

Aus dem Institut für 3D-Dentalradiologie - MESANTIS Berlin

## **DISSERTATION**

# **Untersuchungen zum erforderlichen Sichtfeld dentaler Volumentomographen für eine 3D-kephalometrische Analyse**

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

vorgelegt der Medizinischen Fakultät  
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Viviane Stahlkopf

aus Guben

Datum der Promotion: 10.03.2017



## Inhalt

<b>Abstrakt</b> .....	<b>3</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>4</b>
<b>1. Einleitung</b> .....	<b>6</b>
<b>1.1 Kephalometrie</b> .....	<b>6</b>
1.1.1 Fernröntgenanalyse .....	6
1.1.2 Fotostatverfahren .....	8
<b>1.2 Skelettale Reife</b> .....	<b>11</b>
1.2.1 Skeletal Maturity Assessment .....	11
1.2.2 Cervical Vertebral Maturation .....	12
<b>1.3 DVT in der Kieferorthopädie</b> .....	<b>13</b>
1.3.1 Indikationen in der Kieferorthopädie .....	13
1.3.2 Dreidimensionale Kephalometrie.....	15
1.3.3 Weichgewebsanalyse.....	16
1.3.4 Field of View .....	17
1.3.5 Strahlenhygiene .....	22
<b>2. Fragestellung</b> .....	<b>26</b>
<b>3. Material und Methoden</b> .....	<b>28</b>
<b>3.1 Patientengut</b> .....	<b>28</b>
<b>3.2 DVT-Aufnahmen</b> .....	<b>28</b>
<b>3.3 Auswertungssoftware</b> .....	<b>30</b>
<b>3.4 Berechnung eines Zylinders</b> .....	<b>33</b>
<b>3.5 Definition der untersuchten FoVs</b> .....	<b>34</b>
3.5.1 FoV zur Erfassbarkeit von Knochen-Referenzpunkten (FoV1) .....	35
3.5.2 FoV zur Erfassbarkeit von Knochen- und Weichteil-Referenzpunkten (FoV2) .....	35
3.5.3 FoV zur Erfassbarkeit von Knochen-Referenzpunkten und dem Corpus C4 (FoV3).....	35
3.5.4 FoV zur Erfassbarkeit von Knochen- und Weichteil-Referenzpunkten und dem Corpus C4 (FoV4).....	36
3.5.5 FoV zur Erfassbarkeit der Dentition (FoV5).....	36
3.5.6 Definition der verwendeten kephalometrischen Bezugspunkte.....	37
<b>3.6 Justierung, Vermessung und Berechnung des Kreiszyinders der DVT-Datensätze</b> .....	<b>38</b>
3.6.1 Justierung der DVT-Datensätze zur Ermittlung des FoV1 .....	38
3.6.2 Vermessung der DVT-Datensätze zur Ermittlung des FoV1 .....	39
3.6.3 Berechnung des Aufnahmezylinders zur Ermittlung des FoV1 .....	41
3.6.4 Justierung der DVT-Datensätze zur Ermittlung des FoV2 .....	41
3.6.5 Vermessung der DVT-Datensätze zur Ermittlung des FoV2.....	41
3.6.6 Berechnung des Aufnahmezylinders zur Ermittlung des FoV2 .....	42
3.6.7 Justierung der DVT-Datensätze zur Ermittlung des FoV3 .....	42
3.6.8 Vermessung der DVT-Datensätze zur Ermittlung des FoV3.....	42

3.6.9	Berechnung des Aufnahmezylinders zur Ermittlung des FoV3 .....	44
3.6.10	Justierung der DVT-Datensätze zur Ermittlung des FoV4 .....	44
3.6.11	Vermessung der DVT-Datensätze zur Ermittlung des FoV4 .....	44
3.6.12	Berechnung des Aufnahmezylinders zur Ermittlung des FoV4 .....	45
3.6.13	Justierung der DVT-Datensätze zur Ermittlung des FoV5 .....	46
3.6.14	Vermessung der DVT-Datensätze zur Ermittlung des FoV5 .....	47
3.6.15	Berechnung des Aufnahmezylinders zur Ermittlung des FoV5 .....	48
<b>3.7</b>	<b>Statistische Auswertung.....</b>	<b>48</b>
<b>4.</b>	<b>Ergebnisse.....</b>	<b>51</b>
4.1	Bestimmung des Sichtfeldes zur Erfassung von Knochen-Referenzpunkten (FoV1) und Überprüfung der Hypothese 1.....	51
4.2	Bestimmung des Sichtfeldes zur Erfassung von Knochen- und Weichteil-Referenzpunkten (FoV2) und Überprüfung der Hypothese 2.....	54
4.3	Bestimmung des Sichtfeldes zur Erfassung von Knochen-Referenzpunkten sowie des Corpus C4 (FoV3) und Überprüfung der Hypothese 3.....	56
4.4	Bestimmung des Sichtfeldes und Erfassung von Knochen- und Weichteil-Referenzpunkten sowie des Corpus C4 (FoV4) und Überprüfung der Hypothese 4.....	58
4.5	Bestimmung des Sichtfeldes zur Erfassung der Dentition (FoV5) und Überprüfung der Hypothese 5.....	60
<b>5.</b>	<b>Diskussion .....</b>	<b>64</b>
5.1	Diskussion der Methoden.....	64
5.2	Diskussion der Ergebnisse .....	66
5.2.1	Erfassbarkeit von Knochenreferenzpunkten (FoV1) .....	66
5.2.2	Erfassbarkeit von Knochen- und Weichgewebsreferenzpunkten (FoV2) .....	68
5.2.3	Erfassbarkeit von Knochenreferenzpunkten und dem Corpus des 4. Halswirbels (FoV3).....	70
5.2.4	Erfassbarkeit von Knochen- und Weichgewebsreferenzpunkten sowie dem Corpus des 4. Halswirbels (FoV4).....	71
5.2.5	Erfassbarkeit der Dentition (FoV5) .....	73
5.3	Schlussfolgerungen.....	75
<b>6.</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>77</b>
<b>7.</b>	<b>Abkürzungsverzeichnis.....</b>	<b>83</b>

Eidesstattliche Erklärung

Lebenslauf

Danksagung

## **Abstrakt**

### Einleitung:

Von Rechts wegen ist in Deutschland die Strahlenbelastung von Patienten beim Röntgenvorgang so gering wie möglich zu halten. Es gilt das ALARA-Prinzip, nach dem die Dosis an ionisierender Strahlung „as low as reasonably possible“ sein muss. Um dieser Forderung nachzukommen, ist das benötigte Sichtfeld vor der Erstellung einer Digitalen Volumetomographie-(DVT-)Aufnahme der medizinischen Indikation anzupassen. Es existieren vielfältige Empfehlungen zur Einstellung der Sichtfeldgröße. Diese sind jedoch wissenschaftlich nicht ausreichend untermauert. Die Wahrscheinlichkeit, ein inadäquates Field of View (FoV) zu wählen, ist daher sehr hoch. Während ein zu kleines Aufnahmevervolumen die Diagnosefähigkeit beeinträchtigt, setzt ein zu groß gewähltes FoV den Patienten einer unnötigen Strahlenbelastung aus. Die vorliegende Arbeit ermittelt die erforderlichen Maße von Sichtfeldern für fünf kieferorthopädisch relevante Gebiete und charakterisiert Differenzen zwischen nach Alter und Geschlecht unterschiedenen Patientengruppen.

### Methodik:

Es wurden anonymisierte DICOM-Datensätze von 1000 Patienten retrospektiv digital mit der volumetrischen Bildbearbeitungssoftware Invivo 5.1 (Anatomage Inc., San Jose, Californien) vermessen. Die erforderlichen Maße zylindrischer FoV zur Erfassbarkeit von Knochen-Referenzpunkten, Knochen- und Weichteil-Referenzpunkten, Knochen-Referenzpunkten und dem Corpus C4, Knochen- und Weichteil-Referenzpunkten und dem Corpus C4 sowie der Dentition wurden ermittelt. Eine der Messung vorangehende Justierung der Schädel mit Hilfe der Frankfurter Horizontalen schuf eine standardisierte Ausgangsposition aller Datensätze. Während die Höhe der Zylinder direkt im „Section View“-Modus gemessen werden konnte, wurde der Zylinderdurchmesser anhand der modifizierten Sagitta-Methode errechnet. Die Auswertung der Daten erfolgte gleichmäßig in 4 Untergruppen nach Alter (5-18 Jahre, 19-75 Jahre) und Geschlecht (männlich, weiblich). Die ermittelten Werte der Untergruppen und Aufnahmevervolumina wurden analysiert und verglichen.

### Ergebnisse:

Die Maße der erforderlichen FoV waren 12,88 x 16,48 cm (Jugendliche: 11,94 x 15,87 cm) für die Erfassung der Knochenreferenzpunkte, 14,06 x 18,55 cm (Jugendliche: 12,73 x 17,54) für die Erfassung der Knochen- und Weichgewebsreferenzpunkte, 12,60

x 15,87 cm für die Erfassung der Knochenreferenzpunkte und des Wirbelkörpers C4, 12,73 x 17,54 cm für die Erfassung der Knochen- und Weichgewebsreferenzpunkte und des Wirbelkörpers C4 sowie 7,65 x 11,15 cm (Jugendliche: 7,63 x 11,15 cm) für die Erfassung der Dentition. Die erforderlichen FoV sowohl für die unterschiedlichen Interessensregionen als auch für die einzelnen Patientengruppen zeigten signifikante Differenzen.

#### Schlussfolgerung:

Für eine geringe Strahlenexposition des Patienten ist das FoV so klein wie möglich, für die Diagnosefähigkeit so groß wie nötig zu wählen. Es konnten durch die Analyse Maße für zylindrische Fields of View zur Erfassung verschiedener Interessensregionen gewonnen werden, die eine dem ALARA-Prinzip folgende Justierung der Aufnahmevolumina gemäß Alter und Geschlecht von Patienten erleichtern.

#### **Abstract**

##### Introduction:

Due to German statutory provisions, radiation exposure of patients in diagnostic X-ray procedures must be kept to a minimum. Medical X-ray diagnostics thus follow a principle of radiation protection known as ALARA (as low as reasonably achievable). To comply with this requirement, the field of view (FoV) must be adjusted as medically indicated before a CBCT image is taken. There are numerous and diverse recommendations concerning the adjustment of the FoV. However, these recommendations are not sufficiently based in science. As a result, there is a very high likelihood for inadequately chosen FoV. If the reproduced volume is too small, diagnostic value of the CBCT image may be lessened. On the other hand, too large a FoV would expose the patient to an unnecessarily high dose of X-ray radiation. This analysis investigates the required dimensions of FoV for 5 orthodontically relevant areas and identifies age and sex group specific differences in the sample population.

##### Materials and methods:

Anonymized DICOM records of 1000 patients were retrospectively evaluated using the digital volumetric imaging software Invivo 5.1 (Anatomage Inc., San Jose, California). The dimensions of cylindrical FoV required for detecting bone reference points; bone and soft tissue reference points; bone reference points and the Corpus C4; bone and soft tissue reference points and the Corpus C4; and the dentition were determined. Before measurements were taken, the skulls were adjusted based on the Frankfurt hori-

zontal plane to create a standardized starting position for all records. Whereas the height of the cylinder could be measured directly in the "Section View" mode, the cylinder diameter was calculated using the modified sagitta method. The the patients were evenly divided in 4 subgroups according to age (5-18 years, 19-75 years) and gender (male, female). The measurement results of the subgroups and required FoV were analyzed and compared.

#### Results:

The dimensions of the required FoV were 12.88 x 16.48 cm (young: 11.94 x 15.87 cm) for the detection of bone reference points, 14.06 x 18.55 cm (young: 12.73 x 17.54 ) for the detection of bone and soft tissue reference points, 12.60 x 15.87 cm for the detection of bone reference points and the vertebral body C4, 12.73 x 17.54 cm for the detection of bone and soft tissue reference points and the Corpus C4 and 7.65 x 11.15 cm (young: 7.63 x 11.15 cm) for the detection of the dentition. The FoV required for the different regions of interest and the individual patient groups differed significantly.

#### Conclusions:

The FoV has to be as small as possible to keep radiation exposure of patients to a minimum and as large as necessary to ensure the diagnostic capability of the X-Ray images taken. The analysis yielded sex and age specific measurements which can support the ALARA-compliant adjustment of fields of view for several regions of interest.

## 1. Einleitung

Das einleitende Kapitel stellt zunächst konventionelle, bewährte Standardverfahren der kieferorthopädischen Röntgendiagnostik vor. Es zeigt, wie knöcherne und Weichgewebsstrukturen bislang beurteilt, vermessen und dokumentiert werden. Die in der Diagnostik der Kieferorthopädie erprobten Verfahren haben Ihre Grenzen in Bezug auf die kephalometrische Analyse der Gesichtsform. Einige dieser Grenzen lassen sich mit Hilfe der digitalen Volumentomographie und der damit verbundenen dreidimensionalen, überlagerungsfreien Darstellung kraniofazialer Strukturen erweitern. Die 3D-Darstellung in Kombination mit modernster Software hat das Potential Standardverfahren zu ersetzen und die kieferorthopädische Diagnostik zu revolutionieren. Es wird erläutert, in welchen Fällen der Einsatz des DVT bislang als sinnvoll und gerechtfertigt gilt und welche kephalometrischen Möglichkeiten er bietet. Die Vor- und Nachteile werden kontrovers diskutiert. Während die Vorteile akzeptiert sind, gibt es Vorbehalte gegen den breiten Einsatz des DVT aufgrund der erhöhten Strahlenbelastung des Patienten. Im Zentrum dieser Untersuchung steht die Erfassung der erforderlichen Dimensionen des Field of View. Es ist ein Parameter, der sich auf die effektive Dosis am Patienten auswirken kann. Das FoV kann laut der aktuellen Literatur nach metrischen Dimensionen oder anatomischen Regionen eingeteilt werden. Es wird ein Überblick über die Strahlenhygiene mit den derzeit kursierenden Dosiswerten in den Leitlinien internationaler Arbeitsgruppen gegeben. Dabei wird auch auf aktuellste Untersuchungen mit besonders niedrigen effektiven Dosen eingegangen. Aus den Kontroversen des Literaturstudiums werden abschließend klinisch relevante Hypothesen herausgearbeitet.

### 1.1 Kephalmetrie

#### 1.1.1 Fernröntgenanalyse

Die Kieferorthopädie als ein Fachbereich der Zahnmedizin befasst sich mit der Verhütung, Erkennung und Behandlung von Fehlstellungen der Zähne und Kiefer (NÖTZEL ET AL. 2007). Die Voraussetzung für eine erfolgreiche Therapie ist dabei die umfangreiche diagnostische Untersuchung des Patienten (HARZER 2011). Neben den Befunden aus klinischer Untersuchung, Modell-, Fotostat- und Funktionsanalyse ist die Kephalmetrie ein wesentlicher Bestandteil der traditionellen Diagnostik und Behandlungsplanung (RISCHEN ET AL. 2007). Aus der Lehre der direkten metrischen Vermessung am Schädel entwickelte sich im 20. Jahrhundert die röntgenologische Kephalmetrie (NÖTZEL ET AL.

2007, HOLBERG ET AL. 2007). Derzeit gilt die kephalometrische Analyse des Fernröntgenseitbildes als Goldstandard unter den diagnostischen Hilfsmitteln (ADAMS et al. 2004, GANDIKOTA 2012). Zur Fernröntgenanalyse benötigt man definierte Bezugspunkte nötig, die anatomisch, röntgenologisch oder konstruiert sein können (NÖTZEL, SCHULTZ 2009). Die resultierenden Strecken- und Winkelmessungen lassen eine Beurteilung des sagittalen und vertikalen Schädelaufbaus sowie der Wachstumstendenz zu. In der Fachliteratur werden über 200 kephalometrische Bezugspunkte und über 100 Analysen beschrieben (SCHINNENBURG 2006).

Es werden ein Fernröntgenseitbild (FRS) und eine Panoramaschichtaufnahme erstellt. Abbildung 1 zeigt ein Beispiel einer FRS und einer daraus ableitbaren kephalometrischen Analyse. Die effektive Dosis für ein ICRP-konformes FRS beläuft sich bei einer Aufnahme mit digitaler Röntgentechnik auf 5  $\mu$ Sv (PATCAS ET AL. 2012) und auf 12-24  $\mu$ Sv (LUDLOW ET AL. 2008) bei der Panoramaschichtaufnahme.

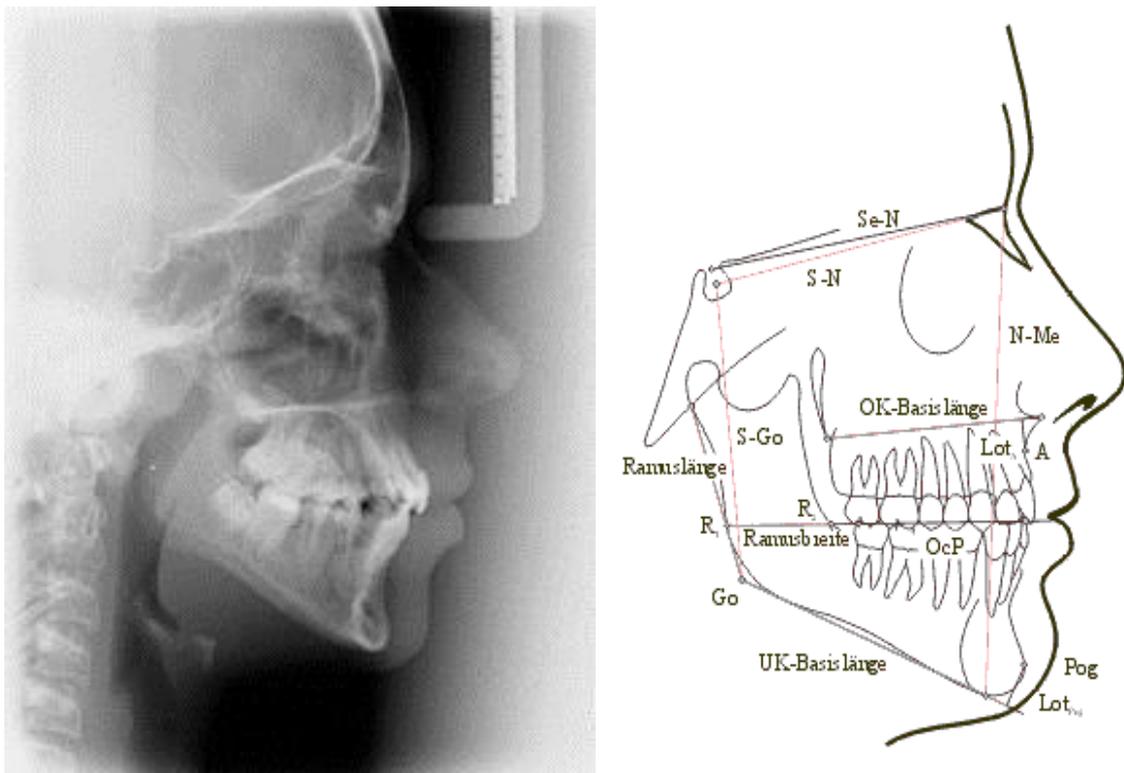


Abb. 1: Seitliches Fernröntgenbild (links) und Beispiel einer kephalometrischen Analyse anhand einer Durchzeichnung (NÖTZEL, SCHULTZ 2009) (rechts).

Mit einem FRS wird ein dreidimensionales Objekt als zweidimensionale Summationsaufnahme festgehalten. Durch den nicht parallelen Röntgenstrahl entsteht ein verzerrtes und vergrößertes Bild (PARK ET AL. 2012). Die komplexen und filigranen anatomischen Strukturen des Gesichtsschädels überlagern sich und erschweren das Auffinden

der kephalometrischen Referenzpunkte. Besonders paarige Bezugspunkte sind auf Grund von Asymmetrien des Schädels und dem unterschiedlichen Abstand zur Filmebene schwer zu lokalisieren. Auch die exakte Patientenpositionierung und die daraus resultierende Projektion räumen Fehlermöglichkeiten ein (BORRIE ET AL. 2012). Darüber hinaus enthält das FRS keine Informationen über anatomische Zusammenhänge in der frontalen Ebene (CATTANEO ET AL. 2008). Letztendlich wird die Exaktheit und Zuverlässigkeit der kephalometrischen Fernröntgenanalyse in Frage gestellt (NAVARRO ET AL. 2013).

Der technische Fortschritt und die genannten Kritikpunkte führen derzeit zur Entwicklung kephalometrischer Analysen an 3D-Datensätzen des Schädels. Mit Hilfe des DVT können lebensgroße 3D-Bilder ohne Verzerrungen und Überlappungen ausgewertet werden. Die Feineinstellung der Kopfposition spielt dabei eine untergeordnete Rolle, da die räumliche Beziehung der Strukturen zueinander erhalten bleibt (BAYOME ET AL. 2013).

### **1.1.2 Fotostatverfahren**

Das FRS eignet sich zur Beurteilung der knöchernen Strukturen und des Gesichtspröfils. Horizontale Lagebeziehungen und Asymmetrien der Weichgewebsanteile des Gesichtes können nicht eingeschätzt werden. Je nach Belichtung des FRS kann die Weichgewebsdarstellung zudem ungenügend sein. Auch sind muskuläre Verspannungen nicht darstellbar (RICKETTS 1968). Deshalb wird das FRS zur Analyse der Weichteilproportionen durch Fotografien ergänzt (RUSTEMEYER ET AL. 2013). Metrische Fotoanalysen wurden erstmalig von SIMON zu Beginn des 20. Jahrhunderts durchgeführt (BAIER 2007). Wie bei der Fernröntgenanalyse existieren auch bei der Fotoanalyse eine Vielzahl von Methoden und diverse Richtlinien zur Einschätzung der Gesichtsästhetik (SUNILKUMAR ET AL. 2013). Zur extraoralen Fotodokumentation zählen zwei frontale und eine seitliche Gesichtsaufnahme des aufrecht sitzenden Patienten, wie in Abbildung 2 dargestellt. Dabei ist auf habituelle Okklusion und eine ungezwungene Lippenhaltung zu achten (KAHL-NIEKE 2010).



Abb. 2: Beispiele extraoraler Gesichtsfotografie: frontal lächelnd (links), seitlich (Mitte), frontal mit eingesetzten Retraktoren (rechts).

Die Frontalaufnahme erlaubt die Beurteilung von Disproportionen und Asymmetrien in der Transversal- und Vertikalebene. Eine zweite mit lächelndem Patienten gibt Aufschluss über die Lachlinie und den Bukalkorridor (KAHL-NIEKE 2010). Zur Analyse werden definierte Bezugslinien eingezeichnet (Abbildung 3). Der Vergleich entstandener Gesichtsfelder und der Verlauf der Linien zueinander führen zur abschließenden Beschreibung des Gesichts. Am ästhetischsten werden nahezu symmetrische Gesichter empfunden, obwohl physiologischerweise in jedem Gesicht eine gewisse Rechts-Links-Asymmetrie besteht (NÖTZEL, SCHULTZ 2009). Anhand der seitlichen Aufnahme wird das Gesicht in der Sagittalebene bewertet. Hier stehen das Profil der Lippen und des Untergesichts im Fokus. Weit verbreitet ist die Einteilung des Profilverlaufs im Kieferprofilfeld (KPF) nach A.M.Schwarz (SANDER ET AL. 2011).

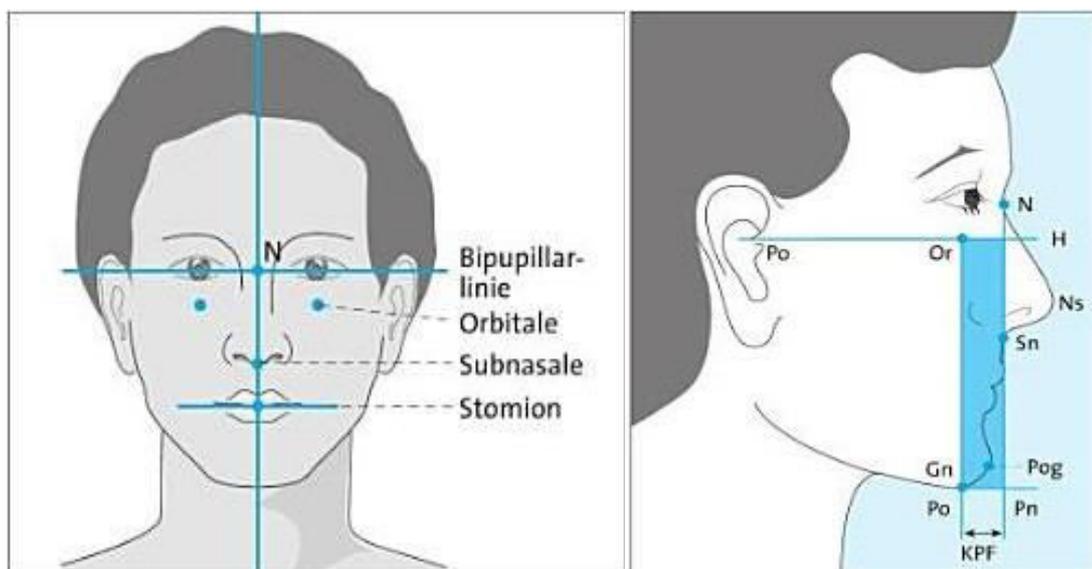


Abb. 3: Schematische Analyse einer frontalen (links) und einer seitlichen (rechts) Aufnahme (KAHL-NIEKE 2010).

In seiner Analyse von 1958 unterteilt Schwarz neun Profiltypen (Abbildung 4). Die drei Gesichtstypen Durchschnitts-, Vor- und Rückgesicht können gerade, nach vorne schief oder nach hinten schief sein (SCHWARZ 1958). Als harmonisch werden bei diesen „natürlichen Spielarten“ neben dem geraden Durchschnittsgesicht die geraden Vor- und Rückgesichter empfunden. Als nicht ästhetisch werden die durch Rotation entstehenden schiefen Profiltypen wahrgenommen (SCHWARZ 1958, SANDER ET AL. 2011).

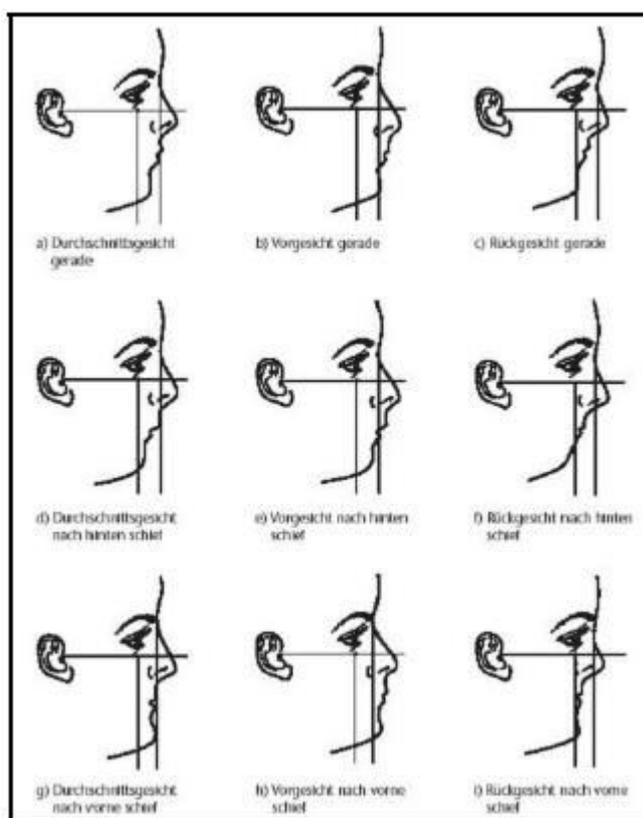


Abb. 4: Profiltypen nach A.M. Schwarz (SCHWARZ 1958).

Allgemein gibt die Erscheinungsform des Gesichtes Hinweise auf die Lagebeziehung der Kiefer und Zähne zueinander und ändert sich durch Wachstum und kieferorthopädische Maßnahmen (DOS SANTOS ET AL. 2011). Es besteht jedoch eine große Variabilität in der Weichgewebssdicke der Patienten und auch skelettale Veränderungen wirken sich ungleichmäßig auf die Weichgewebssituation aus (KLEEMANN 2006). Bereits Anfang des 20. Jahrhunderts stellte ANGLE fest, dass der Mund ein entscheidender Faktor für die Schönheit und den Charakter des Gesichtes ist. Ein Gesicht wird dann als harmonisch wahrgenommen, wenn die Zähne in normaler Okklusion stehen (ANGLE 1907). Dennoch können auch dysgnathe Patienten ein ästhetisches Gesichtsprofil haben, während eine eugnathe Okklusion ein unharmonisches Weichgewebssprofil erzeugt (DAUSCH-NEUMANN 1971). Die zunehmende Bedeutung von Attraktivität und Schönheit stellt die Kieferor-

thopädie vor die Aufgabe, nicht nur die Okklusion zu optimieren, sondern auch ein harmonisches Erscheinungsbild zu schaffen (SUNILKUMAR ET AL. 2013). Bislang wurde standardmäßig die Kombination aus kephalometrischer Analyse mittels FRS und Fotos tatverfahren verwendet. Nicht zuletzt ist die Fotodokumentation zur kieferorthopädischen Therapieplanung gesetzlich vorgeschrieben (BUNDESAUSSCHUSS DER ZAHNÄRZTE UND KRANKENKASSEN 2003). Die rasanten technischen Fortschritte im Bereich der bildgebenden Diagnostik ermöglichen jedoch die Erstellung und Auswertung virtueller 3D-Oberflächenmodelle der vom DVT aufgenommenen Struktur (ALHADIDI ET AL. 2011). Demnach dient das DVT nicht nur einer qualitativ hochwertigen Kephalemetrie, sondern auch einer fotorealistischen Darstellung des Gesichtes.

## **1.2 Skelettale Reife**

In der Kieferorthopädie ist die zeitliche Koordination der Therapie von Kindern und Jugendlichen stark von der skelettalen Reife und daraus prognostizierten Wachstumsphasen abhängig (PERINETTI ET AL. 2013). Da das chronologische Alter und die skelettale Reife mitunter stark differieren, bedarf es einer diagnostischen Methode zur Einschätzung des knöchernen Reifegrades (BACCETTI et al. 2002).

### **1.2.1 Skeletal Maturity Assessment**

Die skelettale Reife eines Patienten kann anhand einer Handröntgenaufnahme ermittelt werden (DGKFO 1997). Die Verwendung einer solchen Aufnahme gilt in diesem Zusammenhang als Goldstandard. Der Verschluss der Epiphysenfugen der Handknochen kennzeichnet den Abschluss der puberalen Wachstumsphase und erlaubt die Beurteilung der Knochenreife (O'REILLY YANNIELLO 1988).

Eine Methode von Fishman zur Beurteilung der skelettalen Reife verwendet die Zusammenhänge zwischen dem Ossifikationsprozess an sechs anatomischen Punkten der Hand (Abbildung 5) und dem mandibulären Wachstumsstadium (MAHAJAN ET AL. 2011).

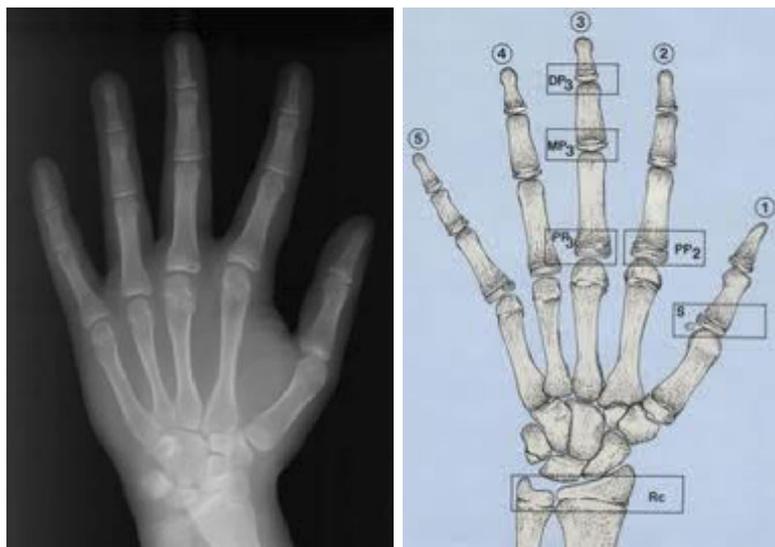


Abb.5: Handröntgenaufnahme (links) und schematische Darstellung der Handknochen mit Markierung der sechs Bereiche zur Wachstumseinschätzung (FUCK 2015).

Eine andere Methode ist das Vergleichsverfahren nach Greulich und Pyle. Hier werden die Hand- und Handgelenksknochen des Patienten direkt visuell mit Standardaufnahmen im Atlas verglichen und somit das skeletale Alter ermittelt (VERMA ET AL. 2009).

Eine zusätzliche Röntgenaufnahme birgt trotz einer geringen effektiven Dosis von 0,16  $\mu\text{Sv}$  (PATCAS ET AL. 2013) ein Risiko. Der Patient darf ohne rechtfertigende Indikation keiner weiteren Strahlenbelastung ausgesetzt werden (MARTIN ET AL. 2011). Aus diesem Grund und um Zeit und Material zu sparen, geht man dazu über die skeletale Reife anhand knöcherner Strukturen zu bestimmen, die sich bereits im FRS finden (CALDAS ET AL. 2007).

### 1.2.2 Cervical Vertebral Maturation

Eine anerkannte Alternative zur Bestimmung der skelettalen Reife ist die Cervical Vertebral Maturation (ALTAN ET AL. 2012). Ausgangspunkt dieser Methode sind die Untersuchungen von Lamparski im Jahre 1972 (STIEHL ET AL. 2009). Er erkannte einen Zusammenhang zwischen morphologischen Parametern der Halswirbelkörper und dem skelettalen Alter des Patienten (SAN ROMAN ET AL. 2002). Auch O'REILLY und YANNIELLO stellten bereits 1988 eine signifikante Erhöhung des Unterkieferwachstums innerhalb bestimmter Reifungsstadien der Halswirbel fest. HASSEL und FARMAN entwickelten 1995 anhand der Seitenprofile des zweiten, dritten und vierten Halswirbels ein zuverlässiges Schema zur Einschätzung des zukünftigen jugendlichen Wachstums. Die von LAMPARSKI (1972) entwickelten Standards zur Einschätzung der skelettalen Reife wurden im Laufe der Jahre vereinfacht und modifiziert. So entwickelten BACCETTI, FRANCHI und

MCNAMARA 2005 eine CVM-Methode, die sechs zervikale Reifungsstadien unterscheidet (Abbildung 6). Die Wirbelkörper C2, C3 und C4 werden anhand des FRS morphologisch beurteilt und einem Entwicklungsstadium zugeordnet. Dieses dient als biologischer Indikator für das skeletale Alter des Patienten.

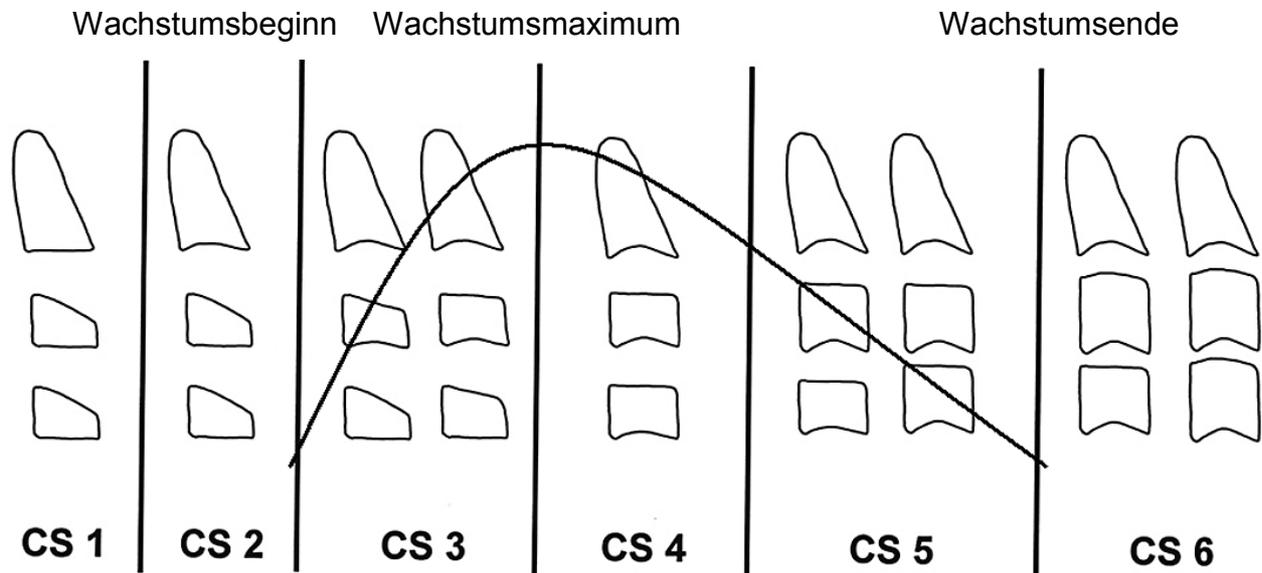


Abb. 6: Mandibuläre Wachstumskurve in sechs zervikalen Reifungsstadien (VERHOFSTADT 2011).

Die Entwicklung der CVM-Methode ermöglicht valide Aussagen zur Wachstumsprognose. Sie birgt das Potential die konventionelle Bestimmung des Skeletalters durch die Handröntgenanalyse zu ersetzen (FLORES-MIR ET AL. 2006). Um die CVM-Methode auch am 3D-Datensatz anwenden zu können, ist es unabdingbar die ersten vier Halswirbelkörper abzubilden. Für die Abmessungen des dafür erforderlichen Field of View bei jugendlichen Patienten (bis 18 Jahre) gibt es bisher keinen Standard. Bei Erwachsenen (über 18 Jahre) wird die CVM-Methode nicht mehr angewendet, da in diesem Alter beide Geschlechter ihr endgültiges Reifestadium erreicht haben (VERHOFSTADT 2011).

### 1.3 DVT in der Kieferorthopädie

#### 1.3.1 Indikationen in der Kieferorthopädie

Die American Academy of Oral and Maxillofacial Radiology (AAOMR) veröffentlichte im August 2013 die aktuellen Empfehlungen zur klinischen Anwendung des DVT in der Kieferorthopädie. Die Empfehlung geht insbesondere auf Abwägungen zur Indikationsstellung ein. Die Anamnese des Patienten mit vorangegangenen klinischen Untersuchungen und verfügbaren Röntgenaufnahmen muss zur Indikationsstellung herangezogen werden. Weiterhin sind der derzeitige klinische Zustand und die Nutzen-Risiko-

Abwägung in Hinblick auf die Strahlenbelastung des Patienten zu berücksichtigen. Ein DVT wird empfohlen, wenn die klinische Fragestellung nicht adäquat durch niedriger dosierte oder nicht-ionisierende Bildgebung beantwortet werden kann. Zeigt die klinische Untersuchung des Patienten, dass für Diagnose und / oder Behandlungsplanung das DVT indiziert ist, sollen konventionelle 2D-Röntgenaufnahmen vermieden werden (AMERICAN ACADEMY OF ORAL AND MAXILLOFACIAL RADIOLOGY 2013). Die Deutsche Gesellschaft für Kieferorthopädie (DGKFO) veröffentlichte 2008 eine Stellungnahme mit kieferorthopädischen Indikationen, bei denen das DVT ein sinnvolles diagnostisches Hilfsmittel darstellt. Im Einzelnen zählen dazu Anomalien der Zahnanzahl oder Zahnmorphologie sowie Zahndurchbruchstörungen. Im Zusammenhang mit komplexen kraniofazialen Fehlbildungen, einschließlich Asymmetrien und Spaltbildungen, rät man ebenfalls zur 3D-Differentialdiagnostik (HIRSCHFELDER 2008). Umfangreiche Eingriffe in der orthognathen Chirurgie können mit Hilfe des DVT virtuell geplant und Endergebnisse vorab visualisiert werden (NITKA und BUMANN 2010). Es werden pathologische Knochenstrukturen beurteilt, retinierte und verlagerte Zahnkeime lokalisiert und das peridentale Knochenangebot vor geplanter Zahnbewegung prognostisch bewertet (HIRSCHFELDER 2008). Da die räumliche Darstellung die diagnostischen Möglichkeiten erweitert, wächst die Anzahl radiologischer DVT-Untersuchungen in Deutschland (GEIBEL 2013). Pathologische Befunde werden sicherer diagnostiziert und therapeutische Maßnahmen effektiver eingeleitet (MARTIN 2009). Während das DVT außerhalb Europas zunehmend routinemäßig in der Kieferorthopädie angewendet wird (WOJTUNIK 2012, GRÜNHEID 2012), findet man in der aktuellen deutschen Literatur nur eine Angabe zur generellen DVT-Anfertigung für die kephalometrische Diagnostik (SCHNEIDER 2013). Zeitlich parallel zu den Amerikanern veröffentlichte die Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde (DGZMK) im August 2013 die s2k-Leitlinie. Diese enthält den derzeitigen Wissensstand über die dentale digitale Volumentomographie und führt die einzelnen rechtfertigenden Indikationen zur Aufnahme eines DVT im deutschen rechtlichen Umfeld auf. Während die amerikanische Leitlinie das Thema DVT in der Kieferorthopädie sehr spezifisch und differenziert beleuchtet, findet dieses Fachgebiet in der deutschen Leitlinie bisher keine Erwähnung. Ganz allgemein sollte hiernach eine DVT-Aufnahme bei atypischen Befunden angefertigt werden, wenn für die Therapie die Kenntnis exakter topographischer Beziehungen oder eine operative Intervention erforderlich erscheint (DGZMK 2013). Sämtliche Leitlinien und Stellungnahmen sind als rechtlich nicht bindende Empfehlungen zu werten. Da sie weder haftungsbegründend

noch haftungsbefreiend sind, muss der Arzt entscheiden, ob der Aufnahme eine rechtfertigende Indikation zugrunde liegt und der potentielle Nutzen für den Patienten das Strahlenrisiko überwiegt (ARBEITSGEMEINSCHAFT DER WISSENSCHAFTLICHEN MEDIZINISCHEN FACHGESELLSCHAFTEN E.V. 2011).

### **1.3.2 Dreidimensionale Kephalometrie**

Auch die Kephalometrie kann heutzutage anhand dreidimensionaler Analyseverfahren erfolgen (MORITA 2014). In der Vergangenheit wurde zur Durchzeichnung und konventionellen Bewertung aus einem 3D-Datensatz ein zweidimensionales laterales Röntgenbild generiert (WOJTUNIK 2012, SCHERER ET AL. 2008). Das Aufkommen der 3D-Röntgentechnologie ermöglicht die direkte Visualisierung der kraniofazialen Strukturen und ersetzt die Kombination zweidimensionaler Projektionen. Aktuelle Software ermöglicht tatsächliche 3D-Messungen. Wissenschaftliche Studien zeigen, dass sich kephalometrische Landmarks zuverlässig identifizieren lassen und eine hohe Messgenauigkeit der einzelnen Strecken vorliegt (WANG ET AL. 2013). In ihren Untersuchungen von 2009 stellten LUDLOW ET AL. fest, dass sich konventionelle kephalometrische Bezugspunkte im DVT-Datensatz präziser lokalisieren ließen als auf einem Fernröntgenbild. Dies führten sie auf fehlende projektionsbedingte Überlagerungen, Verzerrungen und Vergrößerungen sowie eine freie Perspektive auf die anatomischen Strukturen zurück (LUDLOW ET AL. 2009). In mehreren Analysen konnte eine zuverlässige Bestimmung der Landmarks, eine hohe Messgenauigkeit und somit eine Eignung des DVT als kieferorthopädisches Diagnoseinstrument bestätigt werden (CHIEN ET AL. 2009 und GRIBEL ET AL. 2011). Derzeit versuchen mehrere wissenschaftliche Gruppen dreidimensionale Analysemethoden zu entwickeln, um die große Informationsmenge der 3D-Technologie zu bewältigen (BAYOME ET AL. 2013). FARRONATO ET AL. verglichen vereinfachte kephalometrische 10-Punkt-Analysen an 2D- und 3D-Aufnahmen. Die realistischen Winkel- und Streckenmessungen im 3D-Datensatz und die Reduktion menschlicher Fehler durch automatisierte Computermessungen führten zu einer zuverlässigen und reproduzierbaren Diagnose. Zudem war die 3D-Analyse gegenüber der 2D-Analyse leichter zu interpretieren (FARRONATO ET AL. 2010). Derzeit werden hauptsächlich die bekannten Landmarks, Winkel- und Streckenmessungen der konventionellen Kephalometrie an den DVT-Datensätzen vorgenommen. Abbildung 7 zeigt ein Beispiel einer kephalometrischen Analyse der Hart- und Weichgewebe am 3D-Datensatz. Auch die vorliegende

Analyse bedient sich röntgenkephalometrischer Bezugspunkte zur Definition und Abgrenzung der zu untersuchenden Sichtfelder.

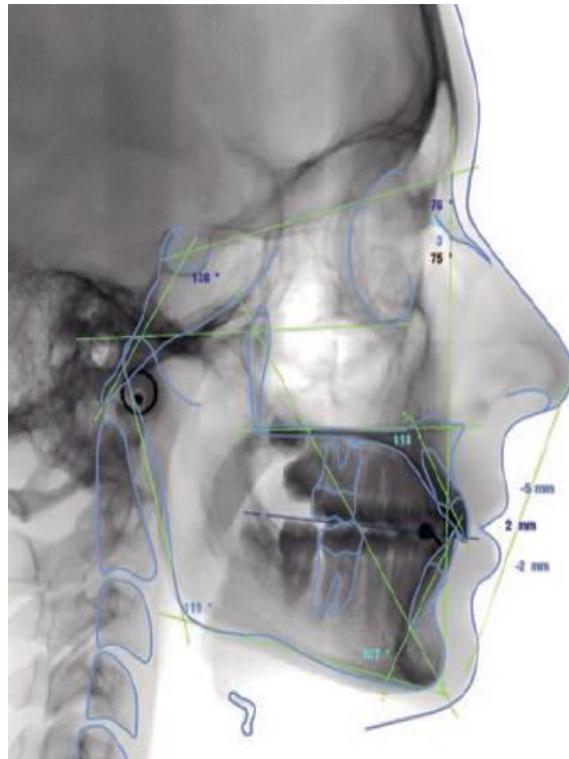


Abb. 7: Beispiel einer kephalometrischen Analyse der Hart- und Weichgewebe am 3D-Datensatz. Die Corpora der Halswirbel sind ebenfalls markiert.

### 1.3.3 Weichgewebsanalyse

Die dreidimensionale Bildgebung und die darauf aufbauenden Analysemethoden ermöglichen in der konventionellen Gesichtsanalyse einen großen Fortschritt gegenüber zweidimensionalen Aufnahmen wie FRS und Fotografien. Mit verschiedenen Bildanalysetechniken kann von der aufgenommenen Struktur ein virtuelles 3D-Oberflächenmodell erstellt werden (ALHADIDI ET AL. 2011). Diese verzerrungsfreie, realitätsnahe Darstellung des Gesichtes erlaubt die präzise Ortung von kephalometrischen Punkten und Vermessung der Strukturen. Besonders für Patienten mit Spaltbildungen, Asymmetrien und chirurgischen Eingriffen ist die Visualisierung des Erscheinungsbildes von großer Bedeutung (ZAMORA ET AL. 2013). Die Symmetrie des Gesichtes ist ein Indiz für physische Attraktivität und Gesundheit und damit ein wichtiger Indikator bei der Partnerwahl (EDLER ET AL. 2001). Bestehende Asymmetrien können mit der entsprechenden Software und mit Hilfe einer definierten Bezugsebene visuell und quantitativ beurteilt werden. Spiegelt man die gesunde Kieferseite an dieser Ebene, kann das Ergebnis als Matrize für die Diagnose und Korrekturplanung der betroffenen Seite verwendet werden

(CEVIDANES ET AL. 2011). Die genaueren Informationen durch eine DVT-Aufnahme im Vergleich zur 2D-Röntgenaufnahme ermöglichen eine effektivere Diagnose von Gesichtsymmetrien (Abbildung 8) (KIM ET AL. 2013). Trotz der bislang unzureichenden Validierung der derzeit verfügbaren Methoden zur präoperativen Planung, wird diese sich schnell entwickelnde Technik wesentlichen Einfluss auf die Chirurgie haben (CEVIDANES ET AL. 2011). Die Erstellung von 3D-Oberflächenmodellen dokumentiert darüber hinaus das Gesichtswachstum, die Veränderungen durch die Therapie und deren Stabilität im Nachhinein (HIRSCH ET AL. 2008). Unklar ist, welche Ausmaße ein Sichtfeld haben muss, das alle definierten kephalometrischen Hautpunkte beinhaltet und somit eine adäquate Analyse des Mittel- und Untergesichts ermöglicht. Im DVT sind Weichteile im Kontrast gegen Luft darstellbar. Innerhalb der Weichteile ist jedoch keine Differentialdiagnose möglich.

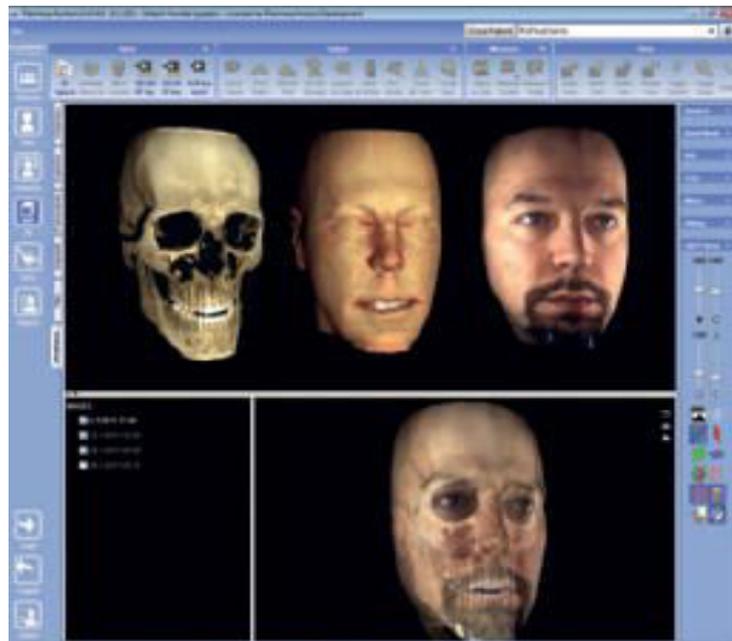


Abb. 8: Verschiedene Modi zur Gesichtsdarstellung mittels modernster Software im DVT (Planmeca ProMax 3D ProFace).

#### 1.3.4 Field of View

Das Field of View (FoV), synonym auch Aufnahmevolumen oder Sichtfeld genannt, ist der Ausschnitt, den das DVT-Gerät maximal darstellen kann (NITKA, BUMANN 2010). Die Abmessungen des FoV werden maßgeblich durch die Sensorgröße bestimmt, die wiederum den Einkaufspreis des DVT-Gerätes im Wesentlichen beeinflusst (GOLDBECKER, BOCK 2012).

Das FoV kann zylinder- oder kugelförmig sein und bestimmt Form und Größe des rekonstruierten Bildes (EUROPEAN COMMISSION 2012). Die Mehrheit der DVT-Geräte gene-

riert dabei Sichtfelder in Form eines Kreiszylinders, einige wenige in Kugelform (KRAUSE 2013). Ein DVT-Gerät der Firma Morita erzeugt ein Aufnahmevolumen in Form eines geraden Zylinders, allerdings ist die Grundfläche ein Reuleaux-Dreieck (Abbildung 9). Diese Modifikation soll das Sichtfeld der Kieferform anpassen (MORITA 2014) und das aufgenommene Volumen verringern.

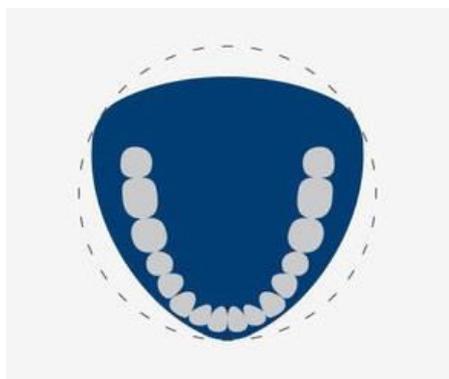


Abb.9 Grafische Darstellung des Reuleaux-Dreiecks im Verhältnis zum Kreis und Kieferbogen.

Eine wachsende Anzahl der heutzutage verwendeten DVT-Geräte bietet dem Nutzer die Möglichkeit das Sichtfeld von der Abbildung eines Zahnes bis hin zum gesamten Schädel zu variieren (HEDESIU ET AL. 2012). Dabei hängen Anzahl und Größe der verfügbaren Sichtfelder vom Hersteller und Gerätemodell ab (HASSAN ET AL. 2012). Die Hersteller geben Empfehlungen zur Auswahl des geeigneten FoV. Diese sollten jedoch kritisch betrachtet werden, da dieses FoV von Industrienormen festgelegt wird und die Sensorgröße den Einkaufspreis des Gerätes bestimmt (MUDRAK 2011).

Die AAOMR unterscheiden in ihrer Empfehlung zur Anwendung des DVT in der Kieferorthopädie vom August 2013 kleine, mittlere und große Aufnahmevolumina. Sind der Durchmesser des sphärischen FoV oder die Höhe des zylindrischen FoV kleiner als 10 cm, spricht man von einem kleinen Sichtfeld. Dies dient zur Abbildung einiger Zähne oder eines Quadranten innerhalb eines Kiefers. Es eignet sich zur Untersuchung impaktierter oder überzähliger Zähne und stellt die Morphologie der Zahnwurzel und das Knochenangebot vor Implantation dar. Das mittlere Sichtfeld weist einen Durchmesser des kugelförmigen FoV oder eine Höhe des zylindrischen FoV zwischen 10 cm und 15 cm auf. Es eignet sich zur Aufnahme der Dentition beider Kiefer und ggf. der Region des Kiefergelenks. Typischerweise kommt es zur Anwendung, wenn die Lagebeziehung der Kiefer zueinander, die Okklusion, Gesichtsasymmetrien und die Kiefergelenke untersucht werden. Sind der Durchmesser des sphärischen FoV oder die Höhe des zylindrischen FoV größer als 15 cm, handelt es sich definitionsgemäß um ein großes Sicht-

feld zur Aufnahme des gesamten Schädels. Es stellt die Lagebeziehung der Zähne und Kiefer zu den Schädelknochen dar und findet Anwendung bei Patienten mit kraniofazialen Fehlbildungen und umfassenden kieferchirurgischen Operationen (AMERICAN ASSOCIATION OF ORTHODONTISTS, AMERICAN ACADEMY OF ORAL AND MAXILLOFACIAL RADIOLOGY 2013, KAPILA ET AL. 2011). Abbildung 10 zeigt eine beispielhafte Darstellung je eines zylindrischen kleinen, mittleren und großen FoVs.

RUGANI stellt 2010 ein weiteres Konzept zur Klassifizierung der FoV in kleines, mittleres und großes Sichtfeld vor. Ein kleines Abbildungsvolumen mit bis zu 8 cm Durchmesser ist zur Abbildung einzelner Zähne, der Darstellung des Kiefergelenks, impaktierter Zähne oder des Knochenbetts geeignet. Mit einem Durchmesser zwischen 8 cm und 15 cm erfasst das mittlere Sichtfeld den dentoalveolären Komplex vom Kinn bis zu den basalen Kieferhöhlenbuchten. Es kommt bei oralchirurgischen und implantologischen Fragestellungen zur Anwendung, bei denen kephalometrische Untersuchungen nicht möglich sind. Zu diesem Zweck und weiteren kieferorthopädischen Messungen dient das große Abbildungsvolumen mit über 15 cm Durchmesser und kompletter Gesichtsschädeldarstellung (RUGANI 2010). Die evidenzbasierte Richtlinie der europäischen SEDENTEXCT-Gruppe zur Verwendung des DVT in der zahnärztlichen Radiologie von 2012 fordert, dass das kleinste Sichtfeld verwendet werden soll, dass mit der klinischen Situation vereinbar ist (EUROPEAN COMMISSION 2012). Größe und Position des Sichtfelds werden also durch die interessierende Region bestimmt und sind auf dieses zu untersuchende Gebiet zu beschränken (WOJTUNIK 2012, HEDESIU ET AL. 2012). Dieser Vorgabe liegen folgende Argumente zugrunde: Die Größe des aufgenommenen Volumens hat direkten Einfluss auf die Strahlenexposition (WOJTUNIK 2012). Tendenziell bedeutet ein kleineres FoV also eine geringere Strahlenbelastung für den Patienten (HEDESIU ET AL. 2012). Abgesehen von der geringeren applizierten Strahlenmenge, erfordert ein kleineres Volumen durch die geringere Datenmenge weniger Speicherplatz. Da laut §28 der aktuellen Röntgenverordnung Röntgenbilder und -unterlagen 10 Jahre, bei Kindern unter 18 Jahren bis zur Vollendung des 28. Lebensjahres nach der letzten Behandlung zu archivieren sind, ist die Speicherkapazität zu berücksichtigen (BUNDESAMT FÜR STRAHLENSCHUTZ 2011). Weiterhin muss jedes erstellte DVT vollständig in schriftlicher Form befundet werden (MARTIN 2009). Ein großes Aufnahmevolumen resultiert somit in einem erhöhten Arbeitsaufwand. Ferner beeinflusst die Größe des Sichtfelds die Qualität der Aufnahme. Große FoV haben bei sonst unveränderten Aufnahmeein-

stellungen negative Auswirkungen auf die Bildqualität, was die Befundung einschränken kann (HASSAN ET AL. 2012).

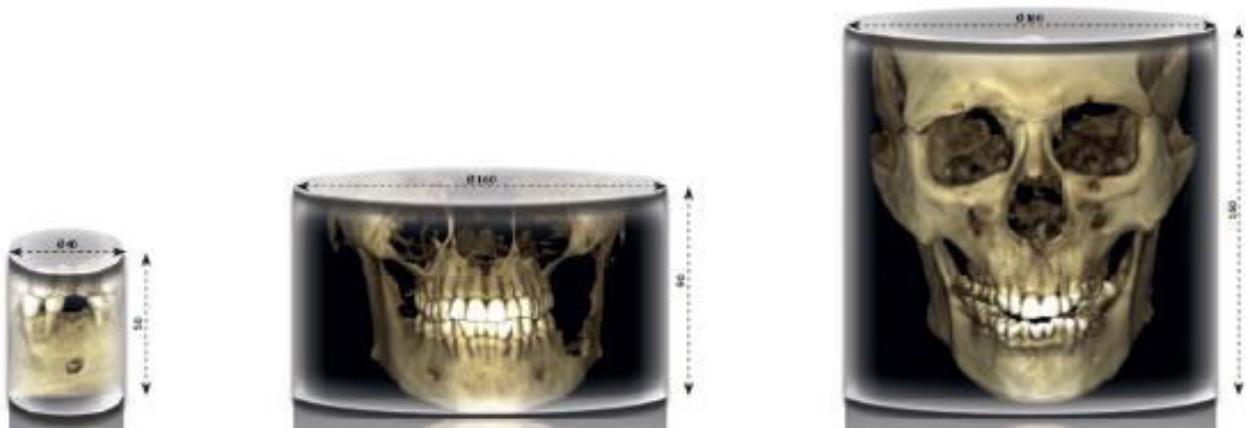


Abb. 10: Darstellung verschieden großer Aufnahmevolumina (Planmeca ProMax 3D Max).

Die Empfehlungen zur Anwendung der verschiedenen Sichtfelder werden weder seitens der Hersteller noch seitens der Autoren der Richtlinien durch Untersuchungen oder Quellen untermauert (MUDRAK 2011). In der medizinischen Bildgebung ist eine Vielzahl von Protokollen für diagnostische Fragestellungen verfügbar. Dennoch werden in der Regel die Scanprotokolle der Hersteller angewendet ohne die Patientendaten zu beachten (LUDLOW, IVANOVIC 2008). Damit steigt die Wahrscheinlichkeit das FoV zu klein oder groß zu wählen. Ist die Region von Interesse bei zu kleinem Aufnahmevolumen nicht vollständig abgebildet, kann die Diagnosefähigkeit eingeschränkt sein. Ein zu großes Sichtfeld setzt den Patienten unnötiger Strahlung aus.

Die grobe Einteilung des Sichtfelds in klein, mittel und groß ohne Differenzierung nach Alter und Geschlecht legt nahe, dass weitere Untersuchungen auf dem Gebiet erfolgen müssen, um das Aufnahmevolumen individuell dem Patienten und der Indikation anzupassen. Bestrebungen in diese Richtung unternahmen RASCH und KRAUSE in ihren Dissertationen von 2009 und 2013.

RASCH definierte drei „Regionen von Interesse für kieferorthopädische/kieferchirurgische, oralchirurgische und implantologisch/dentale Zwecke bei der digitalen Volumentomographie“ und untersuchte Form und Größe der zur Abbildung erforderlichen FoV. Das kieferorthopädisch/kieferchirurgisch relevante Areal erstreckte sich sagittal von Nasenspitze bis Basion, horizontal zwischen den Kondylen der Mandibula und vertikal von Menton bis Sella. Im Mittel maß das erforderliche zylindrische FoV bei Erwachsenen 11,33 x 14,16 cm (Höhe x Durchmesser). Die oralchirurgisch bedeutsame Region wurde zwischen Inzisivus und Kieferwinkel in der Sagittalen, dem rechten und linken Kie-

ferwinkel in der Horizontalen sowie Menton und Apex des letzten Oberkieferzahnes in der Vertikalen definiert. Die Abbildung dieser Strukturen erforderte ein Sichtfeld mit den Mittelwerten 10,90 x 6,39 cm (Höhe x Durchmesser) für Erwachsene. Die Region für implantologisch/dentale Zwecke umfasste maßgeblich den dentoalveolären Komplex beider Kiefer von Inzisivus bis zur distalen Zahnanlage sagittal, sämtliche Zahnstrukturen horizontal und von Foramen mentale bis zum Apex des letzten Oberkieferzahnes vertikal. Das bei Erwachsenen hierfür erforderliche FoV war im Mittel 9,34 x 5,14 cm (Höhe x Durchmesser) groß. Zur Ermittlung wurden retrospektiv analoge Fernröntgen-seitbilder und posterior-anterior-Aufnahmen von 96 Patienten der Poliklinik für Kieferorthopädie der LMU München digitalisiert und unter Zuhilfenahme eines kartesischen Koordinatensystems vermessen. Neben der geeigneten Aufnahmegeometrie und etwaigen Unterschieden in den FoV-Abmessungen der drei Interessensregionen standen auch alters- und geschlechtsspezifische Unterschiede im Fokus. Die Ergebnisse legen nahe, dass für die definierten Regionen das zylindrische FoV dem sphärischen überlegen ist. Es bildet die gewünschten anatomischen Strukturen mit geringerem Volumen und somit geringerer Strahlenbelastung für den Patienten ab. Die Ergebnisse zeigen weiterhin, dass zur Aufnahme der drei Interessensregionen verschieden große Sichtfelder erforderlich sind. Es bestehen signifikante Unterschiede der FoV-Maße zwischen den Geschlechtern und Altersgruppen (unter 15 Jahre, über 15 Jahre). Zur Abbildung der definierten Regionen benötigen Frauen kleinere Sichtfelder als Männer. Vor allem für Kinder sind deutlich kleinere FoV erforderlich.

Auch KRAUSE definierte in seinen „Untersuchungen zum erforderlichen Field of View für die bildgebende 3D-Diagnostik in der Zahnmedizin“ drei anatomisch abgrenzbare Regionen und ermittelte Form und Größe der zur Abbildung erforderlichen Sichtfelder. Er differenzierte in die dentale Region, die das Gebiss einschließlich aller röntgenologisch sichtbaren Keimanlagen und den Corpus mandibulae umfasst, erweiterte dieses Areal um die Kiefergelenksregion und die oberen beiden Halswirbel Atlas und Axis. Bei einem erwachsenen Mann waren die zur vollständigen Abbildung erforderlichen Sichtfelder 8,22 x 10,51 cm (dentale Region), 12,10 x 14,86 cm (plus Kiefergelenksregion) und 12,10 x 17,80 cm (plus Atlas und Axis) groß. Retrospektiv wurden hierfür anonymisierte DVT-Datensätze von 1020 Patienten für die „Dentale Region“ und „Dentale Region mit Kiefergelenksregion“ sowie von 548 Patienten für die „Dentale Region mit Kiefergelenksregion und oberer Halswirbelsäule“ aus dem Langzeitarchiv des nationalen 3D-Röntgennetzwerkes MESANTIS® (Standorte: Aschaffenburg, Berlin, Hamburg, Heil-

bronn, Leonberg, Mayen, München und Wiesbaden) digital vermessen. Neben der Geometrie und Größe des Aufnahmevolumens wurden das Geschlecht und Alter der Patienten berücksichtigt. KRAUSE konnte signifikante geschlechts- und altersabhängige Unterschiede in Bezug auf die Mittelwerte der Sichtfelder feststellen. Generell war auch hier bei weiblichen Patienten ein kleineres Aufnahmevolumen erforderlich als bei männlichen Patienten. Durch eine Differenzierung in 3 Altersbereiche (5-13 Jahre, 14-18 Jahre, 19-82 Jahre) stellte er fest, dass die Mittelwerte aller errechneten FoV mit zunehmendem Alter die klare Tendenz zeigen anzusteigen.

Die erhobenen Maße für die zylindrischen Sichtfelder von RASCH und KRAUSE lassen sich nur bedingt vergleichen, da sich die definierten Regionen von Interesse unterscheiden. Während RASCH lediglich die Mittelwerte der Analyse vorstellt, die im Hinblick auf den klinischen Nutzen eine untergeordnete Rolle spielen, präsentiert KRAUSE die klinisch relevanteren Maximalwerte der Sichtfelder. Diese gewährleisten eine Abbildung der definierten anatomischen Areale aller von ihm untersuchten Patienten.

### **1.3.5 Strahlenhygiene**

Das Strahlenschutzgesetz und die Röntgenverordnung bilden in Deutschland die nationale rechtliche Grundlage zum Umgang mit ionisierender Strahlung. Sie fordern eine so geringe Strahlenexposition für den Patienten wie möglich (ALARA-Prinzip) (BUNDESAMT FÜR STRAHLENSCHUTZ 2011, FARMAN 2005). Die vorgestellten Methoden der Kephalometrie auf Basis dreidimensionaler Bilder erfordern DVT-Aufnahmen. Der Patient wird bei einer DVT-Aufnahme einer höheren Strahlenbelastung ausgesetzt als bei herkömmlichen Röntgenaufnahmen. Diese erhöhte Strahlenbelastung ist ein Kritikpunkt für die Verwendung dreidimensionaler Bilder für kephalometrische Analysen (OSSWALD 2013). Aufgrund des raschen technischen Fortschrittes der vergangenen Jahre und der großen Anzahl verschiedener DVT-Geräte mit ihren Einstellungsmöglichkeiten existieren deutlich unterschiedliche Angaben über die applizierte effektive Dosis bei einer DVT-Aufnahme. Die effektive Dosis als ein Maß für die Strahlenbelastung des Menschen berücksichtigt die unterschiedliche Empfindlichkeit der einzelnen Organe gegenüber Röntgenstrahlung (GEIBEL und HOLZINGER 2012). Zum Vergleich der applizierten effektiven Dosis unterschiedlicher Röntgentechniken oder -geräte miteinander sind die aktuellen Gewebewichtungsfaktoren der Internationalen Strahlenschutzkommission ICRP von 2007 zur Berechnung heranzuziehen (INTERNATIONALE STRAHLENSCHUTZKOMMISSION

2007). In dieser Richtlinie sind die Messpunkte und Wichtungsfaktoren für strahlensensitive Gewebe den neuesten wissenschaftlichen Erkenntnissen angepasst (BUMANN 2009).

Die von der DGZMK im August 2013 veröffentlichte sK2-Leitlinie präsentiert eine Metaanalyse aus 15 ICRP-konformen veröffentlichten Studien. Entsprechend der Einteilung nach AAO und AAOMR ergaben sich mittlere effektive Dosen für kleine FoVs von  $92\mu\text{Sv}$ , für mittlere FoVs von  $118\mu\text{Sv}$  und für große FoVs von  $114\mu\text{Sv}$  (ARBEITSGEMEINSCHAFT FÜR RÖNTGENOLOGIE 2013). Das von der Europäischen Atomgemeinschaft (Euratom) unterstützte Projekt SEDENTEXCT stellte im Jahr 2012 effektive Dosen aus einem 15 Studien umfassenden literarischen Review vor. Die ICRP-konformen Untersuchungen ergaben große Unterschiede zwischen den verschiedenen sich auf dem Markt befindlichen DVT-Geräten hinsichtlich der effektiven Dosis. Die effektive Dosis betrug  $11\text{-}674\mu\text{Sv}$  (Median  $61\mu\text{Sv}$ ) für kleine FoVs (Höhe kleiner  $10\text{cm}$ ) und  $30\text{-}1073\mu\text{Sv}$  (Median  $87\mu\text{Sv}$ ) für mittlere und große FoVs (Höhe größer  $10\text{cm}$ ) (EUROPEAN COMMISSION 2012). Die AAOMR bezog sich in ihren Empfehlungen zur Anwendung des DVT in der Kieferorthopädie von 2012 auf ausgewählte Veröffentlichungen zur effektiven Dosis der ICRP von 2007. Die unterschiedlichen Aufnahmemodi und Sichtfeldabmessungen wurden in Form einer ausführlichen Tabelle herausgearbeitet. Die effektive Dosis für ein kleines FoV betrug  $28\text{-}652\mu\text{Sv}$ , für ein mittleres FoV  $61\text{-}194\mu\text{Sv}$  und für ein großes FoV  $56\text{-}1073\mu\text{Sv}$  (AMERICAN ASSOCIATION OF ORTHODONTISTS, AMERICAN ACADEMY OF ORAL AND MAXILLOFACIAL RADIOLOGY 2013, KAPILA ET AL. 2011). Die Ergebnisse der Studien zeigten erneut, dass es enorme Abweichungen zwischen den DVT-Geräten und den unterschiedlichen FoVs gibt. Die Geräte sind in ihrem technischen Aufbau und den Aufnahmeparametern Voxelgröße, effektive Expositionszeit, Röhrenstromstärke und Röhrenspannung zu unterschiedlich (PAUWELS ET AL. 2012), um von einer homogenen Gerätegruppe sprechen zu können. Ermittelte effektive Dosen können häufig nicht zuverlässig miteinander verglichen werden, da keine einheitlichen Aufnahmeprotokolle und Verfahren verwendet wurden. So können sowohl verschiedene Phantomköpfe als auch Dosimeter verwendet worden sein (THILANDER-KLANG und HELROT 2012).

Jüngste Studien deuten darauf hin, dass durch die konsequente Weiterentwicklung von Hard- und Software heutzutage deutlich niedrigere effektive Dosen möglich sind. Eine aktuelle Studie aus dem Jahr 2013 belegt, dass die effektiven Dosen von 3D-Aufnahmen und konventionellen kieferorthopädischen Röntgenbildern vergleichbar sind. LUDLOW und WALKER überprüften unter Berücksichtigung der Anforderungen der

ICRP von 2007 das DVT-Gerät i-CAT FLX (IMAGING SCIENCES INTERNATIONAL, Hatfield, USA). Die Aufnahme eines zylindrischen FoV von 13 x 16 cm (Höhe x Durchmesser) im Protokoll QuickScan+ resultierte in einer effektiven Dosis von 11  $\mu$ Sv am adulten Phantomkopf. Laut Angaben des Herstellers wird dieses FoV standardmäßig für kephalometrische Aufnahmen empfohlen. Es unterbietet im Hinblick auf die Strahlenexposition sogar die Kombination aus konventioneller digitaler Panoramaschichtaufnahme (12-24  $\mu$ Sv) und Fernröntgenseitbild (5  $\mu$ Sv). Unklar ist bisher, ob diese Low Dose-Protokolle Einbußen für die Genauigkeit der Diagnostik bedeuten (LUDLOW, WALKER 2013).

Ähnlich niedrige Werte ergaben Untersuchungen am DVT-Gerät ProMax 3D Mid (Planmeca, Helsinki, Finnland) unter Berücksichtigung der Anforderungen der ICRP von 2007. Die Berechnungen ergaben für ein zylindrisches Field of View der Größe 17 x 20 cm (Höhe x Durchmesser) im Protokoll „Ultra Low Dose“ eine effektive Dosis von 15,9  $\mu$ Sv (WÄHRISCH ET AL. 2013). Diese bereits sehr niedrigen Dosiswerte konnten durch die Verwendung eines Schilddrüsenschutzes um 25 % auf 12,0  $\mu$ Sv gesenkt werden (BUCHHOLZ ET AL. 2013).

Durch die nachgewiesene Reduktion der effektiven Dosis bei spezifischen Aufnahmeprotokollen bedarf die jahrelange Ablehnung von DVTs wegen der höheren Strahlenbelastung einer neuen Diskussion. Daher kann im Einzelfall bei entsprechender Indikation und Gerätetechnik eine DVT-Aufnahme die ALARA-konformste Röntgentechnik sein.

Allgemein kann man folgende Grundsätze für die Anwendung des DVT formulieren, um eine erhöhte Strahlenbelastung des Patienten zu vermeiden:

- Das FoV sollte unter Berücksichtigung der Region des Interesses (DAVIES ET AL. 2012) sowie Alter und Geschlecht des Patienten (RASCH 2009, KRAUSE 2012) so klein wie möglich gewählt werden.
- Die Qualität der Abbildung wird maßgeblich durch die Aufnahmeparameter des jeweiligen Modus beeinflusst und sollte den diagnostischen Anforderungen angepasst werden. Für eine Übersicht über das Gebiss eines Patienten für einen kieferorthopädischen Ausgangs- oder Zwischenbefund ist eine Standardauflösung mit 0,4mm Voxel ausreichend. Die Lokalisation feiner Wurzelkanäle hingegen erfordert eine hochauflösende Voxelgröße von 0,125 mm (PAUWELS ET AL. 2012).
- Zum Schutze strahlensensitiver Gewebe ist ein Schilddrüsen- und Augenschutz aus verbleitem Material zu empfehlen, solange die Bildqualität und Diagnosefä-

higkeit der Aufnahme dadurch nicht geschmälert werden (LI 2013, QU X ET AL. 2012, PRINS ET AL. 2011).

- Sämtliche technische Anlagen müssen wie gesetzlich vorgeschrieben regelmäßig überprüft, gewartet und kalibriert werden (AMERICAN ASSOCIATION OF ORTHODONTISTS, AMERICAN ACADEMY OF ORAL AND MAXILLOFACIAL RADIOLOGY 2013).
- Ärzte und medizinisches Personal sollten ausreichend geschult sein (HIRSCH ET AL. 2008), sodass optimale Aufnahmeparameter gewählt und fehlerhafte Aufnahmen minimiert werden.
- Forschung und Wissenschaft sind daran interessiert, die Strahlenbelastung für den Patienten weitestgehend zu reduzieren. Neueste DVT-Geräte mit hochspezifischen Aufnahmeprotokollen gehen mit geringeren effektiven Dosen einher als konventionelle DVT-Geräte. Als Beispiel hierfür sei der Vergleich der Systeme i-CAT Classic und i-CAT Next Generation erwähnt (DAVIES ET AL. 2012). Die niedrigen Dosiswerte der neuesten Generation i-CAT FLX präsentierten LUDLOW und WALKER (2013). Bei der Anschaffung eines DVT-Gerätes sollte demnach auf die Spezifikation der möglichen Aufnahmeprotokolle geachtet werden.

## 2. Fragestellung

Die AAO fordert die Anpassung des FoV an die klinische Situation. Unklar ist, was beschränkt auf die Region von Interesse oder so klein wie möglich konkret für die Sichtfeldmaße bedeutet oder wie weit sie vor dem Hintergrund des Strahlenschutzes reduziert werden und dennoch relevante Strukturen aller untersuchten Patienten vollumfänglich abbilden können. Unter Berücksichtigung klinischer Fragestellungen beleuchtet die vorliegende Untersuchung die konkret erforderlichen Ausmaße von Aufnahmevolumina für unterschiedliche medizinische Indikationen. Die individuelle Anpassung des FoV an den Patienten und die medizinische Fragestellung zielen durch eine Verkleinerung des aufgenommenen Areal auf eine Dosisreduktion ab. Im Sinne der Risiko-Nutzen-Betrachtung verringert sich die Strahlenbelastung des Patienten bei gleichzeitiger Abbildung der relevanten anatomischen Strukturen zur diagnostischen Bewertung. Konkretes Ziel dieser Studie soll es sein zu ermitteln, welche Ausmaße ein zylindrisches FoV haben muss, um definierte kephalometrische Hauptpunkte zu beinhalten. Die Aufnahmen müssen die benötigten Regionen vollumfänglich darstellen, um eine adäquate Analyse des Mittel- und Untergesichtes mit der CVM-Methode zu erlauben. Das FoV soll dabei an das Geschlecht und das Alter des Patienten angepasst und nicht unnötig groß sein.

Die derzeit auf dem Markt befindlichen DVT-Systeme bieten sowohl eine Vielzahl unterschiedlicher Sichtfelder als auch verschiedene Empfehlungen zu deren Einsatz. Diese Studie beschäftigt sich weiterführend mit der Eignung üblicher FoV-Konfigurationen für die definierten Sichtfelder.

Mit der vorliegenden Arbeit sollen insbesondere folgende Hypothesen überprüft werden:

1. Mit einem zylindrischen Sichtfeld von 18 x 20 cm können die kephalometrischen Knochen-Referenzpunkte kieferorthopädischer Patienten zur Mesantis 3D-Analyse erfasst werden (FoV1).
2. Mit einem zylindrischen Sichtfeld von 18 x 20 cm können sowohl die kephalometrischen Knochen- als auch Weichteil-Referenzpunkte kieferorthopädischer Patienten zur Mesantis 3D-Analyse erfasst werden (FoV2).

### *Fragestellung*

3. Mit einem zylindrischen Sichtfeld von 18 x 20 cm können die kephalometrischen Knochen-Referenzpunkte und der Corpus des 4. Halswirbels bei Jugendlichen zur Mesantis 3D-Analyse erfasst werden (FoV3).
4. Mit einem zylindrischen Sichtfeld von 18 x 20 cm können sowohl die kephalometrischen Knochen- und Weichteil-Referenzpunkte als auch der Corpus des 4. Halswirbels bei Jugendlichen zur Mesantis 3D-Analyse erfasst werden (FoV4).
5. Mit einem zylindrischen Sichtfeld von 10 x 20 cm kann die Dentition kieferorthopädischer Patienten vollständig erfasst werden (FoV5).

### 3. Material und Methoden

Bei der zugrunde liegenden Untersuchung handelt es sich um eine retrospektive Beobachtungsstudie, in welcher deskriptive, explorative und inferenzstatistische Verfahren zur Ermittlung der Ergebnisse eingesetzt wurden.

#### 3.1 Patientengut

Es wurden anonymisierte DVT-Datensätze von 1000 Patienten digital vermessen, um die in der Fragestellung beschriebenen Hypothesen zu überprüfen. Zur Vergleichbarkeit der Ergebnisse innerhalb der Studiengruppe wurden jeweils zur Hälfte männliche und weibliche Patienten ausgewählt. Zudem erfolgte eine bewusste Verteilung in zwei Altersgruppen, die ebenfalls identisch ausfielen. Das durchschnittliche Patientenalter am Tag der DVT-Röntgenaufnahme lag bei 24 Jahren.

Altersgruppe 1: 5 - 18 Jahre

Altersgruppe 2: 19 – 75 Jahre

Tabelle 1: Darstellung der alters- und geschlechtsspezifischen Stichprobenverteilung (n=1000).

	Anzahl (n)	Altersgruppe 1	Altersgruppe 2
<b>Männlich</b>	500	250	250
<b>Weiblich</b>	500	250	250
<b>Gesamt</b>	1000	500	500

#### 3.2 DVT-Aufnahmen

Zur Selektion geeigneter Patientendatensätze standen aus dem Langzeitarchiv des nationalen 3D-Röntgennetzwerkes MESANTIS® (Standorte: Aschaffenburg, Berlin, Hamburg, Heilbronn, Leonberg, Mayen, München und Wiesbaden) etwa 15.000 DVT-Röntgenaufnahmen zur Verfügung.

Geeignete Röntgenaufnahmen erforderten die Abbildung der beschriebenen anatomischen Strukturen:

- Vollständige Darstellung der Kiefer, der Kiefergelenksregion und des äußeren knöchernen Gehörganges
- Vollumfängliche Abbildung der Weichgewebe, besonders an Kinn und Nase
- Vollständige Illustration des 4. Halswirbelkörpers in der Altersgruppe 1
- Geschlossener Biss des Patienten während der Aufnahme (ein gesperrter Biss wirkt sich direkt auf die Maße des zu ermittelnden Aufnahmevolumens aus)

Die ethische Herkunft des Patienten oder bereits erfolgte chirurgische und kieferorthopädische Therapien wurden nicht berücksichtigt.

Die retrospektive Analyse bereits vorhandener Datensätze sicherte, dass kein Patient für diese Arbeit einer zusätzlichen unnötigen Strahlenbelastung ausgesetzt wurde. Die Anfertigung der DVT-Aufnahmen erfolgte zuvor individuell vor dem Hintergrund einer rechtfertigenden medizinischen Indikation, die von einem fachkundigen Arzt mit gültiger DVT-Fachkunde gestellt wurde.

Die vom 3D-Röntgeninstitut Mesantis® erstellten 3D-Röntgenbilder wurden entweder mit dem i-CAT classic ®-System (IMAGING SCIENCES INTERNATIONAL, Hatfield, USA) oder der Sonderedition MESANTIS® *line* (Imaging Sciences International Inc., Hatfield, USA) erstellt. Mit diesen Fächerstrahlvolumentomographie- und Panoramadentalbildgebungssystemen wurden Röntgenbilder durch einen Scanner erfasst und zur Weiterverarbeitung durch eine Computer-Workstation zur 3D-Rekonstruktion anatomischer Strukturen im Kopf- und Halsbereich übermittelt.

Der sitzende Patient wurde anhand der Stuhlhöhe, mit Hilfe von Kinn- und Kopfstütze sowie Lichtlinien als Justierhilfen bezüglich der Okklusionsebene ausgerichtet. Die Aufnahmen erfolgten bei einer Röntgenröhrenstromstärke von 3 – 8 mA und einer Röhrenspannung von 120 kVp. In einer 360° Rotationssequenz, die je nach Gerät und Auswahl des Sichtfeldes und Auflösung 4,9 bis 40 Sekunden dauerte, registrierte ein amorpher Silizium-Flat-Panel-Detektor alle Informationen, die anschließend von der Software zu einer 3D-Ansicht des geröntgten Gebietes rekonstruiert wurden. Die technische Ausstattung der verwendeten DVT-Geräte ist in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2: Technische Daten der verwendeten DVT-Geräte. Abkürzungen: B=Breite, H=Höhe, D=Durchmesser.

	<b>i-Cat classic ®-System</b>	<b>MESANTIS® line</b>
Bilddetektor (B x H in cm)	Flachfeld, amorphes Silizium (ablesbarer Bereich) 23.8 x 19.2	Flachfeld, amorphes Silizium (erfassbarer Bereich) 23.8 x 19.2
Standard-Sichtfeld (H x D in cm)	13 x 16	13,5 x 16
Erweitertes Sichtfeld (H x D in cm)	22 x 16	17 x 23,2
Mögliche Höhenmaße (cm)	6/8/13/22 bei D=16	4/6/8/10/11/13 bei D=16,5 17 bei D=23,2
Voxelgrößen (mm)	0,4/0,3/0,25/0,2	0,4/0,3/0,25/0,2/0,125
Scandauer (Sek.)	10/20/40	4,9/8,9/14,7/26,9

Nach dieser unmittelbaren anatomischen Rekonstruktion konnten die Scandaten von beiden Systemen in das DICOM-Format (Digital Imaging and Communications in Medi-

cine, digitale Bilddarstellung und –übertragung) konvertiert werden. Die weitere Verarbeitung der DICOM-Daten erfolgte per Export an eine Drittanbietersoftware.

### 3.3 Auswertungssoftware

Die Visualisierung erfolgte mit Hilfe eines Desktop PC mit Windows 7 Professional als Betriebssystem und einem EIZO RadiForce R31 Monitor (Fa. Avnet Technology Solutions GmbH, Nettetal, Germany). Dieser wies folgende technische Eigenschaften auf:

- 3 Megapixel Auflösung
- 1536 x 2048 Bildpunkte
- 400:1 Kontrastverhältnis
- 400cd/m<sup>2</sup> (Candela/Quadratmeter) Helligkeit/Leuchtdichte
- 10-Bit-Look-Up-Table (LUT) steuert die Farbwiedergabe

Eine DIN 6868-57-konforme Bildwiedergabesituation für die Anwendungskategorie B wurde durch diese Abbildungseigenschaften ermöglicht. Die tägliche Konstanzprüfung nach der Qualitätssicherungsrichtlinie ([radiforce.de/pool/spec/R31/2\\_de\\_R31.pdf](http://radiforce.de/pool/spec/R31/2_de_R31.pdf)) erfolgte für diesen Monitor. Die Vermessung der DICOM-Datensätze wurde mit der volumetrischen Bildbearbeitungssoftware Invivo 5.1. (Anatomage Inc., San Jose, Californien) durchgeführt.

Die Software Invivo 5.1 ist speziell als Planungs- und Simulations-Software in der Implantologie, Kieferorthopädie und Chirurgie vorgesehen. Sie unterstützt neben der Vermessung der DICOM-Datensätze weitere Funktionen wie die Knochendichtebestimmung, Volumenmessung und Implantatplanung. Mit dem Laden und Öffnen eines Datensatzes gelangt man zur „Section View“, in der zweidimensionale sagittale, coronale und axiale Schnittbilder des geröntgten Areals dargestellt werden. Der rote, grüne und blaue Cursor dienen der Orientierung durch Markierung der Betrachtungsebene in den jeweils zwei anderen Abbildungen. Durch einen Doppelklick in einer Ansicht gelangt man in den „Fullscreen“ für Detailansichten und anschließend wieder zurück.

Optional lassen sich im links befindlichen „View Control“ Bildkontrast und -helligkeit variieren, ferner können benutzerdefinierte Achsen oder eine 3D-Darstellung ergänzt werden. In der Werkzeugleiste am oberen Bildrand ermöglichen unter anderem „Distance measurement“ und „Angle measurement“ das Ausmessen zuvor markierter Strecken und Winkel, „Arrow notation“ und „Circle notation“ das Einzeichnen von Pfeilen und Kreisen und „Text notation“ das Einfügen von Texten. „Information display“ dient dem

Ein- und Ausblenden von Patientendaten zum Zwecke des Datenschutzes, während „Reorientation“ die Ausrichtung des Schädels durch Rotation ermöglicht (Abbildung 11).

Werkzeugleiste:

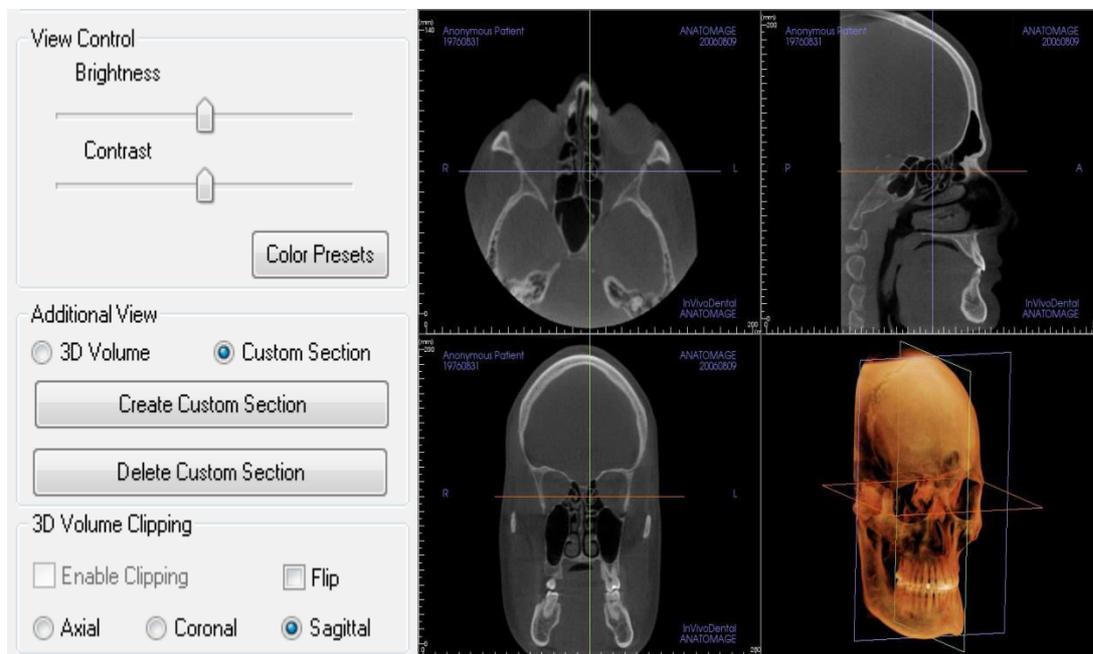
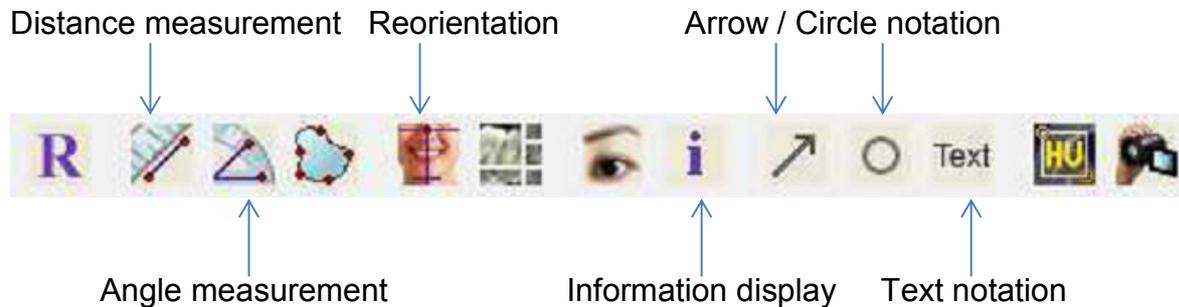


Abb. 11: Verwendete Funktionen in der „Section View“ (ANATOMAGE 2011).

Die plastische Illustration im dreidimensionalen Raum erfolgt im „Volume Render“. Über das „View Control“-Fenster können neben der Optimierung der Bildqualität auch verschiedene Darstellungsmodi gewählt werden. Eine gezielte Diagnostik wird durch separate oder transparent überlagerte Wiedergabe von Hart- und Weichgewebe ermöglicht. Mit Hilfe des „Clipping“ schneidet man entlang der definierten anatomischen Ebenen, wobei diese parallel verschoben werden können und somit Teilansichten des 3D-Volumens generiert werden können.

Zusätzlich zu den bereits vorgestellten Werkzeugen bietet der Modus „Volume Render“ automatische Orientierungsfelder, sodass der Betrachter das Sichtfeld von rechts und links, vorne und hinten sowie oben und unten begutachten kann. Der „3D Landmark

Point“ dient zur Markierung beliebiger Bezugspunkte auf der Knochenoberfläche und der „Comment Marker“ als beschreibbarer Punkt (Abbildung 12) (ANATOMAGE 2011).

Werkzeugleiste:

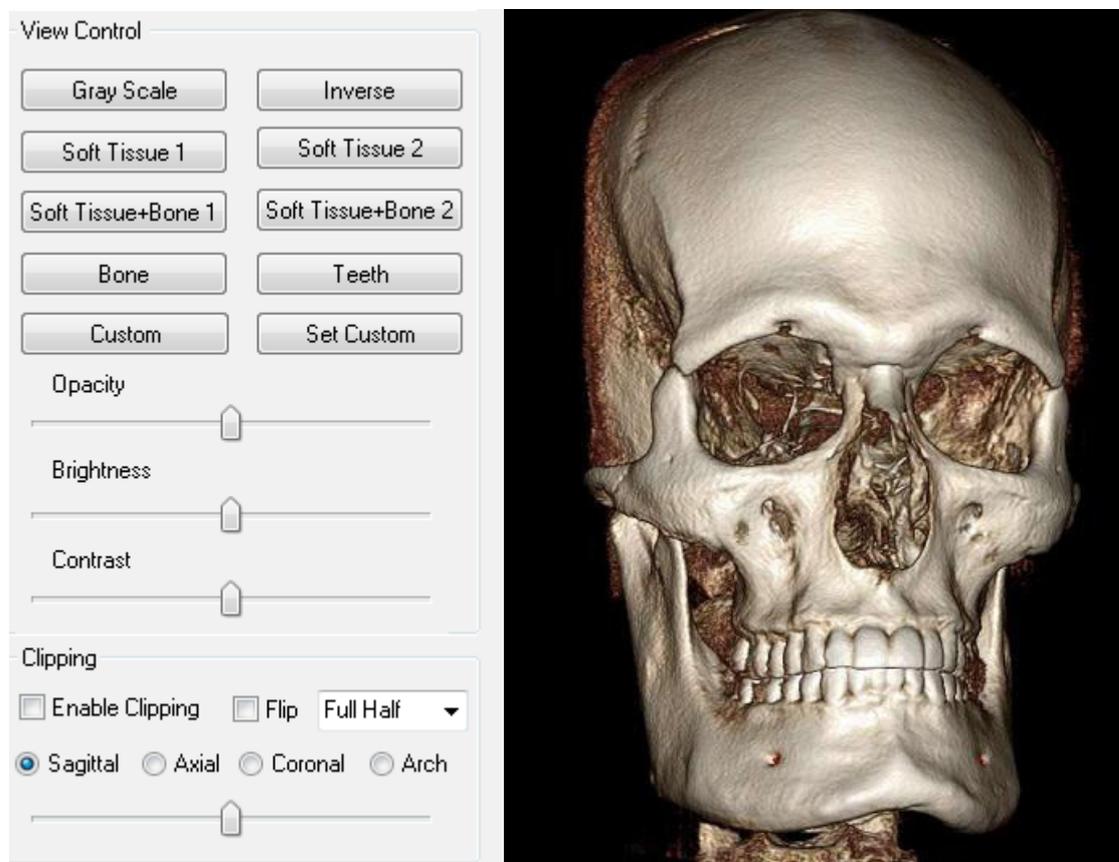
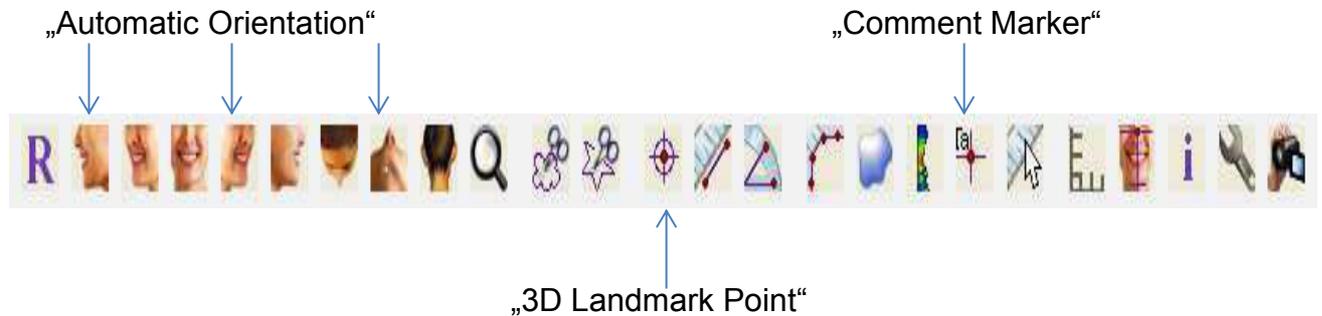


Abb. 12: Weitere verwendete Funktionen im „Volume Render“ (ANATOMAGE 2011).

### 3.4 Berechnung eines Zylinders

Ein gerader geometrischer Kreiszylinder zeichnet sich durch senkrecht auf Grund- und Deckenfläche stehende Mantellinien und einer Kreisfläche als Grundfläche aus (KEMNITZ 2013). Er wird eindeutig durch die Höhe und den Durchmesser ( $H \times D$ ) beschrieben (Abbildung 13).

Während sich die Höhe im DVT-Datensatz direkt messen liess, musste der Durchmesser der Kreisflächen und damit des Zylinders anhand zweier Messwerte so berechnet

werden, dass die gewünschten anatomischen Strukturen integriert waren, der Zylinder aber nicht unnötig groß wurde. Es wurde davon ausgegangen, dass die Bezugspunkte der FoV auf einer Kreisbahn lagen. Mathematisch liess sich der gesuchte Kreisradius und folglich der Durchmesser mithilfe einer Modifikation der Sagitta-Methode bestimmen (WIKIPEDIA 2012). Es wurde die Länge P einer Sehne, die den Abschnitt der Sekante innerhalb des Kreises beschrieb, bestimmt. Geschnitten durch eine Senkrechte der Länge S in ihrem Mittelpunkt liessen sich zum Kreismittelpunkt M zwei rechtwinklige Dreiecke aufspannen. Der unbekannte Radius R stellte hierbei die Hypotenuse als längste, dem rechten Winkel des Dreieckes gegenüberliegende Seite dar (Abbildung 13). Da die Halbierung der Sehne ( $a = \frac{P}{2}$ ) und der Abzug des Radius von der Senkrechten ( $b = S - R$ ) die Seitenlängen der Katheten ergaben, liess sich der Radius ( $c = R$ ) anhand des Satz des Pythagoras ( $a^2 + b^2 = c^2$ ) ermitteln (BLUM 2001).

Folgende Grundgleichung aufgelöst nach R ergab den Kreisradius:

$$R^2 = \left(\frac{P}{2}\right)^2 + (S - R)^2 \quad / \text{Potenzierung, 2. binomische Formel}$$

$$R^2 = \frac{P^2}{4} + S^2 - 2SR + R^2 \quad / + 2SR; - R^2$$

$$2SR = \frac{P^2}{4} + S^2 \quad / \div 2S$$

$$R = \frac{P^2}{8S} + \frac{S}{2}$$

Der Durchmesser ergab sich aus der Verdopplung des Radius:

$$D = 2R$$

Multipliziert mit der gemessenen Höhe (H) erfolgte die eindeutige Beschreibung des geraden Kreiszyinders H x D.

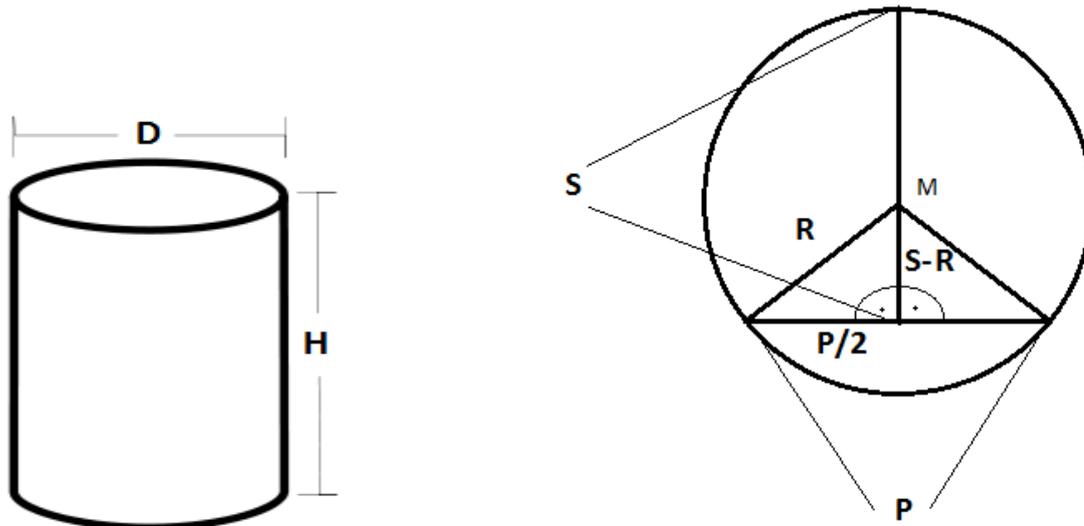


Abb. 13: Gerader Kreiszylinder (KEMNITZ 2013) (links) und Berechnungsschema für den Kreisradius (rechts).

### 3.5 Definition der untersuchten FoVs

Die vorliegende Untersuchung befasste sich mit der Ermittlung der Maße fünf verschiedener zylindrischer FoV zur kephalometrischen Analyse. Diese erforderte definierte Bezugspunkte, die die jeweilige Region von Interesse charakterisierten. Ein geeignetes, indikationsbezogenes Sichtfeld zeichnete sich durch die vollständige Abbildung der Interessensregion mit möglichst geringen Abmessungen aus. Die vollumfängliche Darstellung der folgenden anatomischen Strukturen charakterisierte die fünf verschiedenen FoV, deren Maße in dieser Abhandlung ermittelt wurden.

#### 3.5.1 FoV zur Erfassbarkeit von Knochen-Referenzpunkten (FoV1)

Dieser Zylinder beinhaltete die skelettale Maxilla und Mandibula inklusive aller Zähne und bereits röntgenologisch sichtbarer Zahnkeime. Das Menton war kaudaler Bezugspunkt, den ventralen Abschluss des Volumens bildete je nach individueller Anatomie Pogonion oder Inzision superius / inferius. Die Kiefergelenksregion wurde mit der Fossa mandibularis os temporale als kranialem und dem Porus acusticus externus als dorsalem und lateralem Abschluss erfasst.

#### 3.5.2 FoV zur Erfassbarkeit von Knochen- und Weichteil-Referenzpunkten (FoV2)

Das beschriebene, skelettale Gebiet des FoV1 wurde zur Bestimmung des FoV2 nach kaudal und ventral um das profilformende Weichgewebe erweitert, wodurch sich Hautmenton und Nasenspitze als neue Bezugspunkte ergaben (Abbildung 14).

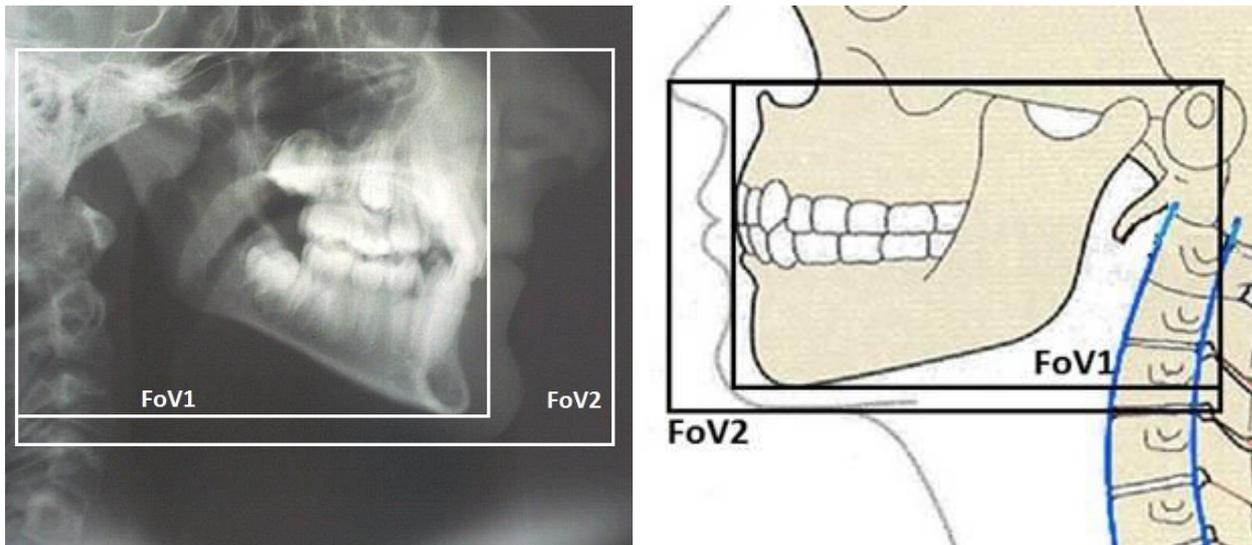


Abb. 14: Fernröntgenseitbild (links) und Schemazeichnung (rechts) zur Darstellung des FoV1 und FoV2.

### 3.5.3 FoV zur Erfassbarkeit von Knochen-Referenzpunkten und dem Corpus C4 (FoV3)

Das FoV3 orientierte sich ebenfalls am FoV1. Es enthielt neben den Kiefern und der Kiefergelenksregion einen Teil der oberen Halswirbelsäule und zwingend den Corpus vertebrae cervicalis 4. Dies hatte zum Teil Auswirkungen auf die kaudale und dorsale Begrenzung des FoV.

### 3.5.4 FoV zur Erfassbarkeit von Knochen- und Weichteil-Referenzpunkten und dem Corpus C4 (FoV4)

Das FoV4 wurde analog zum FoV2 aus FoV1 abgeleitet und das skelettale Sichtfeld um das Weichgewebsprofil erweitert. Dies ermöglichte eine Weichteilanalyse des Gesichtes (Abbildung 15).

Die Vermessung der Aufnahmevolumina FoV3 und FoV4 mit partieller Darstellung der Halswirbelsäule (HWS) erfolgte lediglich in der Altersgruppe 1. Vor dem Hintergrund der skelettalen Reifebestimmung mittels CVM war dies in der Altersgruppe 2 nicht mehr sinnvoll, da beide Geschlechter mit 18 Jahren das endgültige Reifestadium erreicht hatten.

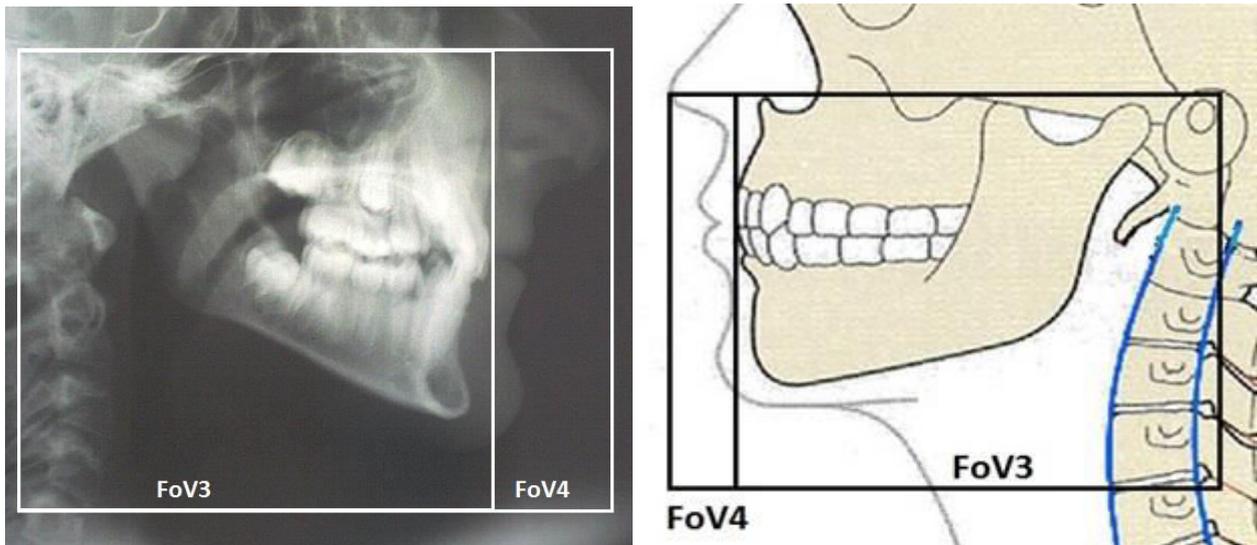


Abb. 15: Fernröntgenseitbild (links) und Schemazeichnung (rechts) zur Darstellung des FoV3 und FoV4.

### 3.5.5 FoV zur Erfassbarkeit der Dentition (FoV5)

Das anatomische Areal des FoV5 umschloss die Gesamtheit aller Zähne und Zahnanlagen. Implantate und prothetische Versorgung wie Kronen oder Brücken als künstliche Zahnwurzeln und -kronen wurden in das Sichtfeld integriert (Abbildung 16).

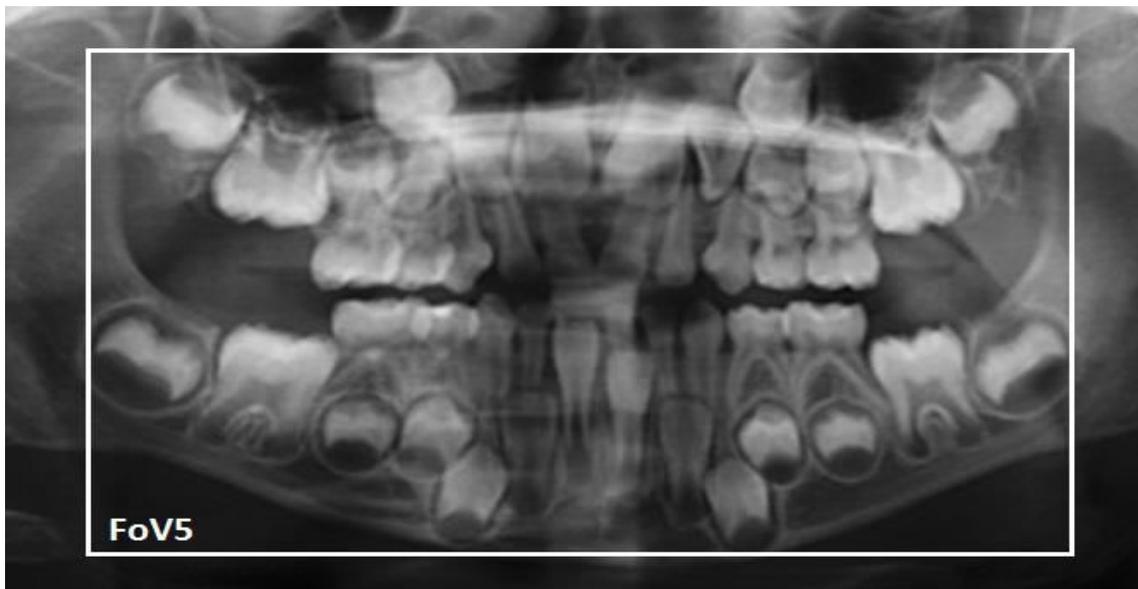


Abb. 16: Orthopantomogramm zur Darstellung des FoV5 im Wechselgebiss.

### 3.5.6 Definition der verwendeten kephalometrischen Bezugspunkte

Da kephalometrische Bezugspunkte von verschiedenen Autoren abweichend definiert werden, erfolgte eine präzise Festlegung der Bezugspunkte zur Ermittlung der FoV. Die Erläuterung der in dieser Arbeit verwendeten Referenzpunkte erfolgt in Tabelle 3.

Tabelle 3: Erläuterung erwähnter röntgenkephalometrischer Bezugspunkte nach Nötzel et al. (2007).

Bezugspunkt	Abkürzung	Definition	Schnittebene
<u>Skelettal</u>			
Menton	Me	kaudalster Punkt der Mandibularsymphyse	Median-Sagittal-Ebene
Pogonion	Pog	anteriorster Punkt des knöchernen Kinns	Median-Sagittal-Ebene
Orbitale	Or	kaudalster Punkt der knöchernen Orbita	Frontal-Ebene
Porion	Po	kranio-lateralster Punkt des äußeren knöchernen Gehörganges	Frontal-Ebene
Corpus vertebrae cervicalis 4	C4	kaudalster Punkt des 4. Halswirbelkörpers	Median-Sagittal-Ebene
<u>Dental</u>			
Inzisivus superius / inferius	Is 1 / li 1	anteriorster Punkt des oberen / unteren Inzisivus	Median-Sagittal-Ebene
<u>Weichgewebe</u>			
Nasenspitze	Ns	Pronasale, Anteriorster Nasenpunkt	Median-Sagittal-Ebene
Hautmenton	Me`	kaudalster Konturpunkt des Weichteilkinns	Median-Sagittal-Ebene

### 3.6 Justierung, Vermessung und Berechnung des Kreiszyinders der DVT-Datensätze

#### 3.6.1 Justierung der DVT-Datensätze zur Ermittlung des FoV1

Die Justierhilfen des DVT-Gerätes zur Ausrichtung und Fixierung des Patienten während der Aufnahme, lieferten im rekonstruierten Datensatz keine identischen Positionen der Schädel zur Vermessung. Zur Vereinheitlichung wurden anhand identischer Bezugspunkte Rotationen in allen 3 Ebenen vorgenommen. Die Ausrichtung begann am 3D-Modell im „Volume Render“, wobei die Frankfurter Horizontale (auch Deutsche Horizontale) als Bezugsebene verwendet wurde. Als Verbindungslinie von Orbitale und Porion wurden diese beiden skelettalen Punkte der rechten Patientenseite mithilfe des „3D Landmark Point“ markiert. Orbitale konnte optimal in der frontalen Ansicht nach „Clipping“ dorsal liegender, überlagernder Strukturen lokalisiert werden. Porion wurde analog dazu in der sagittalen Ansicht lokalisiert, nachdem der Porus acusticus externus isoliert dargestellt wurde (Abb.19). Die markierten Landmarks bestanden aus drei Zahlenwerten, die als Koordinaten im dreidimensionalen Raum dienten und sich aus dem Vertikal-, Sagittal- und Transversalwert zusammensetzten. In der Sagittalansicht wurde anschließend das „Patient Orientation“-Tool eingesetzt. Dies erlaubte eine waagerechte Ausrichtung der Frankfurter Horizontalen. Die waagerechte Position konnte durch einen

identischen Transversalwert von Orbitale und Porion bestätigt werden und stellte sich als Reklination oder Inklination des Schädels dar (Abbildung 17).

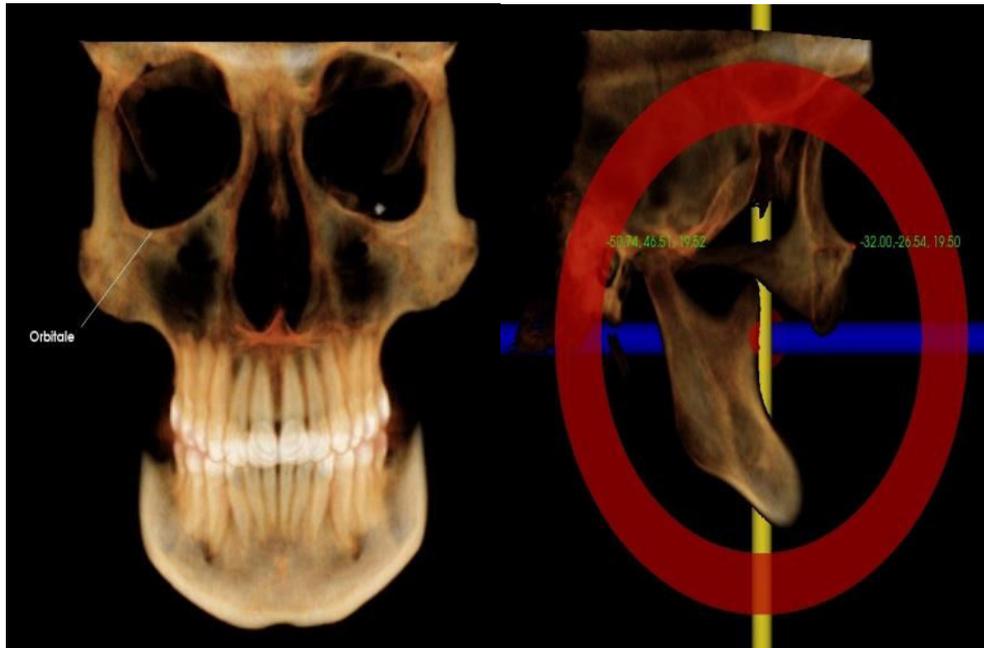


Abb. 17: Markierung Orbitale (links) und Justierung der Frankfurter Horizontalen anhand Porion und Orbitale in der Sagittalebene (rechts).

Beim anschließenden Wechsel in die „Section View“ blieb diese Ausrichtung erhalten. Analog dazu diente das Orientierungswerkzeug in der Axialebene zur Positionierung des blauen Cursors im Zentrum der äußeren knöchernen Gehörgänge auf beiden Seiten (Abbildung 18), sodass eine Rotation des Kopfes während des Röntgenvorganges korrigiert werden konnte. Die Navigation zu den Porionpunkten in der coronalen Ansicht erlaubte deren waagerechte Ausrichtung anhand des roten Cursors (Abbildung 19). Mit Hilfe dieser Funktion konnte eine Lateralflexion des Schädels ausgeglichen und die Grundeinstellung für die Messungen erzeugt werden.

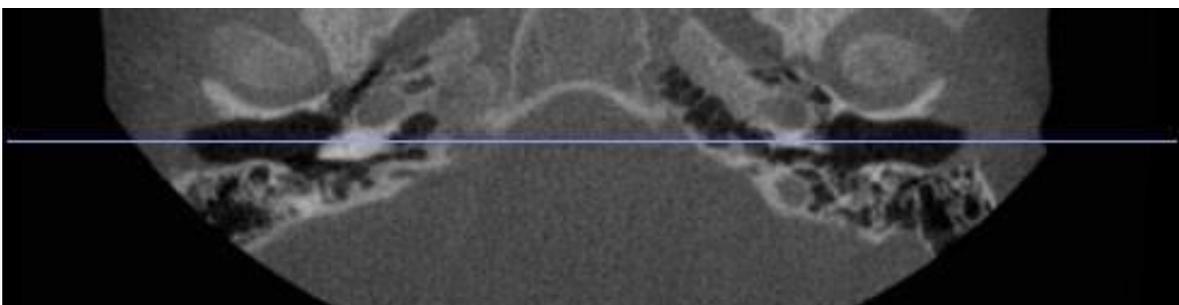


Abb. 18: Justierung in der axialen Ansicht. Der blaue Cursor verläuft durch das Zentrum der äußeren knöchernen Gehörgänge beider Seiten.

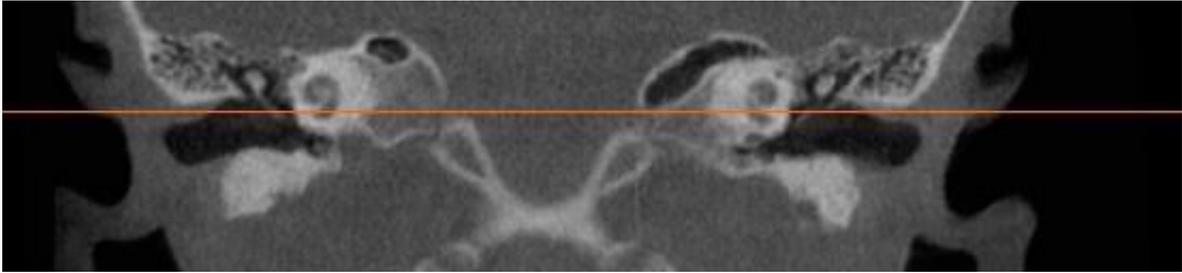


Abb. 19: Justierung in der coronalen Ansicht. Der rote Cursor berührt in waagerechter Schädelposition die Porionpunkte beider Seiten.

Mit der Justierung der DVT-Datensätze für das FoV1 wurden die Voraussetzungen für standardisierte Messbedingungen geschaffen.

### 3.6.2 Vermessung der DVT-Datensätze zur Ermittlung des FoV1

Bezugnehmend auf die Zylinderberechnung in Kapitel 3.4 wurde zuerst die Länge der Sehne P gemessen, die sich zwischen den anatomischen Strukturen erstreckte, die als laterale Begrenzung des Sichtfeldes gewählt wurden. Definitionsgemäß war dies der Porus acusticus externus als ringförmige Ausgangsstruktur des äußeren knöchernen Gehörganges. Stellvertretend für den ganzen Knochenring wurde das Porion beider Seiten als Messpunkt herangezogen und deren Abstand zueinander in der coronalen Ebene vermessen (Abbildung 20).

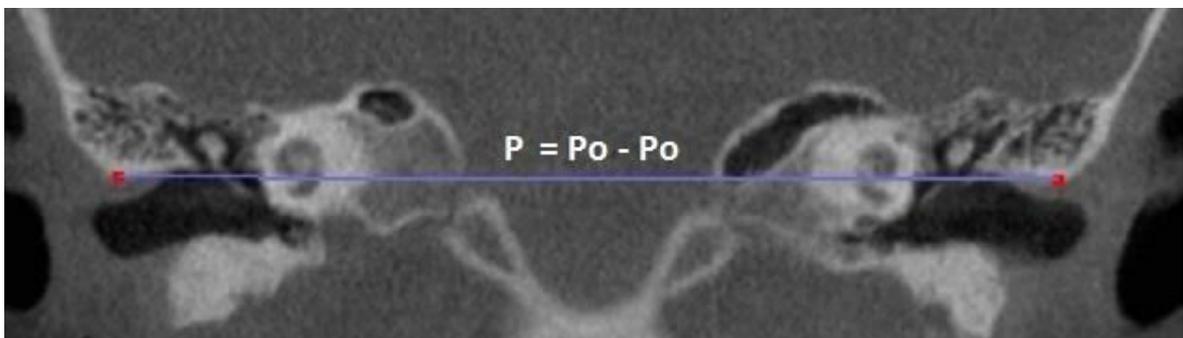


Abb. 20: Vermessung der Sehnenlänge P als Abstand der Porionpunkte.

Anschließend erfolgte die Navigation zum Porus acusticus externus in der Sagittalan-sicht, um den blauen Cursor als dorsale Begrenzung des FoV an dessen Hinterwand zu fixieren. Im zentralen Teil der Abbildung konnte so die Region des temporo-mandibulären Gelenks dargestellt werden. Der rote Cursor wurde als kraniale Orientierungshilfe platziert, so dass das Fossadach des Os temporale caudal lag (Abbildung 21).

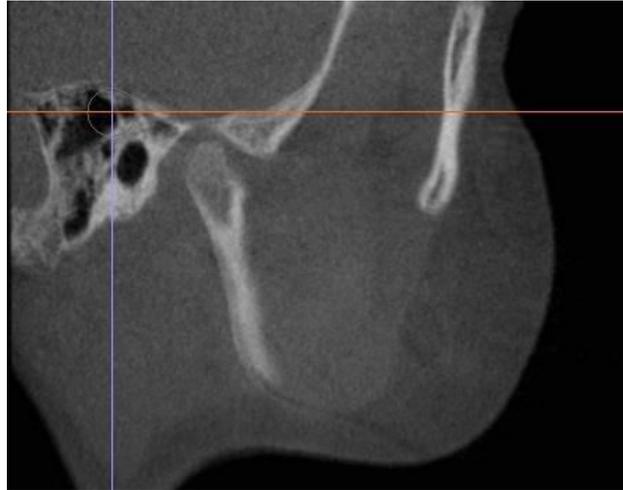


Abb. 21: Fixierung der dorsalen und kranialen Begrenzung anhand der Kiefergelenksregion in der Sagittalebene.

Es erfolgte eine Kontrolle und gegebenenfalls Korrektur der Cursorposition auf der kontralateralen Seite. Zur vollständigen Erfassung der zur Vermessung benötigten Gebiete wurde in die Median-Sagittal-Ebene navigiert. Es wurde die Höhe H1 durch lineare Messung des Abstandes vom Menton zum roten Cursor ermittelt. Analog dazu ergab sich aus der Abstandsmessung des Inzisivus superius oder inferius zum blauen Cursor die Länge der Senkrechten S1 (Abbildung 23).

Lag das Pogonion ventral der Frontzähne, wurde es als Messpunkt für S1 herangezogen (Abbildung 22).

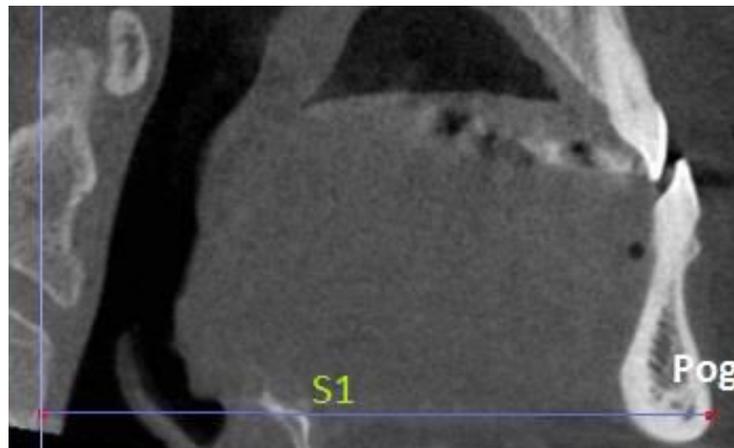


Abb. 22: Pogonion als Bezugspunkt des FoV1 im Median-Sagittal-Schnitt.

### 3.6.3 Berechnung des Aufnahmezylinders zur Ermittlung des FoV1

Waren die drei Messwerte P, H1 und S1 ermittelt, konnte das Sichtfeld zur Erfassbarkeit kephalometrischer Knochenreferenzpunkte nach dem in Kapitel 3.5 beschriebenen Schema berechnet werden. P und S1 wurden in die Gleichung  $D = 2\left(\frac{P^2}{8S} + \frac{S}{2}\right)$  eingesetzt und so der erforderliche Durchmesser für das FoV1 ermittelt.

Für jeden der 1000 untersuchten Patienten ergab sich ein individuelles, zylindrisches Sichtfeld mit der gemessenen Höhe H1 und dem aus P und S1 errechneten Durchmesser D1.

### 3.6.4 Justierung der DVT-Datensätze zur Ermittlung des FoV2

Die Ausrichtung des Schädels zur Ermittlung des FoV2 erfolgte in allen drei Ebenen analog zum FoV1 (siehe Kap. 3.6.1). Dies garantierte standardisierte Messvoraussetzungen.

### 3.6.5 Vermessung der DVT-Datensätze zur Ermittlung des FoV2

Die bereits zur Ermittlung des FoV1 vermessenen Sehnenlängen P wurden zur Berechnung des FoV2 übernommen. Ebenso wurden die Position des roten und blauen Cursors zur cranialen und dorsalen Begrenzung übernommen. Die lineare Abstandsmessung vom Hautmenton zum roten Cursor ergab die Höhe H2, von der Nasenspitze zum blauen Cursor die Länge der Senkrechten S2 (Abbildung 23).

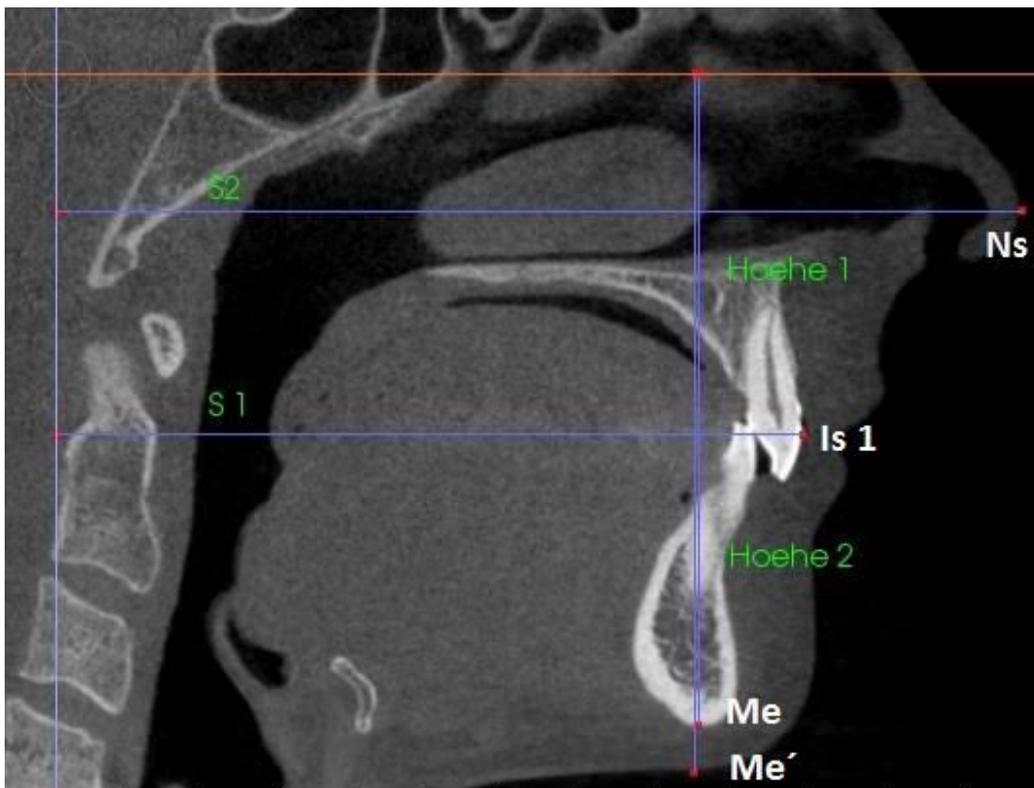


Abb. 23: Messstrecken der Höhen H1/H2 und Senkrechten S1/S2 im Median-Sagittal-Schnitt.

### 3.6.6 Berechnung des Aufnahmezylinders zur Ermittlung des FoV2

Das Sichtfeld zur Erfassbarkeit von kephalometrischen Knochen- und Weichteilreferenzpunkten wurde nach der in Kapitel 3.6.3 beschriebenen Gleichung berechnet. Die

ermittelten Messwerte P und S2 in der Gleichung  $D = 2\left(\frac{P^2}{8S} + \frac{S}{2}\right)$  ergaben den für das FoV2 erforderlichen Durchmesser D2.

Für jeden der 1000 untersuchten Patienten ergab sich ein individuelles, zylindrisches Sichtfeld mit der gemessenen Höhe H2 und dem aus P und S2 errechneten Durchmesser D2.

### **3.6.7 Justierung der DVT-Datensätze zur Ermittlung des FoV3**

Standardisierte Messbedingungen wurden durch die Ausrichtung des Schädels, wie sie im Kapitel 3.6.1 beschrieben ist, hergestellt.

### **3.6.8 Vermessung der DVT-Datensätze zur Ermittlung des FoV3**

Die bereits zur Ermittlung des FoV1 und FoV2 vermessene Sehnenlänge P sowie die Positionen des roten und blauen Cursors zur cranialen und dorsalen Begrenzung wurde zur Berechnung des FoV3 übernommen. Sofern sich der Wirbelkörper C4 bereits vollständig cranial des Menton und ventral des blauen Cursors befand, wurde er bereits vom bereits ermittelten FoV1 abgebildet. In diesem Fall waren FoV1 und FoV3 in ihren Maßen identisch ( $FoV1 = FoV3$ ). Erstreckte sich der Wirbelkörper C4 nach kaudal über Menton hinaus (Abbildung 24), ergab sich die Höhe H3 aus der linearen Abstandsmessung von C4 zum roten Cursor (Abbildung 25). Die blaue Orientierungslinie musste durch Parallelverschiebung nach dorsal korrigiert werden, bis der Wirbelkörper vollständig ventral dieser Linie lag. Die Sehnenkrechte S3 ergab sich aus dem linearen Abstand von Inzisivus superius (alternativ Pogonion) zum blauen Cursor (Abbildung 25).

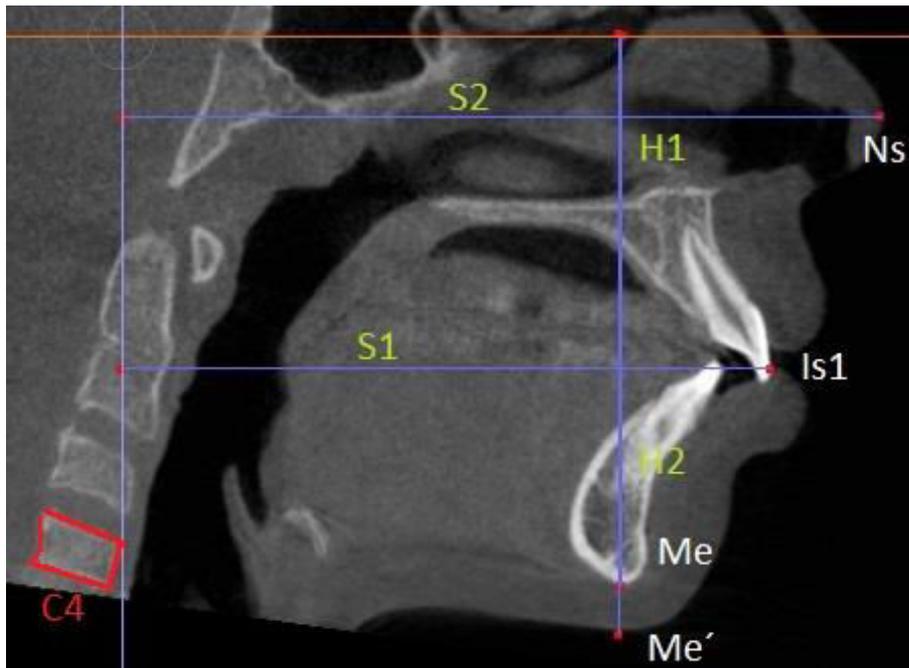


Abb. 24: Median-Sagittal-Schnitt mit C4 kaudal von Me und dorsal des blauen Cursors.

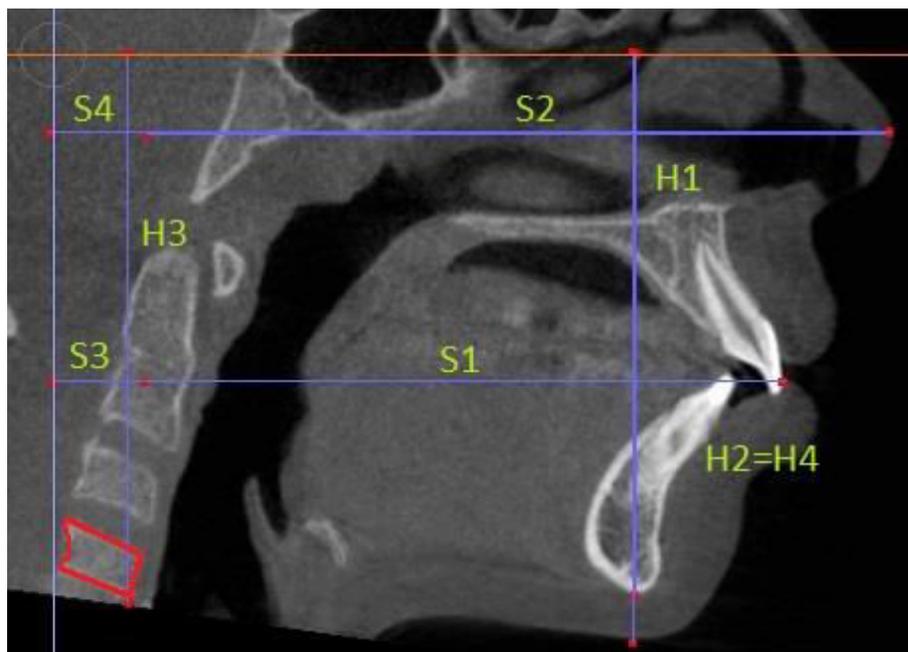


Abb. 25: Median-Sagittal-Schnitt mit Dorsalkorrektur des blauen Cursors und beispielhaft allen Messstrecken der Sichtfelder 1-4.

### 3.6.9 Berechnung des Aufnahmezylinders zur Ermittlung des FoV3

Erstreckt sich der Wirbelkörper C4 weder nach kaudal über Menton hinaus, noch dorsal über die blaue Orientierungslinie, wird er bereits vollständig vom FoV1 erfasst und die dort errechneten Zylinderwerte werden übernommen ( $FoV3 = FoV1$ ).

Andernfalls werden die Werte für H3 und S3 durch lineare Abstandsmessung ermittelt. Während H3 direkt die Höhe des erforderlichen Aufnahmevolumens beschreibt, gelangt man erst durch Analyse der Sehnensenkrechten S3 zum Durchmesser D3. Ist S3 klei-

ner als der Durchmesser D1 des FoV1, befindet sich der Wirbelkörper C4 im bereits ermittelten FoV1, da Porion projektionsmäßig in der Verlängerung der zentral gelegenen Halswirbelsäule liegt. Des Weiteren endet das Aufnahmevolumen nicht an der Porionverbindungsline, sondern die Kreisbahn spannt gerade in der für C4 relevanten Median-Sagittal-Ebene eine geräumige Krümmung auf (Abbildung 26). Der Durchmesser D3 des FoV3 entspricht demnach dem Durchmesser D1 des FoV1 ( $D3 = D1$ ).

Ergibt die Messung der Sehnenkrechten S3 einen größeren Wert als D1, ist S3 identisch dem Durchmesser D3 des erforderlichen FoV ( $D3 = S3$ ) (Abbildung 26). Eine Berechnung entfällt.

Für jeden der 500 untersuchten Patienten unter 18 Jahren ergibt sich ein individuelles, zylindrisches FoV3 aus Höhe und Durchmesser ( $H3 \times D3$ ), deren Werte vom FoV1 übertragen oder separat vermessen wurden.

#### **3.6.10 Justierung der DVT-Datensätze zur Ermittlung des FoV4**

Die Ausrichtung des Schädels erfolgt analog zum FoV1 in allen drei Ebenen (siehe Kap. 3.6.1) und garantiert standardisierte Messvoraussetzungen.

#### **3.6.11 Vermessung der DVT-Datensätze zur Ermittlung des FoV4**

Zur Berechnung des FoV4 wurde die eingangs vermessene Sehnenlänge P herangezogen. Auch die Position der roten und blauen Begrenzungslinie wurde zunächst aus der Analyse des FoV 1 und FoV2 übernommen. In Anlehnung zum FoV3 war das FoV4 identisch mit dem FoV2 dieses Patienten ( $FoV2 = FoV4$ ), wenn sich der Wirbelkörper C4 vollumfänglich cranial des Hautmenton und ventral des blauen Cursors befand. Ragte C4 nach kaudal über das Hautmenton hinaus, wurde der lineare Abstand von C4 zum roten Cursor gemessen. Dieser Wert beschrieb die Höhe H4 des erforderlichen Aufnahmevolumens. War zur Ermittlung des FoV3 eine Dorsalkorrektur des blauen Cursors erforderlich, erfolgte diese bereits vor der Vermessung von S3. Da auch lineare Vermessungen minimale Abweichungen aufweisen können, wurde die Sehnenkrechte S4 als Abstand der Nasenspitze zum blauen Cursor anhand bekannter Werte errechnet (Abbildung 25).

Hierzu wurde der Zuwachs von S3 gegenüber S1 zu S2 addiert:  $S4 = (S3 - S1) + S2$ .

#### **3.6.12 Berechnung des Aufnahmezylinders zur Ermittlung des FoV4**

Erstreckte sich der Wirbelkörper C4 weder nach kaudal über Hautmenton hinaus, noch dorsal über die blaue Orientierungslinie, wurde er bereits vollständig vom FoV2 erfasst

und die dort errechneten Zylinderwerte konnten übernommen werden ( $FoV4 = FoV2$ ). Andernfalls wurde die Höhe  $H4$  direkt gemessen und  $S4$  errechnet (s. Kap. 3.6.3). Analog zu  $D3$  ergaben diese analytischen Abwägungen den erforderlichen Durchmesser  $D4$ . War  $S4$  kleiner als der Durchmesser  $D2$ , befand sich der Wirbelkörper  $C4$  im bereits ermittelten  $FoV2$  mit dem Durchmesser  $D2$  ( $D4 = D2$ ), da Porion projektionstreu in der Verlängerung der zentral verlaufenden Halswirbelsäule lag. In der für  $C4$  relevanten Median-Sagittal-Ebene spannte die Kreisbahn des Aufnahmevolumens darüber hinaus eine geräumige Krümmung auf. Diese endete nicht an der Porionverbindungsline (Abbildung 26). Überstieg der Messwert von  $S4$  den Durchmesser  $D2$ , war  $S4$  identisch dem Durchmesser  $D4$  des erforderlichen  $FoV4$  ( $D4 = S4$ ) und eine erneute Berechnung entfiel (Abbildung 26).

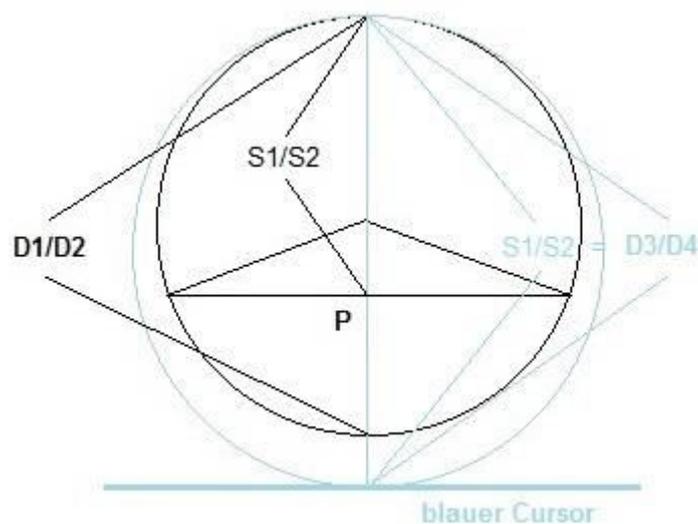


Abb. 26: Schema zur Durchmesseranalyse von  $FoV3$  und  $FoV4$ , wenn die Sehnensenkrechten  $S3/S4$  größer sind als die Durchmesser  $D1/D2$ .

Für jeden der 500 untersuchten Patienten unter 18 Jahren ergibt sich ein individuelles, zylindrisches  $FoV4$  aus Höhe und Durchmesser ( $H4 \times D4$ ), deren Werte vom  $FoV2$  übertragen oder separat vermessen wurden.

### 3.6.13 Justierung der DVT-Datensätze zur Ermittlung des $FoV5$

Der geöffnete Datensatz des Patienten wurde in der coronalen und axialen Ebene im „Section View“ wie in Kapitel 3.6.1 beschrieben ausgerichtet. Zur Analyse der Gebissregion wurde der Schädel in der Sagittalebene auf die individuelle Okklusionsebene des Patienten ausgerichtet. Um Überlagerungen der Gegenseite zu vermeiden, wurde der Kopf in der Frontalansicht durch „Clipping“ halbiert und danach seitlich betrachtet (Abbildung 27). Eine gedachte Linie durch den am weitesten mesial und distal liegenden

Kontaktpunkt der Antagonisten im Seitenzahnbereich wurde waagrecht justiert (Abbildung 28). Markiert durch den „3D Landmarkpoint“ wurden die Transversalwerte durch Rotation angeglichen, was sich zumeist in einer Reklination des Schädelmodells äußerte (Abbildung 28).

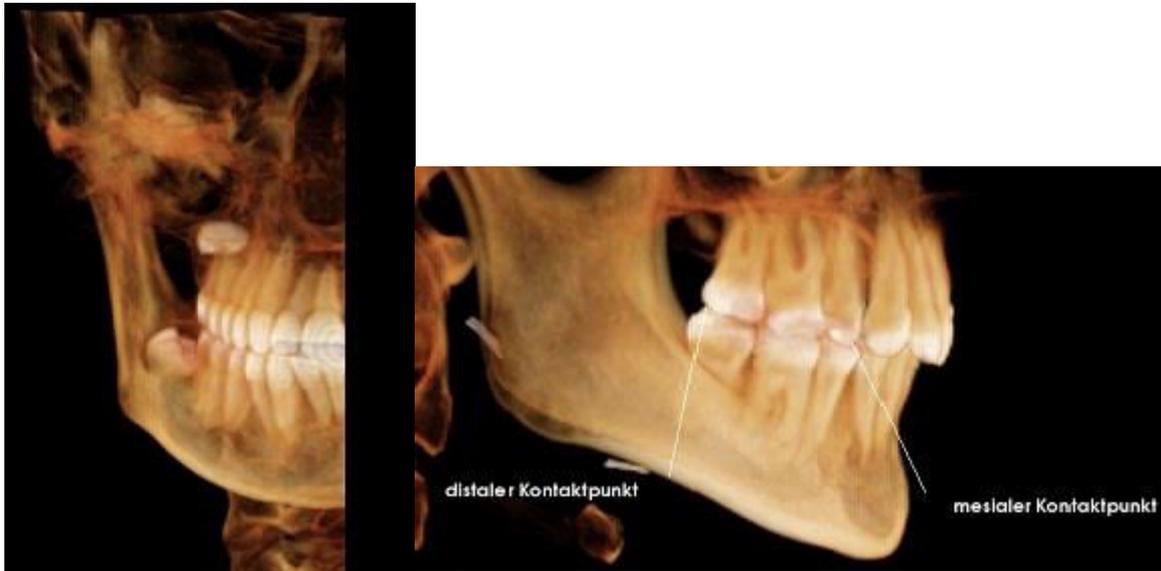


Abb. 27: Median-sagittales „Clipping“ (links) und Markierung antagonistischer Seitenzahnkontakte im bleibenden Gebiss (rechts).



Abb. 28: Markierung der Okklusionsebene im Wechselgebiss (links) und Justierung in die Waagrechte (rechts).

### 3.6.14 Vermessung der DVT-Datensätze zur Ermittlung des FoV5

Die „Section view“ ermöglichte die lineare Messung der Höhe. Durch Navigation in der Sagittalansicht wurde der rote Cursor auf Höhe des am weitesten kranial befindlichen Zahnkeimes bzw. der höchsten Wurzelspitze positioniert. Diese Position wurde in der Coronalansicht durch Anlegen der Hilfstangente Höhe (HT H) fixiert. Die kaudalste Zahnkomponente in der seitlichen Ansicht ermöglichte eine Streckenmessung senkrecht zu den beiden Parallelen in der coronalen Ansicht und ergab die Höhe des Zylinders H5.

Analog dazu wurde in der Coronalebene die am weitesten lateral befindliche Zahnstruktur ipsilateral mit dem grünen Cursor gesucht und in der Axialen mit der Hilfstangente Breite (HTB) fixiert. Die Navigation zur zentrifugalsten Zahnstruktur der kontralateralen Seite mithilfe des grünen Cursors erlaubte das rechtwinklige Messen des Abstandes der Parallelen in der Axialen zur Ermittlung der Sehnenlänge P5 (Abbildung Kap. 3.4).

Auch die Sehnen senkrecht S5 wurden unter Zuhilfenahme einer Tangente vermessen. Die Hilfstangente Tiefe (HT T) markierte in der Axialen den am weitesten dorsal gelegenen Zahnbestandteil, der zuvor mit dem blauen Cursor in der Sagittalansicht identifiziert wurde. Nach Parallelverschiebung des Cursors nach ventral zum anteriorsten Inzisivus war die Messung der Strecke S5 möglich.

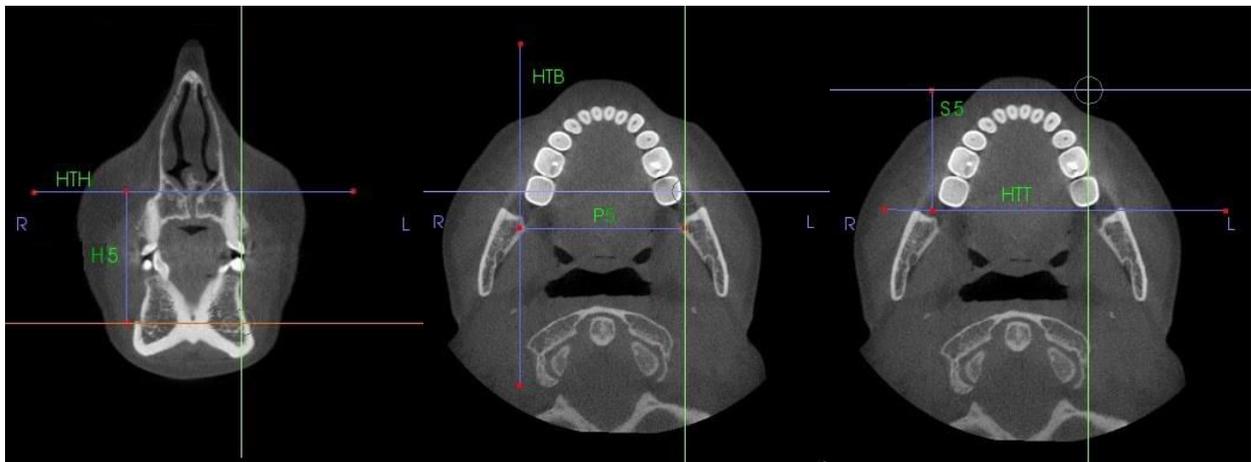


Abb. 29: Darstellung der Hilfstangenten HTH (links), HTB (Mitte) und HTT (rechts) zur linearen Messung der Strecken H5 (links), P5 (Mitte) und S5 (rechts).

### 3.6.15 Berechnung des Aufnahmezylinders zur Ermittlung des FoV5

Waren die drei Messwerte P5, H5 und S5 ermittelt, konnte das Sichtfeld zur Erfassbarkeit der Dentition nach dem in Kapitel 3.4 beschriebenen Schema berechnet werden.

P5 und S5 wurden in die Gleichung  $D = 2\left(\frac{P^2}{8S} + \frac{S}{2}\right)$  eingesetzt und so der erforderliche Durchmesser D5 für das FoV5 ermittelt.

Für jeden der 1000 untersuchten Patienten ergab sich ein individuelles, zylindrisches Sichtfeld mit der gemessenen Höhe H5 und dem aus P5 und S5 errechneten Durchmesser D5.

Alle Messwerte und Berechnungen werden mit Hilfe von Microsoft Excel 2010 erfasst und organisiert. Aufgrund von Messfehlern mussten 5 der 1000 Patienten von der statistischen Auswertung ausgeschlossen werden.

### 3.7 Statistische Auswertung

Die vorliegende Untersuchung ist eine retrospektive Beobachtungsstudie. Es kamen deskriptive, explorative und inferenzstatistische Verfahren zum Einsatz.

Zur Beschreibung der Daten wurden für die gesamte Stichprobe und die vier Untergruppen die Mittelwerte, Standardabweichungen und Maxima der fünf Sichtfelder berechnet. Da es sich um verhältnisskalierte Daten handelte, die in der Einheit Zentimeter angegeben wurden, waren damit die parametrischen Berechnungen der statistischen Kennwerte möglich. Die jeweiligen Mittelwerte gaben Aufschluss über den durchschnittlichen Wert (Höhe oder Durchmesser) eines Field of View. Die Standardabweichung gab ein Maß für die Streuung der Messwerte um den Mittelwert. Die Visualisierung mit Hilfe von Histogrammen ermöglichte die Überprüfung der Symmetrie und Normalverteilung der erforderlichen Höhen und Durchmesser.

Da davon auszugehen war, dass zwischen den 4 Untergruppen Unterschiede in den einzelnen Merkmalen bestehen, wurden diese für jede Untergruppe berechnet und miteinander verglichen. Für diese inferenzstatistischen Verfahren, die allesamt Unterschiedshypothesen prüften, wurden die univariate Varianzanalyse sowie der T-Test für unabhängige Stichproben eingesetzt. Beide Verfahren sind parametrisch und erfordern daher bestimmte Voraussetzungen, wie kardinales Messniveau der abhängigen Variablen (Höhe und Durchmesser), normalverteilte Residuen und Varianzhomogenität. Bis auf einige Ausnahmen bezüglich der Varianzhomogenität waren alle Voraussetzungen erfüllt. Beim T-Test für unabhängige Stichproben wurde die Varianzhomogenität zwischen den Gruppen mit dem Levene-Test geprüft. Sofern dieser signifikant war kam eine Adjustierung des T-Tests, der sogenannte Welch-Test, zum Einsatz. Für die Hypothesen, die einer Varianzanalyse unterzogen wurden, kamen post hoc multiple Paarvergleiche zur Prüfung etwaiger Differenzen zwischen den Untergruppen zur Verwen-

dung. Bei den Varianzanalysen stellten das Geschlecht und die Altersgruppen die unabhängigen Variablen, in der Varianzanalyse als Faktoren bezeichnet, dar. Diese wurden jeweils zweifach gestuft ausgewertet. Es handelt sich daher bei den Auswertungen um ein 2x2 vollständiges faktorielles Design bzw. eine zweifaktorielle Varianzanalyse. Höhe und Durchmesser stehen für die abhängigen Variablen. Neben den Haupteffekten Geschlecht und Altersgruppe wurde auch die Interaktion Geschlecht x Altersgruppe untersucht und modelliert. Ergab sich eine Signifikanz, sagte diese aus, dass die Unterschiede zwischen den Geschlechtern abhängig von der Altersgruppe oder dass die Unterschiede zwischen den Altersgruppen vom Geschlecht abhängig waren.

Für die verschiedenen Tests wurde a priori ein alpha-Fehler Niveau von 5% festgelegt. Dieser entsprach der allgemeinen methodischen Konvention. Dieses Signifikanzniveau quantifizierte die Irrtumswahrscheinlichkeit eine postulierte Alternativhypothese anzunehmen, obwohl in Wahrheit die Nullhypothese gilt. In der vorliegenden Untersuchung stand die Nullhypothese dafür, dass keine Unterschiede zwischen den untersuchten Gruppen bestehen. Die empirisch ermittelte Irrtumswahrscheinlichkeit wurde durch den p-Wert ausgedrückt, wobei ein p-Wert von  $p > 0.05$  für ein nicht signifikantes Ergebnis sprach, Werte von  $p \leq 0.05$  spiegelten ein signifikantes Ergebnis wieder. Da insgesamt fünf verschiedene Fields of View untersucht wurden, war es unumgänglich, multiple Tests durchzuführen. Beim multiplen Testen kommt es zur Alpha-Fehler-Kumulierung, das heißt, dass das zuvor besprochene Signifikanzniveau nicht mehr beibehalten werden kann. Um dieser Problematik methodisch zu begegnen, wurde das Signifikanzniveau a priori nach der Bonferroni-Methode adjustiert. Das neue adjustierte alpha-Niveau ergab sich dadurch, dass das ursprüngliche alpha-Niveau von 5% ( $=0.05$ ) durch die Anzahl der Testblöcke dividiert wurde. Da insgesamt fünf Aufnahmevolumen zu überprüfen waren, ergab sich ein adjustiertes alpha-Niveau von  $0.05/5=0.01$ . Die Konfidenzintervalle wurden dementsprechend angepasst. Zur Lösung dieser Problematik bei multiplen Paarvergleichen kam die Anpassung für Mehrfachvergleiche nach Sidak zum Einsatz. Diese adjustiert die p-Werte und Konfidenzintervalle entsprechend.

Die Hypothesen 1, 2 und 5 wurden varianzanalytisch mit post hoc Paarvergleichen ausgewertet, die Hypothesen 3 und 4 wurden mit dem T-Test bzw. Welch-Test für unabhängige Stichproben geprüft. Nach dem Vergleich der Untergruppen standen die klinisch relevanten Maximalwerte der Sichtfelder im Fokus. Das Maximum spiegelte dabei den größten Wert des jeweiligen Aufnahmevolumens in seiner Ausdehnung wieder und leitete zur konkreten Analyse der Hypothese über.

Für die explorativen Statistiken wurden Höhe und Durchmesser der Aufnahmevolumen in 1cm-Schritten klassifiziert und separate Häufigkeitstabellen erstellt. Da es sich bei der neu generierten Klassifikation um eine ordinalskalierte Variable handelte, wurden die Ergebnisse in Balkendiagrammen dargestellt. Aus diesen gingen der prozentuale Anteil sowie die Verteilung hervor. Abschließend wurden Tabellen erstellt, welche die Höhe und den Durchmesser eines Sichtfeldes nebeneinander stellten. So ergab sich, wie viele der Probanden mit einer bestimmten Kombination beider Merkmale vollständig erfasst werden konnten. Die Angabe erfolgte in kumulierten relativen Häufigkeiten (in %). Diese Tabellen gaben einen Überblick darüber, welcher Anteil der Stichprobe mit den Ausmaßen eines konkreten Field of Views erfasst werden kann. Sie haben den Anspruch, dem Kliniker und Anwender eine Orientierung bei der Auswahl der Größe des FoV zu geben und damit auch eine hohe praktische Relevanz zu gewährleisten. Im Kapitel 5.2. finden sich die erwähnten Tabellen im Abschnitt über das jeweilige Field of View.

Für die Analysen wurden MS Excel 2010 und IBM SPSS Statistics Version 21 verwendet (BORTZ 1995; BORTZ 1999; FAHRMEIR ET AL. 2011)

## 4. Ergebnisse

### 4.1 Bestimmung des Sichtfeldes zur Erfassung von Knochen-Referenzpunkten (FoV1) und Überprüfung der Hypothese 1

Zur Überprüfung der Hypothese 1 erfolgte zunächst die Vermessung aller DVT-Datensätze der 995 Patienten nach der in Kap. 3.6 beschriebenen Methode. Die DVT-Aufnahmen wurden einzeln justiert, anschließend konnten die Abstände in den so normierten Bildern ausgemessen werden. So wurden P, H1 und S1 ermittelt und aus diesen Werten der erforderliche Durchmesser für das FoV1 berechnet. Damit ergab sich für jeden der vermessenen Datensätze ein individuelles, zylindrisches Sichtfeld mit der gemessenen Höhe und dem errechneten Durchmesser.

Aus diesen Daten ergab sich ein maximales Field of View von 12,88 x 16,48 cm (Höhe x Durchmesser), um die knöchernen Referenzpunkte der kephalometrischen MESANTIS 3D-Analyse vollumfänglich zu erfassen.

Der Mittelwert der Höhe des erforderlichen Field of View lag bei 9,62 cm mit einer Standardabweichung von 0,88 cm. Der mittlere Durchmesser des Field of View betrug 14,22 cm mit einer Standardabweichung 0,70 cm. Die ermittelten Höhen und Durchmesser bei den untersuchten Patienten folgten annähernd einer Gaußschen Glockenkurve (Abbildung 30) und waren damit normal verteilt.

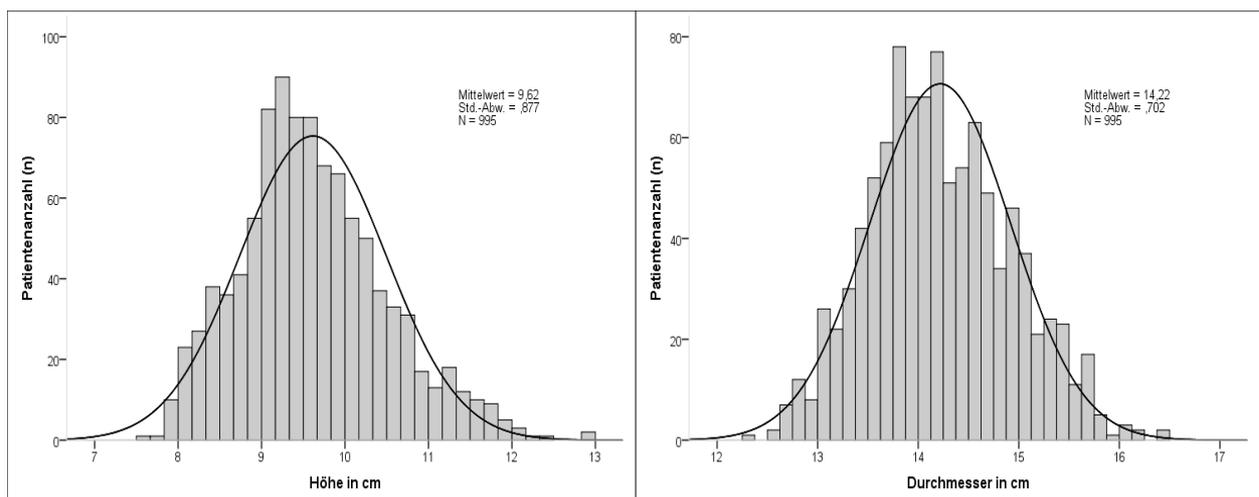


Abb. 30: Verteilungskurven für die erforderliche Höhe und den erforderlichen Durchmesser eines FoV, um die knöchernen Referenzpunkte der Patienten vollständig abzubilden.

Die differenzierte Auswertung der Daten nach Geschlecht und Alter in insgesamt vier Untergruppen ergab, dass die zur Erfassung sämtlicher knöcherner Referenzpunkte gemessenen Höhen und Durchmesser des Field of View zwischen den Vergleichsgrup-

pe unterschiedlich waren. Bei männlichen Patienten waren die Werte höher als bei Weiblichen. Ebenso war für die vollständige Erfassung der knöchernen Referenzpunkte bei Patienten der Altersgruppe 2 (19 bis 75 Jahre) ein größeres Field of View erforderlich als bei Patienten der Altersgruppe 1 (5 bis 18 Jahre). Die einzelnen Werte sind der Tabelle 4 zu entnehmen.

Tabelle 4: Mittelwerte und Standardabweichungen des erforderlichen FoV zur vollständigen Erfassung kephalometrischer Knochenreferenzpunkte für die MESANTIS 3D-Analyse. Die Werte für die Höhe und den Durchmesser sind jeweils in cm angegeben.

		Höhe (cm)		Durchmesser (cm)	
Alter	Geschlecht	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
<b>Altersgruppe 1+2 (5-75 Jahre)</b>	♂ und ♀	9,62	0,88	14,22	0,70
<b>Altersgruppe 1 (5-18 Jahre)</b>	♂	9,27	0,75	14,23	0,66
	♀	9,19	0,67	13,94	0,57
<b>Altersgruppe 2 (19-75 Jahre)</b>	♂	10,53	0,77	14,86	0,61
	♀	9,48	0,57	13,83	0,45

Die Unterschiede bezüglich der Höhe und des Durchmessers der FoVs der jeweiligen Patientengruppen wurden mittels Varianzanalyse geprüft und mithilfe der errechneten Signifikanzen statistisch abgesichert.

Hinsichtlich der Höhe des erforderlichen FoVs bestanden signifikante Unterschiede ( $p < 0,001$ ) zwischen den Vergleichsgruppen. Sie war bei beiden Geschlechtern in der Altersgruppe 2 signifikant größer als in der Altersgruppe 1. Zwischen männlichen und weiblichen Patienten der Altersgruppe 1 bestand kein signifikanter Unterschied (Differenz 0,08 cm,  $p = 0,204$ ) hinsichtlich der Höhe. In der Altersgruppe 2 wiesen die Männer einen signifikant höheren Wert auf, die Differenz betrug 1,05 cm mit  $p < 0,001$ .

Hinsichtlich des Durchmessers des erforderlichen FoV konnten signifikante Unterschiede ( $p < 0,001$ ) zwischen den Geschlechtern in beiden Altersgruppen nachgewiesen werden. Der erforderliche Durchmesser war für Männer signifikant größer als für Frauen. In der Altersgruppe 1 betrug die Differenz von Männern zu Frauen 0,29 cm, in der Altersgruppe 2 1,03 cm. Zusätzlich war für die männlichen Patienten der Altersgruppe 2 ein signifikant größerer Durchmesser zur Erfassung der knöchernen Referenzpunkte erforderlich als bei der Altersgruppe 1 ( $p < 0,001$ ) mit einer Differenz von 0,63 cm. Beim weiblichen Geschlecht ergab sich kein signifikanter

Unterschied zwischen den beiden Altersgruppen (Differenz 0,11 cm,  $p= 0,039$ ). Die Tabelle 5 stellt die Unterschiede im Einzelnen dar.

Tabelle 5: Tabellarische Darstellung der signifikanten Unterschiede bezüglich Höhe und Durchmesser des erforderlichen FoV für die MESANTIS 3D-Analyse zwischen den Geschlechtern und den Altersgruppen.

Höhe des FoV1	Signifikanz	Durchmesser des FoV1	Signifikanz
♂ AG 1 < ♂ AG 2	$p < 0,001$	♂ AG 1 < ♂ AG 2	$p < 0,001$
♂ AG 1 = ♀ AG 1	$p = 0,204$	♂ AG 1 > ♀ AG 1	$p < 0,001$
♀ AG 1 < ♀ AG 2	$p < 0,001$	♀ AG 1 = ♀ AG 2	$p = 0,039$
♂ AG 2 > ♀ AG 2	$p < 0,001$	♂ AG 2 > ♀ AG 2	$p < 0,001$

Die Maximalwerte wurden analog zu den Mittelwerten in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht für die vier Untergruppen ermittelt. Diese Maximalwerte wurden zur Konfiguration des Sichtfeldes des DVT-Gerätes benötigt, da dieses für die Vermessung aller Patienten ausgelegt sein musste. Der Vergleich der Maximalwerte zeigte, dass in beiden Altersgruppen für die Männer ein größeres Sichtfeld benötigt wurde als für die Frauen. Während in der Altersgruppe 1 nur geringe Unterschiede bestanden, gab es deutliche Differenzen in der Altersgruppe 2. Hier variierte der Durchmesser um etwa 1,5 cm und die Höhe um etwa 2 cm. Alle DVT-Datensätze konnten mit der gewählten Voreinstellung des Sichtfeldes vermessen werden, da die Maximalwerte unter diesen Werten lagen. Die detaillierten Ergebnisse sind der Tabelle 5 zu entnehmen.

Tabelle 5: Maximale Sichtfeldgrößen zur vollständigen Erfassung der knöchernen Referenzpunkte. Die Einteilung der Patienten nach Altersgruppe und Geschlecht macht deutlich, dass in der Altersgruppe 2 erhebliche Unterschiede bezüglich der maximalen Größe des Field of View bestehen.

Erforderliches FOV1 (cm)	Altersgruppe 1	Altersgruppe 2
<b>Männlich</b>	11,94 x 15,87	12,88 x 16,48
<b>Weiblich</b>	11,12 x 15,34	10,96 x 15,07

Die Hypothese 1 „Kephalometrische Knochenreferenzpunkte der MESANTIS 3D-Analyse können mit einem zylindrischen Sichtfeld von 18 x 20 cm vollständig erfasst werden“ konnte anhand der Stichprobe durch die vorliegenden Ergebnisse bestätigt werden.

#### 4.2 Bestimmung des Sichtfeldes zur Erfassung von Knochen- und Weichteil-Referenzpunkten (FoV2) und Überprüfung der Hypothese 2

Die Hypothese 2 besagt, dass das in der vorliegenden Arbeit zur Erfassung der Knochen-Referenzpunkte gewählte Sichtfeld FoV1 auch zur Abbildung der kephalometrischen Knochen- und Weichteil-Referenzpunkte zur MESANTIS 3D-Analyse enthält. Die erforderlichen Sichtfelder wurden erneut nach der in Kap. 3.6. beschriebenen Methode vermessen. Die Referenzpunkte der 995 kieferorthopädischen Patienten konnten mit einem FoV von 14,06 x 18,55 cm (Höhe x Durchmesser) vollständig erfasst werden.

Die mittlere Höhe des Field of View betrug 10,41 cm mit einer Standardabweichung von 0,95 cm. Der Durchmesser wies einen Mittelwert von 15,97 cm und eine Standardabweichung von 0,85 cm auf. Die erforderlichen Höhen und Durchmesser des Sichtfeldes verteilten sich wieder nach der Gaußschen Normalverteilung (Abbildung 31).

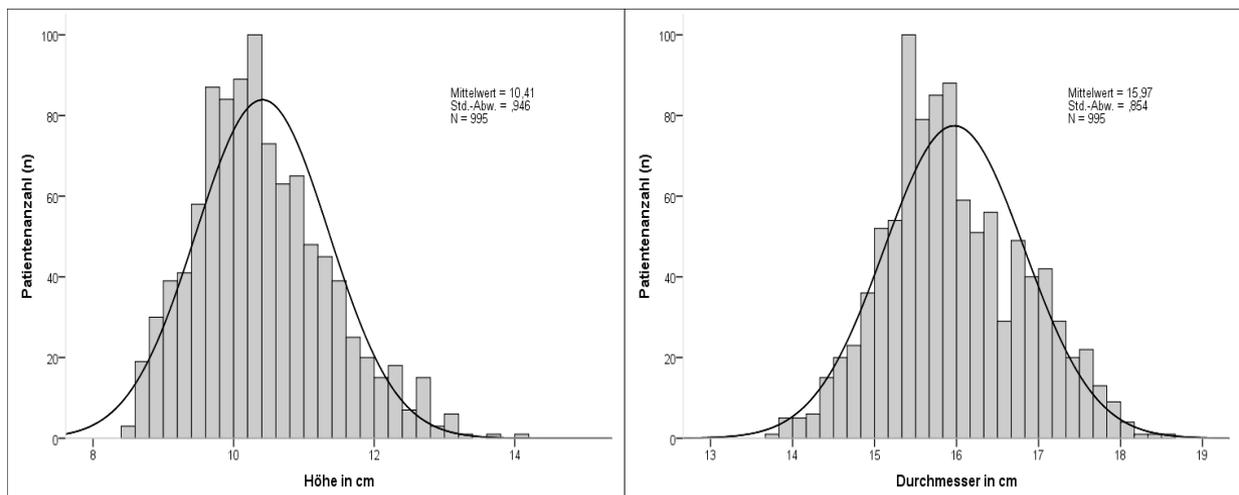


Abb. 31: Verteilungskurven für die erforderliche Höhe und den erforderlichen Durchmesser eines FoV, um die Knochen- und Weichgewebe-Referenzpunkte der untersuchten Patienten darzustellen.

Die Patienten wurden in Abhängigkeit von Geschlecht und Alter in vier Untergruppen aufgeteilt. Ein Vergleich der Mittelwerte der Untergruppen miteinander zeigte auch hier, dass zur vollständigen Erfassung der relevanten Knochen- und Weichgewebsreferenzpunkte beim männlichen Geschlecht in beiden Altersgruppen ein größeres Field of View erforderlich war als beim weiblichen Geschlecht. Zur Abbildung sämtlicher Knochen- und Weichgewebsreferenzpunkte zur MESANTIS 3D-Analyse bei Patienten der Altersgruppe 2 (19 bis 75 Jahre) war ein größeres Sichtfeld notwendig als bei Patienten der Altersgruppe 1 (5 bis 18 Jahre). Die Tabelle 6 führt die einzelnen Werte auf.

Tabelle 6: Mittelwerte und Standardabweichungen des erforderlichen FoV zur vollständigen Erfassung kephalometrischer Knochen- und Weichgewebs-Referenzpunkte für die MESANTIS 3D-Analyse. Die Werte für die Höhe und den Durchmesser sind jeweils in cm angegeben.

		Höhe (cm)		Durchmesser (cm)	
Alter	Geschlecht	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
<b>Altersgruppe 1+2 (5-75 Jahre)</b>	♂ und ♀	10,41	0,95	15,97	0,85
<b>Altersgruppe 1 (5-18 Jahre)</b>	♂	10,04	0,79	15,75	0,79
	♀	9,92	0,68	15,47	0,61
<b>Altersgruppe 2 (19-75 Jahre)</b>	♂	11,47	0,79	16,90	0,67
	♀	10,20	0,56	15,76	0,49

Mit der Varianzanalyse wurde geprüft, ob signifikante Unterschiede hinsichtlich Höhe und Durchmesser des Field of View zwischen den Patientengruppen bestanden.

Bezogen auf die Höhe des FoV bestanden signifikante Unterschiede zwischen den Altersgruppen. Für Patienten der Altersgruppe 2 war im Vergleich zu Patienten der Altersgruppe 1 eine signifikant größere Höhe erforderlich (Differenz ♂ 1,43 cm, Differenz ♀ 0,28 cm,  $p < 0,001$ ). Innerhalb der Altersgruppe 1 bestanden keine signifikanten geschlechtsspezifischen Unterschiede in der Höhe des FoV (Differenz 0,12 cm,  $p = 0,06$ ). In der Altersgruppe 2 war für die Männer eine signifikant größere Höhe des FoV erforderlich als für die Frauen (Differenz 1,27 cm,  $p < 0,001$ ).

Bezogen auf den Durchmesser des FoV zeigten sich signifikante Unterschiede sowohl zwischen den Geschlechtern als auch zwischen den Altersgruppen ( $p < 0,001$ ). Das männliche Geschlecht erforderte in beiden Altersgruppen einen größeren Durchmesser des FoV als das weibliche Geschlecht (Differenz AG1 0,28 cm, Differenz AG2 1,14cm). Ein signifikanter Anstieg des Durchmessers war von Patienten der Altersgruppe 1 zu Patienten der Altersgruppe 2 bei beiden Geschlechtern zu verzeichnen (Differenz ♂ 1,15 cm, Differenz ♀ 0,29 cm,  $p < 0,001$ ). Der Vergleich der Untergruppen wird in Tabelle 6 übersichtlich dargestellt.

Tabelle 7: Tabellarische Darstellung der signifikanten Unterschiede bezüglich Höhe und Durchmesser des erforderlichen FoV für die MESANTIS 3D-Analyse zwischen den Geschlechtern und den Altersgruppen.

Höhe des FoV2	Signifikanz	Durchmesser des FoV2	Signifikanz
♂ AG 1 < ♂ AG 2	p< 0,001	♂ AG 1 < ♂ AG 2	p< 0,001
♂ AG 1 = ♀ AG 1	p= 0,06	♂ AG 1 > ♀ AG 1	p< 0,001
♀ AG 1 < ♀ AG 2	p< 0,001	♀ AG 1 < ♀ AG 2	p< 0,001
♂ AG 2 > ♀ AG 2	p< 0,001	♂ AG 2 > ♀ AG 2	p< 0,001

Da ein DVT und das zur Verfügung stehende FoV für für alle Patienten ausgelegt sein sollte, wurde bei der weiteren Auswertung der Fokus auf die Maximalwerte des erforderlichen FoV gelegt. Nach der Unterteilung in vier Gruppen, abhängig von Alter und Geschlecht, wurden die maximal erforderlichen Abmessungen der Sichtfelder ermittelt und analysiert.

Für Männer war in beiden Altersgruppen ein größeres Field of View erforderlich als für Frauen. In der Altersgruppe 1 waren die Differenzen bezüglich des erforderlichen FoV zwischen den Geschlechtern gering. Die Altersgruppe 2 hingegen wies größere Unterschiede zwischen den Geschlechtern auf. Die Differenzen in der Höhe betragen hier etwa 2,5 cm und im Durchmesser etwa 1 cm. Die detaillierten Ergebnisse sind der Tabelle 8 zu entnehmen.

Tabelle 8: Erforderliche Sichtfeldgrößen zur vollständigen Erfassung der Knochen- und Weichteil-Referenzpunkte. Die Einteilung der Patienten nach Altersgruppe und Geschlecht macht deutlich, dass in der Altersgruppe 2 erhebliche Unterschiede bezüglich der maximal erforderlichen Größe des Field of View bestehen.

Erforderliches FOV2 (cm)	Altersgruppe 1	Altersgruppe 2
<b>Männlich</b>	12,73 x 17,54	14,06 x 18,55
<b>Weiblich</b>	11,81 x 17,18	11,63 x 17,46

Die Hypothese 2 „Mit einem zylindrischen Sichtfeld von 18 x 20 cm können sowohl die kephalometrischen Knochen- als auch Weichgewebs-Referenzpunkte kieferorthopädischer Patienten zur Mesantis 3D-Analyse erfasst werden“ wurde anhand der Ergebnisse der Stichprobe bestätigt.

#### 4.3 Bestimmung des Sichtfeldes zur Erfassung von Knochen-Referenzpunkten sowie des Corpus C4 (FoV3) und Überprüfung der Hypothese 3

Zur Überprüfung der Hypothese 3 sollte das Sichtfeld ermittelt werden, das die kephalometrischen Knochen-Referenzpunkte und den Corpus des 4. Halswirbels der Patienten der Altersgruppe 1 (5-18 Jahre) abbildet. Die Anzahl der untersuchten kieferorthopädischen Patienten in dieser Altersgruppe betrug 498. Die vollumfängliche Abbildung

der gewünschten anatomischen Strukturen erforderte ein maximales Field of View von 12,60 x 15,87 cm (Höhe x Durchmesser). Die Höhe wies dabei einen Mittelwert von 10,15 cm und eine Standardabweichung von 0,82 cm auf. Der mittlere Durchmesser des Sichtfeldes betrug 14,08 cm mit einer Standardabweichung von 0,63 cm.

Abbildung 32 zeigt die annähernd normale Verteilung der erforderlichen Höhen und Durchmesser des Field of View unter den Patienten.

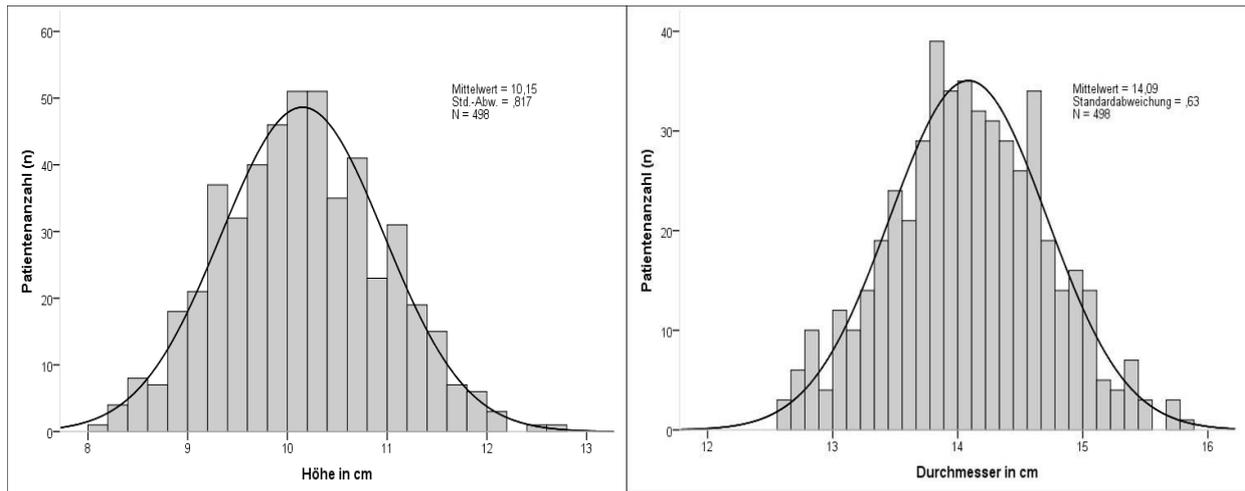


Abb. 32: Verteilung der erforderlichen Höhen und Durchmesser des Sichtfeldes innerhalb des Patientenguts.

Durch die Differenzierung nach dem Geschlecht entstanden zwei Untergruppen. Ein Vergleich der Mittelwerte von Höhe und Durchmesser zeigte nur minimale Unterschiede zwischen den Geschlechtern. Die Höhe der Sichtfelder bei Jungen und Mädchen war nahezu identisch. Lediglich der Durchmesser des Field of View war bei den Jungen um 0,3 cm größer als bei den Mädchen. Die genauen Werte sind der Tabelle 9 zu entnehmen.

Tabelle 9: Mittelwerte und Standardabweichungen des erforderlichen FoV zur vollständigen Erfassung kephalometrischer Knochen-Referenzpunkte und dem Corpus des 4. Halswirbels für die MESANTIS 3D-Analyse. Die Werte für die Höhe und den Durchmesser sind jeweils in cm angegeben.

		Höhe (cm)		Durchmesser (cm)	
Alter	Geschlecht	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
Altersgruppe 1 (5-18 Jahre)	♂ und ♀	10,15	0,82	14,08	0,63
	♂	10,16	0,90	14,23	0,66
	♀	10,14	0,72	13,94	0,56

Etwaige Differenzen zwischen den Mittelwerten der FoV wurden mittels T-Test auf Signifikanz geprüft. Die errechneten Werte ergaben keinen signifikanten Unterschied bezüglich der mittleren Höhe des Field of View zwischen den Geschlechtern (Differenz 0,02 cm,  $p=0,43$ ). Der mittlere Durchmesser des Sichtfeldes hingegen war bei den Jungen signifikant größer als bei den Mädchen (Differenz 0,27 cm,  $p<0,001$ ). Die Tabelle 10 veranschaulicht die Zusammenhänge.

Tabelle 10: Tabellarische Darstellung der signifikanten Unterschiede bezüglich Höhe und Durchmesser des erforderlichen FoV3 für die MESANTIS 3D-Analyse zwischen den Geschlechtern.

Höhe des FoV3	Signifikanz	Durchmesser des FoV3	Signifikanz
♂ AG 1 = ♀ AG 1	$p= 0,43$	♂ AG 1 > ♀ AG 1	$p< 0,001$

Nachfolgend wurden die Maximalwerte des FoV für die beiden Untergruppen analysiert. Die Maximalwerte bestimmen das Sichtfeld, das als Voreinstellung gewählt, die Vermessung aller Patienten in dieser Altersgruppe erlaubt.

Die vollumfängliche Aufnahme der relevanten Referenzpunkte des FoV3 erforderte bei den Jungen ein größeres Field of View als bei den Mädchen. Mit einer Differenz von etwa 0,5 cm sowohl in der Höhe als auch im Durchmesser waren die Unterschiede mäßig. Die genauen Werte zeigt die Tabelle 11.

Tabelle 11: Maximale Sichtfeldgrößen zur vollständigen Erfassung der Knochen-Referenzpunkte und dem Corpus des 4. Halswirbels. Die Einteilung der Patienten nach Geschlecht macht deutlich, dass lediglich mäßige Unterschiede bezüglich der maximalen Größe des Field of View bestehen.

Erforderliches FOV3 (cm)	Altersgruppe 1
Männlich	12,60 x 15,87
Weiblich	11,94 x 15,34

Die Ergebnisse der vorliegenden Stichprobe bestätigen die Hypothese 3 „Mit einem zylindrischen Sichtfeld von 18 x 20 cm können die kephalometrischen Knochen-Referenzpunkte und der Corpus des 4. Halswirbels bei Jugendlichen zur Mesantis 3D-Analyse erfasst werden.“

#### 4.4 Bestimmung des Sichtfeldes und Erfassung von Knochen- und Weichteil-Referenzpunkten sowie des Corpus C4 (FoV4) und Überprüfung der Hypothese 4

Die vollständige Abbildung sowohl der kephalometrischen Knochen- und Weichgewebs-Referenzpunkte zur Mesantis 3D-Analyse inklusive der Aufnahme des Corpus des 4. Halswirbels bei Patienten der Altersgruppe 1 (5-18 Jahre) innerhalb des gewählten

Sichtfeldes von 18 x 20 cm diente zur Überprüfung der Hypothese 4. Anhand der Daten von 498 jugendlichen Patienten wurde das erforderliche Sichtfeld ermittelt. Die maximale Größe des Field of View zur vollumfänglichen Abbildung der relevanten Referenzpunkte aller untersuchten Patienten betrug 12,73 x 17,54 cm (Höhe x Durchmesser). Das Sichtfeld war im Mittel 10,31 cm hoch mit einer Standardabweichung von 0,75 cm und 15,61 cm im Durchmesser mit einer Standardabweichung von 0,72 cm. Die erforderlichen Höhen und Durchmesser der untersuchten Patienten verteilten sich annähernd gemäß der Gauß-Kurve. Abbildung 33 zeigt die graphische Auswertung.

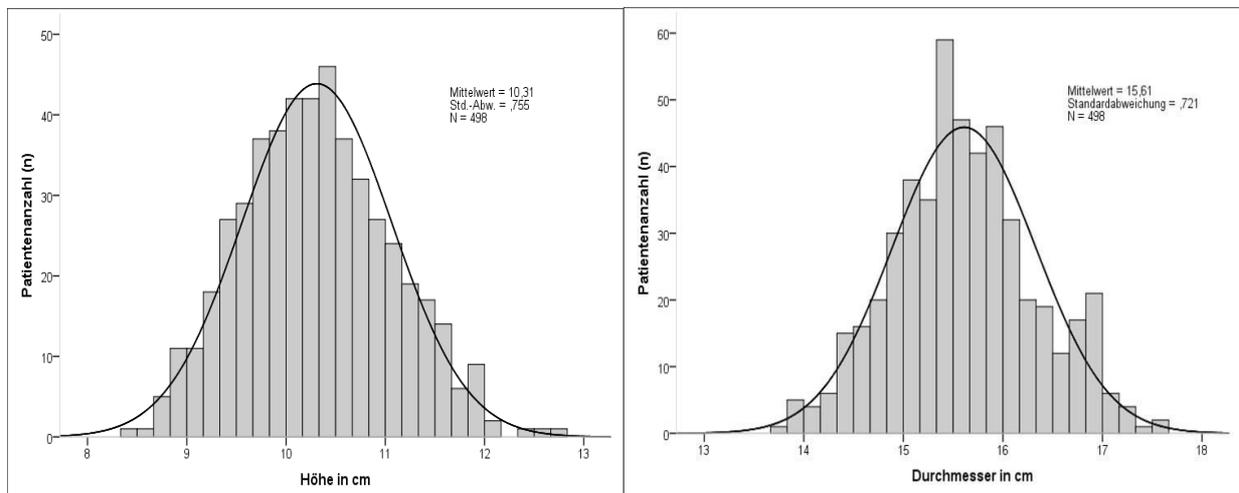


Abb. 33: Verteilungskurven für die erforderliche Höhe und den erforderlichen Durchmesser des FoV, um die relevanten anatomischen Strukturen darzustellen.

Es erfolgte eine Aufteilung der Patienten anhand ihres Geschlechts in zwei Untergruppen. Die Unterschiede der Mittelwerte des FoV bezüglich Höhe und Durchmesser waren gering. Die exakten Werte sind der Tabelle 12 zu entnehmen.

Tabelle 12: Mittelwerte und Standardabweichungen des erforderlichen FoV zur vollständigen Erfassung kephalometrischer Knochen- und Weichteil-Referenzpunkte und dem Corpus des 4. Halswirbels für die MESANTIS 3D-Analyse. Die Werte für die Höhe und den Durchmesser sind jeweils in cm angegeben.

		Höhe (cm)		Durchmesser (cm)	
Alter	Geschlecht	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
Altersgruppe 1 (5-18 Jahre)	♂ und ♀	10,31	0,75	15,61	0,72
	♂	10,34	0,83	15,75	0,79
	♀	10,28	0,68	15,47	0,62

Die Ergebnisse der Untergruppen wurden dem T-Test für Mittelwertgleichheit unterzogen. Die so ermittelten Signifikanzwerte belegten, dass bezüglich der Höhe kein signifikanter Unterschied zwischen den Geschlechtern besteht (Differenz 0,06 cm). Für den Vergleich der Mittelwerte der Höhe ergab sich ein P-Wert von 0,20. Dagegen war der mittlere Durchmesser des FoV4 bei den Jungen signifikant größer als bei den Mädchen (Differenz 0,28 cm,  $p < 0,001$ ). Eine anschauliche Darstellung erfolgt in Tabelle 13.

Tabelle 13: Tabellarische Darstellung der etwaigen Unterschiede bezüglich Höhe und Durchmesser des erforderlichen FoV für die MESANTIS 3D-Analyse zwischen den Geschlechtern.

Höhe des FoV	Signifikanz	Durchmesser des FoV	Signifikanz
♂ AG 1 = ♀ AG 1	$p = 0,20$	♂ AG 1 > ♀ AG 1	$p < 0,001$

Die Maximalwerte wurden separat für die beiden Untergruppen ermittelt. Ein Vergleich der Maximalwerte zwischen den Geschlechtern belegte, dass die maximale Höhe des Sichtfeldes der Jungen etwa 0,8 cm größer war als die der Mädchen. Gleichfalls war der maximale Durchmesser des FoV4 bei den Jungen um 0,4 cm größer als bei den Mädchen. Die Tabelle 14 führt die genauen Werte auf.

Tabelle 14: Maximale Sichtfeldgrößen zur vollständigen Erfassung der Knochen- und Weichteil-Referenzpunkte sowie dem Corpus des 4. Halswirbels. Die Einteilung der Patienten nach dem Geschlecht macht deutlich, dass Unterschiede bezüglich der maximalen Höhe und des maximalen Durchmessers des Sichtfeldes bestehen. Für Jungen ist ein größeres FoV erforderlich als für Mädchen.

Erforderliches FOV (cm)	Altersgruppe 1
Männlich	12,73 x 17,54
Weiblich	11,94 x 17,18

Damit konnte auch die Hypothese 4 „Mit einem zylindrischen Sichtfeld von 18 x 20 cm können sowohl die kephalometrischen Knochen- und Weichgewebs-Referenzpunkte als auch der Corpus des 4. Halswirbels bei Jugendlichen zur Mesantis 3D-Analyse erfasst werden“ durch die Ergebnisse der Stichprobe bestätigt werden.

#### 4.5 Bestimmung des Sichtfeldes zur Erfassung der Dentition (FoV5) und Überprüfung der Hypothese 5

Die Hypothese 5 postuliert, dass ein Sichtfeld von 10 x 20 cm zur vollumfänglichen Abbildung der Gesamtheit aller Zähne und Zahnanlagen kieferorthopädischer Patienten ausreicht. Die Dentition von 995 kieferorthopädischen Patienten wurde vermessen und konnte mit einem maximalen Field of View von 7,65 x 11,15 cm (Höhe x Durchmesser) erfasst werden.

Die Höhe des erforderlichen Sichtfeldes wies einen Mittelwert von 6,01 cm mit einer Standardabweichung von 0,52 cm auf. Der mittlere Durchmesser des FoV betrug 9,33 cm mit einer Standardabweichung 0,72 cm.

Abbildung 34 zeigt die Verteilung der erforderlichen Höhen und Durchmesser des Field of View unter den Patienten nahezu im Sinne einer Gaußschen Normalverteilung.

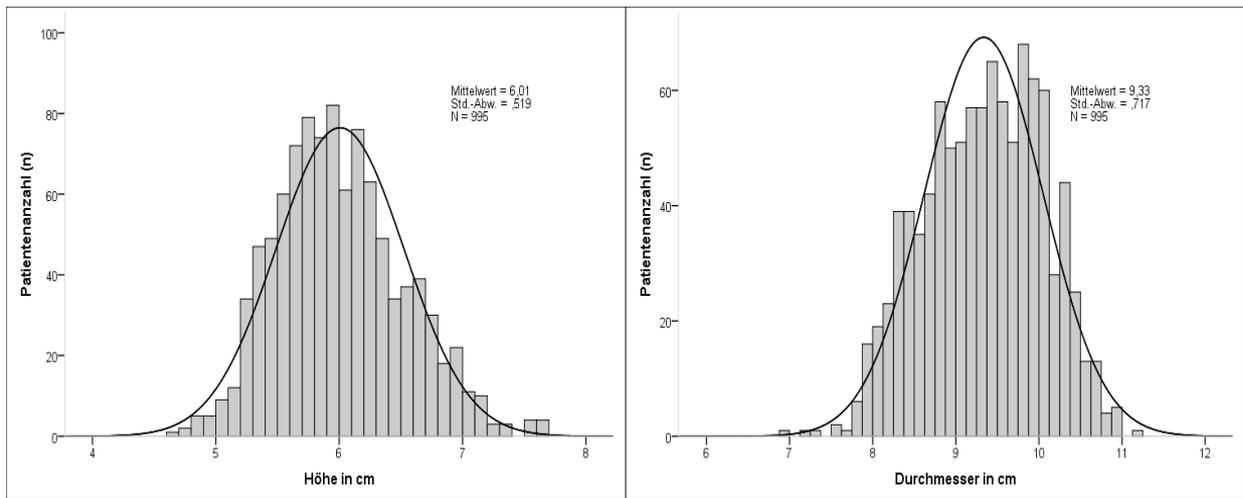


Abb. 34: Verteilung erforderlicher Höhen und Durchmesser des Sichtfeldes zur Abbildung der Dentition innerhalb des Patientenguts. Es ergab sich sowohl für die Höhe als auch für den Durchmesser eine homogene Verteilung.

Die Auswertung der kieferorthopädischen Patienten in vier Untergruppen anhand ihres Alters und Geschlechts ergab, dass zur Erfassung der Dentition bei männlichen Patienten beider Altersgruppen sowohl hinsichtlich der Höhe als auch hinsichtlich des Durchmessers ein geringfügig größeres Field of View erforderlich war als bei weiblichen Patienten. Innerhalb des männlichen Geschlechts wurde zur Abbildung aller Zahnstrukturen bei den Patienten der Altersgruppe 1 (5 bis 18 Jahre) im Mittel ein etwas größeres Sichtfeld benötigt als für die Patienten der Altersgruppe 2 (19 bis 75 Jahre). Die einzelnen Werte sind der Tabelle 15 zu entnehmen.

Tabelle 15: Mittelwerte und Standardabweichungen des erforderlichen FoV zur vollständigen Erfassung der Dentition. Die Werte für die Höhe und den Durchmesser sind jeweils in cm angegeben.

		Höhe (cm)		Durchmesser (cm)	
Alter	Geschlecht	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
<b>Altersgruppe 1+2 (5-75 Jahre)</b>	♂ und ♀	6,01	0,52	9,33	0,72
<b>Altersgruppe 1 (5-18 Jahre)</b>	♂	6,25	0,51	9,78	0,51
	♀	6,03	0,51	9,64	0,50
<b>Altersgruppe 2 (19-75 Jahre)</b>	♂	6,14	0,45	9,23	0,64
	♀	5,60	0,34	8,68	0,64

Mittels Varianzanalyse wurden die Unterschiede bezüglich der Höhe und des Durchmessers der Sichtfelder zwischen den Patientengruppen geprüft. Die errechneten Signifikanzen beschrieben die Differenzen quantitativ.

Zwischen den Altersgruppen bestanden hinsichtlich der Höhe des erforderlichen FoV signifikante Unterschiede. Die erforderliche Höhe war bei Patienten der Altersgruppe 1 signifikant größer als bei Patienten der Altersgruppe 2 (Differenz ♂ 0,11 cm, Differenz ♀ 0,43 cm,  $p < 0,001$ ). Ebenso bestanden signifikante Differenzen zwischen den Geschlechtern in beiden Altersgruppen. Sowohl in der Altersgruppe 1 als auch in der Altersgruppe 2 benötigten die Männer ein signifikant höheres Sichtfeld als die Frauen (Differenz AG1 0,22 cm, Differenz AG2 0,54 cm,  $p < 0,001$ ).

Hinsichtlich des Durchmessers des erforderlichen FoVs konnten ebenfalls signifikante Unterschiede zwischen den Altersgruppen nachgewiesen werden. Der erforderliche Durchmesser war bei Patienten beider Geschlechter in der Altersgruppe 1 signifikant größer als in der Altersgruppe 2 (Differenz ♂ 0,55 cm, Differenz ♀ 0,96 cm,  $p < 0,001$ ). Auch war der erforderliche Durchmesser in beiden Altersgruppen bei den Männern signifikant größer als bei den Frauen (Differenz AG1 0,14 cm, Differenz AG2 0,45 cm,  $p < 0,001$ ). Die Tabelle 16 stellt die Unterschiede im Einzelnen dar.

Tabelle 16: Tabellarische Darstellung der signifikanten Unterschiede bezüglich Höhe und Durchmesser des erforderlichen FoV für die Aufnahme der Dentition zwischen den Geschlechtern und den Altersgruppen.

Höhe des FoV	Signifikanz	Durchmesser des FoV	Signifikanz
♂ AG 1 > ♂ AG 2	$p < 0,001$	♂ AG 1 > ♂ AG 2	$p < 0,001$
♂ AG 1 > ♀ AG 1	$p < 0,001$	♂ AG 1 > ♀ AG 1	$p < 0,001$
♀ AG 1 > ♀ AG 2	$p < 0,001$	♀ AG 1 > ♀ AG 2	$p < 0,001$
♂ AG 2 > ♀ AG 2	$p < 0,001$	♂ AG 2 > ♀ AG 2	$p < 0,001$

Im Anschluss an die Mittelwerte wurden die Maximalwerte analysiert und verglichen. Diese wurden gleichermaßen in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht für die vier Untergruppen ermittelt. Die maximalen Field of View finden Bedeutung in der klinischen Anwendung, da eine Sichtfeldkonfiguration für möglichst alle Patienten ausgelegt sein sollte.

Der Vergleich der Maximalwerte zeigte, dass die Sichtfelder aller vier Untergruppen lediglich geringe Differenzen aufwiesen. Die größte Differenz trat bei den Frauen der Altersgruppe 2 hinsichtlich der Höhe auf. Diese war gegenüber den anderen drei Untergruppen um 1 cm reduziert. Während bezüglich des Durchmessers unter den Geschlechtern in der Altersgruppe 2 nur minimale Unterschiede bestanden, gab es mäßige Differenzen in der Altersgruppe 1. Hier war der Durchmesser des FoV bei den Jungen etwa 0,5 cm größer als bei den Mädchen.

Die detaillierten Ergebnisse sind der Tabelle 17 zu entnehmen.

Tabelle 17: Maximale Sichtfeldgrößen zur vollständigen Erfassung der Dentition. Die Einteilung der Patienten nach Alter und Geschlecht machte deutlich, dass die Frauen der Altersgruppe 2 bezogen auf die Höhe das kleinste FoV erforderten.

<b>Erforderliches FOV (cm)</b>	<b>Altersgruppe 1</b>	<b>Altersgruppe 2</b>
<b>Männlich</b>	7,63 x 11,15	7,65 x 11,00
<b>Weiblich</b>	7,64 x 10,66	6,66 x 10,72

Die Hypothese „Mit einem zylindrischen Sichtfeld von 10 x 20 cm kann die Dentition kieferorthopädischer Patienten vollständig erfasst werden“ konnte durch die Ergebnisse der Stichprobe bestätigt werden.

## 5. Diskussion

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit erlauben dem DVT-Anwender, das zur kephalometrischen Analyse anzufertigende DVT in seinem Aufnahmevolumen individuell dem Patienten anzupassen. Ein Vergleich der Ergebnisse mit anderen Studien erlaubt die Bewertung des klinischen Nutzens der vorliegenden Arbeit. Je nach medizinischer Fragestellung stehen bei der Kephalemtrie skelettale Parameter und/oder Weichgewebsstrukturen im Fokus. Des Weiteren sollten zur Einschätzung der skelettalen Reife durch die CVM-Methode bei Kindern und Jugendlichen zusätzlich die Körper der ersten vier Halswirbel abgebildet sein. Für einen kieferorthopädischen Zwischenbefund oder zur Abschätzung des zirkumdentalen Knochenangebots bei geplanter Zahnbewegung ist die Abbildung der Dentition ausreichend.

Es wurden fünf anatomische Gebiete mit Hilfe von Referenzpunkten definiert, deren Abmessungen anhand bereits vorliegender DVT-Datensätze errechnet wurden. Diese unterschiedlich großen Aufnahmevolumen dienten der:

1. Erfassung von Knochen-Referenzpunkten,
2. Erfassung von Knochen- und Weichteil-Referenzpunkten,
3. Erfassung von Knochen-Referenzpunkten und dem Corpus C4,
4. Erfassung von Knochen- und Weichteil-Referenzpunkten und dem Corpus C4 sowie der
5. Erfassung der Dentition.

### 5.1. Diskussion der Methoden

Retrospektiv wurden anonymisierte DVT-Datensätze von 1000 Patienten aus dem Langzeitarchiv des nationalen 3D-Röntgennetzwerkes MESANTIS® (Standorte: Aschaffenburg, Berlin, Hamburg, Heilbronn, Leonberg, Mayen, München und Wiesbaden) digital vermessen. Durch den umfangreichen Datenpool von ca. 15.000 DVT-Aufnahmen war es möglich, geeignete Datensätze herauszufiltern und auf ein ausgewogenes Verhältnis von Alter und Geschlecht zu achten. Für jede der ausgewerteten Untergruppen (männlich/weiblich, unter 18 Jahre/über 18 Jahre) wurden 250 Patienten ausgewählt. Die hohe Anzahl verwertbarer Aufnahmen erlaubte eine verlässliche und aussagekräftige Berechnung der Mittelwerte. Im Fokus standen jedoch die gemessenen Maximalwerte der anatomischen Regionen. Der gesuchte Maximalwert konnte durch Messfehler an nur einem Datensatz folglich entscheidend beeinflusst werden. Da zur Analyse bereits vorhandene DVT-Aufnahmen genutzt wurden, wurde kein Patient einer

zusätzlichen Strahlenbelastung ausgesetzt. Die Herausforderung in der Altersgruppe der Erwachsenen bestand hauptsächlich in der suffizienten Abbildung des Hautmenton und der Nasenspitze. Während die Position des Hautmenton zumeist durch Justierung des Patienten mittels Kinnaufgabe im DVT-Gerät verschoben war, fehlte die Nasenspitze auf vielen Aufnahmen. Zur Berechnung der Aufnahmevolumina mit Abbildung des 4. Halswirbelkörpers wurden die Datensätze der 500 Patienten der Altersgruppe 1 (unter 18 Jahre) herangezogen. War der Wirbelkörper, bedingt durch ein zu geringes Aufnahmevolumen, eine nicht geeignete Positionierung des Patienten im DVT-Gerät oder ein Schilddrüsenschutz nicht vollständig abgebildet, führt dies zum Ausschluss des Datensatzes aus der Studie. Die eingangs erfolgte Selektion geeigneter Datensätze erlaubt die Kritik, dass unter Umständen sehr große Schädel, die auf Grund unvollständiger Darstellung der Referenzpunkte ausgeschlossen wurden, nicht berücksichtigt wurden. Demzufolge könnten die berechneten maximal erforderlichen Aufnahmevolumen zu gering dimensioniert sein, um tatsächlich *alle* Patienten und nicht nur alle *untersuchten* Patienten zu erfassen.

KRAUSE (2013) berechnete das erforderliche zylindrische FoV für drei zahnmedizinisch relevante Areale ebenfalls anhand von DVT-Datensätzen. Die „dentale Region“ und die „dentale Region mit Kiefergelenk“ wurden mit Hilfe von 1020 Aufnahmen, die „dentale Region mit Kiefergelenk und oberer Halswirbelsäule“ anhand von 548 Aufnahmen analysiert. Die Größe der Stichprobe ist damit vergleichbar mit der vorliegenden Arbeit. Die Anzahl der verwertbaren Bilder führte zu aussagekräftigen Ergebnissen. Auch hier erfolgte zuvor eine Selektion der zur Vermessung geeigneten Aufnahmen. Große, nicht vollständig abgebildete Schädel wurden ebenfalls von der Untersuchung ausgeschlossen, sodass zu kleine erforderliche Aufnahmevolumina die Folge sein konnten. Die geschlechtsspezifische Aufteilung der Patienten erfolgte ebenfalls ausbalanciert. Die Verteilung der ausgewählten Patienten auf die drei Altersgruppen war inhomogen. Es wurden jeweils 400 Kinder und Erwachsenen, sowie 220 Jugendliche ausgewertet. Die Unterteilung der Altersgruppe 1 in Kinder und Jugendliche wäre auch in der vorliegenden Arbeit denkbar gewesen, um eine potentielle Differenz zwischen Kindern und Jugendlichen herauszuarbeiten. Gerade in Bezug auf die CVM-Methode und das Wachstum ergibt sich hier ein weiterer interessanter Ansatz. Die Ermittlung der Maximalwerte für das FoV3 und 4 getrennt nach Kindern und Jugendlichen würde eine genauere Voreinstellung des DVT-Gerätes

für Patienten der jeweiligen Altersklasse erlauben und damit die Strahlenbelastung für den noch im Wachstum befindlichen Patienten reduzieren.

RASCH (2009) definierte Regionen von Interesse für kieferorthopädische, oral-chirurgische und implantologische Zwecke und analysierte das erforderliche Abbildungsvolumen. Datengrundlage waren digitalisierte posterior-anterior-Aufnahmen und Fernröntgenseitbilder von 96 Patienten der Poliklinik für Kieferorthopädie der LMU München. RASCH (2009) konnte die Daten von 11 Kindern (ca. 10% des Patientenkollektivs) auswerten. Bei der Auswertung der Daten bemängelte RASCH selbst daher die geringe statistische Power des kleinen Stichprobenumfangs und die hohe Wahrscheinlichkeit für Fehler zweiter Art von 67,8 Prozent. In der vorliegenden Arbeit lag die Anzahl der untersuchten Fälle bei Kindern ebenfalls bei 10%. Das um das zehnfache größere Patientenkollektiv führte in der vorliegenden Analyse durch die hohe statistische Aussagekraft zu zuverlässigen Resultaten.

Die digitalisierten Röntgenbilder wurden bei RASCH unter Zuhilfenahme eines dreidimensionalen kartesischen Koordinatensystems vermessen. Die hierbei auftretenden methodischen Fehler, wie schwer zu lokalisierende Messpunkte, projektionsbedingte Verzerrungen und Summationseffekte, wurden durch digitales Auswerten der Aufnahmen von nur einem Betrachter eingegrenzt. Die zweidimensionale Röntgentechnik birgt durch den Import zweier Röntgenaufnahmen in ein weiteres Programm und deren Justierung anhand identischer Strukturen an einer Schnittstelle weitere Fehlermöglichkeiten. Trotz der Zuordnung dreidimensionaler Koordinaten zu ihren Messpunkten, standen zur Betrachtung und Lokalisation nur zwei Ebenen zur Verfügung. Im DVT hingegen lässt die verzerrungs- und überlagerungsfreie Darstellung der Strukturen eine direkte Markierung und präzise Vermessung zu. Das Durchlaufen verschiedener Ebenen und der 3D-Modus verschaffen einen realitätsnahen Eindruck und ermöglichen das sichere Auffinden von Referenzpunkten. Diese exakten Messungen resultieren in fundierten Ergebnissen.

## **5.2 Diskussion der Ergebnisse**

### **5.2.1 Erfassbarkeit von Knochenreferenzpunkten (FoV1)**

Das zur Erfassung der knöchernen Referenzpunkte aller in der vorliegenden Arbeit untersuchten Patienten erforderliche FoV betrug 12,88 x 16,48 cm (Höhe x Durchmesser). Es fällt damit nach der Einteilung der AAO und AAOMR mit einer Höhe zwischen 10 und 15 cm in die Kategorie mittleres Field of View zur Abbildung beider Kiefer und ggf.

der Kiefergelenksregion. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zeigen, dass eine Zylinderhöhe von 12,9 cm bereits zur vollständigen Erfassung dieser Region ausreicht. RUGANI (2010) definiert ein Sichtfeld mit mehr als 15 cm Durchmesser als großes FoV für eine kephalometrische Analyse. Es wird ersichtlich, dass die Klassifizierung in kleine, mittlere und große Sichtfelder in der Literatur nicht einheitlich erfolgt. Erst ein direkter Vergleich der Werte ohne Berücksichtigung der Kategorien erlaubt daher die Einordnung der Ergebnisse der vorliegenden Arbeit. Bei RASCH (2009) liegt das erforderliche Sichtfeld, anhand der Mittelwerte errechnet, bei 11,33 x 14,12 cm (H x D) und ist damit vergleichbar mit dem in der vorliegenden Arbeit benötigten Sichtfeld. Die Abweichung von >2 cm in der Höhe ist durch die kraniale Ausdehnung der von RASCH definierten Region zur Abbildung von Sella und Nasion zu erklären. Die Mittelwerte des erforderlichen Zylinderdurchmessers stimmen annähernd überein. KRAUSE (2013) definiert das FoV für die „dentale Region und das Kiefergelenk“ mit 12,10 x 14,86 cm (H x D) im Bereich des Ergebnisses dieser Untersuchung. Die vorliegenden Resultate zeigen, dass je nach Indikation die geeignete Region von Interesse durch den Anwender ausgewählt werden muss.

Für den klinischen Nutzen sollte ermittelt werden, ob mit einem reduzierten Sichtfeld die Referenzpunkte des überwiegenden Patientenanteils abgebildet werden. Es wurde berechnet, welcher Prozentsatz untersuchter Patienten von den verschiedenen Aufnahmeverolumina erfasst wird. Eine Differenzierung nach Geschlecht und Alter in Untergruppen erfolgte nicht. Diese Analyse zeigt auf, mit welcher Wahrscheinlichkeit alle knöchernen Referenzpunkte für die MESANTIS 3D-Analyse mit dem gewählten Field of View erfasst werden.

Es wird deutlich, dass die kephalometrischen Knochenreferenzpunkte von ca. 85% der untersuchten Patienten mit einem Sichtfeld von 12 x 15 cm erfasst werden konnten. Entgegen der Aussage von RUGANI (2010), dass kephalometrische Analysen mit einem mittleren FoV bis 15cm Durchmesser nicht möglich seien, kann damit ein Großteil der Patienten adäquat abgebildet werden. Mit einem gemäß AAO und AAOMR kleinen FoV von 10 cm Höhe können sogar noch 70% der untersuchten Patienten zur MESANTIS 3D-Analyse erfasst werden. Tabelle 18 beinhaltet eine ausführliche Aufstellung der Prozentsätze der erfassten Patienten.

Tabelle 18: Erfasste kieferorthopädische Patienten in kumulierten Prozenten durch verschiedene Sichtfeldgrößen. Auf der Ordinate ist die Höhe und auf der Abszisse der Durchmesser, jeweils in 1 cm-Schritten, dargestellt. Ein Field of View von 12 x 16 cm erfasste die kephalometrischen Knochenreferenzpunkte nahezu aller kieferorthopädischen Patienten.

Höhe des FoV (cm)	Durchmesser des FoV (cm)				
	13,00	14,00	15,00	16,00	17,00
8,00	0,10%	1,01%	1,21%	1,21%	1,21%
9,00	1,61%	14,57%	23,02%	23,32%	23,32%
10,00	2,81%	35,98%	65,93%	70,15%	70,15%
11,00	3,02%	40,60%	82,11%	91,96%	92,56%
12,00	3,02%	40,90%	85,03%	98,59%	99,30%
13,00	3,02%	40,90%	85,33%	99,30%	100,00%

### 5.2.2 Erfassbarkeit von Knochen- und Weichgewebsreferenzpunkten (FoV2)

Zur vollumfänglichen Erfassung der knöchernen und Weichgewebsreferenzpunkte aller untersuchten Patienten war ein Sichtfeld von 14,06 x 18,55 cm (Höhe x Durchmesser) erforderlich. Gemäß der Einteilung der AAO und der AAOMR ist es damit mit einer Höhe zwischen 10 und 15 cm ein mittelgroßes FoV zur Darstellung der Kiefer und ggf. der Kiefergelenksregion. Diese Arbeit belegt, dass auch das Weichgewebe mit einem Sichtfeld mittlerer Größe abgebildet wird, wobei 14 cm Zylinderhöhe ausreichend sind. Nach RUGANI (2010) ist es mit mehr als 15 cm Durchmesser definitionsgemäß ein großes FoV für kieferorthopädische Untersuchungen. Die zusätzliche Weichgewebsabbildung erforderte einen um 1 cm höheren und um 2 cm im Durchmesser vergrößerten Zylinder im Vergleich zu den ossären Strukturen. Die kieferorthopädisch relevante Region bei RASCH (2009) beinhaltet zwar ebenfalls die Nasenspitze, lässt jedoch das Hautmenton außen vor. Die kraniale Ausdehnung zum Nasion und die ausschließliche Präsentation der Mittelwerte lässt einen Vergleich wenig sinnvoll erscheinen. Das von RASCH ermittelte erforderliche FoV von 11,33 x 14,12 cm (H x D) weist erwartungsgemäß eine beträchtliche Differenz zu den Ergebnissen dieser Untersuchung auf. KRAUSE (2013) konzentriert sich auf die Darstellung knöcherner Strukturen und bietet demzufolge kein anatomisch vergleichbares Gebiet.

Als Hilfestellung bei der fundierten Auswahl der FoV2-Konfiguration am DVT-Gerät für die individuelle Patientenbetreuung wurde anhand der Mittel- und Maximalwerte ermittelt, welcher Patientenanteil von den einzelnen Sichtfeldkonfigurationen erfasst wird..

Die unterschiedlichen Abmessungen des Sichtfeldes zur Aufnahme am Patienten lassen sich an den verschiedenen DVT-Geräten auswählen. Dies geschieht vorrangig in 1cm-Schritten. Entscheidend für die Analyse war die vollständige Abbildung der relevanten Knochen- und Weichgewebsreferenzpunkte zur kephalometrischen MESANTIS-3D-Analyse. Es erfolgte keine Aufteilung in Untergruppen. Die sich ergebende ausführliche Tabelle macht den Kliniker unabhängig vom Hersteller und Gerätetyp, da alle relevanten Höhe-Durchmesser-Kombinationen aufgeführt sind.

Das Ergebnis macht deutlich, dass die Knochen- und Weichgewebsreferenzpunkte von lediglich ca. 10% der Patienten mit einem FoV bis 15 cm Durchmesser abgebildet werden. Bezogen auf eine kephalometrische Untersuchung mit Weichgewebsanalyse liegt RUGANI (2010) mit der Aussage tendentiell richtig, dass nur große FoV (über 15cm Durchmesser) dafür geeignet sind. Nach der Klassifizierung der AAO und AAOMR erfassen mittlere FoV (bis 15 cm Höhe) die Referenzpunkte aller Patienten. Immerhin ein Drittel der Patienten werden in der Höhe bereits von einem kleinen Sichtfeld (bis 10 cm Höhe) abgebildet.

Tabelle 19 legt die einzelnen Ergebnisse dar.

Tabelle 19: Erfasste kieferorthopädische Patienten in kumulierten Prozenten durch verschiedene Sichtfeldgrößen. Auf der Ordinate ist die Höhe und auf der Abszisse der Durchmesser, jeweils in 1 cm-Schritten, dargestellt. Ein Field of View von 13 x 18 cm erfasste die kephalometrischen Knochen- und Weichgewebsreferenzpunkte nahezu aller kieferorthopädischen Patienten.

Höhe des FoV (cm)	Durchmesser des FoV (cm)					
	14,00	15,00	16,00	17,00	18,00	19,00
<b>9,00</b>	0,40%	2,21%	4,92%	5,23%	5,23%	5,23%
<b>10,00</b>	0,60%	8,54%	30,85%	36,28%	36,28%	36,28%
<b>11,00</b>	0,60%	11,06%	53,67%	71,86%	75,48%	75,48%
<b>12,00</b>	0,60%	11,16%	56,78%	82,81%	92,96%	93,27%
<b>13,00</b>	0,60%	11,16%	57,19%	85,33%	98,49%	99,10%
<b>14,00</b>	0,60%	11,16%	57,19%	85,63%	99,20%	99,90%
<b>15,00</b>	0,60%	11,16%	57,19%	85,73%	99,30%	100,00%

### 5.2.3 Erfassbarkeit von Knochenreferenzpunkten und dem Corpus des 4. Halswirbels (FoV3)

Zur Abbildung von Knochenreferenzpunkten und dem Wirbelkörper C4 war in der Altersgruppe 1 ein FoV von 12,60 x 15,87 cm (Höhe x Durchmesser) erforderlich. Es wurde anhand von 498 Datensätzen der kieferorthopädischen Patienten unter 18 Jahren ermittelt, die für eine Skelettaltersbestimmung mit der CVM-Methode in Frage kamen. Auffällig ist, dass die zusätzliche Abbildung des Wirbelkörpers C4 im Vergleich mit den Maximalwerten der Altersgruppe 1 des FoV1 (11,94cm x 15,87cm) keinen Anstieg des Durchmessers bewirkt. Die Justierung des Patienten im DVT-Gerät bewirkt, dass das Porion projektionsmäßig in der Verlängerung der zentral verlaufenden Halswirbelsäule liegt. Des Weiteren endet das Aufnahmevolumen nicht an der Porionverbindungsline. Die Kreisbahn spannt gerade in der für C4 relevanten Median-Sagittal-Ebene eine geräumige Krümmung auf. Laut der Klassifizierung der AAO und AAOMR entsprechen die Maximalwerte des FoV3 mit einer Höhe zwischen 10 und 15 cm einem mittelgroßen Sichtfeld. Ein FoV mittlerer Größe dient demnach nicht nur der Darstellung beider Kiefer und der Kiefergelenksregion, sondern gleichfalls der ersten vier Halswirbelkörper jugendlicher Patienten. Bereits mit 12,60 cm Zylinderhöhe ließe sich neben der kephalometrischen MESANTIS-3D-Analyse die CVM-Methode bei allen jugendlichen Patienten anwenden. Gemäß RUGANIS (2010) Einteilung entspricht das ermittelte Sichtfeld einem großen FoV für traditionelle kieferorthopädische Untersuchungen. Die Abbildung von Halswirbeln findet in der Arbeit von RASCH (2009) keine Erwähnung und bietet daher keine Angaben zu einem Aufnahmevolumen eines vergleichbaren anatomischen Gebiets. KRAUSE (2013) integriert zum Zwecke der funktionellen Diagnostik die oberen beiden Halswirbel Atlas und Axis in seinem FoV „Dentale Region mit Kiefergelenksregion und oberer Halswirbelsäule“. Zur vollumfänglichen Darstellungen dieser Strukturen bei 363 untersuchten Patienten ist gemäß seinen Berechnungen im Altersbereich 1 + 2 (5-18 Jahre) ein FoV von 11,20 x 15,76 cm erforderlich. Die Höhendifferenz von ca. 1,40 cm erklärt sich durch die zusätzliche Abbildung des dritten und vierten Halswirbelkörpers zur Anwendung der CVM-Methode. Der annähernd identische Durchmesser weist darauf hin, dass die Abbildung der Wirbelfortsätze von Atlas und Axis in diesem Alter keine Auswirkungen auf den Zylinderdurchmesser haben. Allerdings könnte, wie von KRAUSE angemerkt, die Berechnung eines zu geringen Durchmessers erfolgen, da Datensätze mit unvollständig abgebildeten Halswirbelfortsätzen im Vorfeld aussortiert wurden.

Um sich nicht nur an den Maximalwerten zu orientieren, wurde die Analyse, mit welcher Wahrscheinlichkeit die entscheidenden Referenzpunkte eines Patienten durch unterschiedliche FoV3-Konfigurationen erfasst werden, durchgeführt. Diese FoV-Konfigurationen können an den verschiedenen DVT-Geräten ausgewählt werden, wobei die Einstellung der Größe zumeist in Schritten von 1 cm erfolgt. Unabhängig von Gerätetyp und Hersteller ergibt sich jede relevante Kombination von Höhe und Durchmesser des FoV aus der Tabelle 20 einsehen.

Die kephalometrischen Knochenreferenzpunkte und der Corpus des 4. Halswirbels von ca. 95% der Patienten werden von einem FoV mit 13 x 15 cm abgebildet. Ein nach RUGANI (2010) mittleres Sichtfeld mit 15 cm Durchmesser erfasst folglich annähernd alle Patienten zur MESANTIS-3D-Analyse und CVM. Ein gemäß AAO und AAOMR kleines Sichtfeld mit 10 cm Höhe bildet in Kombination mit einem ausreichend großen Durchmesser bereits knapp die Hälfte der untersuchten Patienten ab. Zur besseren Übersicht sind die genauen Werte in der Tabelle 20 zusammengefasst.

Tabelle 20: Erfasste jugendliche Patienten in kumulierten Prozentsätzen durch verschiedene Sichtfeldgrößen. Auf der Ordinate ist die Höhe und auf der Abszisse der Durchmesser, jeweils in 1 cm-Schritten, dargestellt. Ein Field of View von 12 x 16 cm erfasst die kephalometrischen Knochenreferenzpunkte und den Wirbelkörper C4 nahezu aller kieferorthopädischen Patienten.

Höhe des FoV (cm)	Durchmesser des FoV (cm)			
	13,00	14,00	15,00	16,00
9,00	1,81%	6,22%	7,43%	7,63%
10,00	3,61%	28,51%	42,57%	43,17%
11,00	4,62%	43,37%	80,72%	83,33%
12,00	4,62%	45,18%	92,37%	99,00%
13,00	4,62%	45,18%	92,57%	100,00%

#### 5.2.4 Erfassbarkeit von Knochen- und Weichgewebsreferenzpunkten sowie dem Corpus des 4. Halswirbels (FoV4)

Das erforderliche Sichtfeld zur Erfassbarkeit von Knochen- und Weichgewebsreferenzpunkten sowie dem Corpus des 4. Halswirbels wurde anhand der Daten von 498 jugendlichen Patienten unter 18 Jahren ermittelt. Die Größe des Sichtfeldes zur vollumfänglichen Abbildung der relevanten Referenzpunkte aller untersuchten Patienten betrug 12,73 x 17,54 cm (Höhe x Durchmesser). Diese Maße entsprechen exakt den Ma-

ximalwerten des FoV2 zur Abbildung von Knochen- und Weichteilreferenzpunkten in der Altersgruppe 1 (5-18 Jahre). Die zusätzliche Aufnahme des Wirbelkörpers C4 wirkte sich in diesem Fall nicht aus, da er bereits vollständig vom Aufnahmevolumen des FoV2 erfasst wurde. Die zusätzliche Darstellung des Weichgewebes erforderte eine Zylindervergrößerung um knapp 2 cm im Durchmesser im Vergleich zum FoV3 mit ossären Strukturen und dem 4. Halswirbelkörper. Der Einfluss des Weichteilkinns auf die Zylinderhöhe ist zu vernachlässigen, da die kaudale Ausdehnung für den 4. Halswirbelkörper ausreicht, um das Hautmenton darzustellen. Mit einer Zylinderhöhe zwischen 10 und 15 cm entspricht es gemäß der AAO und AAOMR einem mittelgroßen FoV zur Darstellung der Kiefer und ggf. der Kiefergelenksregion. Neben der kephalometrischen Knochenanalyse, bietet diese Aufnahme zusätzlich die Möglichkeit zur CVM-Methode und Gesichtsanalyse. Bereits eine Zylinderhöhe von 12,73 cm war dabei für alle Patienten ausreichend. Die Klassifizierung nach RUGANI (2010) definiert es mit über 15 cm Durchmesser als großes FoV für traditionelle kieferorthopädische Untersuchungen. Ein Vergleich mit RASCH (2009) und KRAUSE (2013) erscheint wenig sinnvoll, da die definierten anatomischen Regionen zu stark voneinander abweichen.

Für eine individuelle Patientenbetreuung lassen sich unterschiedliche Sichtfeldkonfigurationen an den verschiedenen DVT-Geräten auswählen. Die Einstellung erfolgt vorrangig in Schritten von 1 cm. Zur patientenorientierten Auswahl der FoV4-Konfiguration am DVT-Gerät bietet die vorliegende Untersuchung dem praktizierenden Mediziner eine Hilfestellung. Es wurde ermittelt, welcher Patientenanteil von den einzelnen Sichtfeldgrößen erfasst wird. Entscheidend hierfür waren die vollumfängliche Abbildung der Knochen- und Weichgewebsreferenzpunkte sowie die Erfassung des Corpus des 4. Halswirbels zur kephalometrischen MESANTIS-3D-Analyse. Auf die Differenzierung in Untergruppen wurde bei dieser Analyse verzichtet.

Die relevanten Referenzpunkte wurden bei über 95% der untersuchten Patienten von einem Sichtfeld der Größe 12 x 17 cm erfasst. Ein nach RUGANI(2010) mittleres FoV mit 15 cm Durchmesser enthält die Referenzpunkte von einem Fünftel der untersuchten Patienten. RUGANI schließt daraus, dass sich dieses FoV kaum zur kephalometrischen Analyse einschließlich der CVM-Methode und einer Analyse des Untergesichts eignet. Die Aufnahme eines gemäß AAO und AAOMR kleinen FoV mit 10 x 16 cm stellt zumindest die Referenzpunkte von gut einem Drittel der Patienten dar.

Die Prozentsätze erfasster Patienten sind detailliert in Tabelle 21 dargestellt.

Tabelle 21: Erfasste jugendliche Patienten in kumulierten Prozenten durch verschiedene Sichtfeldgrößen. Auf der Ordinate ist die Höhe und auf der Abszisse der Durchmesser, jeweils in 1 cm-Schritten, dargestellt. Ein Field of View von 12 x 18 cm erfasste die kephalometrischen Knochen- und Weichteilreferenzpunkte und den Wirbelkörper C4 nahezu aller kieferorthopädischen Patienten.

	Durchmesser des FoV (cm)				
Höhe des FoV (cm)	14,00	15,00	16,00	17,00	18,00
9,00	0,80%	2,21%	3,61%	3,61%	3,61%
10,00	1,20%	14,06%	34,14%	35,74%	35,74%
11,00	1,20%	19,48%	67,47%	80,32%	81,12%
12,00	1,20%	19,48%	73,09%	96,79%	99,00%
13,00	1,20%	19,48%	73,09%	97,39%	100,00%

### 5.2.5 Erfassbarkeit der Dentition (FoV5)

Das erforderliche Sichtfeld zur Darstellung der Dentition der 995 untersuchten Patienten betrug 7,65 x 11,15 cm (Höhe x Durchmesser). Gemäß der Klassifizierung der AAO und AAOMR ist es mit einer Zylinderhöhe unter 10 cm ein kleines FoV zur Abbildung einiger Zähne oder eines Quadranten innerhalb eines Kiefers. Die vorliegenden Resultate belegen jedoch, dass mit einem kleinen FoV von 7,65 cm Höhe bereits die vollständige Dentition beider Kiefer nicht nur von Erwachsenen sondern auch von Kindern mit Wechselgebiss erfasst wird. Die Anlage von Zahnkeimen tief im Knochen des Ober- und Unterkiefers führte in der Altersgruppe 1 zu den gleichen Höhenwerten wie bei männlichen Erwachsenen. RUGANI (2010) beschreibt dieses Sichtfeld mit einem Durchmesser zwischen 8 und 15 cm als mittleres FoV zur Abbildung des dentoalveolären Komplexes. Diese Aussage erweist sich anhand der vorliegenden Resultate als korrekt, wobei bereits ein Durchmesser von ca. 11 cm zur Erfassung aller Patienten ausreicht. Das von RASCH (2009) als „dentale Region von Interesse“ definierte Areal entspricht in etwa dem anatomischen Bereich zur Erfassbarkeit der Dentition der vorliegenden Arbeit. Die von RASCH errechneten Mittelwerte des erforderlichen Sichtfeldes betragen ca. 5,20 x 9,20 cm. Während die mittleren Zylinderdurchmesser zur Darstellung der Dentition beider Studien vergleichbar sind, ist der Mittelwert für die Höhe mit 6,01 cm in der vorliegenden Arbeit um einiges größer als der von RASCH. Erklären lässt sich diese Verschiebung durch das ausgewogene Verhältnis von Erwachsenen und Kindern in der vorliegenden Untersuchung. Da die tief im Knochen liegenden Zahnkeime ein FoV größerer Höhe erforderten, wirkt sich dies auf den

Mittelwert aus. Das ungleiche Verhältnis von 11 Kindern zu 85 Erwachsenen bei RASCH spiegelt sich dementsprechend in einem kleineren Mittelwert für die Höhe wieder. Die „dentale Region“ von KRAUSE (2013) beinhaltet neben den Zähnen und Zahnanlagen beider Kiefer den anterioren Corpus mandibularis einschließlich des Mentons. Durch den Einschluss des Unterkieferknochens sind vor allem größere Höhenwerte des erforderlichen Aufnahmevolumen zu erwarten. Den Berechnungen von KRAUSE zufolge beträgt das erforderliche FoV für die dentale Region aller untersuchten Patienten 8,3 x 10,6 cm (H x D). Die erwartete Höhendifferenz zeigt sich mit einer Differenz von 0,65 cm. Der Durchmesser hingegen weist einen um 0,55 cm geringeren Wert auf. Da es sich bei den zu vergleichenden Parametern um maximale Messwerte von anatomischen Gegebenheiten handelt, kann es bereits aufgrund eines einzigen Patienten zu solchen Differenzen kommen. Diese sogenannten „Ausreißer“ werden auch durch die hohe Anzahl der untersuchten Patienten nicht kaschiert, da es in diesem Fall vorrangig um die Maximalwerte zur Erfassung aller Patienten ging.

Für den klinischen Nutzen war es interessant zu ermitteln, ob auch mit einem reduzierten Sichtfeld die Dentition des überwiegenden Patientenanteils abgebildet werden kann. Daher wurde berechnet, welcher Prozentsatz untersuchter Patienten von verschiedenen Sichtfeldern erfasst wird. Eine Differenzierung nach Geschlecht und Alter in Untergruppen erfolgte bei dieser Untersuchung nicht. Diese Analyse zeigt dem praktischen Nutzer auf, mit welcher Wahrscheinlichkeit er die Dentition der Patienten mit dem von ihm gewählten Field of View erfasst. Es wurde deutlich, dass ein Sichtfeld von 8 x 8 cm die Dentition von lediglich <3% der untersuchten Patienten erfasst. RUGANI (2010) behält Recht, dass zur Darstellung der Dentition ein mittleres Sichtfeld erforderlich ist. Ein Abbildungsvolumen von 8 x 11 cm beinhaltet die Dentition nahezu aller untersuchten Patienten.

Tabelle 22 zeigt das ausführliche Verzeichnis für die Prozentsätze der erfassten Patienten.

Tabelle 22: Erfasste Patienten in kumulierten Prozenten durch verschiedene Sichtfeldgrößen. Auf der Ordinate ist die Höhe und auf der Abszisse der Durchmesser, jeweils in 1 cm-Schritten, dargestellt. Ein Field of View von 8 x 11 cm erfasste die Dentition nahezu aller kieferorthopädischen Patienten.

Höhe des FoV (cm)	Durchmesser des FoV (cm)					
	7,00	8,00	9,00	10,00	11,00	12,00
<b>5,00</b>	0,10%	0,40%	1,11%	1,11%	1,31%	1,31%
<b>6,00</b>	0,10%	2,81%	23,92%	45,93%	53,67%	53,67%
<b>7,00</b>	0,10%	2,81%	33,17%	77,69%	96,38%	96,48%
<b>8,00</b>	0,10%	2,81%	33,47%	80,60%	99,90%	100,00%

### 5.3 Schlussfolgerungen

Um das DVT als hochaktuelle Technologie mit all seinen Vorteilen weiter im zahnärztlichen Alltag etablieren zu können, müssen bestehende Kritikpunkte minimiert oder gar eliminiert werden. Einer dieser Kritikpunkte ist die erhöhte Strahlenbelastung des Patienten während der Aufnahme. Diese Strahlenbelastung wird maßgeblich von der Größe des abgebildeten Volumens beeinflusst. Eine Verkleinerung des Sichtfeldes resultiert im Allgemeinen in einer geringeren Strahlenbelastung für den Patienten. Ziel dieser Studie war es daher, die konkreten Maße maximal erforderlicher Sichtfelder zu ermitteln, die sowohl verschiedene medizinisch relevante Gebiete erfassen als auch individuelle Patientendaten berücksichtigen.

Die zur vollumfänglichen Erfassung der definierten anatomischen Areale erforderlichen Abbildungsvolumina sind in der folgenden Tabelle 23 zusammengefasst.

Tabelle 23: Erforderliche Sichtfeldgrößen der einzelnen Regionen, differenziert nach Altersgruppe und Geschlecht der Patienten. Angaben von H x D in cm. ♀ = weiblich, ♂ = männlich

Altersgruppe	Geschlecht	FoV1	FoV2	FoV3	FoV4	FoV5
<b>1+2 (5-75 Jahre)</b>	♂ und ♀	12,88 x 16,48	14,06 x 18,55	12,60 x 15,87	12,73 x 17,54	7,65 x 11,15
<b>1 (5-18 Jahre)</b>	♂	11,94 x 15,87	12,73 x 17,54	12,60 x 15,87	12,73 x 17,54	7,63 x 11,15
	♀	11,12 x 15,34	11,81 x 17,18	11,94 x 15,34	11,94 x 17,18	7,64 x 10,66
<b>2 (19-75 Jahre)</b>	♂	12,88 x 16,48	14,06 x 18,55	-	-	7,65 x 11,00
	♀	10,96 x 15,07	11,63 x 17,46	-	-	6,66 x 10,72

Die vorliegenden Ergebnisse geben Auskunft über die Eignung eines DVT-Systems für den praktischen Alltag in der Praxis. Entsprechend den zukünftigen medizinischen Fra-

gestellungen kann ein Gerät mit adäquaten FoV-Konfigurationen zum Kauf ausgewählt werden. Der DVT-Anwender erhält eine Hilfestellung bei der Auswahl des geeigneten Sichtfeldes. Im Fokus steht die vollständige Abbildung der gewünschten Strukturen ohne die dafür notwendige Größe des Sichtfeldes zu überschreiten. Die Einblendung eines exakten Sichtfeldes kann dabei ausschließlich in Abhängigkeit von individuellen Patientenparametern und der medizinischen Indikation erfolgen. Letztendlich profitiert der Patient von dieser Untersuchung mit hohem praktischen Nutzen, da sich die Strahlenbelastung auf das Notwendigste minimiert. Sowohl unnötig groß gewählte Aufnahmevolumen, um alle relevanten Strukturen mit größtmöglicher Wahrscheinlichkeit zu erfassen, als auch wiederholte Aufnahmen, da fälschlicherweise ein zu kleines FoV gewählt wurde, können weitestgehend ausgeschlossen werden. Neben der Anpassung der Sichtfeldmaße, trägt auch die korrekte Positionierung des Patienten zur Reduktion der effektiven Dosis bei. Strahlensensitive Organe wie die Schilddrüse oder die Augen werden durch die eingeschränkte Höhe des Aufnahmevolumens einer verringerten Strahlenbelastung ausgesetzt.

Diese Arbeit soll Inspiration für weitere Analysen auf diesem Themengebiet sein. Die 3D-Technologie ist aus der Medizin nicht mehr wegzudenken und sollte weiterhin für Patient und Arzt optimiert werden. Neben den hier untersuchten anatomischen Gebieten zur kephalometrischen MESANTIS-3D-Analyse oder der Dentition existieren weitere übliche Interessensregionen in der Zahnmedizin. Es gilt, deren konkrete Maße abhängig von Alter und Geschlecht des Patienten zu ermitteln und zu katalogisieren. Darüber hinaus wäre es interessant, den tatsächlichen Effekt der Sichtfeldanpassung auf die effektive Dosis des Patienten zu quantifizieren. Unter Einbeziehung der vorliegenden Messergebnisse müssten hierzu dosimetrische Untersuchungen am Phantomkopf erfolgen

## 6. Literaturverzeichnis

- 1 Adams GL, Gansky SA, Miller AJ, et al. Comparison between traditional 2-dimensional cephalometry and a 3-dimensional approach on human dry skulls. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2004 Oct; 126(4):397-409.
- 2 AlHadidi A, Cevidanes LHS, Mol A, et al. Comparison of two methods for quantitative assessment of mandibular asymmetry using cone beam computed tomography image volumes. *Dentomaxillofac Radiol.* 2011 Sep;40(6):351–357.
- 3 Altan M, Nebioğlu Dalci Ö, İseri H. Growth of the cervical vertebrae in girls from 8 to 17 years. A longitudinal study. *Eur J Orthod.* 2012 Jun;34(3):327-34.
- 4 American Academy of Oral and Maxillofacial Radiology. Clinical recommendations regarding use of cone beam computed tomography in orthodontics. Position statement by the American Academy of Oral and Maxillofacial Radiology. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol.* 2013 Aug;116(2):238-257.
- 5 Anatomage. *Invivo5.1 Reference Manual*, 2011.
- 6 Angle EH. *Treatment of Malocclusion of the Teeth*. S. S. White dental manufacturing Company, 1907:60,63
- 7 Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften e.V. Leitlinie der Deutschen Gesellschaft für Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde, Kopf- und Hals-Chirurgie. Rhinosinusitis. AWMF 2011 Mar;017/049.
- 8 Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften e.V.. s2k-Leitlinie Dentale digitale Volumentomographie. AWMF 2013 Sep;083-005.
- 9 Baccetti T, Franchi L, McNamara Jr JA. An Improved Version of the Cervical Vertebral Maturation (CVM) Method for the Assessment of Mandibular Growth. *Angle Orthod.* 2002 Aug;72(4):316-23.
- 10 Baccetti T, Franchi L, McNamara Jr JA. The Cervical Vertebral Maturation (CVM) Method for the Assessment of Optimal Treatment Timing in Dentofacial Orthopedics. *Semin Orthod* 2005 (11):119–129.
- 11 Baier B. *Die Korrelation skelettaler Variablen mit Parametern der Gesichtsästhetik - eine Querschnittsstudie -2007*
- 12 Bayome M, Park JH, Kook Y-A. New three-dimensional cephalometric analyses among adults with a skeletal Class I pattern and normal occlusion. *Korean J Orthod.* 2013 April;43(2):62–73.
- 13 Berufsverband der Allgemeinzahnärzte in Deutschland e.V. Intentionale Eminenz statt medizinischer Evidenz: S2K-Leitlinie „Dentale digitale Volumentomographie“ der AWMF. Pressemitteilung des BVAZ vom 29.10.2013:1-2
- 14 Blum W. *Mathematik*. TESSLOFF Verlag, 2001:27.
- 15 Borrie F, Thomson D, McIntyre GT. Precision of measurements on conventional negative ‘bones white’ and inverted greyscale ‘bones black’ digital lateral cephalograms. *Eur J Orthod.* 2012;34(1):57-61.
- 16 Bortz J. *Statistik für Sozialwissenschaftler*. Berlin: Springer, 1999.
- 17 Bortz J, Döring N. *Forschungsmethoden und Evaluation*. Berlin: Springer, 1995.
- 18 Bumann A. DVT - klinische und betriebswirtschaftliche Aspekte für die Geräteauswahl. ZWP online - Das Nachrichtenportal für die Dentalbranche Diagnostik 24.04.2009

- 19 Bundesamt für Strahlenschutz (BfS). Verordnung über den Schutz vor Schäden durch Röntgenstrahlen (Röntgenverordnung - RöV) 2011 § 28 Aufzeichnungspflichten, Röntgenpass: 15-16
- 20 Bundesausschuss der Zahnärzte und Krankenkassen. Richtlinien des Bundesausschusses der Zahnärzte und Krankenkassen für die kieferorthopädische Behandlung. Bundesanzeiger 2003 Dec;226:24 966 ff..
- 21 Caldas Mde P, Ambrosano GM, Haiter-Neto F. Use of cervical vertebral dimensions for assessment of children growth. J Appl Oral Sci. 2007 Apr;15(2):144-7.
- 22 Cattaneo PM, Bloch CB, Calmar D, et al. Comparison between conventional and cone-beam computed tomography-generated cephalograms. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2008 Dec;134(6):798-802.
- 23 Cevidanes LH, Alhadidi A, Paniagua B, Styner M, Ludlow JB, Mol A, Turvey T, Proffit WR, Paul Emile Rossouw PE. Three-dimensional quantification of mandibular asymmetry through cone-beam computerized tomography. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod. 2011 Jun;111(6):757-770.
- 24 Cha KS. Soft-tissue thickness of South Korean adults with normal facial profiles. Korean J Orthod. 2013 Aug;43(4):178-185.
- 25 Chien PC, Parks ET, Eraso F, Hartsfield JK, Roberts WE, Ofner S. Comparison of reliability in anatomical landmark identification using two-dimensional digital cephalometrics and three-dimensional cone beam computed tomography in vivo. Dentomaxillofac Radiol. 2009 Jul;38(5):262-73.
- 26 Dausch-Neumann D. Biometgesicht und Kieferanomalie. Fortschr Kieferorthop. 1971;32(3):353-65.
- 27 Davies J, Johnson B, Drage NA. Effective doses from cone beam CT investigation of the jaws. Dentomaxillofac Radiol. 2012 Jan;41(1):306.
- 28 DGKFO. Indication and frequency of X-rays in connection with orthodontic treatment. Statement by the Deutsche Gesellschaft für Kieferorthopädie. / Indikation und Häufigkeit von Röntgenaufnahmen im Rahmen der kieferorthopädischen Therapie. J Orofac Orthop. 1997;58(5): 286-7.
- 29 dos Santos BM, Stuari AS, Stuari AS, et al. Soft tissue profile changes after rapid maxillary expansion with a bonded expander. Eur J Orthod. 2012 Jun;34(3):367-73.
- 30 Edler RJ. Background considerations to facial aesthetics. J Orthod. 2001 Jun;28(2):159-68.
- 31 EUROPEAN COMMISSION. Radiation Protection No 172 Cone beam CT for dental and maxillofacial radiology (Evidence-based guidelines). 2012 Available at: [http://www.sedentexct.eu/files/radiation\\_protection\\_172.pdf](http://www.sedentexct.eu/files/radiation_protection_172.pdf)
- 32 Farman AG. ALARA still applies. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod. 2005 Oct;100(4):395-397.
- 33 Fahrmeir L, Künstler R, Pigeot I, et al. Statistik. Der Weg zur Datenanalyse. Berlin: Springer, 2011.
- 34 Farronato G, Garagiola U, Dominici A, et al. "Ten-point" 3D cephalometric analysis using low-dosage cone beam computed tomography. Prog Orthod. 2010;11(1):2-12.
- 35 Flores-Mira C, Burgessb CA, Champneyc M, et al. Correlation of Skeletal Maturation Stages Determined by Cervical Vertebrae and Hand-wrist Evaluations. Angle Orthod. 2006 Jan;76(1):1-5.
- 36 Fuck LM. Available from:

- [http://teaching.thehumanbrain.info/klinische\\_anwendung.php?klinik=1#handroentgenaufnahme](http://teaching.thehumanbrain.info/klinische_anwendung.php?klinik=1#handroentgenaufnahme)
- 37 Gandikota CS, Rayapudi N, Challa PL, et al. A comparative study of linear measurements on facial skeleton with frontal and lateral cephalogram. *Contemp Clin Dent*. 2012 Aug;3(2):176-9.
  - 38 Geibel M-A, Holzinger I. Dosisaspekte und rechtfertigende Indikationen in der 3-D-Radiologie. *Digital Dentistry* 2012(1):6-10.
  - 39 Geibel MA. DVT – Indikationen und Strahlenbelastung. | ZWP online - Das Nachrichtenportal für die Dentalbranche 2013. Available at: <http://www.zwp-online.info/de/fachgebiete/digitale-zahnmedizin/digitale-bildgebung/dvt-indikationen-und-strahlenbelastung>
  - 40 Goldbecher H, Bock J. Digitale Volumentomografie in der kieferorthopädischen Praxis. *Kieferorthopädie* 2012;26(3):175-180
  - 41 Gribel BF, Gribel MN, Frazão DC, et al. Accuracy and reliability of craniometric measurements on lateral cephalometry and 3D measurements on CBCT scans. *Angle Orthod*. 2011 Jan;81(1):26-35.
  - 42 Grünheid T, Kolbeck Schieck JR, Pliska BT, et al. Dosimetry of a cone-beam computed tomography machine compared with a digital x-ray machine in orthodontic imaging. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2012 Apr;141(4): 436-43.
  - 43 Harzer W. *Kieferorthopädie Checklisten der Zahnmedizin*. Georg Thieme Verlag, 2011:65.
  - 44 Hassan BA, Payam J, Juyanda B, et al. Influence of scan setting selections on root canal visibility with cone beam CT. *Dentomaxillofac Radiol*. 2012 Dec;41(8):645–648.
  - 45 Hassel B, Farman AG. Skeletal maturation evaluation using cervical vertebrae. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 1995 Jan;107(1):58-66.
  - 46 Hedeşiu M, Băciuş M, Băciuş G, et al. The SEDENTEXCT Consortium. Comparison of cone beam CT device and field of view for the detection of simulated periapical bone lesions. *Dentomaxillofac Radiol*. 2012 Oct;41(7):548–552.
  - 47 Hirsch E, Wolf U, Heinicke F, et al. Dosimetry of the cone beam computed tomography Veraviewepocs 3D compared with the 3D Accuitomo in different fields of view. *Dentomaxillofac Radiol*. 2008 Jul;37(5):268–273.
  - 48 Hirschfelder U. Stellungnahme: Radiologische 3D-Diagnostik in der Kieferorthopädie (CT/DVT). *Homepage der DGKFO* 2008:1-7.
  - 49 Holberg C, Rudzki-Janson I. Kephalemetrie – Quo Vadis? 3D-Kephalemetrie – kritische Auseinandersetzung mit einem vielversprechenden Ansatz. *BZB Bayerisches Zahnärzteblatt*. 2007,5:33-35.
  - 50 IMAGING SCIENCES INTERNATIONAL, INC. *iCAT Operations Manual German* 2006.
  - 51 Internationale Strahlenschutzkommission. Die Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP) von 2007, ICRP-Veröffentlichung 103. Available at: [http://www.icrp.org/docs/P103\\_German.pdf](http://www.icrp.org/docs/P103_German.pdf)
  - 52 J. Morita Europe GmbH. Besser im Bild mit 3D? Available at: [http://www.jmoritaeurope.de/root/img/pool/referenten/messe/morita\\_dvt\\_in\\_der\\_kfo.pdf](http://www.jmoritaeurope.de/root/img/pool/referenten/messe/morita_dvt_in_der_kfo.pdf)
  - 53 J. Morita Europe. Homepage zu Veraviewepocs 3D R100. Available at: [http://www.jmoritaeurope.de/cms/website.php?id=en/products/dental/diagnostic\\_and\\_imaging\\_equipment/veraviewepocs3d\\_r100.htm](http://www.jmoritaeurope.de/cms/website.php?id=en/products/dental/diagnostic_and_imaging_equipment/veraviewepocs3d_r100.htm)

- 54 Kahl-Nieke B. Einführung in die Kieferorthopädie: Diagnostik, Behandlungsplanung, Therapie. Deutscher Ärzteverlag. 2010:161:164.
- 55 Kapila S, Conley RS, Harrell WE Jr. The current status of cone beam computed tomography imaging in orthodontics. Dentomaxillofac Radiol. 2011 Jan;40(1):24-34
- 56 Kavo 3D eXam ® Benutzerhandbuch
- 57 Kemnitz A. Mathematik zum Studienbeginn. Springer-Verlag. 2013:155.
- 58 Kim E-J, Ki E-J, Cheon H-M, et al. 3-Dimensional analysis for class III malocclusion patients with facial asymmetry. J Korean Assoc Oral Maxillofac Surg. 2013 Aug;39(4):168–174.
- 59 Klemann C. Korrelationen dentaler Okklusionsparameter mit Messwerten zweidimensionaler fotografischer Weichteilprofile bei 9-jährigen Schulkindern. 2006
- 60 Krause J. 2013. Untersuchungen zum erforderlichen Field of View für die bildgebende 3D-Diagnostik in der Zahnmedizin. Dissertation, Berlin : Medizinische Fakultät Charité - Universitätsmedizin Berlin
- 61 Li G. Patient radiation dose and protection from cone-beam computed tomography. Imaging Sci Dent. 2013 Jun;43(2):63-69.
- 62 Ludlow JB, Davies-Ludlow LE, White SC. Patient Risk Related to Common Dental Radiographic Examinations: The Impact of 2007 International Commission on Radiological Protection Recommendations Regarding Dose Calculation. The J Am Dent Assoc. 2008 Sep;139(9):1237-1243.
- 63 Ludlow JB, Gubler M, Cevidanes L, et al. Precision of cephalometric landmark identification: Cone-beam computed tomography vs conventional cephalometric views. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2009 Sep;136(3):312-3.
- 64 Ludlow JB, 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 Jul;106(1):106-14.
- 65 Ludlow JB, Walker C. Assessment of phantom dosimetry and image quality of i-CAT FLX cone-beam computed tomography. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2013 Dec;144(6):802-17.
- 66 Mahajan S. Evaluation of skeletal maturation by comparing the hand wrist radiograph and cervical vertebrae as seen in lateral cephalogram. Indian J Dent Res. 2011 Mar-Apr;22(2):309-16.
- 67 Martin DD, Wit JMD, Hochberg ZF, et al. The Use of Bone Age in Clinical Practice – Part 1. Horm Res Paediatr. 2011;76(1):1–9.
- 68 Martin H. Dreidimensionale digitale Röntgentechnik in der zahnärztlichen Anwendung. Digital\_Dental.News. 2009 Jan-Feb;3:34-40
- 69 Mudrak J. Ein DVT-Konzept für die Zukunft. DZ 2011;4:34-35.
- 70 mündliche Absprache mit Währisch
- 71 mündliche Absprache mit Buchholz
- 72 Navarro RDL, Oltramari-Navarro PVP, Fernandes TMF, et al. Comparison of manual, digital and lateral CBCT cephalometric analyses. J Appl Oral Sci. 2013 Mar-Apr;21(2):167–176.
- 73 Nitka M, Bumann A. Die digitale Volumentomografie in der oralchirurgischen Praxis. ORALCHIRURGIE JOURNAL 2010;4:6-16.

- 74 Nötzel F, Schultz C, Hartung M. Fernröntgenseitenbild-Analyse: mit 90 Tabellen. Deutscher Ärzteverlag, 2007:13.
- 75 Nötzel F, Schultz C. Leitfaden der kieferorthopädischen Diagnostik: Analysen und Tabellen für die Praxis. Deutscher Ärzteverlag, 2009:59.
- 76 Osswald R. Intentionale Eminenz statt medizinischer Evidenz: S2K-Leitlinie der AWMF "Dentale digitale Volumentomographie". BVAZ-Pressemitteilung vom 29.10.2013. DAZ, 2013 Dez:21.
- 77 O'Reilly MT, Yanniello GJ. Mandibular growth changes and maturation of cervical vertebrae--a longitudinal cephalometric study. *Angle Orthod.* 1988 Apr;58(2):179-84.
- 78 Park CS, Park JK, Kim H, et al. Comparison of conventional lateral cephalograms with corresponding CBCT radiographs. *Imaging Sci Dent.* 2012 Dec;42(4):201-205.
- 79 Patcas R, Signorelli L, Peltomäki T, et al. Is the use of the cervical vertebrae maturation method justified to determine skeletal age? A comparison of radiation dose of two strategies for skeletal age estimation. *Eur J Orthod* 2013 Oct;35(5):604-609.
- 80 Pauwels R, Beinsberger J, Collaert B, et al. The SEDENTEXCT Project Consortium. Effective dose range for dental cone beam computed tomography scanners. *Eur J Radiol.* 2012 Feb;81(2):267-271.
- 81 Perinetti G, Di Lenarda R, Contardo L. Diagnostic performance of combined canine and second molar maturity for identification of growth phase. *Prog Orthod.* 2013 May;14(1):1.
- 82 Prins R, Dauer LT, Colosi DC, et al. Significant reduction in dental cone beam computed tomography (CBCT) eye dose through the use of leaded glasses. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2011 Oct;112(4):502-7.
- 83 Qu X, Li G, Zhang Z, et al. Thyroid shields for radiation dose reduction during cone beam computed tomography scanning for different oral and maxillofacial regions. *Eur J Radiol.* 2012 Mar;81(3):e376-80.
- 84 Rasch M-T. 2009. Definition der Regionen von Interesse für kieferorthopädische / kieferchirurgische, oralchirurgische und implantologische / dentale Zwecke bei der digitalen Volumentomographie. Dissertation, Universität München.
- 85 Ricketts RM. Esthetics, environment, and the law of lip relation. *Am J Orthod.* 1968 Apr;54(4):272-89.
- 86 Rischen RJ, Breuning KH, Bronkhorst EM, et al. Records Needed for Orthodontic Diagnosis and Treatment Planning: A Systematic Review. *PLoS One* 2013 Nov;8(11):e74186.
- 87 Rugani P. Digitale Volumentomographie – In-Office 3D für den Zahnarzt. *Zahnarzt und Praxis.* 2010.
- 88 Rustemeyer J, Martin A. Soft tissue response in orthognathic surgery patients treated by bimaxillary osteotomy: cephalometry compared with 2-D photogrammetry. *Oral Maxillofac Surg.* 2013 Mar;17(1):33–41.
- 89 San Román P, Palma JC, Oteo MD, et al. Skeletal maturation determined by cervical vertebrae development. *Eur J Orthod.* 2002 Jun;24(3):303-11.
- 90 Sander FM, Ehrenfeld M, Schwenzer N. *Kieferorthopädie.* Georg Thieme Verlag, 2011:372
- 91 Scherer P, Ritter L, Neugebauer J, et al. Indikationen für die digitale Volumentomografie. *zm online.* 2008;6(98):46-53.
- 92 Schinnenburg W. *Rechtsratgeber für die Zahnarztpraxis: praktische Tipps, Checklisten und Beispiele.* Deutscher Ärzteverlag, 2006:67.

- 93 Schneider M. Radiologische Bildgebung in der Zahnheilkunde. Zahnmedizin up2date 2013;5:477–501
- 94 Schwarz AM. Die Röntgenostatik. München-Wien-Baltimore: Urban & Schwarzenberg, 1958.
- 95 Stiehl J, Müller B, Dibbets J. The Development of the Cervical Vertebrae as an Indicator of Skeletal Maturity: Comparison with the Classic Method of Hand-wrist Radiograph. J Orofac Orthop. 2009 Jul;70(4):327-35.
- 96 Sunilkumar LN, Jadhav KS, Nazirkar G, et al. Assessment of Facial Golden Proportions among North Maharashtra-an Population. J Int Oral Health. 2013 Jun;5(3):48–54.
- 97 Thilander-Klang A, Helmrot E. Methods of determining the effective dose in dental radiology. Radiat Prot Dosimetry. 2010 Apr-May;139(1-3):306-9.
- 98 Verhofstadt T. Cervical Vertebral Maturation (CVM). KN WISSENSCHAFT & PRAXIS 2011 Oct;10:4-7.
- 99 Verma D, Peltomäki T, Jäger A. Reliability of growth prediction with hand-wrist radiographs. Eur J Orthod. 2009 Aug;31(4):438-42.
- 100 Wang MF, Otsuka T, Akimoto S, et al. Vertical facial height and its correlation with facial width and depth. Int J Stomatol Occlusion Med. 2013;6:120–129..
- 101 Wikipedia, Die freie Enzyklopädie. Seite „Sagitta-Methode“. Bearbeitungsstand: 5. August 2012, 10:56 UTC. URL: <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Sagitta-Methode&oldid=106400955>
- 102 Wojtunik M. DVT im zahnärztlichen Alltag - Richtlinien und Empfehlungen. Digital\_Dental.News. 2012 Jun; 6
- 103 Zamora N, Cibrián R, Gandia JL, et al. A new 3D method for measuring cranio-facial relationships with cone beam computed tomography (CBCT). Med Oral Patol Oral Cir Bucal. 2013 Jul;18(4):e706–e713.

## 7. Abkürzungsverzeichnis

2D	zweidimensional
3D	dreidimensional
A / mA	Ampère / Milliampère
AAO	American Association of Orthodontists
AAOMR	American Academy of Oral and Maxillofacial Radiology
Abb.	Abbildung
AG	Altersgruppe
ALARA	As Low As Reasonably Achievable
B	Breite
C 2/3/4	Corpus des 2./3./4. Halswirbels
CBCT	Cone-Beam Computerized Tomography
cd/m <sup>2</sup>	Candela / Quadratmeter
CVM	Cervical Vertebral Maturation
cm	Zentimeter
CT	Computertomographie
D	Durchmesser
DICOM	Digital Imaging and Communications in Medicine
DIN	Deutsches Institut für Normung
DGKFO	Deutsche Gesellschaft für Kieferorthopädie
DGZMK	Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
DVT	Digitale Volumentomographie
H	Höhe
HT	Hilfstangente
HWS	Halswirbelsäule
FRS	Fernröntgenseitbild
ICRP	International Commission on Radiological Protection
FoV	Field of View
Inc.	incorporated
KPF	Kieferprofilfeld
kVp	Kilovoltpeak
LMU	Ludwig-Maximilians-Universität
M	Kreismittelpunkt
mm	Millimeter
MS	Microsoft
n	Fallzahl
OPG	Orthopantomogramm
%	Prozent
p-Wert, P-Wert	Probability / Wahrscheinlichkeit
P	Sehnenlänge Abstand Porionpunkte
PSA	Panoramaschichtaufnahme
R	Radius
RoI	Region of Interest / Region des Interesses
s	Standardabweichung
S	Länge Senkrechte
Sek.	Sekunde
SPSS	Statistical Package of Social Science
Sv / µSv	Sievert / Microsievert
V / kV	Volt / Kilovolt
$\bar{x}$	Mittelwert
♂	männlich
♀	weiblich

## **Eidesstattliche Erklärung**

„Ich, Viviane Stahlkopf, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: „Untersuchungen zum erforderlichen Sichtfeld dentaler Volumentomographen für eine 3D-kephalometrische Analyse“ selbstständig und ohne nicht offengelegte Hilfe Dritter verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel genutzt habe.

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

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

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

Datum 10.05.2016

Viviane Stahlkopf

Publikation mit dem Titel „Evaluation of the required Field of View for a 3D-kephalometric analysis“ ist in Arbeit.

## **Lebenslauf**

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

## **Danksagung**

Zunächst gilt mein besonderer Dank Herrn Professor Dr. Axel Bumann für die Ermöglichung der Promotion im Mesantis® Röntgeninstitut Berlin zu einer aufstrebenden Thematik. Die effektive, unkomplizierte Betreuung führte zielgerichtet zur Fertigstellung dieser Arbeit.

Des Weiteren möchte ich mich herzlich bei Diplom-Psychologe Erik Kirst der Firma Phimea für die umfangreiche statistische Beratung sowie seine Geduld und Unterstützung bei der Auswertung der Messdaten bedanken.

Mein Dank gilt ebenso den DVT-Spezialisten von Mesantis®, Ramona Keilbach und Sebastian Sohst, die mir mit ihrer fachlichen Kompetenz stets freundlich weiterhalfen.

Zuletzt möchte ich betonen, dass mir ohne die verständnisvolle, moralische und finanzielle Unterstützung meiner Familie dieser Werdegang verwehrt geblieben wäre. Der Motivationsdruck gepaart mit etlichen Stunden Kinderbetreuung hat dies ermöglicht.