patienten (Nakagawa et al., 2002; Chaushu et al., 2004; Suomalainen, 2010). Speziell die letzten Jahre haben den Trend hervorgebracht, grundsätzlich eine DVT-Aufnahme vor 8er-Entfernung anzufertigen. Darauf soll laut Better (et al., 2004) verzichtet werden.

Für diese Fragestellung zeigte sich in dieser Studie kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Bildgebungsmodalitäten. Dies bestätigt die Empfehlung von Flygare und Öhmann (2008), dass eine dreidimensionale Ansicht nur in komplexen klinischen Situationen notwendig sei.

Auffällig auch hier ist die deutlich häufiger vergebene Note 1 – sehr gut – für die dreidimensionale Ansicht (23,3 % DVT; 7,3 % OPTG). Dies entspricht den Ergebnissen von Schöllchen (2011). Für diese Region schnitt das DVT in der Gruppe der versierten Kollegen signifikant besser ab ( $p = 0,003$ ), während das OPTG erneut von beiden Gruppen gleichermaßen bewertet wurde ( $p = 1,49$ ). Ein Vergleich der Mittelwerte bezogen auf jeden Patienten macht deutlich, dass in elf von 15 Fällen eine durchschnittlich bessere Bewertung für die 3D-Ansicht vorliegt. Zu beachten ist dagegen, dass im OPTG nur achtmal das Urteil – nicht beurteilbar – fiel, während diese Region im DVT 16-mal mit – nicht zu beurteilen – beschrieben wurde. Hier sei angemerkt, dass die Mehrheit dieser Aussagen von der unerfahrenen Gruppe angegeben wurde. Zwischen den Untersuchergruppen gab es sechs Übereinstimmungen im OPTG und eine im DVT. Während die erfahrenen Untersucher sich bei dieser Frage im OPTG viermal untereinander einig waren und im DVT überhaupt nicht, kam dies bei den Unerfahrenen fünfmal im OPTG vor und ebenfalls nicht im DVT. Ähnlich der vorangegangenen Region gaben gerade die Unerfahrenen hier signifikant häufiger an ( $p = 0,031$ ), dass das DVT ihnen weiterhilft bzw. sie dadurch zu einer anderen Diagnose gelangen, während die Erfahrenen auch die Vorzüge bestätigten – diese jedoch für nicht mehr notwendig hielten. Schöllchen (2011) erzielte zu dieser Fragestellung ein konträres Ergebnis. In einer Gruppe von MKG-Chirurgen bestätigten hier 80 % die Notwendigkeit der Aufnahme.

Diese ersten beiden Untersuchungsregionen verdeutlichen, dass es einer gewissen Erfahrung und fundierter Kenntnisse bedarf, um die dreidimensionalen Aufnahmen richtig bewerten zu können. Gerade in schwierig zu diagnostizierenden dreidimensionalen anatomischen Darstellungen, wie dem Erkennen des Nervkanals im Unterkiefer oder der Begrenzung der Kieferhöhle, scheint es vor allem bei den unerfahrenen Untersuchern zu Unsicherheiten zu kommen. Auch Schöllchen (2011) bestätigt diese Schwierigkeit. Zurzeit wird mit Ausgabe des Examenszeugnisses zusätzlich die Fachkunde im Strahlenschutz in der Zahnmedizin für die Anwendungsgebiete intraoraler Röntgendiagnostik mit dentalen Tubusgeräten, Panoramaschichtaufnahmen und Fernröntgenaufnahmen des Schädels ausgegeben. Für die Arbeit mit dentalen digitalen Volumentomographen muss eine gesonderte Fortbildung nachgewiesen werden (Dirsch, 2008). Diese Regelung ist im Hinblick auf die komplexe Befundungspflicht der gesamten dreidimensionalen Darstellung sinnvoll und hat sich in dieser Studie bestätigt. Es sollten dennoch Überlegungen angestellt werden, die digitale dentale Volumentomographie in die Lehre zu integrieren, um Vorteile und Nachteile aufzuzeigen und den jungen Kollegen den Einstieg in diese Technologie zu erleichtern. Ein Modell zur Integration im Studium in den USA zeigt Han (et al., 2011).

### Erkennen von Pathologien am rechten Kondylus

Das DVT kann durchaus zur Diagnostik von Erkrankungen des knöchernen Kiefergelenks empfohlen werden (Fu et al., 2007; Honey et al., 2007). Zur Weichgewebisdarstellung z. B. der knorpeligen Gelenkscheibe (Discus articularis) muss jedoch weiterhin auf die Darstellung mittels CT und MRT zurückgegriffen werden. In der Funktionsdiagnostik kann das DVT die klinische Befunderhebung ergänzen und Veränderungen wie Erosionen am Kondylus, Sklerosierungen und Fehlstellung der Kondylen in der Fossa articularis (Gelenkpfanne) ebenso wie klassische Tomographieverfahren darstellen (Scarfe et al., 2006; Hussain et al., 2008; Katakami et al., 2008; Zain-Alabdeen, 2011). Damit bietet die digitale dentale Volumentomographie für die Kiefergelenkdiagnostik und die Funktionstherapie ähnliche Aussagekraft wie die CT-Aufnahmen und sollte in jedem Fall einer veralteten Projektionsaufnahme nach Parma oder Schüller vorgezogen werden (Honda et al., 2006; Meng et al., 2007).

Die dreidimensionale Ansicht des rechten Kondylus schnitt in der 3D-Darstellung signifikant besser ab als im OPTG ( $p = 0,037$ ). Bei dieser Einstellung entschieden sich die Untersucher ebenfalls häufiger im DVT für die Note – sehr gut – in der Diagnosemöglichkeit (21,3 % DVT; 3,3 % OPTG). Sowohl im OPTG ( $p = 0,108$ ) als auch in der 3D-Bildgebung ( $p = 0,324$ ) urteilten erfahrene und unerfahrene Behandler ohne signifikante Abweichung. Betrachtet man die Mittelwerte der einzelnen Patienten, so fielen jedoch zehn von 15 zu Gunsten der dreidimensionalen Ansicht aus. Nicht beurteilbar – gaben die Untersucher 35 mal im OPTG (23,33 %) und 28 mal im DVT (18,7 %) an, wobei hier die Verteilung zwischen Erfahrenen und Unerfahrenen nahezu gleich war. An dieser Stelle sei nochmal darauf hingewiesen, dass bei insgesamt vier Patienten im OPTG und bei zwei Patienten im DVT das Kiefergelenk nicht vollständig abgebildet war. Um diesen Nachteil vollständig zu umgehen zeigt eine Studie von Wiebe (2009), dass eine reine Kiefergelenkaufnahme, angefertigt mit einem speziellen Aufnahmemodus des konventionellen Orthopantomographen (P6-Modus), eine deutlichere Darstellung liefert als das reine OPTG. Außerdem bietet es zum DVT und CT eine strahlen- und kostengünstigere Alternative jedoch unter Einbuße der 3. Dimension.

Das OPTG erbrachte fünf Übereinstimmungen zwischen den Untersuchergruppen. Innerhalb der Gruppen gab es hier siebenmal Einigkeit unter den Erfahrenen und sechsmal Einigkeit unter den Unerfahrenen. Im DVT dagegen zeigte sich nur einmal eine Übereinstimmung der Gruppen, zweimal die Gleichstimmigkeit aller Erfahrenen und einmal die Einigkeit der Unerfahrenen. Zwischen den zwei Antwortmöglichkeiten – hilft mir weiter, wäre aber nicht notwendig gewesen und hilft mir bei der Therapieplanung – wurde kein signifikanter Unterschied festgestellt ( $p = 0,178$ ). Beide Untersuchergruppen gaben am häufigsten ersteres an. Dies bestätigt auch Schöllchen (2011). Während die Untersucher die Kondylenform auch hier als besonders gut zu beurteilen bewerteten, sahen über 80% durch schlechte diagnostische Möglichkeiten bzgl. der Nachbarregionen keinen zusätzlichen Informationsgewinn in der dreidimensionalen Darstellung.

### Erkennen von Pathologien der Kieferhöhle

Für die Planung von Sinusliftoperationen oder Implantatinsertionen ist eine genaue Kenntnis über anatomische Variationen und das Vorhandensein von Kieferhöhlensepten und deren Verlauf von entscheidender Bedeutung um Komplikationen zu vermeiden (Pelinsari Lana et al., 2011; Vogt, 2010). Ein aktueller Vergleich von OPTG und DVT bezüglich der Implantatplanung und Sinusbodenoperation bestätigt die verbesserten diagnostischen Möglichkeiten und die Qualitätssicherung des Vorgehens mittels DVT (Bacut et al., 2012). Die Kieferhöhle ist die größte der Nasennebenhöhlen. Waldeyer und Mayet (1973) sowie Oeken und Gudizol (1996) stellten außerdem eine deutliche Varianz an Ausdehnung und Form fest. Gleichzeitig ist bei vielen Patienten eine Asymmetrie im direkten Seitenvergleich möglich und es zeigt sich eine zumeist unvollständige knöcherne Septierung (Oeken und Gudizol 1996; Shankar et al., 1994). Eine akute Sinusitis kann laut Maillet (2011) zudem der Auslöser für pulpitische Beschwerden der Zähne im Oberkiefer-Seitenzahnbereich sein.

Die Diagnosemöglichkeiten und die Übersicht über die Kieferhöhle ließen sich im DVT deutlicher wiedergeben ( $p < 0,001$ ). In 92 von 150 Fragen wurde hier die Note 1 vergeben (61,3 %). Die erfahrene Untersucherguppe urteilte erneut besser in dreidimensionaler Bildgebung ( $p < 0,001$ ). Im OPTG gab es keinen Unterschied zwischen den Untersucherguppen ( $p = 0,769$ ). Die Mittelwerte aus den Antworten, bezogen auf jeden Patienten, stellen sich hier alle besser gegenüber dem OPTG dar. Dieses wurde insgesamt häufiger v. a. durch die erfahrene Gruppe mit – nicht beurteilbar – bewertet (7,3 %) als das DVT (1,3 %). Zwischen Erfahrenen und Unerfahrenen waren es fünf komplette Übereinstimmungen im OPTG und keine im DVT. Für die Erfahrenen gab es im OPTG jedoch sieben und im DVT zwei Übereinstimmungen. Bei den Unerfahrenen gab es im OPTG ebenfalls sieben und im DVT einen Konsens. Dies zeigt ein deutlich positiveres Ergebnis im Vergleich zu einer Studie von Klingberg (2008) mit dem 3DX Accuitomo, in welcher es keinen signifikanten Unterschied zwischen den Bildgebungsmodalitäten für diese Region gab. Eine Gemeinsamkeit stellt die größere Übereinstimmung der Untersucher untereinander im OPTG da.

Für diese Kieferregion war hier auch für die erfahrenen Zahnärzte die dreidimensionale Darstellung signifikant hilfreicher und eine gute Ergänzung ( $p = 0,001$ ), während ein Teil der unerfahrenen Gruppe angab zu einer besseren Diagnose zu kommen, der andere

Teil aber mehr den Nutzen in Frage stellte. Laut Pulsfort (2009) lässt sich die Kieferhöhle besonders gut im DVT darstellen. Die Auswertung der Erkennbarkeit in der PSA zeigte in einer weiteren Studie, dass lediglich ein Drittel der in der DVT sichtbaren Septierungen auch in der PSA detektierbar waren (Vogt, 2010). Welp (2004) zeigte die differierende Abbildung des Kieferhöhlenbodens eines Patienten in Abhängigkeit von der Einstellung im OPTG-Gerät in verschiedenen PSA-Aufnahmen.

### Beurteilung von parodontalem Knochenabbau

Ein parodontal erkranktes Gebiss erfordert zur exakten Befunderhebung nach konventioneller Ansicht einen Zahnstatus nach Rinn, der bei einem Vollbezahnten aus 14 Einzelzahnfilmen aufgebaut ist. Mehrwandige Knochenläsionen, Furkationsbeteiligungen und die vestibuläre (vordere) Knochenlamelle lassen sich auf diesen zweidimensionalen Aufnahmen jedoch nicht ausreichend darstellen und können nur mittels Sondenkontrolle detektiert oder intraoperativ durch Freilegung beurteilt werden. Eine aktuelle Studie von de Faria Vasconcelos (et al., 2012) stellt den Vergleich von Zahnfilm und DVT dar. Der tiefste Punkt und die Breite des Knochenabbaus konnten in beiden Ansichten ohne signifikanten Unterschied beurteilt werden. Die Distanz zwischen Schmelz-Zement-Grenze und crestaler Knochengrenze war jedoch deutlicher auf den DVT-Aufnahmen zu messen. Klarer Vorteil des DVT war auch hier die dreidimensionale Darstellung der Defekt-Morphologie. Eine dreidimensionale Darstellung ermöglicht es, diese Knochendefekte in allen Raumebenen zu befunden und führt so zu einer verbesserten, zielorientierteren Therapieplanung sowie zu einer besseren Einschätzung des Behandlungserfolgs (Jervøe-Storm et al., 2010; Mengel et al., 2005; Vandenberghe et al., 2007).

Die Einschätzung des parodontalen Knochenabbaus war von den Untersuchern im OPTG und in der dreidimensionalen Ansicht zu befunden ( $p = 0,429$ ). Über 50 % der Untersucher bewerteten hier die OPTG-Darstellung mit der Note 1 und der Note 2. Kontär zu den bisherigen Regionen beurteilten hier zum ersten Mal die Unerfahrenen das DVT signifikant besser ( $p = 0,042$ ), während im OPTG das genaue Gegenteil mit  $p = 0,049$  bestand. Nur acht von 15 Mittelwerten lagen hier zugunsten der Dreidimensionalität. Liang (et al., 2009a) bestätigten ebenfalls die größten Unterschiede in verschiedenen DVT-Systemen bei der Abbildungsqualität des parodontalen Ligaments. Mengel

(2005) bemerkte dagegen die deutlich bessere Bildqualität des DVT verglichen mit einer CT-Aufnahme.

Das OPTG wurde für parodontalen Knochenabbau nur dreimal mit – nicht beurteilbar – bewertet und zwar ausschließlich von der unerfahrenen Gruppe. Im DVT befundeten die Erfahrenen ganze sechs- von neunmal mit nicht beurteilbar. Komplette Übereinstimmung unter den Untersuchergruppen lag nur in drei Fällen im OPTG vor. Untereinander stimmten die Antworten bei den Erfahrenen fünfmal und bei den Unerfahrenen dreimal im OPTG überein. In der 3D-Ansicht dagegen fand sich fünfmal bei den Erfahrenen und einmal bei den Unerfahrenen ein Konsens. Interessant ist, dass beide Gruppen überwiegend die Ansicht als brauchbar aber unnötig einstuften. Damit zeigte der chi-Quadratstest der Gruppen untereinander keine Signifikanz ( $p = 0,107$ ). Dieses differierende Ergebnis zur aktuellen positiven Studienlage muss in Relation zur Unerfahrenheit der einen Hälfte der Untersucher und im Hinblick auf die in der Parodontologie weniger spezialisierten Fachkollegen betrachtet werden. Lange Zeit galt das DVT vor allem in der zahnärztlichen Chirurgie als deutlicher Zugewinn in Diagnostik und Therapieplanung. Zahlreiche positive Studien der letzten Jahre haben den Indikationsbereich bis in die konservierende Zahnheilkunde erweitert, was die aktuelle Leitlinie der DGZMK bestätigt (Schulze, 2009).

### Beurteilung von konservierenden Restaurationen

Bei gesunden Zähnen ist die Qualität einer DVT-Darstellung mit der eines intraoralen Zahnfilms vergleichbar (Akdeniz et al., 2006; Haiter-Neto et al., 2008). In Umgebung metallischer Restaurationen treten allerdings deutliche Artefakte auf, welche die Beurteilung von Kronen-, Füllungsrandern und Karies erschweren. Laut DGZMK ist die Anwendung eines DVT zur Kariesdiagnostik also kritisch zu sehen (Schulze et al., 2009). Eine aktuelle Untersuchung von Charuakkra (et al., 2011) belegt jedoch eine deutlich verbesserte Diagnosemöglichkeit von Sekundärkaries gegenüber konventioneller Bissflügeltechnik. In der konservierenden Zahnheilkunde dient das DVT außerdem z. B. in der Endodontie (Wurzelkanaltherapie) zur Detektion von apikalen Aufhellungen, Wurzelfrakturen und Wurzelresorptionen (Lofthag-Hansen et al., 2007; Stavropoulos und Wenzel, 2007).

Für diese Region konnte weder OPTG noch DVT das signifikant bessere Ergebnis erzielen ( $p = 0,204$ ). Gleich dem parodontalen Knochenabbau wurde das DVT besser von den Unerfahrenen ( $p < 0,001$ ) und das OPTG besser von den Erfahrenen bewertet ( $p = 0,001$ ). Der deutlichste Unterschied lag bei Betrachtung der Mittelwerte für die einzelnen Patienten. Hier schnitt das DVT schlechter ab. Nur noch in fünf von 15 Fällen war der Mittelwert für die dreidimensionale Darstellung besser oder sogar nur gleich dem OPTG. Dies bestätigt die Empfehlung der DGZMK zur eingeschränkten diagnostischen Möglichkeit bei konservierenden Restaurationen (Schulze et al., 2009). Untersuchungen von Klingberg (2008) lassen dagegen die einzelnen Zahnstrukturen wie Schmelz, Dentin und Pulpa deutlicher auf den dreidimensionalen Abbildungen erkennen.

Für 13 Regionen wurde das OPTG als – nicht beurteilbar – angesehen, wobei hier elf Unerfahrene dieser Meinung waren. Im DVT lag die Verteilung genau entgegengesetzt. Bei insgesamt 32 nicht zu beurteilenden Regionen, lag der Anteil der Erfahrenen bei 24 und der Anteil der Unerfahrenen bei acht. Übereinstimmungen unter den Gruppen kamen im DVT nicht und im OPTG dreimal vor. Ausschließlich in 3D-Bildgebung gab es insgesamt drei Übereinstimmungen unter den Unerfahrenen – im OPTG dagegen sowohl siebenmal unter den Erfahrenen als auch dreimal unter den Unerfahrenen. Die meisten Antworten entfielen auch für diese Fragestellung für beide Untersucherguppen auf eine – gute Darstellung, aber nicht mehr notwendig. Der chi-Quadratstest erbrachte auch hier keine Signifikanz ( $p = 0,313$ ).

Für die Darstellung des parodontalen Knochenverlustes und für die konservierenden Restaurationen sahen beide Untersucherguppen vorwiegend für das dreidimensionale Bild keinen zusätzlichen Bedarf. Gerade für den Bereich der Restaurationen schnitt das DVT am schlechtesten ab, was die Empfehlung der DGZMK bestätigt (Schulze et al., 2009). Für diese beiden Regionen gelten weder die Darstellung im OPTG, noch die digitale dentale Volumentomographie als Mittel der Wahl. Trotzdem wurden diese Bereiche in die Studie integriert, da beide Aufnahmeverfahren meist als erste Übersicht zu Rate gezogen werden. Autoren wie Bean (et al., 1984) und Akkaya (et al., 2006) belegen, dass Zahnfilm und Bissflügelaufnahmen v. a. für die Kariesdiagnostik eine höhere diagnostische Aussagekraft liefern als das konventionelle OPTG.

## Artefakte

Artefakte sind definiert als im Röntgenbild abgebildete Strukturen, die am untersuchten Patienten nicht nachgewiesen werden können und somit durch systemimmanente Prozesse entstehen. Diese wurden für den Bereich der digitalen dentalen Volumentomographie in einem umfassenden Review von 2011 untersucht (Schulze et al., 2011).

Durch Rekonstruktionsprobleme treten sie im DVT häufig als Aufhärungs- oder Auslöschungsartefakte, bedingt durch metallische Strukturen, auf (Schulze et al., 2011; Zhang et al., 2007). Weitere Abbildungseinschränkungen ergeben sich durch sogenannte Aliasing-Artefakte, welche sich als Moiré-Muster – sich wiederholende Muster oder Streifen im Bild – zeigen. Ähnlich dem OPTG kann es während der Umlaufzeit durch Bewegung des Patienten zusätzlich zu Verwacklungsartefakten kommen (Schulze et al., 2011). Neue Studien zeigen, dass mit Hilfe veränderter mathematischer Algorithmen eine Reduktion dieses Problems ermöglicht werden kann (Bechara et al., 2012; Schulze et al., 2011). Die Erforschung dieses Nachteils muss zur Optimierung der DVT-Technologie auch in Zukunft stets weiter vorangetrieben werden (Pauwels et al., 2011). Die Artefakte, die im DVT hauptsächlich durch metallische Restaurationen oder im erfassten Fall auch bei insgesamt zehn Patienten durch vorhandene Osteosyntheseplatten zustande kommen, sind in den DVT-Aufnahmen wesentlich deutlicher vorhanden als in den OPTG-Aufnahmen.

Hier kommen qualitativ schlechte Aufnahmen vorwiegend aufgrund von falscher Patientenpositionierung zustande. Außerdem kann es in der OPTG-Aufnahme durch unterschiedliche Größe und Form der Zahnbögen der Patienten zu unscharfen Bereichen und Distorsionen kommen (Reddy et al. 1994). Zu den systemimmanenten Nachteilen der Panoramaschichtaufnahme zählen die Unschärfe von Details durch Summationseffekte und uneinheitlich vergrößerte sowie verzerrte Abbildungen einzelner Kieferabschnitte (Rugani und Jaske, 2010).

Artefakte im OPTG, wie die Überlagerung durch die Wirbelsäule und durch Weichgewebe etc., kommen in den DVT-Datensätzen nicht vor. Ebenfalls im DVT nicht vorhanden sind geometrische Verzerrungen. Ein vorkommender Schichtfehler lässt sich durch Korrektur der Zahnbogenkurve nachträglich optimieren. Durch diese Artefakte im OPTG scheinen sich die Befunder jedoch weniger eingeschränkt zu fühlen als durch die metal-

lischen Verwischungen im DVT. Dies bestätigt auch Mischkowski (et al., 2007) in seiner Arbeit mit einem Vorserienmodell des GALILEOS.

Im OPTG gaben 73,3 % der Untersucher an, nicht durch Artefakte in der Befundungsmöglichkeit eingeschränkt zu werden. Konträr dazu bestanden bei 64,7 % der Untersucher bei der Befundung des DVT Einschränkungen durch Artefakte. Klingberg (2008) wies in ihrer Studie keinen Unterschied von auftretenden Artefakten zwischen OPTG und 3DX nach. Hier kam es im DVT häufiger zu Verzerrungen, verursacht durch Patientenbewegung, was auf die verlängerte Umlaufzeit des Gerätes zurückgeführt wurde.

Unterscheidet man hinsichtlich der Erfahrung, so sind vor allem die Verteilungen der Antworten bezogen auf das DVT interessant. Hier fühlten sich die erfahrenen Behandler deutlich stärker durch vorhandene Artefakte beeinträchtigt (85,3 %) als die unerfahrene Gruppe (44 %). Betrachtet man die Ergebnisse für jeden Patienten, dann ist auffällig, dass die Erfahrenen deutlich häufiger im DVT bzgl. der störenden Artefakte übereinstimmen. Ritter (et al., 2009) bestätigt in einer Studie eine eingeschränkte Bildqualität durch vorhandene Restaurationen. Jedoch entsteht dabei kein Verlust an Erkennbarkeit wichtiger anatomischer Strukturen. Dies sei ausschließlich auf ein höheres Alter bzw. mit einem erhöhten Body-Maß-Index korreliert.

Im DVT wurde die Frage, welche Artefakte eine Störung hervorrufen, vor allem durch Metallartefakte (98 %) beantwortet. Die restlichen 2 % entfielen auf Schichtfehler. Die drei meistgenannten Artefakte im OPTG waren Lufteinschlüsse zwischen Zunge und Gaumen (~ 28 %), Lufteinschlüsse in Kieferhöhle und Rachen (~ 10 %) und Metallartefakte (~ 8 %). In einer Untersuchung beurteilten Akarlan (et al., 2003) 460 OPTG-Aufnahmen hinsichtlich verschiedener Fehlerquellen. Dabei fanden sie heraus, dass der häufigste Fehler mit 46,3% ein fehlendes Anlegen der Zungen an den Gaumen war, was einen dunklen Schatten im Bereich der Oberkieferzähne erzeugt. Zweithäufigster Fehler mit 26,3 % war die Überlagerung des Zungenbeins auf den Unterkiefer.

Die Produktweiterentwicklung in der DVT-Technologie hat ihren Höhepunkt noch nicht erreicht. In Zukunft kann mit stetiger Verbesserung in Hard- und Software gerechnet werden, welche die Anwendung noch erleichtern wird. Gerade in Bezug auf Artefakte besteht Verbesserungsbedarf bezüglich der Bildqualität.

## 6. Schlussfolgerung

**Die digitale dentale Volumentomographie kann wertvolle Darstellungen bei spezifischen Befunden liefern.**

**In einigen Fällen kann eine unmittelbar angefertigte DVT-Aufnahme zum Strahlenschutz des Patienten beitragen, da zusätzliche oder zuvor angefertigte Übersichtsaufnahmen vermieden werden können.**

Wie für jede Röntgenuntersuchung gilt auch für die digitale dentale Volumentomographie die ALARA-Regel (As low as reasonable achievable), d. h., die Abbildung der gewünschten Region muss mit geringster Strahlenbelastung bei gleichzeitig optimaler Bildqualität dargestellt werden (Farman, 2005). Noch vor wenigen Jahren mussten dreidimensionale Fragestellungen sowohl in der Zahnmedizin als auch in der Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie, wie z. B. die Untersuchung verlagerter Zähne, durch strahlenintensive computertomographische Abbildungen beantwortet werden. Heyer (et al., 2007) machten sogar in einer Studie auf einen zeitweise sorglosen Umgang mit der CT-Technologie aufmerksam. Obwohl die Ablösung durch die DVT-Technologie eine enorme Reduktion der Röntgenstrahlung nach sich zieht, ist dennoch zu berücksichtigen, dass der zusätzliche Gewinn an Informationen sich auch hier deutlich auf die Therapieplanung des Patienten auswirken muss, um die Aufnahme zu rechtfertigen (Holberg et al., 2005). Außerdem muss laut § 23 der Röntgenverordnung stets der gesundheitliche Nutzen vor dem Strahlenrisiko überwiegen (Bundesministerium für Justiz, 2011). Vor allem bei Kindern und Jugendlichen sollte das DVT daher mit besonderer Zurückhaltung eingesetzt werden, da bei dieser Patientengruppe die Risiken für Folgeschäden am größten einzuschätzen sind (Horner et al., 2004).

**Die Erforschung der klinischen Indikationen für das DVT-Gerät ist für den Anwender von entscheidender Bedeutung.**

**Es müssen umfangreiche Kenntnisse im Umgang mit dreidimensionalen Röntgentechniken als Voraussetzung gelten, um den Zugewinn in der 3. Dimension einschätzen und eine darauf abgestimmte Therapie durchführen zu können.**

**Im Rahmen unkomplizierter Fragestellungen – z. B. bei Übersichtsaufnahmen oder bei postoperativen Kontrollen – sollte dem OPTG aus strahlenhygienischen Gründen dennoch der Vorzug gegeben werden, zumal speziell im Bezug auf metallische Artefakte in der Gesamtheit eine bessere Bildqualität besteht.**

Ziel sollte es weiterhin sein, beide Röntgentechniken im Klinik- oder Praxisalltag sinnvoll einzeln oder kombiniert einzusetzen. Es ist zu erwarten, dass sich die Technologie der digitalen dentalen Volumentomographie weiterentwickeln wird und auch in Zukunft einen essentiellen Bestandteil zur Qualitätssicherung in der Zahnmedizin beiträgt.

## 7. Zusammenfassung

Ziel dieser Studie war ein Vergleich dreidimensionaler Röntgenaufnahmen des digitalen dentalen Volumentomographen GALILEOS Comfort (Sirona Dental Systems Inc., Bensheim, Deutschland) mit konventionellen Panoramaschichtaufnahmen unter den folgenden Fragestellungen:

Was bringt die 3. Dimension bezüglich Diagnostik und Therapieplanung, und gibt es Unterschiede für erfahrene und unerfahrene Untersucher?

Eine Bildabfolge von 15 konventionellen OPTG-Aufnahmen und sechs Screenshots aus dem DVT-Datensatz wurden anhand zweier Fragebögen von insgesamt zehn Untersuchern – darunter fünf Erfahrene und fünf Unerfahrene – beurteilt. Die Auswahl der zur Befundung stehenden Regionen war an das Spektrum von Indikationen für die Anfertigung einer konventionellen OPTG-Aufnahme angelehnt und umfasste Themen zur Therapieplanung, Diagnostik von Pathologika, Beurteilung von konservierenden Restaurationen und zum Einfluss von Artefakten.

In drei von sechs Regionen konnte das DVT als signifikant bessere Bildgebungsmodalität bezeichnet werden (OK Molar, Kiefergelenk und Kieferhöhle). Die anderen drei Regionen (UK 8er, parodontaler Knochenverlust und Restauration) wurden in beiden Aufnahmen gleich bewertet. Zwischen den Untersuchergruppen zeigten sich ebenfalls Unterschiede. In drei Fällen bewertete die erfahrene Gruppe das DVT signifikant besser (OK, UK 8er und Kieferhöhle), einmal war das Ergebnis identisch und in zwei Fällen (parodontaler Knochenverlust und Restaurationen) beurteilte die unerfahrene Gruppe das DVT als signifikant besser.

Mit Ausnahme der metallischen Artefakte ist insgesamt ein positiver Trend zugunsten des DVTs zu verzeichnen. Obwohl das OPTG seinen Standpunkt in der zahnmedizinischen Diagnostik verteidigt, können die dreidimensionalen Rekonstruktionen des verwendeten Gerätes zur Diagnostik spezieller Bereiche durchaus empfohlen werden. Die umfangreiche Fortbildungspflicht bleibt jedoch ein essentieller Bestandteil zum Einschätzen der diagnostischen Möglichkeiten in der DVT-Technologie.

## 8. Anhang

### 8.1 Tabellen

Technische Daten Orthophos XG 5	
Detektor	CCD
Röhrenspannung	60 – 90 kV (60 kV)
Röhrenstromstärke	3 – 16 mA (14 mA)
Leistungsaufnahme	2,8 kW
Gesamtfilter	2,5mm AL
Brennfleckgröße	0,5 x 0,5 mm
Umlaufzeiten Panorama	19s – 108s
Belichtungszeiten Panorama	4,9s – 25,3s (P1 14s)

Anhang Tab. 1: Technische Daten OPTG-Gerät (Sirona, 2012d)

Technische Daten Sirona GALILEOS	
Detektor	Bildverstärker/ CCD
Anzahl der Rohprojektionen	200
Bildmatrix	1024 x 1024, 12-bit Grauskala
Volumenmatrix	Volumenmatrix
Aufnahmenvolumen	15cm x 15cm x 15cm
isotrope Voxelkantenlänge	0,15/ 0,3mm
Aufnahmedauer/Belichtungszeit	14s/ 2-6s
Rekonstruktionsdauer	2,5-4,5min
Röntgenstrahler	85kV/ 5-7mA
Effektivdosis (ICRP 2007)	43–175 $\mu$ Sv (Schulze)/ Standard: 100 $\mu$ Sv
Mindestraumbedarf T x B x H	1,6 m x 1,6 m x 2,25 m
Patientenpositionierung	Stehend/sitzend
Software optional	<ul style="list-style-type: none"> <li>• SIDEXIS – Bildbearbeitungs- und Bildverwaltungssoftware</li> <li>• GALAXIS – befundorientiertes Arbeiten, Klärung diagnostischer Fragestellungen</li> <li>• GALILEOS Implant – Implantatplanungs-</li> </ul>

Technische Daten Sirona GALILEOS	
	software <ul style="list-style-type: none"> <li>• CEREC meets GALILEOS – simultane prothetische und chirurgische Planung</li> <li>• REPORTER (optional)</li> <li>• FaceScanner-Viewer Software</li> </ul>
Ansichten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ceph lat., Ceph p. a./a. p.</li> <li>• frei neigbare 2D-Schichten</li> <li>• PAN mit 3D-Schichtnavigation</li> <li>• TSA, LSA, axial, sagittal, coronal</li> <li>• 3D-Modell</li> <li>• 1-Click OP-Reporting</li> <li>• implantatausgerichtet</li> <li>• hochauflösendes Detailvolumen</li> </ul>

Anhang Tab. 2: Technische Daten GALILEOS Comfort von Sirona (Sirona, 2012b)

Patienten		OPTG Frage 1	DVT Frage 1	OPTG Frage 2	DVT Frage 2	OPTG Frage 3	DVT Frage 3	OPTG Frage 4	DVT Frage 4	OPTG Frage 5	DVT Frage 5	OPTG Frage 6	DVT Frage 6
1	Mittelwert	2,8	1,4	1,8	2,8	3	1,6	3,1	1,2	3,5	2,7	3,6	4
	Median	3	1	2	3	3	2	3	1	4	3	4	4
	Standardabweichung	± 0,422	±0,516	±0,789	±1,398	±0,943	±0,516	±0,738	±0,422	±0,972	±1,418	±1,075	±0,943
	Min-Max	2-3	1-2	1-3	1-5	2-5	1-2	2-4	1-2	2-5	1-5	2-5	3-5
2	Mittelwert	3	1,9	2,7	2,7	2,2	1,6	3,8	1,2	3,5	2,1	3,3	2,2
	Median	3	2	3	2,5	2	1,5	3,5	1	3,5	2	3	2
	Standardabweichung	± 0,816	±0,994	±0,675	±1,418	±0,919	±0,699	±0,919	±0,422	±1,080	±0,876	±0,675	±1,229
	Min-Max	2-4	1-4	2-4	1-5	1-4	1-3	3-5	1-2	2-5	1-3	2-4	1-4
3	Mittelwert	2,3	1,4	2,6	1,9	x	1,5	2,5	1,2	2,4	2,1	2,3	2,9
	Median	2	1	2	1,5	x	1,5	2	1	2	2	2	3
	Standardabweichung	± 0,483	±0,516	±1,174	±1,101	x	±0,527	±0,850	±0,422	±0,699	±0,738	±0,675	±0,994
	Min-Max	2-3	1-2	1-5	1-4	x	1-2	2-4	1-2	2-4	1-3	1-3	2-5
4	Mittelwert	2	2	2,3	2,7	4,7	4,4	2,8	1,6	2	3	2,1	2,5
	Median	2	2	2	3	5	5	2,5	1	2	3	2	2
	Standardabweichung	± 0,667	±0,943	±0,675	±0,949	±0,675	±1,075	±1,033	±0,966	±0,667	±1,054	±0,994	±1,269
	Min-Max	1-3	1-4	1-3	1-4	3-5	2-5	2-5	1-4	1-3	1-4	1-4	1-5
5	Mittelwert	2,1	2	2,2	2,4	3,3	4,8	2,5	1,8	2,3	2,1	2,9	2,4
	Median	2	2	2	2,5	3	5	2,5	1,5	2	2	2,5	2
	Standardabweichung	± 0,876	±1,247	±0,632	±1,174	±1,160	±0,422	±0,850	±1,033	±0,675	±0,568	±1,101	±0,966
	Min-Max	1-4	1-5	1-3	1-4	2-5	4-5	1-4	1-4	1-3	1-3	2-5	1-4
6	Mittelwert	3	2,3	3,4	2,4	2,6	2,8	3	1,4	3,2	2,1	2,9	3,9
	Median	3	2,5	3,5	3	3	3	3	1	3	2	3	4
	Standardabweichung	± 1,333	±1,059	±1,174	±0,843	±0,699	±1,229	±0,816	±0,699	±0,919	±0,738	±0,568	±1,101
	Min-Max	1-5	1-4	2-5	1-3	1-3	1-5	2-5	1-3	1-4	1-3	2-4	2-5
7	Mittelwert	2,8	1,8	2,5	1,9	2,6	3,5	3	1,9	2,3	2,7	2,8	3
	Median	3	2	2	2	3	3	3	2	2	3	2,5	3
	Standardabweichung	± 0,789	±0,632	±0,707	±0,738	±0,516	±0,972	±0,667	±0,876	±0,675	±0,949	±0,919	±1,414
	Min-Max	1-4	1-3	2-4	1-3	2-3	2-5	2-4	1-4	1-3	1-4	2-4	1-5
8	Mittelwert	3,1	1,5	2,5	2,1	3,2	3,5	3,3	1,3	2,1	2,1	1,9	3
	Median	3	1	2,5	2	3	4	3	1	2	2	2	2,5
	Standardabweichung	± 0,994	±0,707	±0,527	±1,101	±0,422	±1,179	±0,675	±0,675	±0,568	±0,876	±0,316	±1,491
	Min-Max	1-5	1-3	2-3	1-4	3-4	2-5	2-4	1-3	1-3	1-3	1-2	1-5
9	Mittelwert	2,8	2,2	2,4	2,4	4,3	1,9	2,9	2,1	2,3	3	2,7	2,8
	Median	3	2	2	3	4	2	3	2	2	3	2,5	2
	Standardabweichung	± 0,789	±0,919	±0,516	±1,075	±0,675	±0,738	±0,876	±0,738	±0,675	±0,667	±0,823	±1,229
	Min-Max	2-4	1-4	2-3	1-4	3-5	1-3	2-4	1-3	1-3	2-4	2-4	2-5
10	Mittelwert	2,9	1,8	2,7	2,4	3,7	2	3,4	1,3	3,5	2,4	2,7	3
	Median	3	2	3	2	4	2	4	1	3,5	2,5	3	3
	Standardabweichung	± 0,568	±0,789	±0,675	±1,350	±0,949	±0,943	±0,843	±0,483	±0,850	±0,699	±0,675	±1,155
	Min-Max	2-4	1-3	2-4	1-5	2-5	1-4	2-4	1-2	2-5	1-3	2-4	1-5
11	Mittelwert	2,7	1,5	2,4	2,1	4	1,9	3,2	1,4	2,6	2,9	2,4	2,9
	Median	2,5	1	2	2	4	2	3	1	2,5	3	2,5	2,5
	Standardabweichung	± 0,823	±0,707	±0,516	±0,78	±0,816	±0,994	±0,919	±0,699	±0,699	±1,101	±0,699	±1,101
	Min-Max	2-4	1-3	2-3	1-3	3-5	1-4	2-5	1-3	2-4	1-4	1-3	2-5
12	Mittelwert	2,5	1,5	2,4	2	2,4	2,2	2,7	1,4	2,5	2,2	2,6	2,6
	Median	2,5	1	2	2	2,5	2	3	1	2,5	2	2,5	3
	Standardabweichung	± 0,527	±0,850	±0,516	±0,943	±0,699	±0,632	±0,675	±0,699	±0,850	±0,632	±0,699	±0,843
	Min-Max	2-3	1-3	2-3	1-4	1-3	1-3	2-4	1-3	1-4	1-3	2-4	1-4
13	Mittelwert	2,9	1,9	1,6	1,9	2,1	2	3,2	1,7	2,3	2,6	3,2	2,8
	Median	3	2	2	2	2	2	3	1,5	2	3	3	3
	Standardabweichung	± 0,568	±0,738	±0,516	±0,78	±0,568	±0,471	±0,789	±0,823	±0,483	±0,843	±1,033	±0,789
	Min-Max	2-4	1-3	1-2	1-4	1-3	1-3	2-4	1-3	2-3	1-4	2-5	2-4
14	Mittelwert	2,7	2,1	3,5	3,3	3,5	2,3	3	1,6	2,4	2,5	3,1	3,1
	Median	2,5	2	3	3	4	2,5	3	1,5	2	2,5	3	3
	Standardabweichung	± 0,823	±0,738	±1,179	±1,252	±0,707	±0,823	±0,667	±0,699	±0,699	±1,080	±0,994	±0,738
	Min-Max	2-4	1-3	2-5	1-5	2-4	1-3	2-4	1-3	2-4	1-4	1-4	2-4
15	Mittelwert	2,3	1,5	2,7	1,8	3,2	2	2,8	1,5	2,2	2,4	2,3	2,6
	Median	2	1,5	2,5	2	3	2	3	1	2	2	2	3
	Standardabweichung	± 0,675	±0,527	±0,949	±0,789	±0,919	±0,667	±0,632	±0,707	±0,789	±0,966	±0,823	±0,843
	Min-Max	2-4	1-2	2-5	1-3	2-5	1-3	2-4	1-3	1-3	1-4	1-4	1-4

Anhang Tab. 3: Deskriptive Statistik der Ergebnisse aus der Notenvergabe individuell für jeden Patienten – dargestellt ist für jede Frage jeweils Mittelwert, Median, Standardabweichung und Minimum-Maximum

Fragen	Patienten	Erfahrenheit	bestätigt meine Verdachtsdiagnose und hilft mir bei der weiteren Therapieplanung	bestätigt meine Verdachtsdiagnose, wäre aber nicht notwendig gewesen	ich komme zu einer anderen Diagnose, da die Darstellung im DVT besser ist	nicht beurteilbar	Fragen	Patienten	Erfahrenheit	bestätigt meine Verdachtsdiagnose und hilft mir bei der weiteren Therapieplanung	bestätigt meine Verdachtsdiagnose, wäre aber nicht notwendig gewesen	ich komme zu einer anderen Diagnose, da die Darstellung im DVT besser ist	nicht beurteilbar
Komplikationen vor Molarenextraktion im Oberkiefer	1	erfahren	2	3			1	erfahren	3	1	1		
		unerfahren	2	3					unerfahren	1	4		
	2	erfahren	1	4			2	erfahren	1	1	3		
		unerfahren	2	2	1				unerfahren	2	1	2	
	3	erfahren	1	2	2		3	erfahren			5		
		unerfahren		2	3				unerfahren		1	4	
	4	erfahren	2	3			4	erfahren	3		2		
		unerfahren	1	3	1				unerfahren	1	2	2	
	5	erfahren	2	2	1		5	erfahren	4		1		
		unerfahren	2		2	1			unerfahren	1	2	2	
	6	erfahren	1	2	2		6	erfahren			5		
		unerfahren	2	2	1				unerfahren		1	3	1
	7	erfahren	2	2	1		7	erfahren	2	2	1		
		unerfahren	4	1					unerfahren	4	1		
	8	erfahren		5			8	erfahren	2	3			
unerfahren			2	3		unerfahren			1	4			
9	erfahren	2	2	1		9	erfahren		2	3			
	unerfahren	1	3	1	1			unerfahren		2	2	1	
10	erfahren	3	1	1		10	erfahren	2	1	2			
	unerfahren	1	2	2				unerfahren	1	1	4		
11	erfahren	3	1	1		11	erfahren	1	1	4			
	unerfahren	2	1	2				unerfahren	1	1	3		
12	erfahren	1	2	2		12	erfahren	1	2	4			
	unerfahren	2	1	2				unerfahren		5			
13	erfahren	1	1	3		13	erfahren	1	2	2			
	unerfahren	3	1	1				unerfahren		2	3		
14	erfahren	2	2	1		14	erfahren	2	3				
	unerfahren	4		1				unerfahren		2	3		
15	erfahren	1	3	1		15	erfahren	2	3				
	unerfahren	2	2	1				unerfahren	1	4			
Beurteilung von Weisheitszahnregion im Unterkiefer	1	erfahren	4			1	1	erfahren	2				3
		unerfahren	1	2	2				unerfahren	3	2		
	2	erfahren	1	1	2	1	2	erfahren	3	2			
		unerfahren	1	1	2	1			unerfahren	2	2	1	
	3	erfahren	3	2			3	erfahren	5				
		unerfahren	2	1	1	1			unerfahren	4	1		
	4	erfahren	1	3		1	4	erfahren	5				
		unerfahren	4			1			unerfahren	1	4		1
	5	erfahren	1	2	2		5	erfahren	4				
		unerfahren	2	2		1			unerfahren	1	4		1
	6	erfahren	1	3	1		6	erfahren	4	1			
		unerfahren	2	2	1				unerfahren	1	4		
	7	erfahren	2	2	1		7	erfahren	1	4			
		unerfahren	4	1					unerfahren		3	2	
	8	erfahren	1	4			8	erfahren	5				
unerfahren		2	1	2		unerfahren			1	3	1		
9	erfahren	1	3	1		9	erfahren	4	1				
	unerfahren	2	1	2				unerfahren		3	2		
10	erfahren	1	2	1	1	10	erfahren	2	2	2	1		
	unerfahren	3	1		1			unerfahren	1	1	3		
11	erfahren	2	2	1		11	erfahren	1	3		1		
	unerfahren	1	1	2	1			unerfahren	4	4		1	
12	erfahren	1	3	1		12	erfahren	1	4				
	unerfahren	2	2	1	1			unerfahren	4	1			
13	erfahren	2	2	1		13	erfahren	4	1				
	unerfahren	2	1	1	1			unerfahren	4	1			
14	erfahren	2	1	1	2	14	erfahren	5					
	unerfahren	2	1		2			unerfahren	5				
15	erfahren	3	2			15	erfahren	2	3				
	unerfahren	2		3				unerfahren	1	3	1		
Beurteilung des rechten Kondylus	1	erfahren	1	3	1		1	erfahren	1	1	3	4	
		unerfahren	2	3					unerfahren		1	2	2
	2	erfahren	2	2	1		2	erfahren	3	2			
		unerfahren	2	3					unerfahren	1	1	3	
	3	erfahren	1		3		3	erfahren	3		2		
		unerfahren	1		4				unerfahren		2	2	1
	4	erfahren				5	4	erfahren	3	2	2		
		unerfahren	1		1	3			unerfahren		3	1	1
	5	erfahren				5	5	erfahren	3	1	1		
		unerfahren		1		4			unerfahren	2	2	1	1
	6	erfahren		1		1	6	erfahren	2	2	1		
		unerfahren		4	4				unerfahren	1	2	2	5
	7	erfahren	4				7	erfahren	3	1	1		
		unerfahren	1	2		2			unerfahren		3	4	1
	8	erfahren	2			3	8	erfahren	3		2		
unerfahren		1	2		2	unerfahren				3	1	1	
9	erfahren	1	1	4		9	erfahren	3	1	1			
	unerfahren	1	1	3				unerfahren		3	2		
10	erfahren	3				10	erfahren	5					
	unerfahren	2	1	1	1			unerfahren		5			
11	erfahren	2	1	2		11	erfahren	1	3		1		
	unerfahren	3	1	1				unerfahren		5			
12	erfahren	4		1		12	erfahren	4			1		
	unerfahren	1	3	1				unerfahren		5			
13	erfahren	1	3	1		13	erfahren	5					
	unerfahren	1	3	1				unerfahren		5			
14	erfahren	1	4			14	erfahren	3	1		1		
	unerfahren	1	3	1				unerfahren		2	2	1	
15	erfahren	2	2	1		15	erfahren	4	1		1		
	unerfahren	1	1	3				unerfahren	1	4	2	1	
		erfahren	1	3	1			erfahren	3	1	1		
		unerfahren	1	3	1				unerfahren		3	1	1

Anhang Tab. 4: Deskriptive Statistik der Antworten für jeden Patienten im DVT

Fragen		Patienten	Erfahrenheit	Ja	Nein	nicht beurteilbar			Fragen	Patienten	Erfahrenheit	Ja	Nein	nicht beurteilbar	suffizient	insuffizient
Komplikationen vor Molarenextraktion im Oberkiefer	1	erfahren	4	1					1	erfahren		4	1			
		unerfahren	4	1						unerfahren		5				
	2	erfahren	3	2					2	erfahren	2	1	2			
		unerfahren	4	1						unerfahren	1	3	1			
	3	erfahren	1	4					3	erfahren		5				
		unerfahren	3	2						unerfahren		5				
	4	erfahren	5						4	erfahren	5					
		unerfahren	5							unerfahren	3	1	1			
	5	erfahren	5						5	erfahren	5					
		unerfahren	5							unerfahren	5					
	6	erfahren	1	3	1				6	erfahren		3	2			
		unerfahren	3	1	1					unerfahren	1	4				
	7	erfahren	4	1					7	erfahren		4	1			
		unerfahren	4	1						unerfahren	1	4				
	8	erfahren		5					8	erfahren		5				
unerfahren		1	3	1				unerfahren			5					
9	erfahren	5						9	erfahren	5						
	unerfahren	3	2						unerfahren	2	3					
10	erfahren	3	1	1				10	erfahren	2	2	1				
	unerfahren	3	2						unerfahren		5					
11	erfahren	4	1					11	erfahren	2	3					
	unerfahren	4	1						unerfahren	2	2	1				
12	erfahren	2	3					12	erfahren	1	4					
	unerfahren	4	1						unerfahren		5					
13	erfahren	2	3					13	erfahren	3	2					
	unerfahren	4	1						unerfahren	2	2	1				
14	erfahren	3	2					14	erfahren		5					
	unerfahren	3	2						unerfahren		5					
15	erfahren	2	3					15	erfahren		5					
	unerfahren	1	4						unerfahren		5					
Beurteilung von Weisheitszahnregion im Unterkiefer	1	erfahren		5					1	erfahren	4	1				
		unerfahren		5						unerfahren	5					
	2	erfahren	4	1					2	erfahren		5				
		unerfahren	4	1						unerfahren	1	2	2			
	3	erfahren	5						3	erfahren	1	4				
		unerfahren	3	1	1					unerfahren	1	4				
	4	erfahren	4	1					4	erfahren	3	2				
		unerfahren	5							unerfahren	4	1				
	5	erfahren	1	4					5	erfahren		5				
		unerfahren		5						unerfahren	2	3				
	6	erfahren	3	1	1				6	erfahren	4	1				
		unerfahren	3	1	1					unerfahren	5					
	7	erfahren	3	2					7	erfahren	1	4				
		unerfahren	4	1						unerfahren	4	1				
	8	erfahren		5					8	erfahren	1	4				
unerfahren		1	4					unerfahren		4	1					
9	erfahren	3	2					9	erfahren	1	4					
	unerfahren	3	2						unerfahren		5					
10	erfahren	2	3					10	erfahren		5					
	unerfahren		5						unerfahren	1	3	1				
11	erfahren	3	2					11	erfahren	4	1					
	unerfahren	2	3						unerfahren	5						
12	erfahren	1	4					12	erfahren		5					
	unerfahren	1	4						unerfahren	1	4					
13	erfahren		5					13	erfahren	1	4					
	unerfahren		5						unerfahren	1	4					
14	erfahren		3	2				14	erfahren	1	4					
	unerfahren	1	3	1					unerfahren	1	4					
15	erfahren	3	2					15	erfahren		5					
	unerfahren	1	2	2					unerfahren	4	1					
Beurteilung des rechten Kondylus	1	erfahren		5					1	erfahren			1	3	1	
		unerfahren		5						unerfahren			3	2		
	2	erfahren		5					2	erfahren				2	3	
		unerfahren		5						unerfahren			1	2	2	
	3	erfahren		1	4				3	erfahren				2	3	
		unerfahren			5					unerfahren				4	1	
	4	erfahren			5				4	erfahren					5	
		unerfahren	1	1	3					unerfahren			1		4	
	5	erfahren		2	3				5	erfahren			1	2	2	
		unerfahren			5					unerfahren				1	4	
	6	erfahren		5					6	erfahren					4	1
		unerfahren		5						unerfahren			1	2	2	
	7	erfahren		5					7	erfahren				3	2	
		unerfahren		5						unerfahren			1		4	
	8	erfahren		5					8	erfahren				1	4	
unerfahren			5					unerfahren					2	3		
9	erfahren		2	3				9	erfahren				5			
	unerfahren		3	2					unerfahren				5			
10	erfahren	2	1	2				10	erfahren						5	
	unerfahren	1	3	1					unerfahren						5	
11	erfahren	2	1	2				11	erfahren						5	
	unerfahren	1	2	2					unerfahren						5	
12	erfahren		5					12	erfahren				5			
	unerfahren	1	4						unerfahren				4	1		
13	erfahren	1	4					13	erfahren				5			
	unerfahren		5						unerfahren			1	1	3		
14	erfahren	1	4					14	erfahren				4	1		
	unerfahren	2	2	1					unerfahren			1	2	2		
15	erfahren	1	3	1				15	erfahren					5		
	unerfahren	4		1					unerfahren			1		4		

Anhang Tab. 5: Deskriptive Statistik der Antworten für jeden Patienten im OPTG

	Patienten	Erfahrenheit	Ja	Nein		Patienten	Erfahrenheit	Ja	Nein
Artefakte im OPTG	1	erfahren	1	4	Artefakte im DVT	1	erfahren	5	
		unerfahren	1	4			unerfahren	3	2
	2	erfahren	2	3		2	erfahren	5	
		unerfahren	1	4			unerfahren	2	3
	3	erfahren	2	3		3	erfahren	5	
		unerfahren		5			unerfahren	2	3
	4	erfahren	1	4		4	erfahren	5	
		unerfahren	1	4			unerfahren	3	2
	5	erfahren	2	3		5	erfahren	5	
		unerfahren	1	4			unerfahren	2	3
	6	erfahren	3	2		6	erfahren	5	
		unerfahren	2	3			unerfahren	3	2
	7	erfahren	3	2		7	erfahren	5	
		unerfahren	2	3			unerfahren	3	2
	8	erfahren	2	3		8	erfahren	4	1
		unerfahren	1	4			unerfahren	2	3
	9	erfahren	2	3		9	erfahren	5	
		unerfahren		5			unerfahren	1	4
	10	erfahren	1	4		10	erfahren	5	
		unerfahren		5			unerfahren	3	2
	11	erfahren	2	3		11	erfahren	5	
		unerfahren	3	2			unerfahren	4	1
	12	erfahren	1	4		12	erfahren	2	3
		unerfahren		5			unerfahren	2	3
	13	erfahren	1	4		13	erfahren	3	2
		unerfahren		5			unerfahren	2	3
	14	erfahren	1	4		14	erfahren	2	3
		unerfahren		5			unerfahren		5
	15	erfahren	4	1		15	erfahren	3	2
		unerfahren		5			unerfahren	1	4

Anhang Tab. 6: Deskriptive Statistik wie häufig sich bezogen auf jeden Patienten sowohl unerfahrene als auch erfahrene Untersucher im **OPTG** und im **DVT** durch vorhandene Artefakte beeinträchtigt fühlten

Frage	MW DVT (SD) erf	MW DVT (SD) unerf	MW OPTG (SD) erf	MW OPTG (SD) unerf	T-Test DVT		T-Test OPTG	
Frage 1	1,55 (± 0,664)	2,03 (± 0,915)	2,60 (± 0,771)	2,72 (± 0,847)	p < 0,001	→ erf > unerf	p = 0,308	→ erf = unerf
Frage 2	2,13 (± 1,131)	2,51 (± 1,057)	2,43 (± 0,825)	2,60 (± 0,944)	p = 0,003	→ erf > unerf	p = 1,49	→ erf = unerf
Frage 3	2,45 (± 1,427)	2,61 (± 1,126)	3,43 (± 1,176)	3,21 (± 1,069)	p = 0,324	→ erf = unerf	p = 0,108	→ erf = unerf
Frage 4	1,20 (± 0,435)	1,81 (± 0,833)	3,03 (± 0,915)	3,00 (± 0,753)	p < 0,001	→ erf > unerf	p = 0,769	→ erf = unerf
Frage 5	2,56 (± 0,933)	2,36 (± 0,910)	2,45 (± 0,827)	2,76 (± 0,942)	p = 0,042	→ unerf > erf	p = 0,049	→ erf > unerf
Frage 6	3,36 (± 1,123)	2,47 (± 0,991)	2,49 (± 0,906)	2,95 (± 0,868)	p < 0,001	→ unerf > erf	p = 0,001	→ erf > unerf

Anhang Tab. 7: Deskriptive Statistik der Gesamtergebnisse bezogen auf die Erfahrung (erf = erfahren, unerf = unerfahren) der Untersucher – dargestellt sind die Mittelwerte (MW) aus der Notenvergabe mit Standardabweichungen (SD) für **OPTG** und **DVT** und die Ergebnisse des t-Tests

## 8.2 Bildquellenverzeichnis

**Abbildung 1:** Sirona, 2012a: Digitales Röntgen mit Klasse. Available from:

[http://www.sirona.de/ecomaXL/index.php?site=SIRONA\\_bildgebende\\_systeme\\_2d\\_panoaramaröntgen\\_digitales\\_roentgen\\_mit\\_klasse](http://www.sirona.de/ecomaXL/index.php?site=SIRONA_bildgebende_systeme_2d_panoaramaröntgen_digitales_roentgen_mit_klasse) (7.2.2012)

**Abbildung 2:** Pasler F A .Zahnärztliche Radiologie; Stuttgart – New York: Georg Thieme Verlag, 2008.

**Abbildung 3:** Ludewig S. Ergebnisse der CT- Angiographie bei der Diagnostik von Nierenarterienstenosen. Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades doctor medicinae (Dr. med.) vorgelegt der Medizinischen Fakultät Charité der Humboldt Universität zu Berlin, 2000

**Abbildung 4:** Available from:

<http://www.axelkock.de/galerie.php?cat=2&img=5> (9.2.12)

**Abbildung 5:** Sirona, 2012b: Broschüren und weitere produktbezogene Informationen. Available from:

[http://www.sirona.de/ecomaXL/index.php?site=SIRONA\\_support\\_downloads](http://www.sirona.de/ecomaXL/index.php?site=SIRONA_support_downloads)  
(12.2.2012)

**Abbildung 6:** Sirona, 2012c: Broschüren und weitere produktbezogene Informationen. Available from:

[http://www.sirona.de/ecomaXL/index.php?site=SIRONA\\_support\\_downloads](http://www.sirona.de/ecomaXL/index.php?site=SIRONA_support_downloads)  
(12.2.2012)

**Abbildung 7:** Sirona, 2012d: Broschüren und weitere produktbezogene Informationen. Available from:

[http://www.sirona.de/ecomaXL/index.php?site=SIRONA\\_support\\_downloads](http://www.sirona.de/ecomaXL/index.php?site=SIRONA_support_downloads)  
(12.2.2012)

## 8.3 Abbildungen

### 1. OPTG

#### a) Therapieplanung

1. Sehen Sie mögliche Komplikationen bei der Extraktion des Zahnes 16 bzgl. der KH?

Ja       Nein       nicht beurteilbar

Wie beurteilen Sie die Diagnosemöglichkeit? \_\_\_\_\_

2. Sehen Sie mögliche Komplikationen bei der Extraktion des Zahnes 38 bzgl. des N. mandibularis?

Ja       Nein       nicht beurteilbar

Wie beurteilen Sie die Diagnosemöglichkeit? \_\_\_\_\_

#### b) Diagnostik von Pathologien

3. Erkennen Sie am rechten Kondylus pathologische Veränderungen, wie z.B. Erosionen/ zystische Veränderungen?

Ja       Nein       nicht beurteilbar

Wie beurteilen Sie die Diagnosemöglichkeit? \_\_\_\_\_

4. Erkennen Sie pathologische Veränderungen in der Kieferhöhle?

Ja       Nein       nicht beurteilbar

Wie beurteilen Sie die Diagnosemöglichkeit? \_\_\_\_\_

5. Erkennen Sie Knochenabbau in regio 37?

Ja       Nein       nicht beurteilbar

Wie beurteilen Sie die Diagnosemöglichkeit? \_\_\_\_\_

#### c) Bewertung von konservierenden Restaurationen

6. Wie bewerten Sie die Restauration in regio 34?

suffizient       insuffizient       nicht beurteilbar,

Wie beurteilen Sie die Diagnosemöglichkeit? \_\_\_\_\_

#### d) Artefakte

7. Werden Sie durch vorhandene Artefakte in Ihrer Befundungsmöglichkeit eingeschränkt?

Ja       Nein

Wenn ja durch welche und in welcher Region? \_\_\_\_\_

## 1. DVT 3D- Ansicht

### a) Therapieplanung

1. Wie beurteilen Sie die diagnostischen Möglichkeiten bzgl. Zahn 16 in der dreidimensionalen Ansicht hinsichtlich der Therapieplanung? \_\_\_\_\_

- bestätigt meine Verdachtsdiagnose und hilft mir bei der weiteren Therapieplanung  
 bestätigt meine Verdachtsdiagnose, wäre aber nicht notwendig gewesen  
 ich komme zu einer anderen Diagnose da die Darstellung im DVT besser ist  
 nicht beurteilbar

2. Wie beurteilen Sie die diagnostischen Möglichkeiten bzgl. Zahn 38 in der dreidimensionalen Ansicht hinsichtlich der Therapieplanung? \_\_\_\_\_

- bestätigt meine Verdachtsdiagnose und hilft mir bei der weiteren Therapieplanung  
 bestätigt meine Verdachtsdiagnose, wäre aber nicht notwendig gewesen  
 ich komme zu einer anderen Diagnose da die Darstellung im DVT besser ist  
 nicht beurteilbar

### b) Diagnostik von Pathologien

3. Wie beurteilen Sie die diagnostischen Möglichkeiten bzgl. des rechten Kondylus in der dreidimensionalen Ansicht? \_\_\_\_\_

- bestätigt meine Verdachtsdiagnose und hilft mir bei der weiteren Therapieplanung  
 bestätigt meine Verdachtsdiagnose, wäre aber nicht notwendig gewesen  
 ich komme zu einer anderen Diagnose da die Darstellung im DVT besser ist  
 nicht beurteilbar

4. Wie beurteilen Sie die diagnostischen Möglichkeiten bzgl. der Kieferhöhle in der dreidimensionalen Ansicht? \_\_\_\_\_

- bestätigt meine Verdachtsdiagnose und hilft mir bei der weiteren Therapieplanung  
 bestätigt meine Verdachtsdiagnose, wäre aber nicht notwendig gewesen  
 ich komme zu einer anderen Diagnose da die Darstellung im DVT besser ist  
 nicht beurteilbar

5. Wie beurteilen Sie die diagnostischen Möglichkeiten des Kieferknochens in regio 37 in der dreidimensionalen Ansicht? \_\_\_\_\_

- bestätigt meine Verdachtsdiagnose und hilft mir bei der weiteren Therapieplanung  
 bestätigt meine Verdachtsdiagnose, wäre aber nicht notwendig gewesen  
 ich komme zu einer anderen Diagnose da die Darstellung im DVT besser ist  
 nicht beurteilbar

### c) Bewertung von konservierenden Restaurationen

6. Wie beurteilen Sie die diagnostischen Möglichkeiten bzgl. der Restauration in regio 34 in der dreidimensionalen Ansicht? \_\_\_\_\_

- bestätigt meine Verdachtsdiagnose und hilft mir bei der weiteren Therapieplanung  
 bestätigt meine Verdachtsdiagnose, wäre aber nicht notwendig gewesen  
 ich komme zu einer anderen Diagnose da die Darstellung im DVT besser ist  
 nicht beurteilbar

### d) Artefakte

7. Werden Sie durch vorhandene Artefakte in Ihrer Befundungsmöglichkeit eingeschränkt?

- Ja  Nein

Wenn ja, durch welche und in welcher Region? \_\_\_\_\_

## 9. Literaturverzeichnis

1. Akarslan ZZ, Erten H, Güngör K, Celik I. Common errors on Panoramic Radiographs Taken in a Dental School. *J Contemp Dent Pract*, 2003; 4: 24-34
2. Akdeniz B, Grondahl H, Magnusson B. Accuracy of proximal caries depth measurements: comparison between limited cone beam computed tomography, storage phosphor and film radiography. *Caries Res*, 2006; 40: 202–207
3. Akkaya N, Kansu O, Kansu H, Cagirankaya LB, Arslan U. Comparing the accuracy of panoramic and intraoral radiography in the diagnosis of proximal caries. *Dentomaxillofac Radiol*, 2006; 35:170-174
4. Alkadhi H, Leschka S, Stolzmann P, Scheffel H. *Wie funktioniert CT? Berlin – Heidelberg: Springer-Verlag, 2011*
5. Ambrose J. Computerized transverse axial scanning (tomography) Part II. *Brit J Radiol*, 1973; 46: 1023-1047
6. Arai Y, Tammissalo E, Iwai K, Hashimoto K, Shinoda K. Development of a compact computed tomographic apparatus for dental use. *Dentomaxillofac Radiol*, 1999; 28: 245-248
7. Baba R, Ueda K, Okabe M. Using a flat-panel detector in high resolution cone beam CT for dental imaging. *Dentomaxillofac Radiol*, 2004; 33: 285-290
8. Baciut M, Hedeshiu M, Bran S, Jacobs R, Nackaerts O, Baciut G. Pre- and postoperative assessment of sinus grafting procedures using cone-beam computed tomography compared with panoramic radiographs. *Clin Oral Implants Res*, 2012; (epub ahead of print)
9. Bean LR, Akerman WY Jr. Intraoral or panoramic radiography? *Dent Clin North Am*, 1984; 28: 47-55
10. Bechara B, Moore W, McMahan C, Noujeim M. Metal artefact reduction with cone beam computed tomography: an in-vitro study. *Dentomaxillofac Radiol*, 2012; (epub ahead of print)

11. Benson BW, Liang H, Flint DJ. Panoramic radiography: digital technology fosters efficiency. *Compend Contin Educ Dent*, 2011; 4: 6-8
12. Better H, Abramovitz I, Shlomi B, Kahn A, Levy Y, Shaham A. The presurgical workup before third molar surgery: how much is enough? *Int J Oral Maxillofac Surg*, 2004; 62: 689-692
13. Bumann A, 2010: Die digitale Volumentomographie – klinisch unterschätzt und wirtschaftlich überschätzt? – Teil 1. Available from: <http://www.zmk-aktuell.de/dynamic/zahnheilkunde/allgemeine-zahnmedizin/story/die-digitale-volumentomographie-klinisch-unterschaetzt-und-wirtschaftlich-ueberschaetzt-tei.html> (30.1.2012)
14. Bundesamt für Strahlenschutz, 2009: Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung im Jahr 2009: Unterrichtung durch die Bundesregierung. Available from: [URL:http:// do-ris.bfs.de/jspui/bitstream/urn:nbn:de:0221201103305424/1/Parlamentsbericht2009.pdf](http://do-ris.bfs.de/jspui/bitstream/urn:nbn:de:0221201103305424/1/Parlamentsbericht2009.pdf) (29.12.2011)
15. Bundesministerium für Justiz, 2011: Verordnung über den Schutz vor Schäden durch Röntgenstrahlen (Röntgenverordnung – RöV) Available from: [http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/r\\_v\\_1987/gesamt.pdf](http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/r_v_1987/gesamt.pdf) (25.01.2012)
16. Burzlaff A. Dreidimensionale und computergestützte-Innovative Bildgebung in der Zahnarztpraxis. *Mikrokosmos*, 2008; 97: 51-54
17. Celebi I, Basak M, Ucgul A, Yildirim H, Oz A, Vural C. Functional imaging of larynx via 256-Slice Multi-Detector Computed Tomography in patients with laryngeal tumors: A faster, better and more reliable pre-therapeutic evaluation. *Eur J Radiol*, 2011; (epub ahead of print)
18. Charuakkra A, Prapayasadok S, Janhom A, Pongsiriwet S, Verochana K, Mahasantipiya P. Diagnostic performance of cone-beam computed tomography on detection of mechanically-created artificial secondary caries. *Imaging Sci Dent*, 2011; 41: 143–150
19. Chaushu S, Chaushu G, Becker A. The role of digital volume tomography in the imaging of impacted teeth. *World J Orthod*, 2004; 5: 120–132
20. Cormack AM. Representation of a Function by Its Line Integrals, with Some Radiological Applications. *J. Appl. Phys.*, 1963; 34: 2722

21. Cormack AM. Representation of a Function by Its Line Integrals, with Some Radiological Applications. II. J. Appl. Phys., 1964; 35: 2908
22. de Faria Vasconcelos K, Evangelista KM, Rodrigues CD, Estrela C, de Sousa TO, Silva MA. Detection of periodontal bone loss using cone beam CT and intraoral radiography. Dentomaxillofac Radiol, 2012 41: 64-69
23. Dirsch P. Digitale Volumentomographie in der zahnärztlichen Implantologie. ZWPspezial, 2008; 7+8: 10-14
24. Ehrenfeld M Schwenzer N. Chirurgische Grundlagen; Stuttgart – New York: Georg Thieme Verlag, 2008
25. Ehrl, PA. 3-D-Diagnostik in der Zahnmedizin. ZWP, 2007; 11: 38-41
26. Farman AG. ALARA still applies. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod, 2005; 100: 395-397
27. Feldkamp LA, Davis LC, Kress JW. Practical cone-beam algorithm. J Opt Soc Am, 1984; 1: 612-619
28. Flygare L, Öhman A. Preoperative imaging procedures for lower wisdom teeth removal. Clin Oral Investig, 2008;12: 291-302
29. Fu KY, Zhang W, Liu D, Chen H, Ma X. Cone beam computed tomography in the diagnosis of temporomandibular joint osteoarthritis. Zhonghua Kou Qiang Yi Xue Za Zhi, 2007; 42: 417–420
30. Fuchs T, Kachelriess M, Kalender W. System performance of multislice spiral computed tomography. IEEE Eng. Med. Biol. Mag., 2000; 19: 63–70
31. Fuhrmann A, Schulze D, Rother U, Vesper M. Digital transversal slice imaging in dental-maxillofacial radiology: from pantomography to digital volume tomography. Int J Comput Dent, 2003; 6: 129–140
32. Haiter-Neto F, Wenzel A, Gotfredsen E. Diagnostic accuracy of cone beam computed tomography scans compared with intraoral image modalities for detection of caries lesions. Dentomaxillofac Radiol, 2008; 37: 18–22

33. Han J, Le MH, Garcia E, Huang JC, Miller AJ, Angin L. Student-led courses to teach cone beam CT in the predoctoral dental curriculum. *J Dent Educ*, 2011;75: 1176-1186
34. Heiland M, Schulze D, Rother U, Schmelzle R. Postoperative imaging of zygomaticomaxillary complex fractures using digital volume tomography. *J Oral Maxillofac Surg*, 2004; 62: 1387–1391
35. Hendee WR. Cross sectional medical imaging: a history. *Radiographics*, 1989; 9: 1155–1180
36. Heurich T, Ziegler C, Steveling H, Wortche R, Muhling J, Hassfeld S. Erweiterte Diagnostik im Rahmen der operativen Weisheitszahnentfernung mittels digitaler Volumentomographie. *Mund Kiefer Gesichtschir*, 2002; 6: 427–432
37. Heyer CM, Peters S, Lemburg S, Nicolas V. Awareness of Radiation Exposure of Thoracic CT Scans and Conventional Radiographs: What Do Non-Radiologists Know? *Fortschr Röntgenstr*, 2007; 179: 261-267
38. Holberg C, Steinhauser S, Geis P, Rudzki-Janson I. Cone-beam computed tomography in orthodontics: benefits and limitations. *J Orofac Orthop*, 2005; 66: 434-444
39. Honda K, Larheim TA, Maruhashi K, Matsumoto K, Iwai K. Osseous abnormalities of the mandibular condyle: diagnostic reliability of cone beam computed tomography compared with helical computed tomography based on an autopsy material. *Dentomaxillofac Radiol*, 2006; 35:152–157
40. Honey OB, Scarfe WC, Hilgers MJ, Klueber K, Silveira AM, Haskell BS. Accuracy of cone-beam computed tomography imaging of the temporomandibular joint: Comparison with panoramic radiology and linear tomography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2007; 132: 429-438
41. Horch HH. *Zahnärztliche Chirurgie*; München: Urban und Fischer, 2003
42. Horner K, Rusthon V, Walker A, Tsiklakis K, Hirschmann PN, van der Stelt PF. Radiation Protection 136 European guideline on radiation protection in dental radiology. The safe use of radiographs in dental practice. European Commission, 2004

43. Hörster W, Ehrensberger C. Pixel oder Voxel in der Implantologie–Wann darf es eine Dimension mehr sein? *ZWR*, 2011; 120: 452–458
44. Hounsfield GN. Computerized transverse axial scanning (tomography): Part 1. Description of system. *Brit J Radiol*, 1973; 46:1016–1022
45. Howe RB. First molar radicular bone near the maxillary sinus: a comparison of CBCT analysis and gross anatomic dissection for small bony measurement. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 2009; 108: 264-269
46. Hussain AM, Packota G, Major PW, Flores-Mir C. Role of different imaging modalities in assessment of temporomandibular joint erosions and osteophytes: a systematic review. *Dentomaxillofac Radiol*, 2008; 37: 63–71
47. Jervøe-Storm P, Hagner M, Neugebauer J, Ritter L, Zöller JE, Jepsen S, Frentzen M. Comparison of cone-beam computerized tomography and intraoral radiographs for determination of the periodontal ligament in a variable phantom. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 2010; 109: 95–101
48. Kalender WA. Principles and applications of spiral CT. *Nuclear Medicine and Biology*, 1994; 21: 693–699
49. Katakami K, Shimoda S, Kobayashi K, Kawasaki K. Histological investigation of osseous changes of mandibular condyles with backscattered electron images. *Dentomaxillofac Radiol*, 2008; 37: 330-339
50. Klingberg M. Die Abbildungsqualität des digitalen Volumentomographen 3DX im Vergleich zum konventionellen Panoramaschichtgerät. Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades Doctor medicinae dentariae (Dr. med. dent.) vorgelegt der Medizinischen Fakultät Charité-Universitätsmedizin Berlin, 2008
51. Küker NJ. Metrischer Vergleich von CT, DVT und konventionellen Röntgentechniken in der MKG-Chirurgie. Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnmedizin an der Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg, 2010
52. Langhoff N. Leistungen der digitalen Volumentomographie (DVT). Was ist bei der Abrechnung zu beachten? *Praxis Implantologie*, 2012; 3: 4
53. Liang X, Jacobs R, Hassan B, Li L, Pauwels R, Corpas L, Souza PC, Martens W, Shahbazian M, Alonso A, Lambrichts I. A comparative evaluation of Cone Beam

Computed Tomography (CBCT) and Multi-Slice CT (MSCT) Part I. On subjective image quality. *Eur J Radiol*, 2010; 75: 265-269; Epub 2009a

54. Liang X, Lambrichts I, Sun Y, Denis K, Hassan B, Li L, Pauwels R, Jacobs R. A comparative evaluation of Cone Beam Computed Tomography (CBCT) and Multi-Slice CT (MSCT). Part II: On 3D model accuracy. *Eur J Radiol*, 2010; 75: 270-274; Epub 2009b
55. Lippold M, Ruppin JM. 3-D-Implantatdiagnostik und –planung. *Implantologie Journal*, 2008; 1: 46-48
56. Lofthag-Hansen S, Huuonen S, Gröndahl K, Gröndahl H. Limited cone-beam CT and intraoral radiography for the diagnosis of periapical pathology. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 2007; 103: 114-119
57. Ludlow JB, Davies-Ludlow LE, Brooks SL, Howerton WB. Dosimetry of 3 CBCT devices for oral and maxillofacial radiology: CB Mercuray, NewTom 3G and i-CAT. *Dentomaxillofac Radiol*, 2006; 35: 219–226
58. Ludlow J, Ivanovic M. Comparative dosimetry of dental CBCT devices and 64-slice CT for oral and maxillofacial radiology. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 2008; 106: 106–114
59. Ludlow JB. A manufacturer's role in reducing the dose of cone beam computed tomography examinations: effect of beam filtration. *Dentomaxillofac Radiol*, 2011; 40:115–122
60. Maillet M, Bowles WR, Mc Clanahan SL, John MT, Ahmad M. Cone-beam computed tomography evaluation of maxillary sinusitis. *J Endod*, 2011; 37: 753-757
61. Mc David W, Welander U, Morris C. Blurring effects in rotational panoramic radiography. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*, 1982; 53: 111–115
62. Meng J, Zhang W, Liu D, Zhao Y, Ma XC. Diagnostic evaluation of the temporomandibular joint osteoarthritis using cone beam computed tomography compared with conventional radiographic technology. *Beijing Da Xue Xue Bao*, 2007; 39: 26–29

63. Mengel R, Candir M, Shiratori K, Flores-de-Jacoby L. Digital volume tomography in the diagnosis of periodontal defects: an in vitro study on native pig and human mandibles. *J Periodontol*, 2005; 76: 665-673
64. Mischkowski R, Ritter L, Neugebauer J, Dreiseidler T, Keeve E, Zöller JE. Diagnostische Wertigkeit von DVT-basierten Panoramarekonstruktionen für chirurgische Anwendungen. *Quintessenz*, 2007; 58: 223- 233
65. 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: 1558–1564
66. Nakagawa Y, Kobayashi K, Ishii H, Mishima A, Ishii H, Asada K, Ishibashi K. Preoperative application of limited cone beam computerized tomography as an assessment tool before minor oral surgery. *Int J Oral Maxillofac Surg*, 2002; 31: 322–326
67. Neugebauer J, Ritter L, Zöller JE. Dreidimensionale Bildgebung mit dem Galileos-System. *DDN*, 2007; 1: 42-46
68. Nobel Foundation, 1979: The Nobel Prize in Physiology or Medicine 1979 Allan M. Cormack, Godfrey N. Hounsfield. Available from: [http://www.nobelprize.org/nobel\\_prizes/medicine/laureates/1979/index.html](http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/medicine/laureates/1979/index.html) (17.01.2012)
69. Oeken FW, Gudizol H. In: Ganz H, Jahnke V, Hrsg. Hals- Nasen- Ohren- Heilkunde; Berlin – New York: de Gruyter, 1996: 108-111
70. Paatero YV. Orthoradial jaw pantomography. *Ann Med Intern Fenn Suppl*, 1959; 48: 222–227
71. Pasler F A .Zahnärztliche Radiologie; Stuttgart – New York: Georg Thieme Verlag, 2008
72. Pauwels R, Beinsberger J, Collaert B, Theodorakou C, Rogers J, Walker A, Cockmartin L, Bosmans H, Jacobs R, Bogaerts R, Horner K. Effective dose range for dental cone beam computed tomography scanners. *Eur J Radiol*, 2010; 81: 267-271

73. Pauwels R, Stamatakis H, Bosmans H, Bogaerts R, Jacobs R, Horner K, Tsiklakis K. Quantification of metal artifacts on cone beam computed tomography images. *Clin Oral Implants Res*, 2011; (epub ahead of print)
74. Pelinsari L, Moura R, de C, Eduardo A, Ricardo M, Campolina R. Anatomic variations and lesions of the maxillary sinus detected in cone beam computed tomography for dental implants. *Clin Oral Implants Res*, 2011; (epub ahead of print)
75. Pulsfort R. Geometrische Genauigkeit eines neu entwickelten digitalen Volumentomografie-Gerätes für die maxillofaziale Bildgebung. Inaugural-Dissertation zur Erlangung der zahnärztlichen Doktorwürde der Hohen Medizinischen Fakultät der Universität zu Köln, 2009
76. Radon J. Über die Bestimmung von Funktionen durch ihre Integralwerte längs gewisser Mannigfaltigkeiten. *Ber Verh Sächs Akad Wiss Leipzig*, 1917; *Math Nat kl* 69: 262-277
77. Ritter L, Neugebauer J, Mischkowski R, Zöller J. Integrierte dreidimensionale Implantatplanung und Umsetzung- Einfachere Abläufe und höhere Sicherheit in der klinischen Praxis. *DZW Spezial*, 2006; 6: 10-12
78. Ritter L, Neugebauer J, Mischkowski RA, Dreiseidler T, Zöller JE. Dreidimensionale Bildgebung in der Zahnmedizin. *Z Oral Implant*, 2007a; 3: 86-95
79. Ritter L, Neugebauer J, Mischkowski RA, Dreiseidler T, Keeve E, Zöller JE. Implantatplanung bei der Sinusbodenelevation. *Dental-Praxis*, 2007b; 1/2: 41-44
80. Ritter L, Mischkowski RA, Neugebauer J, Dreiseidler T, Scheer M, Keeve E, Zöller JE. The influence of body mass index, age, implants, and dental restorations on image quality of cone beam computed tomography. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 2009; 108: 108-116
81. Robb RA. X-Ray Computed Tomography: From Basic Principles to Applications. *Annu Rev Biophys Bioeng*, 1982; 11: 177-201
82. Rollins W. An Oral Camera for Röntgen Photography. *Boston Med Surg J*, 1896; 135: 90
83. Rother UJ. Moderne bildgebende Diagnostik in der Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde; München: Elsevier GmbH Urban & Fischer Verlag, 2006

84. Rugani P, Jakse N, 2010a: Der aktuelle Stand der Röntgendiagnostik in der Zahnmedizin – Teil 1. Available from: <http://www.zmk-aktuell.de/zahnheilkunde/allgemeine-zahnmedizin/story/der-aktuelle-stand-der-roentgendiagnostik-in-der-zahnmedizin-teil-1.html> (13.2.12)
85. Scarfe W, Farman A, Sukovic P. Clinical applications of cone-beam computed tomography in dental practice. J Can Dent Assoc, 2006; 72: 75–80
86. Scheifele C, Reichart PA. Das 3D-Röntgensystem GALILEOS- Neue Möglichkeiten der 3D-Diagnostik. ZWR, 2007; 116: 615-617
87. Scheutzel P. Entwicklung der zahnärztlichen Panoramaröntgenverfahren. Zahnärztl. Mitt., 1989; 79: 2322
88. Schnelle C. Vergleich der Strahlenexposition bei der Digitalen-Volumen-Tomographie, der Panoramaschichtaufnahme und der Computertomographie. Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnmedizin der medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf, 2001
89. Schöllchen M. Bewertung des digitalen, volumentomografischen Scanners NewTom<sup>®</sup> hinsichtlich verschiedener Indikationsstellungen aus kieferorthopädischer und mund-, kiefer- und gesichtschirurgischer Sicht. Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin der Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg, 2011
90. Schulze R, Haßfeld S, Schulze D. S1-Empfehlung: Dentale Volumentomographie. Dtsch Zahnärztl Z 2009; 64: 490-496
91. Schulze R, Heil U, Gross D, Bruellmann DD, Dranischnikow E, Schwanecke U, Schoemer E. Artefacts in CBCT: a review. Dentomaxillofac Radiol 2011; 40: 265–273
92. Shankar L, Evans K, Hawke M, Stammberger H Atlas der Nasennebenhöhlen; Weinheim: Chapman & Hall GmbH, 1994
93. Simon, R. It's Showtime-Neue 3D Röntgengeräte erobern den Markt. Dent J Schw, 2008; 3: 32-33
94. Sirona, 2012a: Presse. Available from: [http://www.sirona.de/ecomaXL/index.php?site=SIRONA\\_presse](http://www.sirona.de/ecomaXL/index.php?site=SIRONA_presse) (18.01.2012)

95. Sirona, 2012b: Technische Eigenschaften in der Übersicht. Available from: [http://www.sirona.de/ecomaXL/index.php?site=SIRONA\\_bildgebende\\_systeme\\_3d\\_roentgen\\_technische\\_daten](http://www.sirona.de/ecomaXL/index.php?site=SIRONA_bildgebende_systeme_3d_roentgen_technische_daten) (18.01.2012)
96. Sirona, 2012c: Neuheiten. Available from: [http://www.sirona.de/ecomaXL/index.php?site=SIRONA\\_bildgebende\\_systeme\\_neuheiten](http://www.sirona.de/ecomaXL/index.php?site=SIRONA_bildgebende_systeme_neuheiten) (18.01.2012)
97. Sirona, 2012d: Zahlen und Fakten Technische Eigenschaften von XG 3 bis XG 3D. Available from: [http://www.sirona.de/ecomaXL/index.php?site=SIRONA\\_bildgebende\\_systeme\\_2d\\_panoramaroentgen\\_technische\\_daten](http://www.sirona.de/ecomaXL/index.php?site=SIRONA_bildgebende_systeme_2d_panoramaroentgen_technische_daten) (13.2.12)
98. Suomalainen A. Cone beam computed tomography in oral radiology. Academic Dissertation of the Faculty of Medicine, University of Helsinki, 2010
99. Stavropoulos A, Wenzel A. Accuracy of cone beam dental CT, intraoral digital and conventional film radiography for the detection of periapical lesions. An ex vivo study in pig jaws. Clin Oral Investig, 2007; 11: 101-106
100. Tsiklakis K, Syriopoulos K, Stamatakis HC. Radiographic examination of the temporomandibular joint using cone beam computed tomography. Dentomaxillofac Radiol, 2004; 33: 196-201
101. Vandenberghe B, Jacobs R, Yang J. Diagnostic validity (or acuity) of 2D CCD versus 3D CBCT-images for assessing periodontal breakdown. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod, 2007; 104: 395-401
102. Visser H, Hermann KP, Bredemeier S, Kohler B. Dose measurements comparing conventional and digital panoramic radiography. Mund Kiefer Gesichtschir 2000; 4: 213-216
103. Vogt H. Septierung des Sinus maxillaris - Beurteilbarkeit in der Panoramaschichtaufnahme und DVT. Inaugural - Dissertation zur Erlangung des Zahnmedizinischen Doktorgrades der Medizinischen Fakultät der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg im Breisgau, 2010
104. Waldeyer A, Mayet A. Anatomie des Menschen 2: Kopf und Hals, Auge, Ohr, Gehirn Arm, Brust; Berlin - New York: de Gruyter, 1993

105. Welp NB. Untersuchung über die Individualität der Kieferhöhle in der Panoramaschichtaufnahme und ihre Bedeutung für die Leichenidentifikation. Inaugural-Dissertation zur Erlangung des doctor medicinae dentium der Medizinischen Fakultät der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster, 2004
106. Zain-Alabdeen EH, Alsadhan RI. A comparative study of accuracy of detection of surface osseous changes in the temporomandibular joint using multidetector computed tomography and cone beam computed tomography. *Dentomaxillofac Radiol*, 2011; (epub ahead of print)
107. Zhang Y, Zhang L, Zhu X, Lee A, Chambers M, Dong L. Reducing metal artifacts in cone-beam CT images by preprocessing projection data. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2007; 67: 924–932
108. Zöller JE. *Digitale Volumentomografie in der Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde*; Berlin: Quintessenz Verlags-GmbH, 2007a
109. Zöller JE. Computergesteuerte dreidimensionale Bildgebung in der Zahnarztpraxis. *DZW*, 2007b; 4: 12–13

## 10. Danksagung

Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater Herrn Priv.-Doz. Dr. med. dent. Ernst-Heinrich Helfgen für die unkomplizierte und freundliche Betreuung während der gesamten Studie.

Weiterhin möchte ich Herrn Dr. med. Dr. med. dent. Lutz Ritter danken, der mir den Zugang zum Universitätsklinikum Köln ermöglichte und für alle Fragen ein offenes Ohr hatte.

Vielen Dank an Frau Dr. med. dent. Pia-Merete Jervøe-Storm für das Bereitstellen der Befundungsstation in der Zahnklinik Bonn.

Ebenso bedanken möchte ich mich bei Frau Dr. Ute Klarmann vom Institut für Medizinische Biometrie, Informatik und Epidemiologie (IMBIE) der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität in Bonn, für die zahlreichen guten Ratschläge und die kompetente Unterstützung beim Auswerten der Daten.

Ein ganz besonderer Dank gilt Britta Hansmeier für die vielen Aufmunterungen und unvergesslichen Stunden während unserer gemeinsamen Promotionszeit.

Mein größter Dank gilt meiner Familie und Stephan Muhl für die großartige Unterstützung und Motivation im gesamten Studium.