

Aus der Klinik für Mund- Kiefer- und Gesichtschirurgie
der Medizinischen Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin

DISSERTATION

Die Abbildungsqualität des digitalen Volumentomographen
3DX im Vergleich zum konventionellen Panoramaschichtgerät

zur Erlangung des akademischen Grades

Doctor medicinae dentariae (Dr. med. dent.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Marika Klingberg

aus Cottbus

Gutachter: 1. Prof. Dr. Dr. M. Klein
2. Prof. Dr. med. Dr. med. dent. M. Herzog
3. Prof. Dr. R. J. Radlanski

Datum der Promotion: 19.09.2008

Widmung

Ich widme diese Doktorarbeit meiner lieben Mutter Ulrike Klingberg.

Inhaltsverzeichnis

A. EINLEITUNG	7
1.1. Historischer Hintergrund DVT	7
1.2. Funktionsprinzip Volumentomographie	8
1.3. Accutomo	9
2.1. Historischer Hintergrund PSA	10
2.1. Funktionsprinzip Panoramaschichtaufnahme	10
B. FRAGESTELLUNG UND ARBEITSHYPOTHESE	12
C. MATERIAL UND METHODEN	13
1.1. Material DVT	14
1.2. Material OPG	17
2. Methode / Versuchsaufbau	18
D. DATENERFASSUNG UND STATISTISCHE ANALYSE	20
E. ERGEBNISSE	23
1. Zahnstrukturen – und Befunde	23
1.1. Schmelz – Dentin – Grenze	24
1.2. Dentin – Pulpa – Grenze	24
1.3. Wurzelkanal	25
1.4. Karies	26
1.5. Parodontalspalt	26
2. Knochenstrukturen	28
2.1. Mandibularkanal	28
2.2. Foramen mentale	28
2.3. Kortikalis	29
2.4. Spongiosa	30
2.5. Kieferhöhlenboden	30

3. Knochenbefunde	32
3.1. apikale Aufhellung	32
3.2. Parodontaldefekt	33
3.3. Kieferhöhlenverschattung	34
4. Artefakte	35
4.1. Bewegungsartefakte	35
4.2. Metallartefakte	36
5. Gesamt	37
F. DISKUSSION	39
1. Allgemeiner Teil	39
2. Diskussion der Ergebnisse	40
2.1. Zahnstrukturen	40
2.2. Knochenstrukturen	41
2.3. Knochenbefunde	42
2.4. Artefakte	43
3. Diskussion Accuitomo	44
G. ZUSAMMENFASSUNG	47
H. LITERATURVERZEICHNIS	48
I. BILDQUELLENVERZEICHNIS	55
J. DANKSAGUNG	56
K. LEBENSLAUF	57

Verwendete Abkürzungen:

DVT	Digitale Volumentomographie
3DX	Accuitomo
OPG	Orthopantomograph
PSA	Panoramaschichtaufnahme
CT	Computertomographie
ICC	Intraklassenkorrelationskoeffizient

A. EINLEITUNG

Für die diagnostische und anatomische Beurteilung bestimmter oraler Regionen zählen Zahnfilme und Panoramaschichtaufnahmen zu den radiologischen Standardverfahren in der zahnärztlichen Praxis.

Da aufgrund des Summationseffektes die sich im Strahlengang befindlichen Strukturen überlagert dargestellt werden, sind gewünschte anatomische Details im Einzelnen nicht immer deutlich erkennbar. Zudem erfordern eine Reihe von zahnärztlichen Krankheitsbildern für die Diagnostik und Therapie eine zweite Ebene und besonders komplexe traumatologische sowie onkologische Geschehnisse im Kiefer- und Gesichtsbereich bedürfen einer dreidimensionalen Darstellung mittels der Computertomographie.

Neue Entwicklungen auf dem Gebiet der zahnärztlichen Radiologie versprechen mit der digitalen Volumentomographie nicht nur eine verzerrungsfreie, räumliche Darstellung anatomischer Gegebenheiten, sondern auch die Reduktion der Strahlendosis im Vergleich zu konventionellen CT- Systemen um bis zu 98%^{2,21}.

1. Historischer Hintergrund DVT

Die Computertomographie wurde 1968 von dem englischen Elektroingenieur Sir Godfrey N. Hounsfield ins Leben gerufen, der 1971 in seinem ersten Feldversuch den Kopf einer Patientin wegen Verdachtes auf einen malignen Gehirnprozess scannte und damit das erste CT-Schnittbild rekonstruierte. Für diese Entwicklung erhielt Hounsfield 1979 mit dem Amerikaner Allan M. Cormack den Nobelpreis für Medizin²⁶. Die ersten Computertomographen trugen nur ein Detektorelement in sich und arbeiteten nach dem Translations – Rotations – Prinzip, bei dem die Röntgenröhre um den liegenden Patienten kreiste, während der Tisch um eine Schichtdicke weiter durch die „Gantry“ (Gehäuse, in dem sich Röhre und Detektor befanden) geschoben wurde¹¹.

Die herkömmliche Technik mit dem Inkremental – CT ist Anfang der 90iger Jahre so weiterentwickelt worden, dass der Patient nicht mehr schrittweise, sondern kontinuierlich und damit schneller durch das so genannte Spiral – CT befördert wird⁴⁶ (Abb.1). Damit ergeben sich eine höhere Auflösung und weniger Bewegungen – bzw. Atmungsartefakte¹¹.

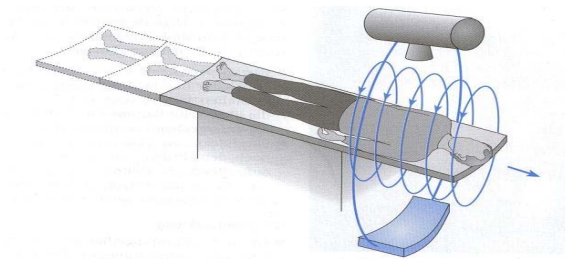


Abb. 1 Funktionsprinzip Spiral – CT (Bildquellenverweis 8)

Die das Gewebe passierenden Röntgenquanten werden auf der gegenüberliegenden Seite durch ringförmig angeordnete Kristalldetektoren registriert und als aufgearbeitetes elektronisches Signal an einen Computer weitergeleitet⁴⁹. Somit werden zweidimensionale Querschnittsbilder erzeugt und durch den Computer zu einem dreidimensionalen Datenwürfel verknüpft, wobei neben Querschnitten auch Längsschnitte dargestellt werden können²⁴.

Der Vorteil der Computertomographie gegenüber der konventionellen Röntgenuntersuchung und nach bisherigen Erfahrungen auch gegenüber der DVT ist die bessere Darstellung von Weichgewebsstrukturen. Da die CT innerhalb der Weichteildichten differenziert und Fett, Blut sowie solides Weichgewebe wie Gehirn und Muskulatur voneinander unterscheiden kann, spielt sie in der Tumordiagnostik eine bedeutende Rolle^{26,37}.

1.2. Funktionsprinzip Volumentomographie

Im Gegensatz zur Computertomographie wird bei der Volumentomographie das gesamte Volumen des aufzunehmenden Bereiches durch ein kegelförmiges Strahlenbündel erfasst (Abb. 2).

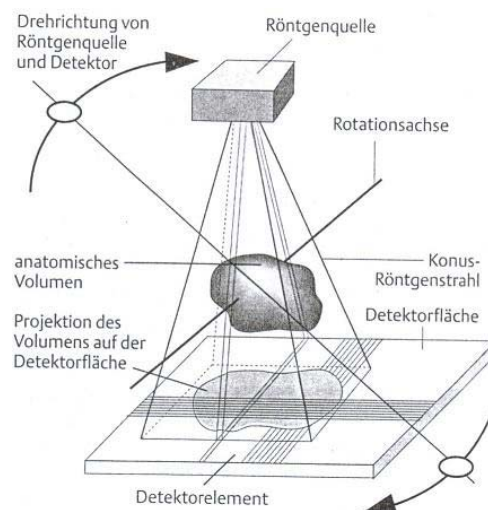


Abb. 2 Funktionsprinzip Volumentomographie (Bildquellenverweis 6)

Aus einer Vielzahl zweidimensionaler Röntgenbilder wird ein 3D – Bilddatensatz rekonstruiert⁴¹. Je nach System werden dabei Einzelaufnahmen aus bis zu 360 Winkelpositionen von einem digitalen Detektor registriert. Durch eine Belichtungsautomatik kann fehlerhafte Belichtung ausgeschlossen und die Strahlenbelastung des Patienten so gering wie möglich gehalten werden^{8,19}. Aus den gewonnenen Rohdaten werden axiale Schichten errechnet, wobei die Orientierung der Axialen je nach Bedarf festgelegt werden kann und mehrere Rekonstruktionen möglich sind. Aus diesen Primärrekonstruktionen wiederum können Sekundärrekonstruktionen beliebiger Ebenen und dreidimensionale Bilder erstellt werden⁴².

Der erste Cone - Beam Scanner überhaupt wurde im Mai 1982 in der Angiologie eingesetzt⁴⁶.

Durch die rasante Computerentwicklung der letzten zwei Jahrzehnte können heute kostengünstige und kompakte Volumentomographen produziert und aufgrund ihrer hohen Qualität auch für den Zahn- Kiefer – und Gesichtsbereich genutzt werden.

1.3. Accuitomo

Der dentale Volumentomograph 3DX (Abb. 3), der in Europa und den Vereinigten Staaten als 3D Accuitomo bezeichnet wird, geht aus einem Experiment des Japaners Yoshinori Arai hervor, der 1997 den so genannten Ortho – Computertomographen für den zahnärztlichen Gebrauch entwickelte. Drei Jahre lang wurde dieser Prototyp mit einem 30 mm hohen und 38 mm weiten Röntgenkegel, der das zu untersuchende Objekt im Sitzen anfokusste, in mehr als 3700 Fällen erprobt. Nach dieser Testphase überschrieb das Nihon University Incubation Center die Lizenz dieser Technik auf die J. Morita Corporation (Kyoto, Japan), um die Version zu überarbeiten und das praktische Modell auf den Markt zu bringen².



Abb. 3 Accuitomo (3DX) (Bildquellenverweis 3)

Der dentale Volumentomograph erschien im Jahr 2000 unter dem Namen 3DX Multi-Image-Micro-CT mit dem Versprechen einer bisher nie erreichten Auflösung und der Strahlendosis einer Panoramaschichtaufnahme^{2,9}.

In Deutschland ist der Accuitomo mit CE – Zertifizierung als zahnärztliches Gerät zugelassen und kann mit der zahnärztlichen Approbation, dem Röntgenfachkundenachweis und einer entsprechenden Schulung speziell für Cone-Beam-Tomographen betrieben werden¹³.

Zu den Einsatzbereichen zählen die Implantologie, Parodontologie, Endodontie, Kieferorthopädie und die Oralchirurgie.

Dabei kann der Volumentomograph für die dreidimensionale Beurteilung von Nervkanalverlauf, Zahnverlagerung, Knochentaschen, apikalen Prozessen, tumorösen Ausdehnungen und zur Knochenanalyse genutzt werden^{43,54}.

Aufgrund des hohen Investitionsvolumens sowie des kleinen Bildformates, welches von 30 x 40 Millimeter auf mittlerweile 40 x 40 sowie 60 x 60 Millimeter vergrößert wurde³¹, dient der Accuitomo bisher hauptsächlich als Ergänzung zum Panoramaröntgengerät.

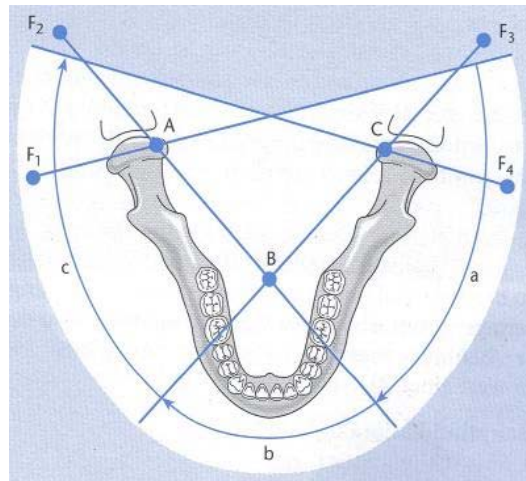
2. Historischer Hintergrund Panoramaschichtaufnahme (PSA)

Die ersten Panoramaübersichtsdarstellungen entstanden 1933 durch den Japaner Numata. Der Film lag der Innenseite des Alveolarfortsatzes an, während sich der Strahler außerhalb der Mundhöhle um den Kiefer herumbewegte. 1939 entwickelte Heckmann ein Konzept zur Darstellung gebogener Ebenen, welches klinisch erst 1949 in Form einer Gerätekonstruktion durch den Finnen Paatero umgesetzt werden konnte. 12 Jahre später gelang der PSA durch Weiterentwicklung endlich der Durchbruch, indem sie eine breite klinische Anwendung fand³⁸.

2.1. Funktionsprinzip Panoramaschichtaufnahme

Die Panoramaschichtaufnahme, bei der sich Strahler und Film um eine Drehebene bewegen und außerhalb dieser Schichtebene liegende Strukturen verwischt dargestellt werden, stellt heute noch die zentrale Übersichtstechnik in der Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde dar.

Damit Zähne und umgebender Knochen trotz der komplexen Zahnbogenform fast überlagerungsfrei abgebildet werden können, rotieren Film und Röntgengerät heute in der Regel harmonisch fortlaufend um drei getrennte Drehachsen⁴⁹ (Abb. 4).



(Bildquellenverweis 7)

Abb. 4 Ablaufbahn des Strahlers und Darstellungsareale auf dem Film beim Panoramaschichtgerät (F = Fokus, A, B, C = Rotationsachsen, a, b, c = Darstellungsareale)

Der Röntgenstrahl, der im Fokus entsteht, verlässt eine primäre Schlitzbende, passiert den Drehpunkt A sowie eine sekundäre Schlitzbende und trifft anschließend auf den Kassettenträger mit dem Sensor. Röhre und Sensorträger rotieren dabei im Uhrzeigersinn über die Drehpunkte B und C um den Kopf des Patienten, während die Filmkassette in der Gegenrichtung läuft³⁶.

Die richtige Positionierung des Patienten und dessen Mitarbeit spielen eine äußerst wichtige Rolle, um diagnostisch gute und strahlenhygienisch vertretbare Ergebnisse zu erreichen.

Sie begünstigen Bildschärfe und Detailerkennbarkeit und können technisch kaum vermeidbare Überlagerungen durch schattengebende Strukturen oder lufthaltige Räume minimieren³⁶.

Trotz der Bemühungen, optimale Röntgenaufnahmen zu erzielen, führen bei Panoramaschichtaufnahmen Bewegungsartefakte durch Wackeln des Patienten, Überlagerungen und Einstellungsfehler durch den Arzt oder die zahnärztliche Helferin häufig zu Einschränkungen der Bildqualität. Wird die Zunge während der Aufnahme nicht an den Gaumen gelegt oder liegt eine extreme Zahnstellung vor, die eine korrekte Kopfpositionierung mit Hilfe der Aufbißschiene behindert, wird vor allem der Frontzahnbereich ungenügend scharf dargestellt⁴⁹.

Daraus ergibt sich die Frage, ob mit dem Dental – CT von Morita derartige Fehlerquellen minimiert oder sogar eliminiert werden können und der diagnostische Wert aufgrund einer besseren Bildqualität über dem des Panoramaschichtgerätes liegt.

B. Herleitung der Aufgabenstellung und Arbeitshypothese

Die detailgetreue Darstellung von Hartgewebe durch höchste Auflösung wurde vom Hersteller des Accuitomos besonders betont und in Veröffentlichungen mit dem New Tom 9000 und diversen Computertomographen verglichen.

Eine ausführliche Gegenüberstellung der Bildqualität von Zahn – und Knochenstrukturen zwischen 3DX – Aufnahmen und Orthopantomogrammen lag bisher jedoch nicht vor.

Arbeitshypothese

Die hier vorgelegte Arbeit beschäftigte sich mit dem Vergleich zweier röntgenologischer Verfahren und der Fragestellung, ob die rasante Weiterentwicklung der DVT – Technologie in Zukunft zur Ablösung der klassischen zweidimensionalen Röntgengeräte führen könnte.

Ziel dieser Arbeit war es, die diagnostisch höhere Wertigkeit des Accuitomos durch die vergleichende Beurteilung der Abbildungsqualität bestimmter Kriterien zu belegen.

Dazu wurden sowohl anatomische Strukturen als auch pathologische Befunde auf digitalen Accuitomoaufnahmen und konventionellen Orthopantomogrammen gegenübergestellt. Das Auftreten von Artefakten in beiden Bildgebungsmodalitäten wurde evaluiert und der subjektive Bildeindruck definiert.

Sowohl theoretischer Hintergrund der Studie als auch Aufbau und Ergebnisse der Untersuchung werden in der Promotionsarbeit erläutert und im Zusammenhang diskutiert.

C. Material und Methoden

Die Abbildungsqualität von Dental - CT und OPG - Gerät wurde in 45 Fällen an insgesamt 90 Röntgenaufnahmen untersucht, welche studienunabhängig im Praxisalltag einer Zahnklinik entstanden. Dabei lagen von 27 männlichen (60%) und 18 weiblichen (40%) Patienten im Alter von 19 bis 76 Jahren (Tab. 1) sowohl digitale Volumentomogramme als auch Panoramaschichtaufnahmen vor, so dass ausschließlich zur Verfügung stehende Bilder genutzt und pro Fall die gleichen vorzufindenden Strukturen auf dem Accuitomobild und dem Orthopantomogramm untersucht wurden.

Tabelle 1: Patientenalter

Jahre	15 – 20	20 - 30	30 – 40	40 – 50	50 - 60	60 - 70	70 - 80
Anzahl	1	5	6	17	5	6	5

Die DVT – Aufnahmen entstanden aufgrund einer medizinischen Indikation nach den Panoramaschichtbildern, so dass der Abstand zwischen zwei Aufnahmen einen Zeitraum von drei Monaten nicht überschritt (Tab.2).

Tabelle 2: Indikationen, die zu den entsprechenden Röntgenaufnahmen führten

Indikation	Anzahl	Prozent	
Implantatplanung	14	31,1	
Zysten + apikale Aufhellungen durch:	Gangrän Insuffiziente Wurzelfüllungen Wurzelreste o. überstopftes Füllungsmaterial	8 8 5	17,8 17,8 11,1
Verlagerte Zähne	4	8,9	
Kariesdiagnostik	2	4,4	
Parodontalerkrankungen	2	4,4	
Trauma + Umstellungsosteotomie	2	4,4	

Sowohl Accuitomoaufnahmen als auch OPG – Bilder stammen aus der Zahnarztpraxis von Herrn Dr. Dr. Kindermann und Dr. Freund des Ärztehauses der Axel – Springer – Passage in Berlin.

1.1. Material DVT

Die Bildgebung der volumetomographischen Aufnahmen erfolgte durch den 3DX Accuitomo, Modell MCT -1 (J. MORITA MFG, Kyoto) (Abb. 5).



Abb. 5 bewertetes DVT – Gerät

Das Dental – CT - Gerät, welches mit einem begrenzten kegelförmigen Röntgenstrahl funktioniert, ist für die hochauflösende, dreidimensionale Computertomographie von Hartgewebe im Kopfbereich gedacht.

Der zylindrische Aufnahmebereich weist einen Durchmesser von 40 Millimetern und eine Höhe von 30 Millimetern bei einer Auflösung von 2 Linienpaaren / mm (MTF 10%) auf.

Die Voxelgröße beträgt 0,125 Millimeter (Abb. 6).

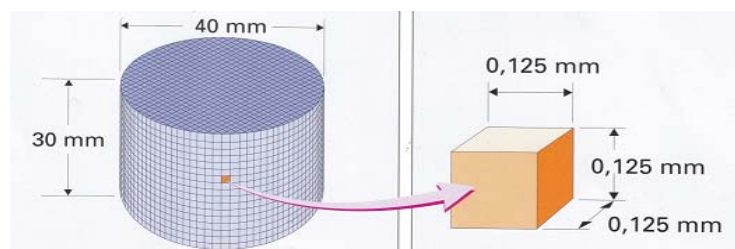


Abb. 6 Aufnahmevolumen und 3D Voxelgröße (Bildquellenverweis 2)

Während der Aufnahme hat der Strahler, der einen Brennfleck von 0,5 Millimetern erzeugt, eine Nennspannung von 60 ~ 80 kV und einen Nennstrom von 1 ~ 10 mA.

Das Gerät arbeitet mit einer inhärenten Filterung und mindestens 3.0 mm Al bei 70 kV. Im Gegensatz zum Orthopantomogramm setzt sich der Patient für den Röntgenvorgang auf einen sich im Zentrum der Einheit befindlichen Stuhl.

Durch die Kopfstütze und ein Fixierungsband wird die optimale Positionierung des Patientenkopfes im Bildvolumen erreicht.

Nach Einstellen der Referenzposition des Patienten mit Hilfe von drei Laserlichtvisieren (Abb. 7) und der graphischen Übertragung der Aufnahme­region auf ein LC- Display kann der gewünschte Aufnahmebereich durch Bewegung des Patienten­stuhles in den drei Raumachsen verifiziert und die eingestellte Position mit der so genannten Lokalisationsaufnahme überprüft werden (Abb. 8).



Abb. 7 Einstellen der Referenzposition mit Hilfe von Laserlichtvisieren (Bildquellenverweis 4)

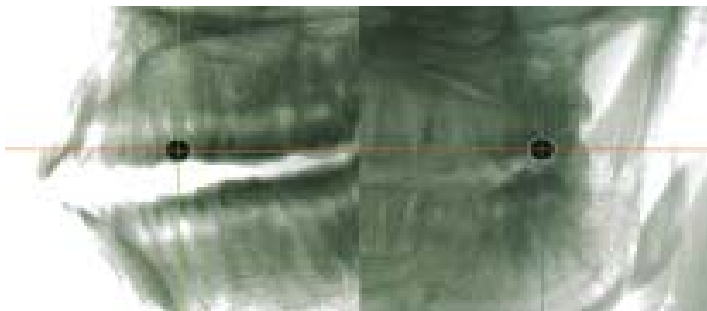


Abb. 8 Anzeigen der Aufnahme­region (Die Kreise dienen der Illustration.) (Bildquellenverweis 1)

Der Aufnahme­arm dreht sich anschließend 360° um den Kopf des Patienten, wobei die durch den konischen Röntgenstrahl erzeugten unbearbeiteten Summationsbilder von einem Bildverstärker erfasst und während der Aufnahme gespeichert werden (Abb. 9).

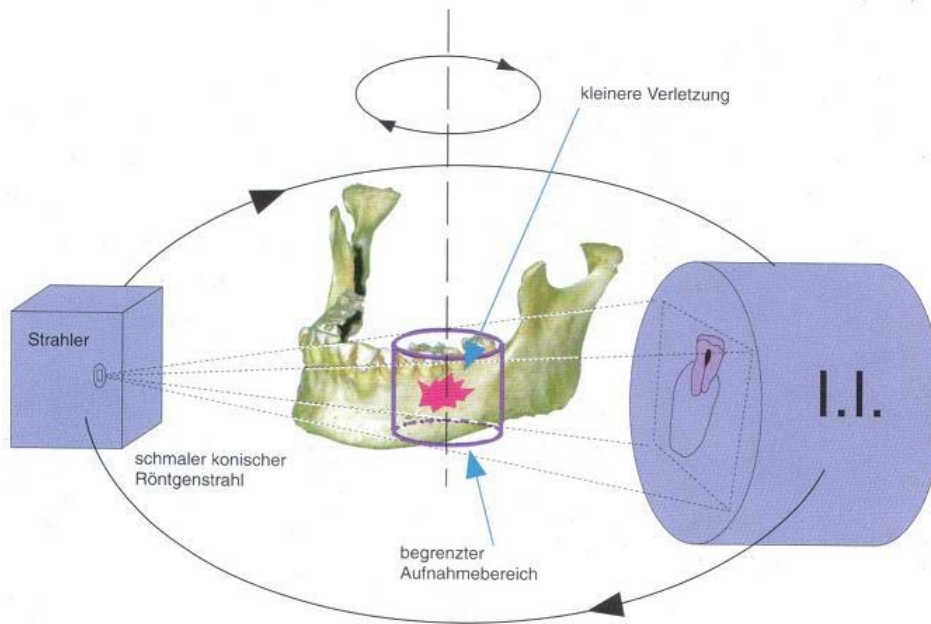


Abb. 9 Abbildungsprinzip Accutomo (Bildquellenverweis 5)

Mit Hilfe eines 1,5 – GHz – Pentium – IV – Prozessors und der i-Dixel-Software werden aus den Rohdaten 3D – Datensätze erzeugt, die im kontinuierlichen Bildlauf und in Einzelschichten von einem Millimeter Dicke betrachtet werden können (Abb. 10).

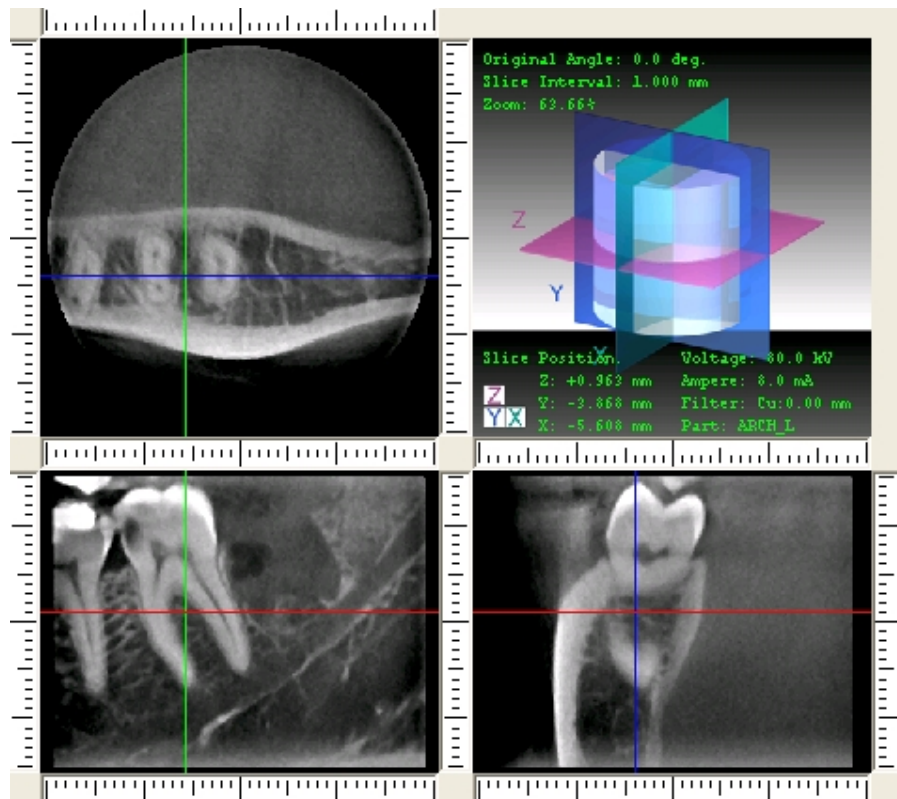


Abb. 10 Darstellung der gewünschten Region durch i – Dixel in 3 Ebenen

Durch die so genannte One Data Viewer – Software (Version 1.26), ein von MORITA entwickeltes Software – Tool, können die auf CD, DVD oder einem USB-Gerät gespeicherten Röntgenbilder auf externen Computern sichtbar gemacht werden. Der One Data Viewer wird immer bereitgestellt, wenn Bilddaten mit der ausführenden Datei des One Data Viewers aus i – Dixel exportiert werden.

Voraussetzung zum Betrachten der Aufnahmen sind das Betriebssystem Windows 2000 Professional SP-3 / SP-4 oder Windows XP Professional SP-1 sowie ein Pentium IV Computer mit 1,5 Ghz und einem Hauptspeicher von 512 MB.

Da jede farbige Linie X, Y, Z einer Ebene entspricht, kann der Betrachter bei Bewegung dieser die gewünschte Region in allen Schichten betrachten. Die rote Linie stellt die horizontale Schicht dar, so dass beispielsweise ein Zahn von axial betrachtet werden kann.

Mit der blauen Y – Ebene durchläuft man die Aufnahmeregion von lateral nach medial und der grüne X – Cursor entspricht der transversalen Ebene. Wird dieser verschoben, bewegt sich der Betrachter sagittal durch die gewünschte Struktur.

1.2. Material OPG

Die Bildgebung der Panoramaschichtaufnahmen erfolgte mit dem Orthopantomographen Veraviewepocs 5D Modell XH – 550 der J. Morita Europe GmbH (Abb. 11).

Bei einer Nennspannung von 60 - 80 kV und einem Nennstrom von 1 - 10 mA während der Aufnahme rotieren Röhre und Kassettenträger im Uhrzeigersinn in 16 Sekunden um den Kopf des stehenden Patienten.

Die Brennfleckgröße nach IEC 336/82 beträgt 0,5 mm x 0,5 mm und die Gesamtfilterung 2,5 mm Al. Das Gerät arbeitet mit einer Auflösung von 64 x 1536 Pixeln, einer Pixelgröße von 0,048 Millimetern und einer konstanten Vergrößerungsrate von 1,3.

Die ideale Lage des Patientenkopfes wird durch eine Kinnstütze und ein Dreifach – Lichtvisier erreicht. Der Röntgenstrahler, Aufnahmeträger sowie die Filmkassetten werden durch Lichtsensoren in die richtige Position bewegt, welche gleichzeitig die Einstellung eines optimalen Schichtverlaufes übernehmen. Mit 184 Kilogramm und den Maßen 1000 x 1200 x 2355 mm entspricht die Größe des Panoramaschichtgerätes in etwa der des Accuitomos.



Abb. 11 bewertetes Panoramaschichtgerät Veraviewepocs 5D

2. Methode

Die Beurteilung der Bildqualität erfolgte subjektiv und unabhängig durch drei im Beruf stehende Zahnärzte, wobei in Abhängigkeit des Aufnahmegebietes einer Accutomoaufnahme 15 Kriterien, aufgeteilt in Zahn – und Knochenstrukturen, krankhafte Geschehnisse und Artefakte, auf insgesamt 90 Röntgenbildern auszuwerten waren.

Zu den 9 anatomischen Strukturen zählten Schmelz – Dentin – Grenze, Pulpenkavum, Wurzelkanal, Spongiosa, Kieferhöhlenboden, Foramen mentale, Canalis Mandibulae, Kortikalis und Parodontalspalt.

Kariöse Zahnläsionen, Parodontaldefekte in Form von vertikalen Knocheneinbrüchen, apikale Aufhellungen und Kieferhöhlenverschattungen fielen in die Gruppe der zu beurteilenden pathologischen Vorkommnisse und es sollte das Auftreten von Bewegungs – und Metallartefakten vermerkt werden.

Zunächst wurde die auf jeder Accuitomoaufnahme abgebildete Zahnregion notiert und sichtbare Strukturen in einer Tabelle markiert, da der 3DX im Gegensatz zum OPG ein begrenztes Bildformat (30 mm x 40 mm) aufweist.

Um weiterhin die Volumentomogramme mit den Panoramaschichtaufnahmen vergleichen zu können, musste jede Accuitomoaufnahme in die möglichen 113 Einzelschnitte zerlegt werden. Dazu wurde die Liste der dreidimensionalen Bilder aus dem One Data Viewer in einen angelegten Ordner exportiert und die Schnitte der gewünschten Y - Ebene separat abgespeichert. Nun wurden nur die Bilder ausgewählt und mit in die Untersuchung einbezogen, die der räumlichen Ebene der OPG – Bilder entsprachen, so dass die zu untersuchenden Accuitomoaufnahmen entsprechend der konventionellen Radiographie zweidimensional waren und auf beiden Aufnahmearten sichtbare Strukturen in der horizontalen und vertikalen Ebene in Betracht gezogen wurden.

Auf einem Bewertungsbogen wurden der auf dem DVT – Bild erkennbare Zahnbereich notiert und die Felder für mögliche Befunde und sichtbare Strukturen farblich gekennzeichnet.

Die Beurteilung der Spongiosa und der Artefakte durch die drei zu untersuchenden Personen erfolgte in allen 45 Fällen. Wurzelkanal, Parodontalspalt, Schmelz – Dentin – Grenze, Pulpenkavum und Canalis mandibularis konnten in mehr als 20 Fällen ausgewertet werden und Foramen mentale, Kortikalis, Kieferhöhlenboden sowie krankhafte Geschehnisse waren jeweils auf mindestens 10 Röntgenbildern sichtbar.

Jeder Betrachter hatte sowohl auf den Panoramaschichtaufnahmen als auch auf den Volumentomogrammschnitten gesuchte Strukturen als deutlich sichtbar, sichtbar oder nicht sichtbar zu evaluieren. Ob Bewegung - und Metallartefakte erkennbar waren, musste auf dem Analysebogen mit ja oder nein angekreuzt werden. Befunde, die die Untersucher übereinstimmend auf allen Bögen als nicht sichtbar markierten, wurden in der anschließenden statistischen Auswertung außer Betracht gelassen.

D. Datenerfassung und statistische Analyse

Für die Darstellung der Accuitomo – Datensätze kam die von Morita hergestellte One Data Viewer – Software zur Anwendung. Durch die Integration der i – Dixel – Software auf einen externen Praxiscomputer wurden die DVT – Aufnahmen auf einem A3H Asus – Rechner mit 1.60 GHz Intel Celeron M – Prozessor, einem 15 Zoll Monitor und einer Bildauflösung von 1024 x 768 Bildpunkten befundet.

Die Panoramaschichtaufnahmen wurden an einem Röntgenbetrachter der Firma Maier Typ DSK mit interner Lichtquelle und den Ausmaßen 15 x 30 cm evaluiert.

Als Metallartefakte wurden geometrische Verzerrungen oder Verzeichnungen durch metallische Objekte und als Bewegungsartefakte Bewegungsunschärfen definiert, die durch Wackeln des Patienten während der Aufnahme entstanden und als verzerrte Strukturen oder Doppelkonturen sichtbar waren.

Geometrische Unschärfen auf der PSA durch einen falschen Fokus und Materialunschärfen aufgrund zu dicker Folien oder nicht richtig geschlossener Kassetten waren dabei nicht auszuschließen.

Die Analyse aller Kriterien wurde auf der Basis einer ordinal skalierten Notenvergabe durch drei Zahnärzte durchgeführt. Dabei stand der Wert 1 für eine sehr gute Erkennbarkeit, der Wert 2 für eine gut erkennbare Struktur, während die Note 3 kein Erkennen der Struktur bedeutete.

Statistische Analyse

Um die Arbeitshypothese statistisch zu prüfen, wurde für die Irrtumswahrscheinlichkeit des Fehlers der 1. Art $\alpha = 0,05$ gewählt.

Zum Ermitteln der Prüfgröße durch Berechnung der statistischen Unterschiede zwischen beiden Bildgebungsmodalitäten kam der Wilcoxon Vorzeichen – Rangsummen – Test zur Anwendung.

Es handelt sich dabei um einen vom Verteilungstyp unabhängigen und damit nicht parametrischen statistischen Test, bei dem zunächst die Differenzen der Beobachtungspaare gebildet und diese der Größe nach geordnet werden.

Anschließend wird jeder Differenz ein Rang zugeordnet und daraus der z – Wert berechnet, der mit einhundert multipliziert den Irrtumswahrscheinlichkeitswert ergibt. Die Wahrscheinlichkeit der Beobachtung kann ebenso über eine Tabelle direkt bestimmt werden.

Die Kalkulation dieses Testes erfolgte separat für jedes Kriterium unter Berücksichtigung dessen Häufigkeit. So wurde die Spongiosa, das Auftreten von Metall - und Bewegungsartefakten auf allen insgesamt 90 Bildern untersucht. Parodontalspalt und Wurzelkanal konnten auf dem OPG und der Accutomoaufnahme in jeweils 41, die Schmelz – Dentin – Grenze in 22 und das Pulpenkavum in jeweils 20 Fällen evaluiert werden. Kieferhöhlenböden und Mandibularkanäle befanden sich im Bildbereich von 19 digitalen Volumentomogrammen und wurden in dem entsprechenden Anzahl auf den Panoramaschichtaufnahmen befundet.

Apikale Aufhellungen untersuchten die Betrachter in jeweils 12 und die Kortikalis in 10 Fällen, während das Foramen mentale auf 14 Aufnahmen, Karies auf 12 und Parodontaldefekte sowie Kieferhöhlenverschattungen auf insgesamt 10 Bildern zu bewerten waren.

Anhand der errechneten Mittelwerte aus den von den Betrachtern vergebenen Noten wurden die Gesamtmittelwerte aller 16 Kriterien bei beiden Bildgebungsmodalitäten ermittelt und über den Wilcoxonstest für paarige Stichproben miteinander verglichen.

Außerdem erfolgte die Berechnung der Standardabweichungen σ aus den Mittelwerten für alle Kriterien, die in den Tabellen und Diagrammen auf den folgenden Seiten der Ergebnisdarstellung ersichtlich sind.

Nach der Durchführung 16 unabhängiger Wilcoxon – Tests mit einem Alpha von 0,05 erfolgte anschließend die Bonferroni – Korrektur, die das beobachtete Signifikanzniveau anhand multipler Vergleiche korrigiert. Dazu wurde das einfache Signifikanzniveau p mit der Anzahl der Tests multipliziert, so dass letztendlich nur die Tests, deren p – Wert 0.05 unterschritten als signifikant gewertet wurden.

Die Quantifizierung der Übereinstimmung zwischen den Beurteilern geschah durch die Berechnung des Intraklassen – Korrelationskoeffizienten nach Shrout & Fleiss auf der Basis eines zweiseitig gemischten Effektmodells für absolute Übereinstimmung.

Der ICC nahm Werte zwischen 0,0 und + 1, 0 an, wobei ein hoher Reliabilitätswert einer geringen Varianz zwischen den Noten entsprach.

Um zu ermitteln, welche der beiden untersuchten Methoden mit einer einheitlicheren Bewertungskorrelation der Befunder einhergeht, wurden die ICC – Werte wiederum mittels des gepaarten Wilcoxon – Rangsummentestes verglichen.

Die Verwaltung gewonnener Befundungsergebnisse sowie die Kalkulation der Mittelwerte und Standardabweichungen aus den vergebenen Bewertungsnoten geschah mittels der Microsoft Office XP Datenbank 2005, während die statistische Auswertung der Daten und die Diagrammherstellung durch SPSS 15.0 für Windows erfolgte.

Das Studiendesign sowie die statistische Analyse wurden durch das Institut für Biometrie und klinische Epidemiologie der Charité Berlin mitverfolgt und überprüft.

E. Ergebnisse

1. Zahnstrukturen und Befunde

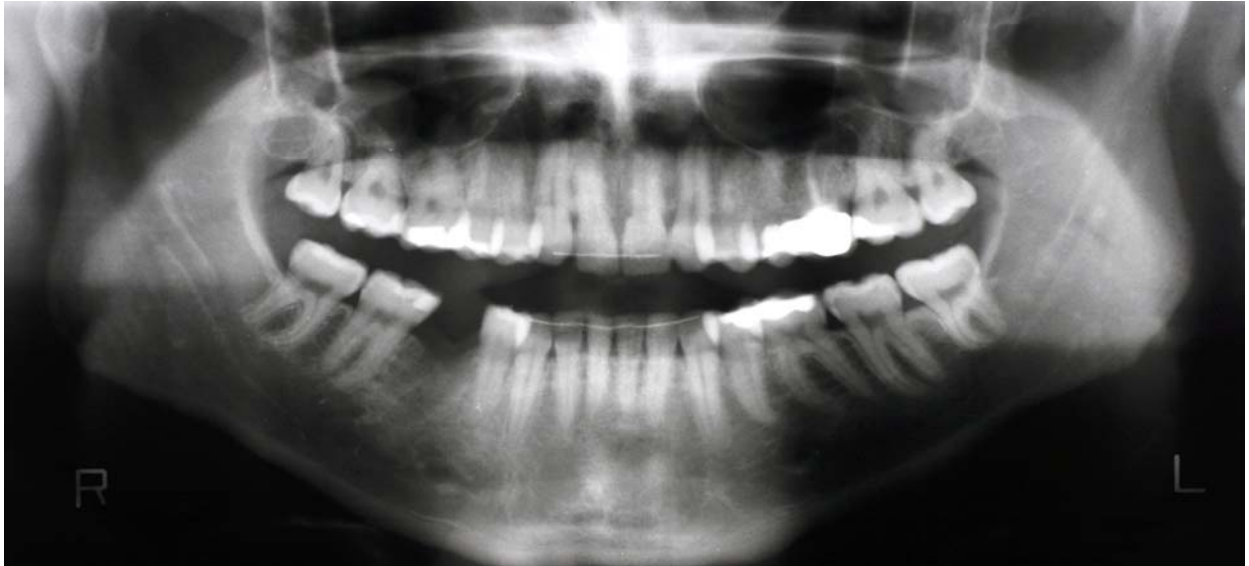


Abb. 12 Orthopantomogramm mit Fokus auf Regio 26

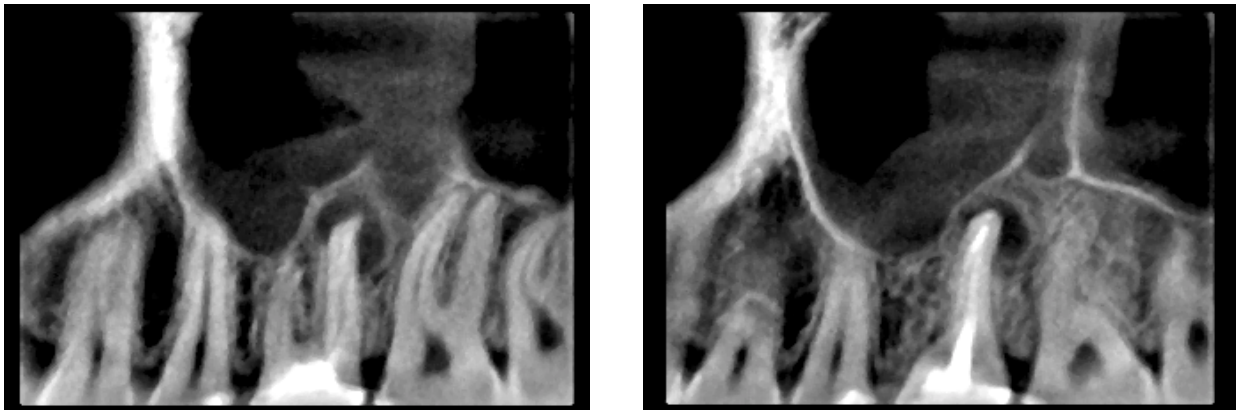


Abb. 13 Accutomoschnittbilder des 26 mit insuffizienter Wurzelfüllung und apikaler Aufhellung

1.1. Schmelz – Dentin – Grenze

Aus den Bewertungsnoten für das Kriterium Schmelz – Dentin – Grenze wurde bei den DVT - Aufnahmen ein Gesamtmittelwert von 1,33 (\pm 0,46) und bei den OPG – Aufnahmen ein Mittelwert von 2,03 (\pm 0,64) bestimmt.

Die Berechnung der Irrtumswahrscheinlichkeit mittels des gepaarten Wilcoxon-Testes zeigte, dass diese Zahnstruktur signifikant besser für die DVT – Aufnahmen bewertet wurde ($p = 0,001$). Anhand des multiplen Testes konnte dieses Ergebnis mit einem Bonferroniwert von 0,016 bestätigt werden.

Der ICC lag bei 0,75 in der Accuitomogruppe sowie bei 0,85 in der OPG - Gruppe und ließ damit eine geringere Varianz zwischen den Bewertungsnoten für die klassischen Röntgenbilder erkennen (Tab.3).

Tabelle 3: Ergebnisse für das zu untersuchende Kriterium Schmelz – Dentin – Grenze

(> signifikant besser, = gleich / Ergebnis offen, < signifikant schlechter)

Kriterium	MW_{DVT}(\pmSD)	MW_{OPG}(\pmSD)	ICC_{DVT}	ICC_{OPG}	p	Bonferroni Test
SDG	1,33 (\pm 0,46)	2,03 (\pm 0,64)	0,746	0,846	0,001	0,016
					DVT > OPG	DVT > OPG

1.2. Dentin – Pulpa – Grenze

Für die zu untersuchende Zahnstruktur Dentin – Pulpa – Grenze ergab sich aus den Bewertungen der drei Beobachter für die Accuitomoaufnahmen die Gesamtnote 1,45 (\pm 0,48) und für entsprechende Panoramaschichtaufnahmen die Note 2 (\pm 0,60). Der Wilcoxon – Test zeigte, dass die Erkennbarkeit der Dentin – Pulpa – Grenze signifikant besser auf den Accuitomoaufnahmen als auf den klassischen Röntgenbildern war ($p = 0,001$).

Zu selbigem Ergebnis führte auch der Bonferroni – Test (0,016).

Die Quantifizierung der Übereinstimmung zwischen den Beurteilern anhand des ICC ergab 0,77 für die DVT – Aufnahmen und 0,82 für die OPG – Bilder (Tab. 4).

Tabelle 4: Ergebnisse für das zu untersuchende Kriterium Dentin – Pulpa – Grenze

(> signifikant besser, = gleich / Ergebnis offen, < signifikant schlechter)

Kriterium	MW _{DVT} (±SD)	MW _{OPG} (±SD)	ICC _{DVT}	ICC _{OPG}	p	Bonferroni Test
DPG	1,45 (± 0,48)	2 (± 0,60)	0,774	0,824	0,001	0,016
					DVT > OPG	DVT > OPG

1.3. Wurzelkanal

Für das Kriterium Wurzelkanal resultierte bei den Accuitomoaufnahmen ein Mittelwert von 1,62 (± 0,51) und bei den OPG – Aufnahmen eine Gesamtnote von 2,17 (± 0,57).

Der Wilcoxon – Rangsummentest ergab auch bei dieser Zahnstruktur ein signifikant besseres Ergebnis (p < 0,005) für die DVT – Gruppe, welches durch den multiplen Test bestätigt werden konnte (Abb. 12, 13).

Bei dem Vergleich des Intraklassen – Korrelationskoeffizienten zeigte sich, dass eine unwesentlich größere Übereinstimmung zwischen den Beurteilern bei den konventionellen Aufnahmen vorlag (0,86) als bei den Accuitomoaufnahmen mit einem Wert von 0,82 (Tab. 5).

Tabelle 5: Ergebnisse für das zu untersuchende Kriterium Wurzelkanal

(> signifikant besser, = gleich / Ergebnis offen, < signifikant schlechter)

Kriterium	MW _{DVT} (±SD)	MW _{OPG} (±SD)	ICC _{DVT}	ICC _{OPG}	p	Bonferroni Test
Wurzelkanal	1,62 (± 0,51)	2,17 (± 0,57).	0,820	0,856	0,000	0,000
					p < 0,005	p < 0,005
					DVT > OPG	DVT > OPG

1.4. Karies

Die mittlere Note bei der Befundung der Karies betrug 1,33 (\pm 0,61) für die Aufnahmen des Accuimos und 2 (\pm 0,43) für die Panoramaschichtaufnahmen (Abb. 16, 17).

Weder die Bonferroni – Korrektur (1,184) noch der paarige Test nach Wilcoxon ergaben diesbezüglich einen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den beiden Bildmodalitäten ($p = 0,074$). Anhand der Mittelwerte war jedoch ein deutlicher Trend zugunsten der DVT – Aufnahmen erkennbar.

Eine größere Übereinstimmung herrschte zwischen den einzelnen Beobachtern bei den Accuimomoaufnahmen mit einem ICC von 0,93, während die OPG Gruppe in Bezug auf den Kariesbefund einen ICC von 0,60 ergab (Tab. 6).

Tabelle 6: Ergebnisse für das zu untersuchende Kriterium Karies

(> signifikant besser, = gleich / Ergebnis offen, < signifikant schlechter)

Kriterium	MW_{DVT}(\pmSD)	MW_{OPG}(\pmSD)	ICC_{DVT}	ICC_{OPG}	p	Bonferroni Test
Karies	1,33 (\pm 0,61)	2 (\pm 0,43)	0,925	0,600	0,074	1,184
					DVT = OPG	DVT = OPG

1.5. Parodontalspalt

Für das Kriterium Parodontalspalt resultierte bei den Accuimomoaufnahmen ein Mittelwert von 1,78 (\pm 0,92) und bei den OPG – Aufnahmen eine Gesamtnote von 2,33 (\pm 1,06).

Der Wilcoxon – Rangsummentest ergab bei diesem Kriterium ein signifikant besseres Ergebnis ($p = 0,001$) für die DVT – Gruppe, welches durch den multiplen Test mit $p = 0,016$ bestätigt wurde.

Bei dem Vergleich des Intraklassen – Korrelationskoeffizienten zeigte sich, dass die Beurteiler bei den konventionellen Aufnahmen übereinstimmender beurteilten (ICC = 0,79) als bei den Accuimomoaufnahmen mit einem ICC von 0,673 (Tab. 7).

Tabelle 7: Ergebnisse für das zu untersuchende Kriterium Parodontalspalt

(> signifikant besser, = gleich / Ergebnis offen, < signifikant schlechter)

Kriterium	MW _{DVT} (±SD)	MW _{OPG} (±SD)	ICC _{DVT}	ICC _{OPG}	p	Bonferroni Test
Parodontalspalt	1,78 (± 0,92)	2,33 (± 1,06)	0,873	0,931	0,001	0,016
					DVT > OPG	DVT > OPG

Die folgende Abbildung (Abb. 14) illustriert die Mittelwerte und Standardabweichungen, die sich aus den Bewertungsnoten der Beurteiler für jedes zum Zahn gehörende Kriterium berechnen ließen und auf den vorangegangenen Seiten dokumentiert wurden. Dabei soll noch einmal darauf hingewiesen werden, dass der Wert 1 für eine sehr gute Erkennbarkeit und der Wert 3 für keine erkennbare Struktur steht.

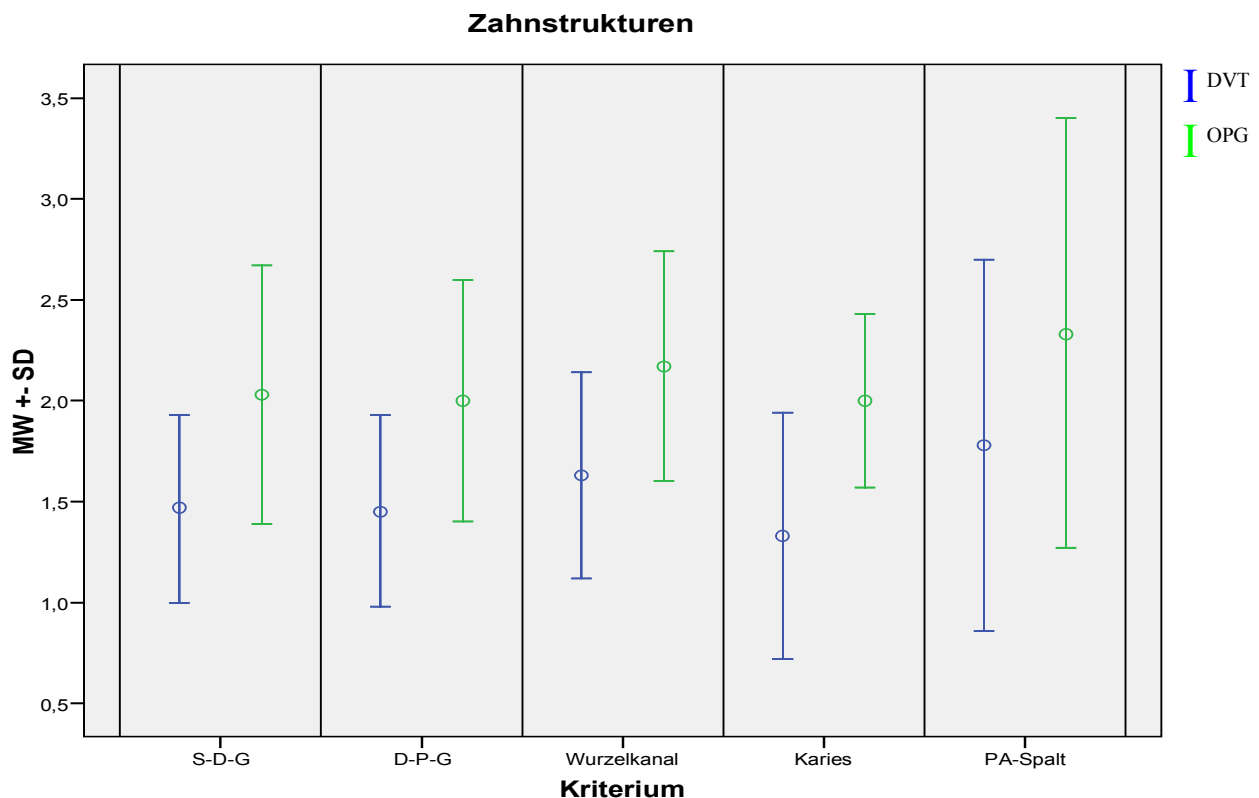


Abb. 14 Grafischer Vergleich der Mittelwerte (MW) und Standardabweichungen (SD) von Accutomo - und OPG – Aufnahmen bezüglich der Benotungen für dargestellte Kriterien

2. Knochenstrukturen

2.1. Mandibularkanal

Für das Kriterium Canalis mandibularis resultierte ein Mittelwert von 1,63 ($\pm 0,65$) bei den DVT – Aufnahmen und von 2,09 ($\pm 0,54$) bei den OPG – Aufnahmen.

Die Visualisierung des Nervkanales wurde laut Wilcoxon – Test ($p = 0,019$) mit einem statistisch signifikanten Unterschied bewertet. Die Bonferroni – Korrektur ergab einen Wert von 0,304, so dass das tendenziell positive Ergebnis der Accuitomoaufnahmen letztendlich nicht als signifikant besser beurteilt werden konnte.

Der ICC belegte mit 0,91 eine höhere Übereinstimmung in der Bewertung der DVT – Bilder als der Intraklassen – Korrelationskoeffizient für die OPG – Bilder mit 0,78 (Tab. 8).

Tabelle 8: Ergebnisse für das zu untersuchende Kriterium Mandibularkanal

(> signifikant besser, = gleich / Ergebnis offen, < signifikant schlechter)

Kriterium	MW_{DVT}(\pmSD)	MW_{OPG}(\pmSD)	ICC_{DVT}	ICC_{OPG}	p	Bonferroni Test
Mandibular- kanal	1,63 ($\pm 0,65$)	2,09 ($\pm 0,54$)	0,906	0,779	0,019	0,304
					DVT > OPG	DVT = OPG

2.2. Foramen mentale

Bei der Befundung des Foramens mentale auf den Accuitomoaufnahmen ergaben die Bewertungen die mittlere Note 1,33 ($\pm 0,44$). Dagegen fiel die Beurteilung dieses Kriteriums auf den Panoramaschichtbildern mit einem Notendurchschnitt von 1,71 ($\pm 0,45$) schlechter aus.

Anhand des Wilcoxon – Testes konnte mit $p = 0,042$ ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen beiden Röntgenverfahren nachgewiesen werden, welcher durch die Bonferroni – Korrektur jedoch nicht belegt wurde. Die Berechnung des multiplen Testes ergab einen Wert von 0,672.

Die Interrater – Reliabilität zeigte in der Accuitomogruppe einen ICC von 0,86 und in der OPG – Gruppe von 0,67 (Tab.9).

Tabelle 9: Ergebnisse für das zu untersuchende Kriterium Foramen mentale

(> signifikant besser, = gleich / Ergebnis offen, < signifikant schlechter)

Kriterium	MW _{DVT} (±SD)	MW _{OPG} (±SD)	ICC _{DVT}	ICC _{OPG}	p	Bonferroni Test
Foramen mentale	1,33 (± 0,44)	1,71 (± 0,45)	0,857	0,667	0,042	0,672
					DVT > OPG	DVT = OPG

2.3. Kortikalis

Für die zu untersuchende Knochenstruktur Kortikalis ergab sich aus den Bewertungen der drei Zahnärzte für die Accuitomoaufnahmen die Gesamtnote 1,56 (± 0,58) und für die entsprechenden Panoramaschichtaufnahmen die Note 1,6 (± 0,39).

Wie bereits aus den Mittelwerten ersichtlich, zeigte der gepaarte Wilcoxon – Test keinen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Bildmodalitäten (p = 0,836). Dieses Ergebnis bestätigte die Bonferroni – Analyse mit einem Wert von 13,376.

Die Übereinstimmung zwischen den Beurteilern war bei den Accuitomoaufnahmen mit einem ICC von 0,78 etwas größer als bei den OPG – Bildern mit einem ICC von 0,72 (Tab. 10).

Tabelle 10: Ergebnisse für das zu untersuchende Kriterium Kortikalis

(> signifikant besser, = gleich / Ergebnis offen, < signifikant schlechter)

Kriterium	MW _{DVT} (±SD)	MW _{OPG} (±SD)	ICC _{DVT}	ICC _{OPG}	p	Bonferroni Test
Kortikalis	1,56 (± 0,58)	1,6 (± 0,39)	0,777	0,728	0,836	13,376
					DVT = OPG	DVT = OPG

2.4. Spongiosa

Das Erkennen der Spongiosa wurde im Mittel mit 1,63 (\pm 0,51) bei allen 45 DVT – Aufnahmen und mit 2,23 (\pm 0,53) bei ebenso vielen Panoramaschichtaufnahmen gewertet.

Sowohl der Wilcoxon – Test mit $p < 0,005$ als auch die Bonferroni – Korrektur ermittelten einen statistisch signifikanten Unterschied zwischen beiden Röntgenverfahren. Die Interrater – Reliabilität zwischen den drei Befundern ergab einen ICC von 0,71 in der DVT – Gruppe und einen Korrelationskoeffizienten von 0,84 in der OPG – Gruppe (Tab. 11).

Tabelle 11: Ergebnisse für das zu untersuchende Kriterium Spongiosa

(> signifikant besser, = gleich / Ergebnis offen, < signifikant schlechter)

Kriterium	MW_{DVT}(\pmSD)	MW_{OPG}(\pmSD)	ICC_{DVT}	ICC_{OPG}	p	Bonferroni Test
Spongiosa	1,63 (\pm 0,51)	2,23 (\pm 0,53)	0,705	0,838	0,000	0,000
					$p < 0,005$	$p < 0,005$
					DVT > OPG	DVT > OPG

2.5. Kieferhöhlenboden

Das Kriterium Kieferhöhlenboden bewerteten die Befunder auf den Accuitomoaufnahmen im Durchschnitt mit 1,47 (\pm 0,36) und auf den klassischen Röntgenbildern mit 2,05 (\pm 0,70).

Ein statistisch signifikantes Ergebnis für die DVT - Bilder auf einem Niveau von 5 % Irrtumswahrscheinlichkeit ermittelte der gepaarte Wilcoxon – Test mit $p = 0,006$. Der multiple Test widerlegte jedoch dieses Ergebnis und ergab mit 0,096 keinen signifikanten Unterschied.

Die Analyse der Korrelation zwischen den Beurteilern zeigte, dass die Befunder bei den OPG – Aufnahmen mit einem ICC von 0,92 übereinstimmender bewerteten als bei den Accuitomoaufnahmen (ICC = 0,61) (Tab. 12).

Tabelle 12: Ergebnisse für das zu untersuchende Kriterium Kieferhöhlenboden

(> signifikant besser, = gleich / Ergebnis offen, < signifikant schlechter)

Kriterium	MW _{DVT} (±SD)	MW _{OPG} (±SD)	ICC _{DVT}	ICC _{OPG}	p	Bonferroni Test
KH – Boden	1,47 (± 0,36)	2,05 (± 0,70)	0,607	0,923	0,006	0,096
					DVT > OPG	DVT = OPG

In der folgenden Grafik sind zusammenfassend die Standardabweichungen und Gesamtmittelwerte, die aus den Wertungsnoten der Betrachter errechnet wurden, für jedes zur Knochenstruktur zählende Kriterium abgebildet (Abb. 15).

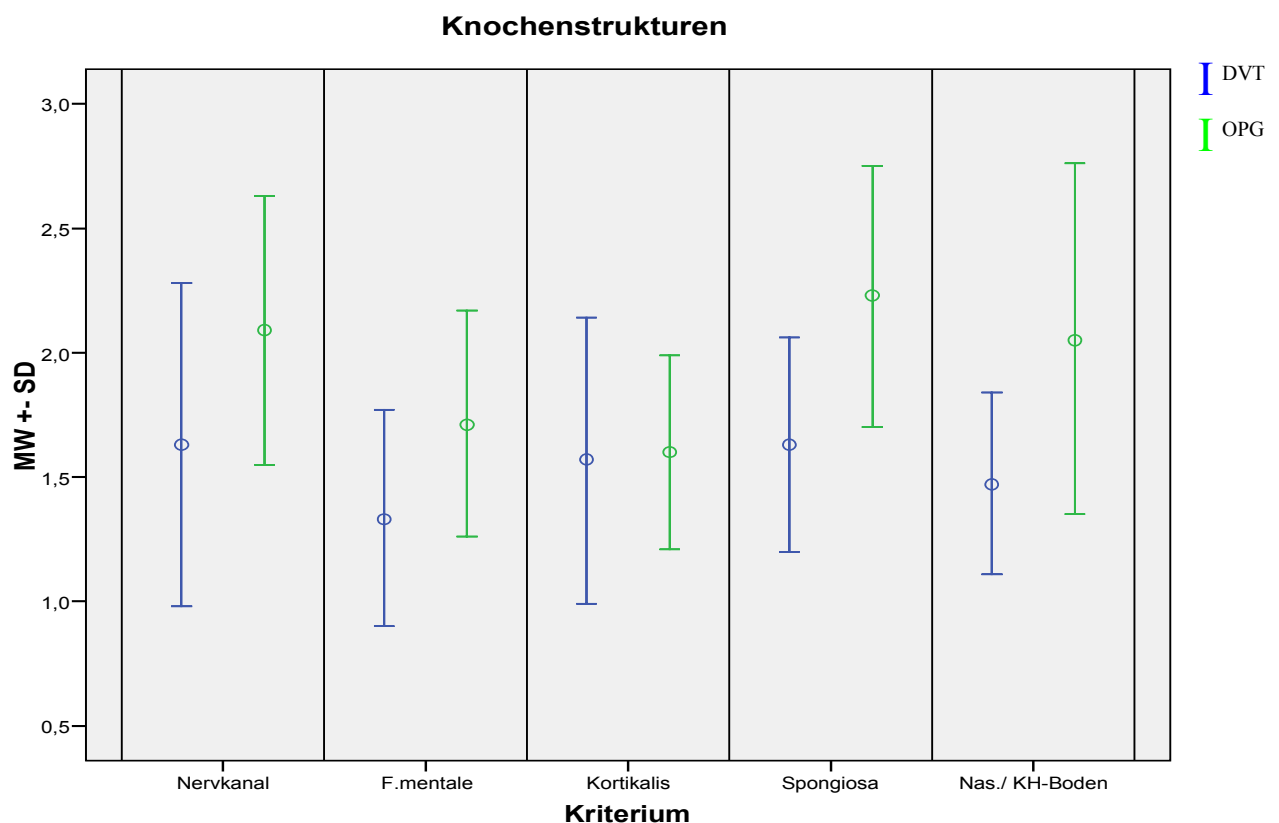


Abb. 15 Grafischer Vergleich der Mittelwerte (MW) und Standardabweichungen (SD) von Accutomo – und OPG – Aufnahmen bezüglich der Benotungen für dargestellte Kriterien

3. Knochenbefunde

3.1. apikale Aufhellung

Für das Kriterium apikale Aufhellung wurde ein mittlerer Wert von 1,33 ($\pm 0,49$) bei den Dental – CT – Aufnahmen und von 2,30 ($\pm 0,58$) bei den OPG – Aufnahmen bestimmt (Abb. 16, 17).

Der Wilcoxon – Test für zwei verbundene Stichproben zeigte mit $p = 0,005$, dass dieses Kriterium signifikant besser für die Accuitomoaufnahmen bewertet wurde. Der multiple Test ergab jedoch ein Ergebnis von 0,08, so dass von einem positiven Trend der DVT – Aufnahmen ausgegangen, das Ergebnis letztendlich aber nicht als signifikant bezeichnet werden konnte. Der ICC lag in der DVT – Gruppe bei 0,88 und in der OPG – Gruppe bei 0,73 (Tab. 13).



Abb. 16 Orthopantomogramm mit Fokus auf Regio 47

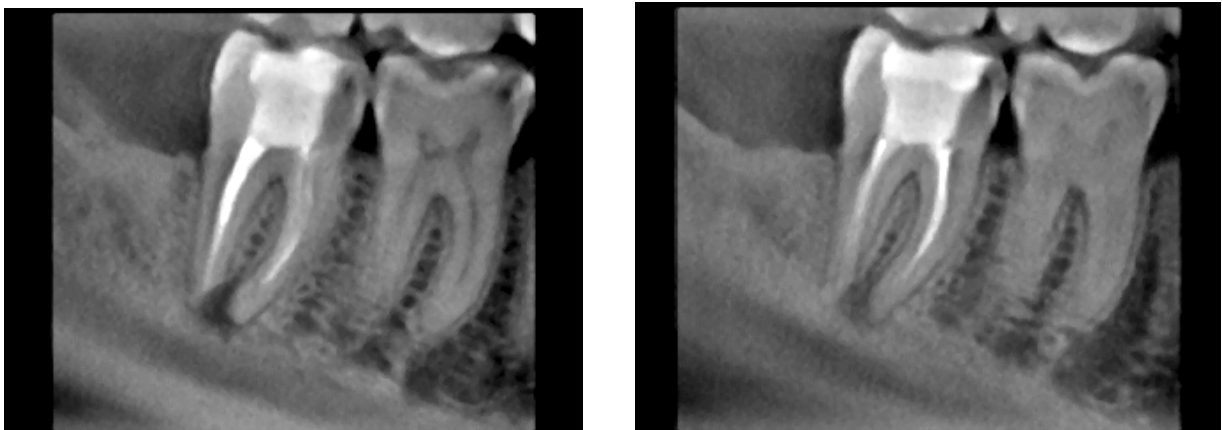


Abb. 17 Accuitomoschnittbilder des 47 mit apikaler Aufhellung und Karies

Tabelle 13: Ergebnisse für das zu untersuchende Kriterium apikale Aufhellung

(> signifikant besser, = gleich / Ergebnis offen, < signifikant schlechter)

Kriterium	MW _{DVT} (±SD)	MW _{OPG} (±SD)	ICC _{DVT}	ICC _{OPG}	p	Bonferroni Test
apikale Aufhellung	1,33 (± 0,49)	2,30 (± 0,58)	0,88	0,73	0,005	0,08
					DVT > OPG	DVT = OPG

3.2. Parodontaldefekt

Der Befund Parodontaldefekt wurde im Durchschnitt mit 1,4 (± 0,25) bei den Accuitomoaufnahmen und mit 2,30 (± 0,57) bei den OPG – Aufnahmen benotet. Eine Signifikanz zugunsten der Accuitomoaufnahmen zeigte sich nach Berechnung der Irrtumswahrscheinlichkeit mittels des Wilcoxon – Rangsummentestes (p = 0,42). Die Durchführung der Bonferroni – Korrektur ergab jedoch einen Wert von 0,672, mit dem das Ergebnis schließlich offen blieb.

Die Übereinstimmung zwischen den Beurteilern war mit einem ICC von 0,77 bei den OPG – Aufnahmen größer als bei den Accuitomobildern (0,57) (Tab. 14).

Tabelle 14: Ergebnisse für das zu untersuchende Kriterium Parodontaldefekt

(> signifikant besser, = gleich / Ergebnis offen, < signifikant schlechter)

Kriterium	MW _{DVT} (±SD)	MW _{OPG} (±SD)	ICC _{DVT}	ICC _{OPG}	p	Bonferroni Test
Parodontaldefekt	1,4 (± 0,25)	2,30 (± 0,57)	0,571	0,771	0,042	0,672
					DVT > OPG	DVT = OPG

3.3. Kieferhöhlenverschattung

Der Mittelwert bei der Bewertung des Kriteriums Kieferhöhlenverschattung betrug 1,6 (\pm 0,49) in der DVT – Gruppe gegenüber 1,93 (\pm 0,25) in der OPG – Gruppe.

Der gepaarte Wilcoxon – Rangsummentestes ergab eine Irrtumswahrscheinlichkeit von $p = 0,221$ und zeigte damit keinen signifikanten Unterschied zwischen beiden Bildmodalitäten. Dementsprechend fiel der multiple Test aus und ergab mit 3,536 ein ebenso nicht signifikantes Ergebnis.

Die Varianz zwischen den Einschätzungswerten war mit 0,50 bei den Accuitomo - Aufnahmen größer als bei den OPG – Bildern, bei denen der ICC 0,57 betrug (Tab. 15).

*Tabelle 15: Ergebnisse für das zu untersuchende Kriterium Kieferhöhlenverschattung
(> signifikant besser, = gleich / Ergebnis offen, < signifikant schlechter)*

Kriterium	MW_{DVT}(\pmSD)	MW_{OPG}(\pmSD)	ICC_{DVT}	ICC_{OPG}	p	Bonferroni Test
KH – Verschattung	1,6 (\pm 0,49)	1,93 (\pm 0,25)	0,500	0,571	0,221	3,536
					DVT = OPG	DVT = OPG

Die folgende Abbildung 18 illustriert in einer Übersicht die berechneten Mittelwerte und Standardabweichungen der Kriterien, die der Gruppe Knochenbefunde zugeordnet wurden.

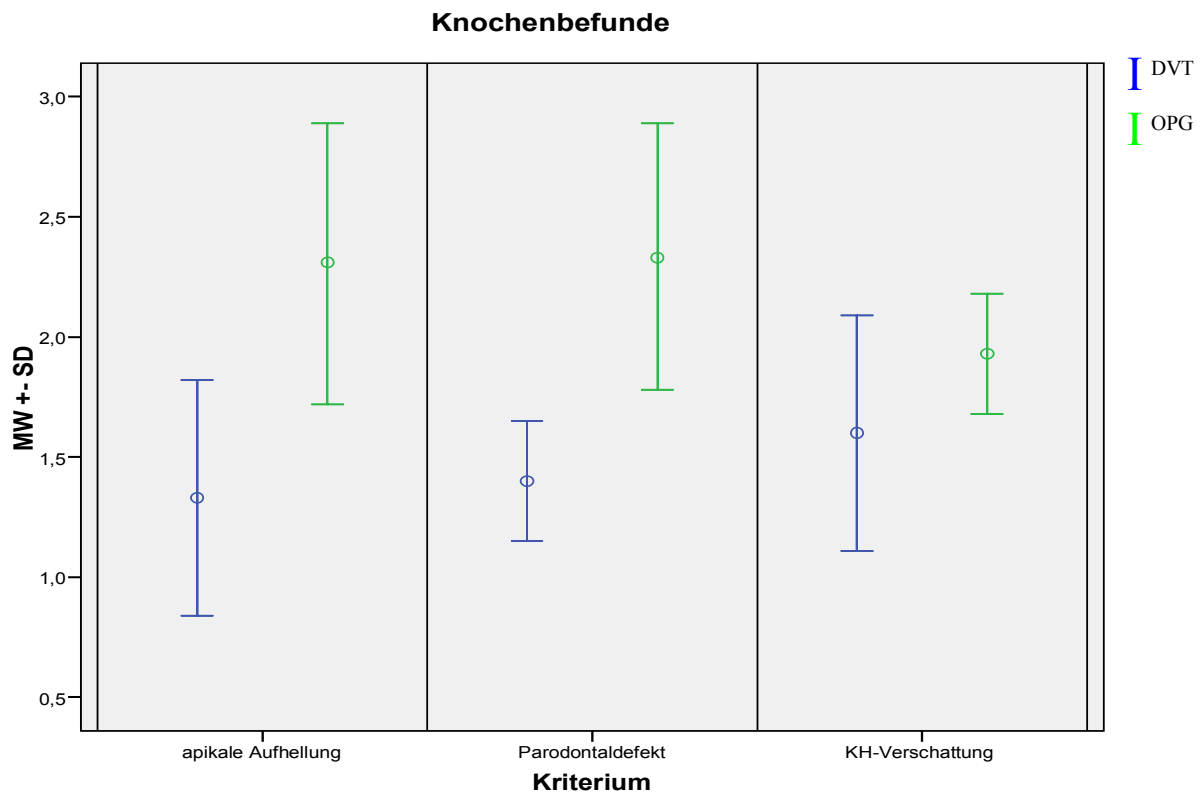


Abb. 18 Grafischer Vergleich der Mittelwerte (MW) und Standardabweichungen (SD) von Accuitomo - und OPG – Aufnahmen bezüglich der Benotungen für dargestellte Kriterien

4. Artefakte

4.1. Bewegungsartefakte

Das Vorhandensein von Bewegungsartefakten bewerteten die Beurteiler anhand unscharf dargestellter Zahnstrukturen bei den Accuitomoaufnahmen mit einem Notendurchschnitt von 2,91 ($\pm 0,26$) und bei den OPG – Bildern mit dem etwas besseren Wert 2,94 ($\pm 0,27$).

Weder der Wilcoxon – Rangsummentest ($p = 0,799$), noch die Bonferroni – Korrektur (12,784) ergaben einen statistisch signifikanten Unterschied.

Bei der Beurteilung auf Übereinstimmung zwischen den einzelnen Befundern belegte der ICC mit 1,00 bei der OPG – Gruppe eine größere Korrelation gegenüber der DVT – Gruppe, bei der ein ICC von 0,46 resultierte (Tab. 16).

Tabelle 16: Ergebnisse für das zu untersuchende Kriterium Bewegungsartefakt

(> signifikant besser, = gleich / Ergebnis offen, < signifikant schlechter)

Kriterium	MW _{DVT} (±SD)	MW _{OPG} (±SD)	ICC _{DVT}	ICC _{OPG}	p	Bonferroni Test
Bewegungsartefakt	2,91 (± 0,26)	2,94 (± 0,27)	0,457	1,00	0,799	12,784
					DVT = OPG	DVT = OPG

4.2. Metallartefakte

Bei beiden röntgenologischen Aufnahmeverfahren betrug der Gesamtmittelwert 3, da keiner der Befunder einen Metallartefakt weder in der DVT – noch in der OPG – Gruppe nachweisen konnte. Dementsprechend gab es auch keine positiven und negativen Ränge, so dass der Wilcoxon – Test einen Wert von 1 ergab (Tab. 17).

Tabelle 17: Ergebnisse für das zu untersuchende Kriterium Metallartefakt

(> signifikant besser, = gleich / Ergebnis offen, < signifikant schlechter)

Kriterium	MW _{DVT} (±SD)	MW _{OPG} (±SD)	ICC _{DVT}	ICC _{OPG}	p	Bonferroni Test
Metallartefakt	3 (±0)	3 (± 0)	-----	-----	1,00	16
					DVT = OPG	DVT = OPG

Zusammenfassend sind in der folgenden Abbildung (Abb. 19) der nächsten Seite die Mittelwerte und Standardabweichungen grafisch dargestellt, die sich aus den einzelnen Bewertungsnoten für Bewegungsartefakte und Metallartefakte ergaben.

Beachtet werden sollte, dass die Interpretation der Werte gegensätzlich zu denen der vorangegangenen Diagramme erfolgt.

Der Wert 1 steht für das Erkennen eines Artefaktes und der Wert 3 kennzeichnet, dass dieser nicht erkennbar war. Eine optimale Aufnahme in Bezug auf die eben genannten Kriterien ist demnach im Bereich der Note 3 vorzufinden.

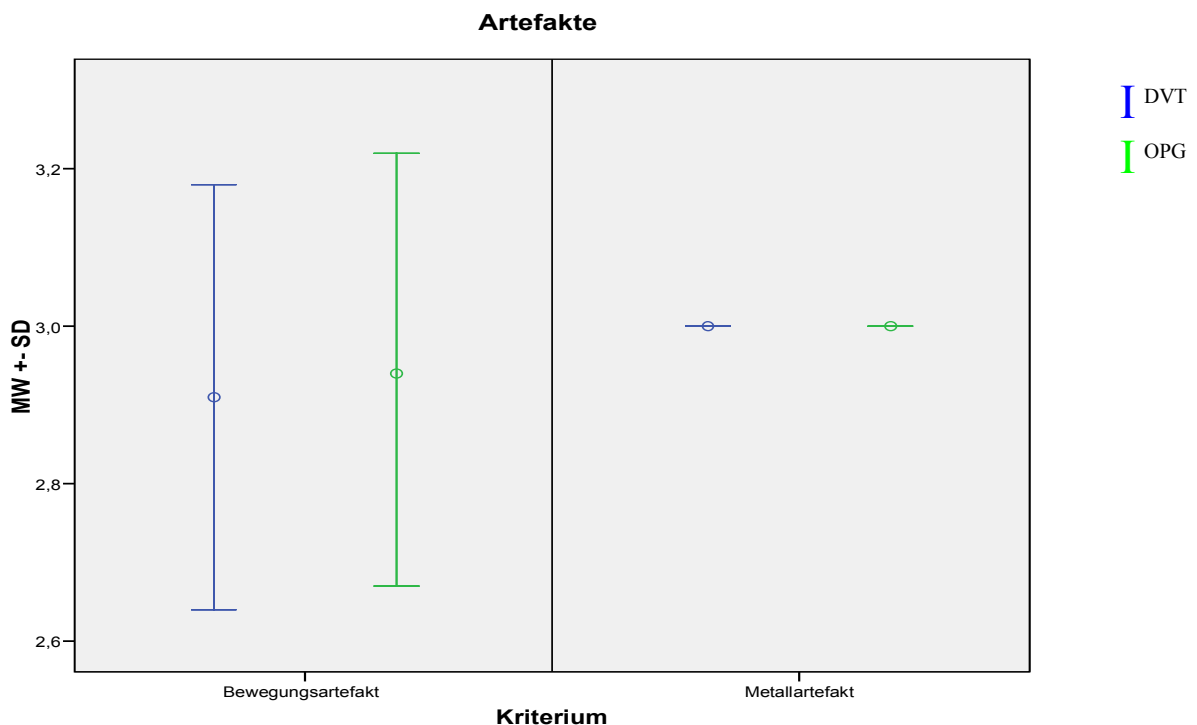


Abb. 19 Grafischer Vergleich der Mittelwerte (MW) und Standardabweichungen (SD) zwischen Accuitomo – und OPG – Aufnahmen bezüglich der Benotungen für dargestellte Kriterien

5. Gesamt

Die Ermittlung eines Gesamtmittelwertes aus den Mittelwerten aller 13 Zahn – und Knochenkriterien ergab einen Notendurchschnitt von 1,51 (\pm 0,54) für die Beurteilung der Accuitomoaufnahmen und 2,06 (\pm 0,59) für die Beurteilung der OPG – Bilder.

Sowohl der Wilcoxon – Rangsummentest ($p = 0,002$) als auch die Bonferroni – Korrektur ($p = 0,034$) zeigten, dass die DVT – Gruppe insgesamt signifikant besser abschnitt (Abb. 20).

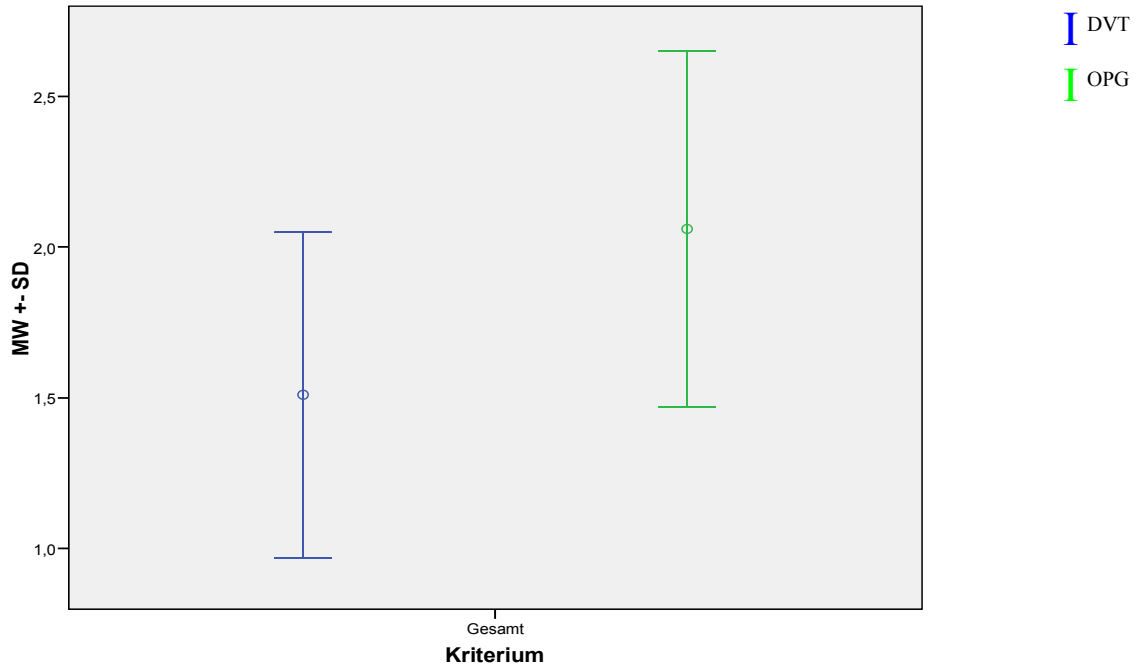


Abb. 20 Grafischer Vergleich der Gesamtmittelwerte (MW) \pm SD von Accuitomo – und OPG – Gruppe

Ob eine der beiden untersuchten Methoden mit einer einheitlicheren Bewertungskorrelation der Befunder einhergeht, wurde anhand eines Vergleiches der ICC – Werte mittels des gepaarten Wilcoxon – Rangsummentestes überprüft. Das Ergebnis ergab keinen statistisch signifikanten Unterschied in der Beobachterübereinstimmung zwischen den beiden Techniken ($p = 0,733$).

F. Diskussion

1. Allgemeiner Teil

Basierend auf einer Untersuchungsgruppe von 45 Bildpaaren, die subjektiv durch drei Untersucher hinsichtlich 13 anatomischer Strukturen bewertet wurden, konnte in dieser Studie ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den DVT – Aufnahmen und den klassischen Panoramaschichtansichten ermittelt werden ($p < 0,05$).

Im Gegensatz zur konventionellen zweidimensionalen Röntgendiagnostik, die aufgrund von Summationsbildern in ihrer Aussagekraft hinsichtlich spezieller Details oft geschwächt ist, ermöglicht die dreidimensionale DVT – basierte Bildgebung Zahn – und Knochenstrukturen überlagerungsfrei zu lokalisieren. Da die genaue Kenntnis anatomischer Strukturen wesentlich zum Behandlungserfolg beiträgt, bieten bereits verschiedene Hersteller DVT – Systeme an, die sich insbesondere in Aufnahmeformat, Strahlendosis und Patientenpositionierung unterscheiden. Untersuchungen zum digitalen Volumentomographen New Tom QR – DVT 9000 (Firma QR) ergaben, dass verlagerte Weisheitszähne nach unbefriedigender Darstellung auf Panoramaschichtaufnahmen auf allen DVT – Aufnahmen detailliert dargestellt und in 93 % der Fälle Nervkanalverläufe exakt rekonstruiert werden konnten¹².

Ziegler et al. präsentierten 4 Fälle, in denen klassische Röntgenaufnahmen keine ausreichend diagnostische Aussage lieferten, die New Tom – Bilder dagegen wesentlich zur therapeutischen Planung beitrugen.

Dass die Einsatzmöglichkeiten des DVT – Gerätes über etablierte Indikationen hinausgehen können, beschrieben *Schulze et al.* in einer Studie mit 755 Untersuchungen. Von der Abbildung der traumatologischen Mittelgesichtsdiagnostik und Implantationsplanung bis hin zur Darstellung tumoröser Veränderungen und Osteomyeliden lieferten die New Tom – Aufnahmen diagnostisch wertvolle Informationen.

Auch die Kieferorthopädie profitiert von der digitalen Volumentomographie insbesondere durch die Visualisierung verlagerter und überzähliger Zähne^{5,23,32}.

Beim Vergleich des DVT – Gerätes mit einem 8 – Zeilen – Spiral – CT zeigten die Ergebnisse von *Holberg et al.*, dass feine dentale Strukturen (Parodontalspalt) in den reformatierten, axialen Schichten des DVT 9000 kontrastärmer und verschwommener abgebildet wurden als im konventionellen Dental – CT und dass der Spiral – Computertomograph mit Ausnahme der Bildung von Metallartefakten dem New Tom noch überlegen ist.

Auf dem von der Firma Sirona entwickelten Volumentomographen Galileos wurden im Gegensatz zum digitalen OPG fünf von sieben untersuchte anatomischen Strukturen signifikant besser gesehen als auf den Panoramaschichtaufnahmen. Die Belichtungsqualität und das Ausmaß an Artefakten wurden jedoch in der Studie von *Mischkowski et al.* signifikant schlechter auf den DVT – rekonstruierten Panoramaschichtansichten bewertet als auf den OPG – Aufnahmen, da die DVT – Datensätze deutlich mehr Rauschen und weniger Bildkontrast aufnahmen als die konventionellen OPG – Bilder und Artefakte aufgrund metallreicher Strukturen deutlich stärker ausgeprägt waren.

In dieser Arbeit sollten DVT – Aufnahmen des 3DX von Morita hinsichtlich ihrer Abbildungsqualität mit konventionellen Panoramaansichten verglichen werden, denn die zuletzt genannte Aufnahmetechnik dient bis heute als wichtige Grundlage für viele diagnostische Fragen und ist als Standardverfahren aus dem Praxisalltag nicht wegzudenken. Vergleichende Studien zwischen dem Accutomo und CT – Geräten liegen zwar bereits vor, aber eine ausführliche Gegenüberstellung von 3DX – Bildern und Panoramaschichtaufnahmen wurde bisher nicht gefunden.

Da die dreidimensionalen Accutomoaufnahmen in der Zahnklinik von Herrn Dr. Dr. Kindermann und Herrn Dr. Freund ergänzend zum OPG und studienunabhängig aufgrund diagnostischer Notwendigkeit im Praxisalltag entstanden, konnte auf ausschließlich vorhandene Aufnahmen zurückgegriffen werden. Zudem wurden zur Vergleichbarkeit nur solche Bilder in die Studie aufgenommen, welche die gleichen Röntgenbefunde aufwiesen.

2. Diskussion der Ergebnisse

2.1. Zahnstrukturen

Von den fünf in der Studie untersuchten Zahnstrukturen wurden 80 % signifikant besser auf den Accutomoaufnahmen erkannt als auf den konventionellen Röntgenbildern.

Dabei muss in Betracht gezogen werden, dass die Panoramaschichtaufnahme unter den klassischen Röntgenverfahren nicht das Mittel der Wahl ist, um feine, den Zahn betreffende Strukturen und Befunde darzustellen. Autoren wie *Bean et al.* und *Akkaya et al.* belegten, dass Zahnfilm und Bissflügelufnahmen für die Kariesdiagnostik unerlässlich sind.

Trotzdem sollte auf einen Vergleich dieser Kriterien nicht verzichtet werden, da die Panoramaschichtaufnahme als Gesamtübersicht des Ober – und Unterkiefers pathologische Geschehnisse sowohl des Zahnes als auch des Knochens anzeigt.

Nakata et al. verglichen in einem klinischen Fall konventionelle Röntgenverfahren mit dem Accuitomo. Die Autoren fanden erst nach Darstellung eines oberen Molaren mit dem 3DX den Grund für den Schmerz einer Patientin, der auf eine periapikale Läsion aufgrund eines nicht gefüllten Kanals zurückzuführen war.

Zu den auf den Accuitomoaufnahmen dieser Studie signifikant besser gesehenen Strukturen ($p < 0,05$) zählten Schmelz – Dentin – Grenze, Dentin – Pulpa – Grenze, Wurzelkanal sowie Parodontalspalt.

Auch *Hashimoto et al.* erkannten die eben genannten Zahnkriterien auf den 3DX – Aufnahmen jedoch im Vergleich zum Multidetektor – CT deutlich besser. Sie bewerteten das Multi Image Micro CT von Morita bezüglich der Qualität und Reproduzierbarkeit höher als den MDCT.

Die Autoren *Sogur et al.* fanden anhand der Beurteilung von Wurzelfüllungen hinsichtlich ihrer Homogenität und Länge heraus, dass F - speed – Zahnfilme in der Darstellungsqualität den limited Cone – Beam – Aufnahmen des Accuitomos überlegen sind.

Hinsichtlich der Kariesbewertung wurde in der vorliegenden Studie anhand der Mittelwerte zwar ein positiver Trend zugunsten des Accuitomos deutlich, doch weder der Wilcoxon – Test noch die Bonferroni – Korrektur ergaben einen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Bildmodalitäten. Es sollte berücksichtigt werden, dass bei diesem Kriterium die Tests aufgrund der wenig zur Verfügung stehenden Fälle nur eine bedingte Aussagekraft aufweisen.

Tsuchida et al. fanden in einer Untersuchung von 100 Zähnen keinen signifikanten Unterschied zwischen Zahnfilm und Accuitomoaufnahmen bei der Erkennung von Karies. Ein direkter Vergleich kariöser Befunde zwischen PSA und 3DX – Ansichten konnte bisher in keiner Studie beobachtet werden.

2.2. Knochenstrukturen

Bei den zu den Knochenstrukturen zählenden Kriterien Mandibularkanal, Foramen mentale, Kortikalis, Spongiosa und Kieferhöhlenboden fiel nach der Bonferroni – Korrektur die Bewertung der Spongiosa signifikant besser auf den Accuitomoaufnahmen aus.

Bei insgesamt 80 % der fünf Strukturen gaben die Beurteiler im Gegensatz zum OPG dem 3DX deutlich positivere Noten, die sich durch höhere Mittelwerte und an den Ergebnissen der Wilcoxon – Tests widerspiegelten.

Späte et al. zeigte in einer vergleichenden Untersuchung von Accuitomo, Somatom Emotion Spiral – CT und New Tom 9000, dass die Bildqualität auf den 3DX - Aufnahmen im Allgemeinen signifikant besser bewertet wurde als auf den Bildern der anderen beiden Verfahren. Zu den beurteilten Kriterien zählten in ihrer Studie unter anderem der Kieferhöhlenboden, die Spongiosa, Kortikalis, Kieferhöhle, der Parodontalspalt, Wurzelkanal und Mandibularkanal, welcher im Einzelnen ebenfalls signifikant deutlicher auf den Accuitomoaufnahmen zu sehen war.

Dass die digitale Volumentomographie insbesondere für die präprothetische Behandlungsplanung von großem Vorteil ist und eine detaillierte Knochenanalyse sowie das Wissen um den Nervkanalverlauf das optimale Setzen von Implantaten erleichtern, wurde in etlichen Studien beschrieben^{39,52,35}.

2.3. Knochenbefunde

Zu bewerten waren apikale Aufhellungen, Parodontaldefekte in Form von vertikalen Knocheneinbrüchen sowie Verschattungen der Kieferhöhle. Die Beurteilungen dieser pathologischen Geschehnisse auf den Accuitomoaufnahmen fielen bei allen drei Kriterien besser aus. Es ergaben sich aber keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Bildmodalitäten. Zu berücksichtigen ist, dass die Definition der Kieferhöhlenverschattung von jedem Beobachter subjektiv interpretiert und als Kieferhöhlenspiegel oder zystisches Gebilde wahrgenommen werden konnte. Zudem waren die untersuchenden Personen Zahnärzte und keine Oralchirurgen, so dass sicherlich auch Erfahrungswerte eine Rolle spielten. Die Uneinigkeit der Bewertung für das Kriterium Kieferhöhlenverschattung drückte sich in den relativ niedrigen Zahlen der ICC – Werte bei beiden Aufnahmeverfahren aus. Relativ kleine Korrelationswerte ergaben auch die Untersuchungen der Parodontaldefekte, welche hinsichtlich ihrer Tiefe, Ausbreitung oder Furkationsbeteiligung nicht in Klassen eingeteilt wurden. Dieses sollte nicht Aufgabe der vorliegenden Studie sein und wurde bereits von *Mengel et al.* an der Universität Marburg ausführlich analysiert. In deren vergleichender Arbeit von Zahnfilm, PSA, CT und DVT auf verschiedene Größen von Knochentaschen an den Unterkiefern von Schweinen und Menschen zeigten die Accuitomoaufnahmen die besten Resultate hinsichtlich der Bildqualität sprich Kontrast, Helligkeit, Überlagerung, Verzerrung, Focus und Klarheit der Knochenstrukturen.

Auch *Ito et al.* schilderten ausführlich die Vorteile des 3DX multi image micro CT im Gegensatz zur klassischen Radiographie bei der Beurteilung parodontaler Knochendefekte mit Furkationsbeteiligung.

Suomalainen et al. konnten die Überlegenheit des Accuitomos gegenüber den klassischen Röntgenverfahren Zahnfilm und PSA durch das zusätzliche Auffinden diagnostischer Informationen auf den DVT – Ansichten demonstrieren, die sich insbesondere auf entzündliche Zahn – und Kieferprozesse bezogen.

Zu ähnlichen Ergebnissen kamen *Lofthag – Hansen et al.* Sie erkannten auf Accuitomobildern 33 Wurzeln mehr, von denen Läsionen ausgingen als auf periapikalen Zahnfilmaufnahmen.

2.4. Artefakte

Bewegungsartefakte, die vom Betrachter als verzerrte Strukturen oder Doppelkonturen wahrgenommen wurden, traten geringfügig häufiger bei den DVT – Aufnahmen als bei den klassischen Röntgenbildern auf. Denkbar ist, dass ungewollte Kopfbewegungen der Patienten aufgrund der längeren Umlaufzeit des 3DX, die für die Lokisationsaufnahme bei gemessenen 29 Sekunden und bei der eigentlichen Röntgenaufnahme bei zusätzlichen 23 Sekunden lag, im Vergleich zum OPG (16 Sekunden) vermehrt zu verzerrten Darstellungen führten.

Metallartefakte dagegen waren weder auf den Panoramaschichtaufnahmen noch auf den Accuitomoansichten erkennbar. Insgesamt mag die Relevanz dieses Ergebnisses allerdings eingeschränkt sein, da die Materialien nicht voneinander unterschieden und nur vereinzelte, zufällig im anatomischen Bewertungsbereich auftretende Metallstrukturen benotet wurden.

In einer expliziten Pilotstudie untersuchte *Dorothea Berndt* an der Universität Basel Kugeln verschiedener zahnärztlicher Materialien in einem Schweineunterkiefer auf Artefaktbildung beim 3D Accuitomo. Dabei zeigten inserierte Stahlkugeln im Vergleich zu anderen Materialien die stärksten Artefakte, weswegen die Autorin von einer Implantatplanung mit Stahlkugeln abriet und Kunststoffschienen mit eingebrachten Titanhülsen als bessere Alternative empfahl.

Suomalainen et al. äußerten in ihrem Artikel, dass für die implantologische Planung von etwa 100 Zähnen auf 3DX – Aufnahmen Artefakte von retrograden Wurzelfüllungen oder Metallstiften in 3 Fällen exakte Messungen verhinderten.

Und auch *Nakata et al.* erwähnten das Auftreten von Metall – und Bewegungsartefakten auf Accuitomobildern, die daher eine vorsichtige Interpretation erfordern. Die Abbildung von Mittelohrimplantaten aus Titanium – Gold – und Platin hingegen ermöglichte eine fast artefaktfreie Darstellung umgebender Strukturen⁶.

Dass die ICC – Werte bei einem Gesamtvergleich in der OPG – Gruppe höher als in der DVT – Gruppe waren, ist möglicherweise auf eine durch den täglichen Praxiseinsatz routinierte Betrachtung der Panoramaschichtaufnahmen und die subjektiv kritischere Analyse der Accuitomobilder zurückzuführen. Es gab auf einem Signifikanzniveau von 5% jedoch keinen statistisch signifikanten Unterschied in der Beobachterübereinstimmung zwischen den beiden Techniken ($p = 0,733$).

3. Diskussion Accuitomo

Mit einer Voxelgröße von 0,125 mm x 0,125 mm x 0,125 mm, welche über der des Computertomographen (Kantenlänge 0,4 mm) und der des NewTom9000 (0,25 mm x 0,25 mm x 0,2 mm)²⁴ liegt, resultiert ein hohes Auflösungsvermögen und eine sehr gute Detaildarstellung untersuchter Strukturen mit dem 3D Accuitomo der Firma Morita.

In dieser Studie waren bis auf die Kortikalis, die ebenso deutlich auf den Panoramaschichtaufnahmen zu sehen war, alle Zahn – und Knochenstrukturen sowie Befunde den Mittelwerten zufolge eindeutig besser auf den Accuitomobildern erkennbar. Die Arbeitshypothese dieser Dissertation ist folglich als richtig anzusehen:

Aufgrund des signifikant besseren Gesamtergebnisses der DVT – Aufnahmen sowie der signifikanten Unterschiede bei der Bewertung von Spongiosa und Zahnstrukturen bezüglich ihrer Differenzierbarkeit kann der Accuitomo gegenüber dem OPG zumindest als gleichwertig, bei der Darstellung spezifischer Befunde und Details als diagnostisch überlegen betrachtet werden.

Das häufige Problem der unklaren Darstellung der Frontzähne auf Panoramaschichtansichten, oft auch durch die überlagernde Abbildung der Wirbelsäule, bestätigten die Bewertungen.

In sieben Fällen wurden für die Darstellung der einzelnen Zahnstrukturen auf den konventionellen Röntgenbildern Werte zwischen zwei und drei vergeben.

Im Gegensatz dazu erkannten die Beurteiler Schmelz – Dentin – Grenze, Pulpenkavum, Wurzelkanal und Parodontalspalt auf den Accuitomoaufnahmen, bis auf eine Ausnahme, sehr gut bis gut.

Ein weiterer Vorteil des 3D Accuitomos ist die Möglichkeit der präzisen Abbildung des Kiefergelenkes. *Nakajima et al.* beschrieben ausführlich anhand eines Patientenfalles den hilfreichen Einsatz des dentalen DVT – Gerätes, mit dem eine anteriore Diskusverlagerung sowie eine Knochenerosion festgestellt werden konnten. *Suomalainen et al.* diagnostizierten bei acht Patienten mit kranio-mandibulären Dysfunktionen in vier Fällen Arthrose sowie eine Kondylusfraktur und auch *Honda et al.* favorisierten den 3DX bei Kiefergelenkserkrankungen sowie zur Bestimmung von Knochenerosionen, Sklerose und für Knochenmessungen¹⁶⁻¹⁸.

Bei der Indikationsstellung zur Anwendung eines DVT – Gerätes sollte selbstverständlich auch die Strahlenbelastung berücksichtigt werden. Einige Autoren beschrieben, dass die effektive Strahlendosis des digitalen Volumentomographen von Morita 7,4 µSv beträgt^{2,40}.

An der Universität Leipzig ergaben entsprechende Testreihen Werte von 41 µSv beim 3D Accuitomo, 56 µSv beim NewTom und 420 µSv beim Spiral – CT Mx8000¹⁴. Damit ist die Dosisbelastung niedriger als bei einem CT – Scan, aber ebenso von den jeweiligen Aufnahmeparametern abhängig.

Takemasa et al. zeigten 2002, dass die absorbierte Dosis des 3DX – Gerätes, welches mit einem kleinen Messfeld arbeitet, um ein Fünftel unter der Spiral – CT - Hochdosis (Aquilion -Toshiba Medical) und über der des Panoramaschichtgerätes (AZ-3000, Asahi Röntgen) lag. Berücksichtigt werden muss, dass in den veröffentlichten Studien die Ergebnisse bezüglich der Vergleiche zur Strahlenexposition bildgebender Diagnoseverfahren aufgrund unterschiedlicher Geräte, Meßmethoden – und Orte variieren⁵³ (Tab. 18). Dementsprechend ergab eine Untersuchung des Panoramaschichtgerätes Planmeca PM 2000 mit einer effektiven Körperdosis von 3,85 µSv einen Wert, der unter dem Durchschnitt (6,7 µSv) des klassischen Aufnahmeverfahrens liegt⁷.

Tabelle 18 gibt eine Übersicht über einige in der Zahnmedizin verwendete bildgebende Diagnoseverfahren und deren Strahlenbelastung^{7,22,2,14,24,27}.

System	OPG	Accuitomo	DVT (NewTom)	CT
effektive Strahlendosis (µSv)	3,8 – 54 µSv	7,4 – 41 µSv	56,5 µSv	314 µSv

Im Gegensatz zum übersichtlichen Panoramaschichtbild ist beim Accuitomo aufgrund des limitierten Aufnahmeformates eine präzise Fokussierung des gewünschten Kieferabschnittes außerhalb des Mundes nicht immer erfolgreich, so dass 3DX - Aufnahmen eventuell wiederholt werden müssen.

Um dieses Problem zu umgehen, eine exakte Patientenpositionierung zu erzielen und den genauen Knochenbereich abbilden zu können, werden so genannte Lokisationsaufnahmen empfohlen, deren Erstellung die Röntgendosis um jedoch 5 – 10 % erhöhen³¹.

Geht es um eindeutige Fragestellungen, bei denen ein größeres Aufnahmevervolumen nicht notwendig ist, kann die DVT – Aufnahme wertvolle Informationen liefern.

Für eine orientierende Übersicht oder bei umfangreichen Implantatplanungen innerhalb eines ganzen Kiefers sind dem OPG oder DVT – Geräten wie dem Galileos der Firma Sirona Dental Systems der Vorzug zu geben, da diese Panoramaansichten konstruieren.

Trotz des limitierten Aufnahmeformates ist der Accuitomo durch seine präzise Darstellung feiner Strukturen und der geringen Strahlenexposition im Vergleich zu anderen bildgebenden Verfahren in der Zahnmedizin zukunftsweisend. Da das Investitionsvolumen deutlich über dem eines Orthopantomographen liegt, wird es vorerst ein Zusatzgerät für Großkliniken, Gemeinschaftspraxen und Spezialisten bleiben. Der Zugang digitaler Volumentomographie in die zahnärztliche Praxis ist jedoch geschaffen.

G. Zusammenfassung

Seit Mitte der 70iger Jahre gilt die Panoramaschichtaufnahme als Standard der zahnärztlichen radiologischen Diagnostik. Sie ist jedoch mit dem Nachteil behaftet, Summationsbilder der abgebildeten Regionen zu liefern.

Die 1997 erstmals eingeführte digitale Volumentomographie (DVT) in die Zahnmedizin ermöglicht der CT vergleichbare Darstellungsmöglichkeiten mit Rekonstruktionen in verschiedenen Ebenen nahezu in Echtzeit. Im Jahr 2000 kam der von dem Japaner Arai entwickelte dentale Volumentomograph 3DX (3D Accuitomo) auf den Markt mit dem Versprechen einer bisher nie erreichten Auflösung und der Strahlendosis einer Panoramaschichtaufnahme.

Ziel der vorliegenden Arbeit war die vergleichende Bewertung der Abbildungsqualität der Cone Beam Computed Tomography und der konventionellen OPG – Aufnahme.

Zu diesem Zweck bewerteten drei Zahnärzte anhand einer 2 – und 3 Punkte – Skala Zahn – und Knochenstrukturen, krankhafte Geschehnisse und das Auftreten von Artefakten auf Accuitomoaufnahmen und Panoramaschichtansichten. Dazu wurden nur solche Bilder in die Studie aufgenommen, welche die gleichen Röntgenbefunde aufwiesen.

Die Ergebnisse dieser Studie zeigten insgesamt eine signifikant bessere Bewertung der allgemeinen Darstellungsqualität der mit dem 3D Accuitomo aufgenommenen Bilder ($p=0,034$) im Vergleich zu den Bildern, die mit dem klassischen Verfahren erstellt wurden. Dabei ergaben sich mittels des Bonferroni - Testes bei der Beurteilung der Spongiosa sowie bei allen Zahnstrukturen signifikante Unterschiede zwischen den beiden Bildmodalitäten. Ausgenommen der Bewegungsartefakte, die öfter auf Accuitomobildern wahrgenommen wurden, ließen die übrigen Kriterien deutlich einen positiven Trend zugunsten der DVT – Aufnahmen erkennen. Sechs von ihnen zeigten anhand des gepaarten Wilcoxon Testes signifikant bessere Ergebnisse für den 3DX.

Wird keine Übersichtsaufnahme verlangt, liefert der dentale Volumentomograph von Morita detailgetreue Aufnahmen mit einer dem OPG überlegenden diagnostischen Wertigkeit. Aufgrund des breiten Anwendungsspektrums und der präzisen Darstellung feiner Strukturen sowie anatomischer Lagebeziehungen ist der 3D Accuitomo nicht nur in der Oralchirurgie, sondern auch in der Endodontie, Parodontologie, sowie Kieferorthopädie verlässlich einsetzbar.

H. Literaturverzeichnis

- 1 Akkaya N, Kansu O; Kansu H, et al. Comparing the accuracy of panoramic and intraoral radiography in the diagnosis of proximal caries. *Dento maxillo facial radiology*; VOL: 35 (3); p. 170 -4 / 00605
- 2 Arai Y, Honda K, Iwae K, et al. Practical model „3DX“ of limited cone-beam X – ray CT for dental use. *International Congress Series 1230*: 713-718, Elsevier Science 2001
- 3 Bean LR, Akerman WY Jr. Intraoral or panoramic radiography? *Dental clinics of North America*; VOL: 28 (1), p. 47 – 55 / 198401
- 4 Berndt D. Strahlenbedingte Artefakte zahnärztlicher Materialien in der digitalen Volumentomographie. Aus dem Artikel: Zwei junge Schweizer Forscherinnen ex aequo prämiert. *Schweiz Monatsschr Zahnmed*, Vol. 116, 666: 6 / 2001, at http://www.zahnaerzte.ch/doc/doc_download.cfm?4305AE51BCD825C4D501BB95C487CC0D
- 5 Chaushu S, Chaushu G, Becker A. The role of digital volume tomography in the imaging of impacted teeth. *World J Orthod* 2004 Summer; 5 (2): 120 – 32 (ISSN:1530-5678)
- 6 Dalchow VC, Weber LA, Yanagihara Y, et al. Digital Volume Tomography: Radiologic Examinations of the Temporal Bone. *American Journal of Roentgenology, AJR* 2006; 186: 416 – 423
- 7 Danforth R, Clark D. Effective dose from radiation absorbed during a panoramic examination with a new generation machine. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology, oral radiology, and endodontics*, Vol. 89, Number 2: 236 – 243, 2000
- 8 Fuhrmann A, Schulze D, Rother U, et al. Digitale transversale Schichtverfahren in der dento – maxillo – fazialen Radiologie. *International Journal of Computerize Dentistry*, 2: 129 ff., 2003 Quintessenz onlin select at <http://qos.quintessenz.de/qosprint.php?artikel=ijcd0302s129>

- 9 Hashimoto K, Arai Y, Iwai K, et al. A comparison of a new limited cone beam computed tomography machine for dental use with a multidetector row helical CT machine. *Oral Surgery Oral Medicine Oral Pathology*; 95: 371-377, 2003
- 10 Hashimoto K, Kawashima S, Araki M. et al. Comparison of image performance between cone-beam computed tomography for dental use and four-row multidetector helical CT. *Journal of Oral Science*, Volume 48, No.1: 27-34, 2006
- 11 Hege H. C. Hintergrundinformationen zum Artikel „Neue Bilder für die Medizin“; Seite 6 -7, August 2005, at <http://www.matheon.de/files/mdmv13-3-hegeInfo.pdf>
- 12 Heurich T, Ziegler C, Steveling H, et al. Erweiterte Diagnostik im Rahmen der operativen Weisheitszahnentfernung mittels digitaler Volumetomographie. *Mund Kiefer Gesichtschirurgie*; 6 (6): 427-432, November 2002
- 13 Hirsch E. Bilder mit Tiefe und Schärfe. *Zahnarzt Wirtschaft Praxis (ZWP) Spezial*; Interview: 16-17, 8 / 2003
- 14 Hirsch E. 2566 Radiation Exposure by Multi – slice – CT vs. Cone – Beam – CT. The IADR General Session & Exhibition. June 28 –July 1, 2006, at http://iadr.confex.com/iadr/2006Brisb/techprogram/abstract_83350.htm
- 15 Holberg C, Steinhäuser S, Geis P, et al. Die digitale Volumetomographie in der Kieferorthopädie: Möglichkeiten und Grenzen. *Journal of Orofacial Orthopedics - Fortschritte der Kieferorthopädie*; 66: 443-444, 2005
- 16 Honda K, Arai Y, Kashima M, et al. Evaluation of the usefulness of the limited cone – beam CT (3DX) in the assessment of the thickness of the roof of the glenoid fossa of the temporomandibular joint. *Dentomaxillofac Radiol* 2004 Nov, 33 (6) : 391 – 5
- 17 Honda K, Larheim TA, Maruhashi K, et al. 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 May, 35 (3) : 152 – 157 (ISSN: 0250 – 832X)

- 18 Honda K, Matumoto K, Kashima M. Et al. Single air contrast arthrography for temporomandibular joint disorder using limited cone beam computed tomography for dental use. *Dentomaxillofac Radiol* 2004 Jul, 33 (4) : 271 – 273 (ISSN: 0250 – 832X)
- 19 Hümmeke S, Esser E., Vossians J. Diagnostische Möglichkeiten der digitalen Volumentomographie. *Quintessenz*; 54 (10): 1105-1112, 2003
- 20 Ito K, Yoshinuma N, Goke E. Clinical Application of a New Compact Computed Tomography System for Evaluating the Outcome of Regenerative Therapy: A Case Report. *J Periodontol*, Volume 72, Number 5: 696 – 702, May 2001
- 21 Iwai K, Arai Z, Hashimoto K. Estimation of Effective dose from limited Cone Beam X – Ray CT Examination. *Dental Radiology*, Vol. 40, No. 4: 251 – 259 (ISSN: 0389-97059)
- 22 Kiefer H, Lambrecht T, Roth J. Strahlenexposition von analogen und digitalen Zahnstaten und Panoramaschichtaufnahmen. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 114: 687-693, 2004
- 23 Kim KD, Ruprecht A, Jeon KJ, et al. Personal computer – based three – dimensional computed tomographic images of the teeth for evaluating supernumerary or ectopically impacted teeth. *Angle Orthod* 2003 Oct ; 73 (5) : 614 -621 (ISSN : 0003-3219)
- 24 Lemkamp M, Filippi A, Berndt D, et al. Diagnostische Möglichkeiten digitalen Volumentomographie. *Schweiz Monatsschr Zahnmed*, Volume 116: 645-650, 6 / 2006
- 25 Lofthag – Hansen S, Huuomonen S, Gröndahl K, et al. Limited cone – beam CT and intraoral radiography for the diagnosis of periapical pathology. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology, oral radiology, and endodontics*, VOL: 103 (1), p. 114 – 119 / 200701
- 26 Lübbert U. Angewandte Meßtechnik in der Medizin. Vorlesung für Physiker im 6. Semester, Institut für Physik, Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald, Seite 12 – 14, 25.10.05 at <http://www2.physik.unigreifswald.de/sensoren/scribt/luebbert/medphys/medphys.pdf>

- 27 Ludlow JB, Davies – Ludlow LE, Brooks SL. Dosimetry of two extraoral direct digital imaging devices: NewTom cone beam CT and Orthophos Plus DS panoramic unit. *Dentomaxillofacial Radiology* 32, 229 – 234, 2003
- 28 Mengel R., Candir M., Shiratori K, et al. Digital Volume Tomography in the Diagnosis of Periodontal Defects: An In Vitro Study on native Pig and Human Mandibles. *J Periodontol*; Volume 76, Number 5: 665-673, May 2005
- 29 Mischkowski R, Ritter L, Neugebauer J, et al. Diagnostische Wertigkeit von DVT – basierten Panoramarekonstruktionen für chirurgische Anwendungen. *Quintessenz*, 58 (3) : 223 – 233, März 2007
- 30 Mischkowski R, Scherer P, Neugebauer J. Digitale Volumentomographie: Perspektiven auch für den Generalisten? *Quintessenz* 58 (9): 916, 2007
- 31 Morita J. MFG.CORP. 3D Accuitomo mit Flachbilddetektor – Aufnahmen mit bisher unerreichter Detailschärfe. Informationsbroschüre - Vertrieb durch J. Morita Europe GmbH, Dietzenbach – Germany. JMMC PUB. No. 09.05. 3,000 at www.jmoritaeurope.com
- 32 Mussig E, Wortche R, Lux CJ. Einsatzmöglichkeiten der digitalen Volumentomographie in der kieferorthopädischen Diagnostik. *J Orofac Orthop* 2005 May; 66 (3): 241 – 249 (ISSN: 1434 – 5293)
- 33 Nakajima A, Sameshima G, Arai Y, et al. Two- and Three-dimensional Orthodontic Imaging Using Limited Cone Beam-Computed Tomography. *The Angle Orthodontist*; Volume 75, No. 6, 895-903, 2005
- 34 Nakata K, Naitoh M, Izumi M, et al. Effectiveness of Dental Computed Tomography in Diagnostic Imaging of Periradicular Lesion of Each Root of a Multirrooted Tooth: A case report. *JOE – Volume* 32, Number 6: 583-587, June 2006

- 35 Naitoh M, Katsumata A, Kubota Y et al. Assessment of Three – dimensional X – ray Images: Reconstruction from conventional Tomograms, Compact Computerized Tomography Images, and Multislice Helical Computerized Tomography Images. *Journal of Oral Implantology*, Volume 31, Issue 5 : 234 – 241 (ISSN: 1548 – 1336)
- 36 Pasler F. *Zahnärztliche Radiologie*. 4., unveränderte Auflage, Georg Thieme Verlag, 179, Stuttgart 2003, ISBN: 3136046048
- 37 Reuber B. 3D – Diagnostik: Aufklärungspflicht und Haftungsfragen. *ZMK* (23), 768 – 769, 11 / 2007
- 38 Rother U. *Moderne bildgebende Diagnostik in der Zahn -, Mund- und Kieferheilkunde*. Grundlagen – Strahlenschutz – Befunde. Urban & Fischer, 2. Auflage, 80, 2006, ISBN – 13: 978-3-437-05550-8
- 39 Sato S, Arai Y, Shinoda K, et al. Clinical application of a new cone-beam computerized tomography system to assess multiple two-dimensional images for the preoperative treatment planning of maxillary implants: Case reports. *Quintessenz international*; Volume 35, Number 7: 525-528, 2004
- 40 Scarfe W, Farman A, Sukovic P. Clinical Applications of Cone-Beam Computed Tomography in Dental Practice. *J Can Dent Assoc (JCDA)*, Volume 72, No. 1: 75-80, February 2006
- 41 Scherer P, Neugebauer J, Ritter L, et al. Indikationen für die 3 – dimensionale Bildgebung in der Zahnheilkunde. *ZWR – Das deutsche Zahnärzteblatt*, 116. Jahrgang: 219-238, Mai 2007
- 42 Schulze D, Heiland M, Rother U, et al. Diagnostische Möglichkeiten der digitalen Volumentomographie im Bereich des Gesichtsschädels. *Quintessenz* 56, (1): 51-56, 2005
- 43 Shinoda K, Honda K, Matsumoto K, et al. Annual report of limited cone beam computed tomography (3D accu-I-Tomo) from 3000 cases at Nihon University dental hospital in 2003. *International Congress Series*, Volume 1268, June 2004, Pages: 1187 – 1191

44 Sogur E, Baks B, Grondahl H. Imaging of root canal fillings: a comparison of subjective image quality between limited cone – beam CT, storage phosphor and film radiography. *International Endodontic Journal*. 40 (3): 179 – 185, March 2007

45 Späte C.M., Hirsch E, Wilke W, et al. Vergleichende Bewertung der Bildqualität der Cone Beam Computed Tomography und der Spiral – Computertomographie unter Berücksichtigung verschiedener Aufnahmeparameter. Dissertation, Universität Leipzig, Klinik für Mund-, Kiefer- und plastische Gesichtschirurgie, 2005, at <http://titan.bsz-bw.de/bibscout/WW-YV/XA-YV/YR/YR4000-YR9599/YR6000/YR6100/YR6100-YR6199/YR6101-YR6128/YR.6104>

46 Sukovic P. Cone Beam Computed Tomography in Dentomaxillofacial Imaging. *American Association of Dental Maxillofacial Radiographic Technicians (AADMRT) – Newsletter*, Winter 2004, at www.aadmrt.com/static.aspx?content=currents/sukovic_winter_04

47 Suomalainen AK, Salo A, Robinson S, et al. The 3DX multi image micro – CT device in clinical dental practice. *Dentomaxillofacial Radiology* 36: 80-85, 2007 The British Institute of Radiology

48 Takemasa T, Tooru C, Toshiaki M. Dental CT Apparatus „3DX Multi-image Micro CT“: Diagnostic Accuracy for Tooth Impaction and Patient’s Exposure Assessment. *Dental Radiology*, Vol. 42, No. 2: 97 – 109, 2002

49 Thiel H.J, Haßfeld S. Schnittbilddiagnostik in der MKG - Chirurgie und Zahnmedizin. CT, MRT, Nuklearmedizin und digitale Röntgenverfahren. Georg Thieme Verlag: 32-33, 2001, ISBN: 3-13-124271-X

50 Tsuchida R, Araki K, Okano T. Evaluation of a limited cone – beam – volumetric imaging system: comparison with film radiography in detecting incipient proximal caries. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology and Endodontology*, Volume 104, Issue 3: 412-416, September 2007

51 Ziegler CM, Woertche R, Brief J, et al. Clinical indications for digital volume tomography in oral and maxillofacial surgery. *Dentomaxillofacial Radiology*; 31: 126-130, 2002

52 Van Assche N, Jacobs R, Hirsch E, et al. The potential role of cone beam CT in presurgical planning of oral implants. Report of the 10th European Congress of Dentomaxillofacial Radiology, May 2006 – June 2006, Leuven – Belgium, Article 10.4, page: 66, at <http://www.kuleuven.be/dental/ecdmfr/PDF/Abstract%20book.pdf>

53 Wortche R, Hassfeld S, Lux CJ, et al. Clinical application of cone beam digital volume tomography in children with cleft lip and palate. Dentomaxillofacial Radiology, 35 (2): 88-94, March 2006

54 Yoritaka Yotsui. Cone Beam CT for applications in the dental field. Report of the 10th European Congress of Dentomaxillofacial Radiology, May – June 2006, Leuven - Belgium, Article 10.7, page: 69, at <http://www.kuleuven.be/dental/ecdmfr/PDF/Abstract%20book.pdf>

I. Bildquellenverzeichnis

- 1 Morita J. MFG.CORP. 3D Accuitomo mit Flachbilddetektor – Aufnahmen mit bisher unerreichter Detailschärfe. Informationsbroschüre - Vertrieb durch J. Morita Europe GmbH, Dietzenbach – Germany. JMMC PUB. No. 09.05. 3,000 at www.jmoritaeurope.com, S. 14
- 2 Morita J. MFG.CORP. 3D Accuitomo – Tomograph für XYZ – Schnittbilder. Informationsbroschüre – Vertrieb durch J. Morita Europe GmbH, Dietzenbach – Germany. JMMC PUB. No. 006.04.09 at www.jmoritaeurope.com, S. 3
- 3 Morita J. MFG.CORP. 3D Accuitomo – Tomograph für XYZ – Schnittbilder. Informationsbroschüre – Vertrieb durch J. Morita Europe GmbH, Dietzenbach – Germany. JMMC PUB. No. 006.04.09 at www.jmoritaeurope.com, S. 6
- 4 Morita J. MFG.CORP. 3D Accuitomo – Tomograph für XYZ – Schnittbilder. Informationsbroschüre – Vertrieb durch J. Morita Europe GmbH, Dietzenbach – Germany. JMMC PUB. No. 006.04.09 at www.jmoritaeurope.com, S. 9
- 5 Morita J. MFG.CORP. 3D Accuitomo XYZ Slice View Tomograph. Informationsblatt – Vertrieb durch J. Morita Europe GmbH, Dietzenbach – Germany.
- 6 Rother. Moderne bildgebende Diagnostik in der Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde, 2. Ausgabe © 2006 Elsevier GmbH, Urban & Fischer Verlag München, S. 47
- 7 Rother. Moderne bildgebende Diagnostik in der Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde, 2. Ausgabe © 2006 Elsevier GmbH, Urban & Fischer Verlag München, S. 81
- 8 Rother. Moderne bildgebende Diagnostik in der Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde, 2. Ausgabe © 2006 Elsevier GmbH, Urban & Fischer Verlag München, S. 166

J. Danksagung

Einen ganz besonderen Dank möchte ich meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. Dr. Klein für das entgegengebrachte Vertrauen und die unkomplizierte, freundliche Betreuung aussprechen.

Zudem bedanke ich mich von Herzen bei Herrn Dr. Dr. Kindermann, der mir durch den Zugang zum Ärztezentrum des Axel – Springer – Hauses und damit zum Herzstück dieser Studie, dem Accuitomo, die Bearbeitung dieses interessanten Themas überhaupt erst ermöglichte.

Mein Dank gilt ebenso dem gesamten Praxisteam, besonders Frau Hunfeld – Freund und den Mitarbeiterinnen für ihre Geduld und Mithilfe beim Suchen der erforderlichen Daten und Bilder. Bedanken möchte ich mich auch bei meiner lieben Freundin Rebekka Meyer sowie bei meiner mich stets ermutigenden Mom, die beide nach dem Arbeitsalltag noch Zeit zur akribischen Auswertung der Röntgenbilder fanden.

Ich danke Herrn Dr. Neumann für die statistische Beratung, dem Fotografen Herrn Haffner für die schnellen Kopien der Röntgenaufnahmen und Herrn Prof. Dr. Schröder für die Starthilfe.

Meinem Freund Francisco bin ich dankbar, dass er mich trotz der vielen Wochenenden am Schreibtisch weiter anspornte und mir vor allem bei der statistischen Analyse beistand. Für die seelische Unterstützung danke ich meinem Bruderherz sowie meiner lieben Tante Nanni.

Mein Lebenslauf wird aus Datenschutzgründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht mit veröffentlicht.

Erklärung

„Ich, Marika Klingberg, erkläre, dass ich die vorgelegte Dissertationsschrift mit dem Thema: Die Abbildungsqualität des digitalen Volumentomographen 3DX im Vergleich zum konventionellen Panoramaschichtgerät selbst verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt, ohne die (unzulässige) Hilfe Dritter verfasst und auch in Teilen keine Kopien anderer Arbeiten dargestellt habe.

12.01.2008

Marika Klingberg