

# DISSERTATION

## **Das Auftreten von bildgebenden Zufallsbefunden im Bereich des Gesichtsschädels bei kieferorthopädischen und CMD-Patienten**

The occurrence of incidental imaging findings in the craniofacial  
region in orthodontic and TMD patients

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

vorgelegt der Medizinischen Fakultät  
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von  
Natascha Shahpar

Erstbetreuung: Professor Dr. Axel Bumann

Datum der Promotion: 28.02.2025

## **Inhaltsverzeichnis**

Abkürzungsverzeichnis .....	5
Tabellenverzeichnis .....	7
Grafikverzeichnis .....	9
Abbildungsverzeichnis .....	10
<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>11</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>12</b>
<b>1. Einleitung .....</b>	<b>13</b>
1.1 Definition .....	13
1.2 Anatomie des Kiefergelenkes .....	13
1.3 Klassifizierung der CMD .....	15
1.4 Epidemiologie der CMD .....	15
1.4 Diagnostische Untersuchungsmethoden .....	16
1.5 Digitale Volumentomographie .....	17
1.6 Aktuelle Studienlage .....	21
<b>2. Fragestellung .....</b>	<b>23</b>
<b>3. Material und Methodik.....</b>	<b>25</b>
3.1 Allgemeine Methodik.....	25
3.1.1 Patientengut .....	25
3.1.2 DVT-Aufnahmen.....	26
3.1.3 Auswertungssoftware .....	27
3.1.4 Datenauswertung .....	27
3.1.5 Statistische Analyse .....	28
3.2 Spezielle Methodik.....	28
3.2.1 Degenerative Veränderungen .....	30
3.2.2 Kondylenverlagerung aufgrund von Diskusverlagerung.....	31
3.2.3 Apikale Aufhellungen.....	32

3.2.4 Verschattungen des Sinus maxillaris .....	32
3.2.5 Asymmetrien des aufsteigenden Unterkieferastes .....	33
<b>4. Ergebnisse .....</b>	<b>35</b>
4.1 Degenerative Veränderungen .....	36
4.2 Kondylenverlagerung aufgrund von Diskusverlagerung .....	38
4.2.1 Gleichmäßiger dorsaler Gelenkspalt .....	38
4.2.2 Ungleichmäßiger dorsaler Gelenkspalt .....	40
4.3 Apikale Aufhellungen .....	40
4.4 Verschattungen des Sinus maxillaris .....	41
4.5 Asymmetrien des aufsteigenden Unterkieferastes .....	43
<b>5. Diskussion .....</b>	<b>46</b>
5.1 Diskussion der Methodik .....	46
5.2 Diskussion der Ergebnisse .....	47
5.2.1 Diskussion der Ergebnisse zu degenerativen Veränderungen .....	48
5.2.2 Diskussion der Ergebnisse zur Kondylenverlagerung aufgrund von Diskusverlagerung .....	48
5.2.3 Diskussion der Ergebnisse zu apikalen Aufhellungen .....	49
5.2.4 Diskussion der Ergebnisse zu Verschattungen des Sinus maxillaris .....	49
5.2.5 Diskussion der Ergebnisse zu Asymmetrien des aufsteigenden Unterkieferastes .....	50
5.3 Diskussion der aktuellen Studienlage .....	50
5.4 Diskussion der vorliegenden Studie .....	54
<b>6. Schlussfolgerung .....</b>	<b>56</b>
<b>7. Literaturverzeichnis .....</b>	<b>57</b>
<b>8. Eidesstattliche Versicherung .....</b>	<b>66</b>
<b>9. Lebenslauf .....</b>	<b>67</b>
<b>10. Danksagung .....</b>	<b>68</b>



## Abkürzungsverzeichnis

DVT	Digitale Volumetomographie
KFO	Kieferorthopädie
CMD	Craniomandibuläre Dysfunktion
CBCT	Cone Beam Computed Tomography
TMJ	Temporomandibular Joint
TMD	Temporomandibular Disorders
AAOP	American Academy of Orofacial Pain
KFAL	Klinische Funktionsanalyse
MSA	Manuelle Strukturanalyse
RDC/TMD	Research Diagnostic Criteria for Temporomandibular Disorders
OPG	Orthopantomogramm
CT	Computertomographie
DC TMD	Diagnostic Criteria of Temporomandibular Disorders
3D	Dreidimensional
DICOM	Digital Imaging and Communications in Medicine
FOV	Field of View
ROI	Region of Interest
cm	Zentimeter
E	Effektive Dosis
wT	Gewebewichtungsfaktor
ICRP	International Commission on Radiological Protection
S2k- Leitlinie	Konsensbasierte Leitlinie
DGZMK	Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
µSv	Mikrosievert
ALARA	As Low As Reasonably Achievable
ALADA	As Low As Diagnostically Achievable
DIMITRA	Dentomaxillofacial paediatric imaging: an investigation towards low dose radiation induced risks
ALADIP	As Low As Diagnostically Acceptable being Indication-oriented and Patient-specific
KFO-Patienten	Kieferorthopädische Patienten
AB	Axel Bumann

mAs	Milliamperesekunden
2D	Zweidimensional
H	Hypothese
n	Anzahl
sec	Sekunden
vox	Voxel
kV	Kilovolt
mm	Millimeter
min	Minuten
cd/m <sup>2</sup>	Candela pro Quadratmeter
CI	Konfidenzintervall
OR	Odds Ratio
ULD	Ultra-Low-Dose
IADR	Indikations-Abhängige-Dosis-Reduktion

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Aufteilung der Patientengruppen in männliche und weibliche sowie CMD- und KFO-Patienten	25
Tabelle 2: Technische Daten des KaVO 3D eXam	26
Tabelle 3: Technischen Daten des Befundungsmonitors EIZO Radiforce R31 Monitor (Deutschland)	27
Tabelle 4: Ergebnisse der degenerativen Veränderungen bei den beiden Patientengruppen in Prozent	36
Tabelle 5: Ergebnisse der einzelnen Stadien der degenerativen Veränderungen bei den beiden Patientengruppen in Prozent	38
Tabelle 6: Ergebnisse des gleichmäßigen dorsalen Gelenkspaltes bei den beiden Patientengruppen in Prozent	39
Tabelle 7: Ergebnisse der dorsalen Kondylenverlagerung bei den beiden Patientengruppen in Prozent	39
Tabelle 8: Ergebnisse der kranialen Kondylenverlagerung bei den beiden Patientengruppen in Prozent	40
Tabelle 9: Ergebnisse des ungleichmäßigen dorsalen Gelenkspaltes bei den beiden Patientengruppen in Prozent	40
Tabelle 10: Ergebnisse für apikale Aufhellungen bei den beiden Patientengruppen in Prozent	41
Tabelle 11: Ergebnisse der Verschattungen des Sinus maxillaris bei den beiden Patientengruppen in Prozent	41
Tabelle 12: Grad-1-Verschattungen des Sinus maxillaris bei den beiden Patientengruppen in Prozent	42
Tabelle 13: Grad-2-Verschattungen des Sinus maxillaris bei den beiden Patientengruppen in Prozent	42
Tabelle 14: Grad-3-Verschattungen des Sinus maxillaris bei den beiden Patientengruppen in Prozent	43

Tabelle 15: Grad-4-Verschattungen des Sinus maxillaris bei den beiden Patientengruppen in Prozent	43
Tabelle 16: Ergebnisse in Bezug auf Asymmetrien des aufsteigenden Unterkieferastes bei den beiden Patientengruppen in Prozent	44
Tabelle 17: Ergebnisse für den verkürzten aufsteigenden Ast bei den beiden Patientengruppen in Prozent	44
Tabelle 18: Ergebnisse für den verlängerten aufsteigenden Ast bei den beiden Patientengruppen in Prozent	45



## **Grafikverzeichnis**

Grafik 1: Altersverteilung der 280 Patienten beider Patientengruppen	26
Grafik 2: Allgemeine prozentuale Verteilung positiver Befunde zwischen CMD- und KFO-Patienten	35
Grafik 3: Spezifische prozentuale Verteilung der fünf ausgewählten Diagnostikparameter in DVT-Datensätzen der CMD- und KFO-Patienten	36
Grafik 4: Boxplot der mittleren Länge des aufsteigenden Astes bei CMD- und KFO-Patienten	45

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schematische Darstellung der Anatomie des Kiefergelenkes, in Anlehnung an das Buch „Funktionsdiagnostik und Therapieprinzipien“ von Bumann und Lotzmann (2000) [4]	13
Abbildung 2: Schematische Darstellung der Anatomie der Gelenkkapsel, in Anlehnung an das Buch „Funktionsdiagnostik und Therapieprinzipien“ von Bumann und Lotzmann (2000) [4]	14
Abbildung 3: Schematische Darstellung des Funktionsprinzips einer DVT – kegelförmige Rotation um den Patienten ist dargestellt [21]	18
Abbildung 4: DVT-Cross-Sections zur Untersuchung der Kondylenposition sowie der Kondylengelenkfläche auf degenerative Veränderungen und Verlagerungen der Kondylen durch vermehrten Knochenumbau	30
Abbildung 5: Koronare (a) und sagittale (b) Cross-Sections zur Identifizierung apikaler Aufhellungen	32
Abbildung 6: Axiale Ansicht des Sinus maxillaris zur Evaluierung von Verschattungen	33
Abbildung 7: Vermessung des Ramus mandibulae nach dem modifizierten Asymmetrieindex nach Shafé [62]	34

## Zusammenfassung

**Hintergrund:** Die digitale Volumentomographie (DVT) ist aufgrund ihrer Strahlenbelastung und ihres begrenzten nachgewiesenen diagnostischen Werts keine weitverbreitete Diagnostikmethode in der Kieferorthopädie (KFO) und in der kraniofazialen Schmerzdiagnostik. Ziel dieser Studie ist es, den Mehrwert der DVT zu demonstrieren, indem das Auftretisrisiko von fünf Parametern für craniomandibuläre Dysfunktion (CMD) und entzündlichen Läsionen in CMD- und kieferorthopädischen DVT-Datensätzen bewertet wurde.

**Methoden:** Es wurden 280 (140 kieferorthopädische und 140 CMD-Patienten) anonyme DVT-Datensätze retrospektiv auf das Vorhandensein von fünf Parametern untersucht: degenerative Veränderungen, Kondylenverlagerungen aufgrund von Diskusverlagerung, apikale Aufhellungen, Verschattungen des Sinus maxillaris und Asymmetrien des aufsteigenden Unterkieferastes aufgrund von primären Kiefergelenkserkrankungen. Mit dem Chi-Quadrat-Test und der Odds Ratio wurde überprüft, ob signifikante Unterschiede zwischen den Patientengruppen vorliegen.

**Ergebnisse:** Es wiesen 14,3 % der CMD- und 25,7 % der kieferorthopädischen Patienten mindestens einen positiven Befund auf. Zwei bzw. drei Befunde traten bei 42,1 % bzw. 30 % der CMD- und bei 27,1 % bzw. 24,3 % der kieferorthopädischen Patienten auf. Letztere zeigten häufiger apikale Aufhellungen ( $p = 0,046$ ) und Kondylenverlagerungen im gleichmäßigen dorsalen Gelenkspalt ( $p = 0,023$ ). Dagegen waren bei CMD-Patienten vermehrt degenerative Veränderungen ( $p < 0,001$ ) und Verschattungen des Sinus maxillaris ( $p = 0,009$ ) festzustellen.

**Diskussion:** Das hohe Auftreten von knöchernen Kiefergelenksveränderungen und entzündlichen Läsionen deutet darauf hin, dass die DVT ein vorteilhaftes bildgebendes Verfahren für CMD- und kieferorthopädische Patienten ist. Die therapeutische Bedeutung der DVT sollte in weiteren Studien untersucht werden.

**Schlussfolgerung:** Insbesondere bei der Verwendung von Ultra-Low-Dose-Protokollen kann die DVT multiple kraniofaziale Schmerzparameter erkennen und ein wertvolles bildgebendes Verfahren für CMD- und kieferorthopädische Patienten darstellen.

## Abstract

**Background:** Cone beam computed tomography (CBCT) is not a widely established orthodontic and craniofacial pain diagnostic method, due to its exposure of the patient to radiation and limited evidence of its diagnostic value. This study aims to demonstrate the merits of CBCT by evaluating the occurrence of five incidental osseous temporomandibular joint (TMJ) findings as well as inflammatory lesions, using data from temporomandibular disorders (TMD) and orthodontic CBCT datasets.

**Methods:** 280 (140 orthodontic and 140 TMD patients) anonymous CBCT datasets, were retrospectively examined for the existence of five parameters: degenerative deformation; TMJ condylar displacements due to disc displacement; apical lesions; inflammatory changes of the maxillary sinuses; and asymmetries of the ramus mandibulae due to TMJ disorders. The chi-square test and the odds ratio tested for significant differences between the patient groups.

**Results:** 14.3 % of TMD patients and 25.7 % of orthodontic patients showed at least one positive finding. Two and three findings occurred for 42.1 % and 30 % of TMD patients and for 27.1 % and 24.3 % of orthodontic patients, respectively. Orthodontic patients showed a higher occurrence of apical lesions ( $p = 0.046$ ) and condylar displacements at a uniform posterior joint space ( $p = 0.023$ ). TMD patients displayed degenerative deformation, ( $p < 0.001$ ) and increased inflammatory changes of the maxillary sinuses ( $p = 0.009$ )

**Discussion:** The high incidence of osseous TMJ findings and inflammatory lesions suggests that CBCT is an advantageous imaging tool for TMD and orthodontic patients. Further research should evaluate CBCT's therapeutic significance.

**Conclusions:** Especially, when using ultra-low-dose protocols, CBCT can detect several craniofacial pain parameters and be a valuable imaging technique for TMD and orthodontic patients.

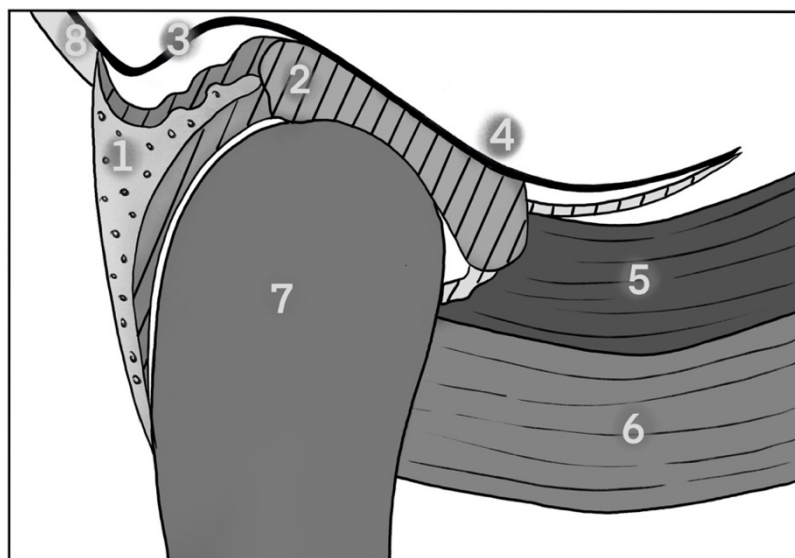
# 1. Einleitung

## 1.1 Definition

Kraniofaziale Schmerzen treten in verschiedenen klinischen Erscheinungsformen wie chronischen Gesichts-, Nacken- oder Kopfschmerzen auf. Die häufigste Ursache für kraniofaziale Schmerzen ist neben Zahnschmerzen und der Sinusitis die craniomandibuläre Dysfunktion (CMD). [1] Gemäß der Definition der American Academy of Orofacial Pain (AAOP) umfasst der Begriff CMD mehrere Dysfunktionen, die die Kaumuskulatur, das Kiefergelenk und benachbarte anatomische Strukturen betreffen [2].

## 1.2 Anatomie des Kiefergelenkes

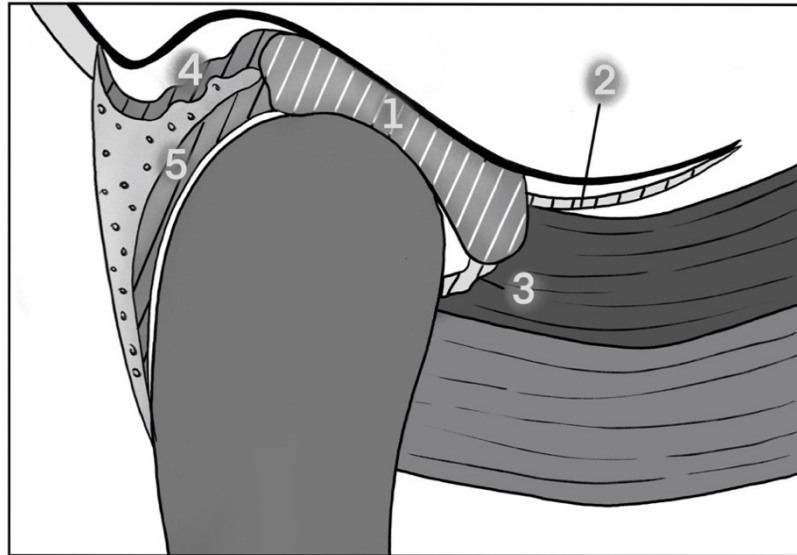
Um die CMD zu verstehen und diagnostizieren zu können, sind anatomische Kenntnisse über das Kiefergelenk (Articulatio temporomandibularis) nötig. Dieses ist die einzige bewegliche Verbindung zwischen dem Unterkiefer (Mandibula) und dem Schädel (Cranium). Es handelt sich um eine sogenannte synoviale Diarthrose. [3]



**Abbildung 1: Schematische Darstellung der Anatomie des Kiefergelenkes, in Anlehnung an das Buch „Funktionsdiagnostik und Therapieprinzipien“ von Bumann und Lotzmann (2000) [4].** Legende: 1: Bilaminäre Zone, 2: Discus articularis, 3: Fossa mandibularis, 4: Tuberculum articulare, 5: M. pterygoideus lateralis caput superius, 6: M. pterygoideus lateralis caput inferius, 7: Caput mandibulae des Processus condylaris, 8: Fissura petrotympanica

Wie auf Abbildung 1 zu erkennen ist, besteht das Kiefergelenk aus dem Gelenkkopf (Caput mandibulae des Processus condylaris), der Gelenkpfanne (Fossa mandibularis) und dem Gelenkhöcker (Tuberculum articulare). Des Weiteren werden die drei Gelenkflächen durch den faserknorpeligen Discus articularis voneinander getrennt. Dieser unterteilt sich

wiederum in den Discus articularis pars anterior, pars intermedia und pars posterior. Er weist eine Stabilisierungsfunktion für den Processus condylaris auf und ermöglicht reibungsreduzierte Gleitbewegungen im Kiefergelenk. [4]



**Abbildung 2: Schematische Darstellung der Anatomie der Gelenkkapsel, in Anlehnung an das Buch „Funktionsdiagnostik und Therapieprinzipien“ von Bumann und Lotzmann 2000) [4] Legende: 1: Discus articularis, 2: Stratum superius anterior, 3: Stratum inferius anterior, 4: Stratum superius posterior, 5: Stratum inferius posterior**

Dorsal geht der Discus articularis in die bilaminäre Zone über. Abbildung 2 zeigt, dass die bilaminäre Zone sich in ein oberes (Stratum superius) und ein unteres Band (Stratum inferius) aufteilt, zwischen denen das Genu vasculosum liegt, das Blutgefäße und Nerven enthält. Das Stratum superius besteht aus einem lockeren Netzwerk aus elastischen und kollagenen Fasern und ist kranial an der Fissura petrotympanica und der Fissura tympanosquamosa befestigt. Bei der Schließungsphase des Gelenkes ist es essentiell für die Rückholbewegungsfunktion des Discus articularis. Das Stratum inferius besteht hingegen aus straffen kollagenen Fasern und ist dorsal am Processus condylaris befestigt, auf dem es der Stabilisierung des Discus articularis dient. Weiterhin ist der Discus articularis so mit der Gelenkkapsel verwachsen, dass er das Gelenk in eine obere discotemporale und eine untere discomandibulare Kammer unterteilt (Abbildung 2). Erstere führt dabei die Gleit- und Schiebewegungen und letztere die Rotationsbewegungen des Kiefergelenkes durch. [4]

In Ruheposition liegt das Caput mandibulae in der Fossa mandibularis. Die habituelle Kieferöffnung ist ein Zusammenspiel aus Rotation und Translationsbewegungen. [3, 4]

Durch unphysiologische Belastung können bei den knöchernen Bestandteilen des Kiefergelenkes Deformationen oder Degenerationen auftreten. Ebenso können unphysiologische Belastungen des Discus articularis zu Verlagerungen oder Verformungen führen. Die Diskusverlagerungen können häufig ein Hinweis auf CMD sein. [3, 4]

### 1.3 Klassifizierung der CMD

Das in Amerika ansässige National Institut of Dental and Craniofacial Research unterteilt die CMD in die folgende Klassifizierung [5]:

1. **Myofaszialer Schmerz:** Dies ist die am häufigsten auftretende Form der CMD und geht oft mit Schmerzen im Bereich der Kau- sowie in der Nacken- und Schultermuskulatur einher.
2. **Gelenkerkrankungen:** Diese umfassen Arthralgien, Diskusverlagerungen und degenerative Veränderungen der Gelenke, etwa Osteoarthritis.
3. **Kopfschmerzen,** die in Verbindung mit CMD-Beschwerden stehen.

### 1.4 Epidemiologie der CMD

In der Fachliteratur gibt es verschiedene Studien mit unterschiedlichen Prävalenzangaben zur CMD. Die internationale Forschungsgemeinschaft stützt sich jedoch überwiegend auf die Studien von LeResche [1] und auf die des amerikanischen National Institute of Dental and Craniofacial Research [5]. Diese haben ergeben, dass 5–12 % der Bevölkerung CMD aufweisen [5], Frauen seien diesbezüglich doppelt so häufig betroffen wie Männer [6, 7]. In Bezug auf das Patientenalter ist die Wahrscheinlichkeit einer CMD bei Patienten im Altersbereich von 20–40 Jahren am höchsten [6, 8]. Die initialen Symptome einer CMD sind jedoch bei 60–70% der Weltbevölkerung vorhanden [9]. Von den betroffenen Patienten leiden dabei 3,6–7% unter starken Schmerzen und sind in CMD-Behandlung [2].

Die Ätiologie einer CMD kann multifaktoriell sein, die richtige Behandlung erfordert daher eine umfassende Diagnose. Die Erkrankung kann durch anatomische, pathophysiologische sowie psychologische Faktoren beeinflusst werden. [5] Es gibt initiale Faktoren, die eine CMD auslösen, prädisponierende Faktoren, die das Risiko einer CMD erhöhen, und fortbestehende Faktoren, die die Behandlung oder Heilung der CMD verzögern. Eine der häufigsten CMD-Ursachen, die in der Literatur genannt wird, ist die Malokklusion. [2, 10] Diese kann anatomisch bedingt bereits von Geburt an vorliegen, aber auch erst nach

einer kieferorthopädischen Behandlung bzw. nach einer restaurativen indirekten Versorgung auftreten [1, 10]. Als weitere Ursachen werden Parafunktionen aufgezählt, insbesondere der Bruxismus und Traumata [10].

#### **1.4 Diagnostische Untersuchungsmethoden**

Um bei Patienten eine CMD diagnostizieren zu können, müssen zunächst mehrere Voruntersuchungen durchgeführt werden. Die Tests umfassen dabei eine klinische und eine Röntgenuntersuchung des Kiefergelenkes, sowie eine Überprüfung der medizinischen und psychologischen Anamnese bzw. Vorgeschichte. [11] Faktoren wie übermäßiger Stress, Depressionen und Angststörungen können potentielle CMD-Risikofaktoren darstellen und sollten daher im Rahmen der Voruntersuchung ebenfalls abgeklärt werden [12].

Bei der klinischen Untersuchung des Kiefergelenkes wird spezieller zwischen der klinischen Funktionsanalyse (KFAL) und der manuellen Strukturanalyse (MSA) unterschieden. Mit Ersterer werden durch Inspektion, Palpation und Auskultation alle relevanten Gelenkstrukturen, z. B. die Zahnhartsubstanz, die Okklusion, und die Kaumuskulatur, auf pathologische Veränderungen überprüft. [13] Die MSA dient dann der weiteren Spezifizierung der während der KFAL etablierten Befunde. Mithilfe spezieller Untersuchungstechniken aus der Orthopädie werden die einzelnen Strukturen des craniomandibulären Systems unter differenzierter Belastung begutachtet. [14] Im Rahmen der vorliegenden Studie wird auf den Aspekt der klinischen Untersuchung sowie auf die Überprüfung der medizinischen und psychologischen Anamnese nicht weiter eingegangen. Der Fokus der Arbeit liegt ausschließlich auf der Begutachtung der röntgenologischen Untersuchung.

Im Hinblick auf die röntgenologische CMD-Untersuchung wurden im Laufe der Jahre verschiedene bildgebende Verfahren und entsprechende Klassifizierungsmethoden etabliert und bewertet [15–18]. Bis heute gilt der 1992 von Dworkin und LeResche in der Studie Research Diagnostic Criteria for Temporomandibular Disorders (RDC/TMD) veröffentlichte diagnostische Ansatz als internationaler Standard für die Klassifizierung von CMD. Der Ansatz verwendet eine zweiachsige Diagnosemethode, anhand derer CMD in Orthopantomogrammen (OPG) sowie in Magnetresonanz- und Computertomographie (CT)-Bildgebungen kategorisiert und bewertet werden können. Die Begutachtungsinstrumente

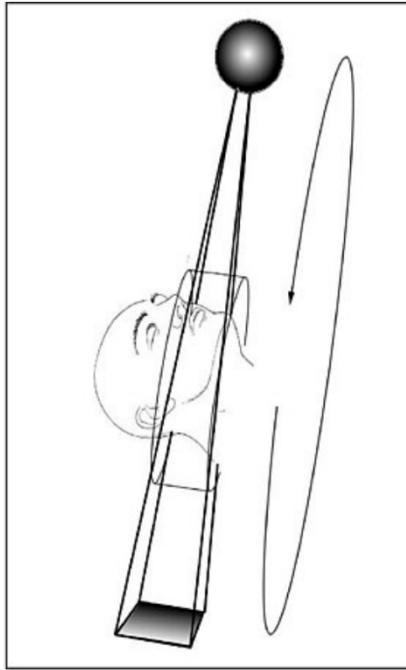


der Achse I konzentrieren sich dabei auf eine Reihe von klinischen Untersuchungen und radiologischen Betrachtungen, während die Achse II die psychosoziale Komponente und die Schmerzanalyse betrifft. Bereits in der originalen Studie wiesen die Autoren jedoch darauf hin, dass weitere Forschung und Überarbeitungen der zweiachsigen Klassifizierung notwendig seien. [11, 15]

Eine Überarbeitung des Diagnostikprotokolls lieferten Schiffmann et al. im Jahr 2014 mit der Studie Diagnostic Criteria for Temporomandibular Disorders (DC TMD). Mithilfe einer spezifischeren Screening- und Diagnosemethode für die Achse I und einer Erweiterung der Begutachtungsinstrumente für die Achse II erzielte die Studie eine höhere Ergebnisvalidität. Es konnte eine größere Sensitivität und Spezifität in der Differenzierung der CMD-Parameter festgestellt werden. [16] Mehrere Revisionen der Klassifizierung von Dworkin und LeResche wurden vorgenommen [16–18]. Ahmad et al. belegten 2016, dass neben einem CT-Scan auch der Einsatz der digitalen Volumentomographie (DVT) zu einer verbesserten Diagnose von degenerativen und traumatischen Kiefergelenkserkrankungen führen kann. Die Autoren wiesen jedoch darauf hin, dass sich die DVT aufgrund der höheren Strahlenbelastung im Vergleich zu einem normalen OPG nicht als diagnostischer Standard etablieren konnte. [18]

## **1.5 Digitale Volumentomographie**

Die DVT ist ein dreidimensionales (3D) Aufnahmeverfahren, das eine Rekonstruktion in verschiedenen Schnittebenen ermöglicht. Die ersten DVT-Aufnahmen wurden 1998 in Verona, Italien mit dem DVT-Gerät NewTom 9000 durchgeführt. [19] Im Gegensatz zur CT, bei der für die Bildaufnahme ein fächerförmiges Strahlenbündel benutzt wird, kommt bei der DVT ein Strahlenbündel in Kombination mit einem Flächendetektor oder einem Bildverstärker zum Einsatz [20].



**Abbildung 3: Schematische Darstellung des Funktionsprinzips einer DVT – kegelförmige Rotation um den Patienten ist dargestellt [21]**

Für die DVT-Aufnahme wird der Patient so positioniert, dass eine Röntgenstrahlenquelle ausgehend von der gegenüberliegenden Seite des flächigen Bilddetektors eine synchrone 180°- oder 360°- Rotation um den Patienten ausführt (Abbildung 3) [21, 22]. Die Aufnahme erzeugt dabei in 8 bis 20 Sekunden mehrere Hundert Einzelbilder, die mittels einer Rückprojektion direkt 3D-Aufnahmen der beleuchteten Regionen rekonstruieren können. Anders als bei einer klassischen CT erfolgt die Speicherung der Daten unmittelbar in Digital-Imaging-and-Communications-in-Medicine (DICOM)-Datensätzen, einem internationalen medizinischen Standardformat. [20]

Am häufigsten eingesetzt wird die dentale Volumentomographie Anheiter zufolge in der Implantologie mit einem Indikationseinsatz von 40 %. Die Chirurgie schließt sich mit 24 % an und die Kiefergelenksanalyse sowie die Kieferorthopädie mit jeweils 16 %. [23] Spezieller kommt die DVT für die Diagnose folgender Indikationen zum Einsatz: Frakturen [24, 25], Kiefergelenkserkrankungen [26], impaktierte und/oder verlagerte Zähne [24, 27, 28], genetische Syndrome mit kraniofazialen Zahn- und Gesichtsanomalien [29], Beurteilung der Weisheitszähne und ihrer engen Lagebeziehung zum Nervus alveolaris in-

ferior [30], Ausschluss von ungenügendem peridental Knochengebot [31, 32], Kieferchirurgie im Rahmen einer kieferorthopädischen Behandlung [33, 34] sowie Beurteilung von Atemwegen [33, 35].

Moderne DVT-Geräte können durch die gezielte Einstellung spezieller Parameter die individuelle Bildgebung optimal auf die jeweilig vorliegende Befunderhebung abstimmen und die Strahlenbelastung somit so gering wie möglich halten [36]. Ein Einstellungsparameter ist die Größe des Sichtfelds, das sogenannte Field of View (FOV). Es legt das Ausmaß des DVT-Aufnahmebereiches fest. Dabei weisen DVT-Geräte mit Flächendetektoren ein zylindrisches FOV auf, das durch einen pyramidenförmigen Strahlengang erzeugt wird. Geräte mit Bildverstärkersystemen besitzen hingegen ein sphärisches FOV, das wiederum durch einen kegelförmigen Strahlengang entsteht. [37] Das aufgenommene Bilddatenvolumen besteht für beide FOV aus kleinen quaderförmigen 3D-Bildelementen, die auch als Voxel bezeichnet werden. Das sphärische FOV erfordert jedoch im Vergleich zum zylindrischen für denselben Aufnahmebereich ein größeres Volumen und hat demzufolge eine höhere Strahlenbelastung. [22, 37] In der Praxis sind daher häufiger Geräte mit einem zylindrischen FOV zu finden [20, 36, 37].

Je nach Indikation bedarf es unterschiedlicher FOV, um die sogenannte Region of Interest (ROI) abbilden zu können [38]. Die verschiedenen FOV sind in Höhe und Durchmesser variabel, werden jedoch meist wie folgt unterteilt: kleines FOV < 10 cm, mittleres FOV = 10–15 cm und großes FOV > 15 cm [39–42]. Ludlow weist darauf hin, dass in der DVT das kleine FOV für die Bildgebung der oberen und unteren Zahnreihe, das mittlere FOV für die Abbildung der gesamten Dentition inklusive des Kiefergelenkes und das große FOV für die Aufnahme der großen maxillofazialen Region verwendet werden sollte [40]. Ähnlich beschreibt Pauwels, dass das kleine FOV für lokalisierte Regionen, das mittlere FOV für die dentoalveolären Regionen und das große FOV für die maxillofaziale Region genutzt werden sollte [41]. Des Weiteren unterteilt Rugani die Sichtfeldgröße in die folgenden Bereiche: kleines FOV für einzelne Zähne oder das Kiefergelenk, das mittlere FOV für die basale Kieferhöhle bis zum Kinn und großes FOV für den Gesichtsschädel [42]. In der Kieferorthopädie wird in der Regel ein mittleres oder ein großes FOV gewählt, um alle relevanten Strukturen abbilden zu können [36]. In einer Studie von Lichtenfeld konnte 2014 in Bezug auf die Kieferorthopädie festgestellt werden, dass die ideale Größe des FOV 18 x 15 cm beträgt [43].

Ein ebenfalls bedeutender Einstellungsparameter der DVT-Geräte ist die effektive Dosis  $E$ . Sie definiert das Strahlenbelastungsmaß, dem der Patient ausgesetzt wird. Für die genaue Berechnung der effektiven Dosis  $E$  werden die unterschiedlichen Strahlungsempfindlichkeiten der Organe miteinbezogen. Dies ermöglicht eine solide Einschätzung des Strahlenrisikos für den Patienten. Die verschiedenen Gewebewichtungsfaktoren  $w_T$  für die Berechnung werden dabei von der internationalen Strahlenschutzkommission, der sogenannten International Commission on Radiological Protection (ICRP), festgelegt. [25] Des Weiteren ist die Ermittlung der effektiven Dosis  $E$  abhängig von der gewählten FOV-Einstellung des DVT-Geräts. Die S2k-Leitlinie der Deutschen Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde (DGZMK) von 2022 gibt in Bezug auf die FOV-Klassifizierung folgende Werte der effektiven Dosen für Erwachsene an: kleines FOV 5–652  $\mu\text{Sv}$ , mittleres FOV 9–560  $\mu\text{Sv}$  und großes FOV 46–1073  $\mu\text{Sv}$ . [20]

Gemäß dem Prinzip ‚as low as reasonably achievable‘-Prinzip (ALARA), sollte bei der DVT-Bildgebung daher das FOV nur so groß gewählt werden, wie es für die Abbildung der zu befundenen Region maximal nötig ist, um die Strahlenbelastung für den Patienten so niedrig wie möglich zu halten [44]. Seit 2015 wird darüber hinaus empfohlen, neben ALARA auch das Prinzip ‚as low as diagnostically acceptable‘ (ALADA) in der Strahlenbelastungsberechnung zu beachten. Es unterstreicht die Notwendigkeit, die Strahlendosis auf das Minimum zu beschränken, das für eine adäquate Darstellung der relevanten anatomischen Strukturen erforderlich ist, indem die Einstellungsparameter für jede DVT-Aufnahme entsprechend der individuellen Indikation angepasst werden. [45] Die europäische Forschungsgruppe DIMITRA (Dentomaxillofacial paediatric imaging: an investigation towards low dose radiation induced risks), die sich vor allem mit der Reduzierung der Strahlenbelastung von DVTs bei Kindern und Jugendlichen befasst, schlug zudem vor, die Regel ‚as low as diagnostically acceptable being indication-oriented and patient-specific‘ (ALADIP) einzubeziehen. Diese besagt, dass die DVT-Aufnahmen individuell auf die Indikation des Patienten spezifisch eingestellt werden sollten. [29]

Die Auflösung ist ein weiterer Parameter, der bei der Einstellung des DVT-Geräts beachtet werden sollte. Bei DVT-Geräten mit einem zylindrischen FOV wird das Auflösungsvermögen anhand der Anzahl der isotropen Voxel bestimmt. [46, 47] Jedem Voxel ist dabei ein bestimmter Grauwert zugeordnet [48]. Je nachdem, welche anatomische Lage des Patienten betrachtet wird, entspricht die Dichte des Patienten dort einem bestimmten

Grauwert, der durch Rückprojektion dargestellt werden kann. Die Auflösungseinstellung für DVT kann erheblich variieren. In der Literatur werden Auflösungen von 70 bis 600 µm genannt, wobei eine Auflösung von 250 µm für die Kieferorthopädie vollkommen ausreichend ist. [39, 49]

## **1.6 Aktuelle Studienlage**

Generell gibt es in der internationalen Forschungsliteratur immer wieder Diskussionen über den Einsatz der DVT in der CMD-Diagnostik und in der KFO. Im Vordergrund stehen dabei primär die gesundheitlichen Auswirkungen der Strahlenbelastung, die sich durch die DVT für den Patienten ergeben können. In der 2022 von der DGZMK veröffentlichten konsensbasierten Leitlinie (S2k) wurde festgestellt, dass die DVT zwar für einige zahnmedizinische Diagnosen indiziert ist, ihr Einsatz jedoch insbesondere bei Kindern und Jugendlichen aufgrund der hohen Strahlenbelastung eingeschränkt werden sollte. [20] Andere Studien verweisen darauf, dass unter Beachtung des ALARA-Prinzips die DVT für die Beurteilung von Zahnfehlstellungen und -anomalien begrenzt verwendet werden kann. Es sollte vorab aber bereits eine Indikation bestehen, die eine Notwendigkeit für die Ermittlung der genauen topografischen Lokalisation suggeriert. [20, 44, 49] Ähnlich stellten Hatcher und Aboudara fest, dass nur 3D-Bilder alle notwendigen Informationen für die Beurteilung bestimmter Gebissregionen enthalten [50]. Eine generelle Empfehlung dafür, die DVT als Routinediagnostikmethode bei kieferorthopädischen Patienten (KFO-Patienten) zu verwenden, wurde aufgrund der Strahlenbelastung allerdings von keinem der Autoren ausgesprochen [20, 43, 48, 49].

Des Weiteren wird in der Fachliteratur auch die Zuverlässigkeit der DVT-Befunderhebung diskutiert. So geben beispielsweise Honey et al. in ihrer Studie an, dass normale OPG in Bezug auf die Erhebung von Befunden eine Fehlerquote von 36–45% aufweisen und daher für den Diagnose- und Behandlungsprozess weniger zuverlässig sind als die DVT-Bildgebung [51]. Die oben bereits erwähnte S2k-Leitlinie stellt zudem heraus, dass eine DVT-Aufnahme, wenn diese für die Röntgenuntersuchung vertretbar ist, den Diagnoseprozess erheblich vereinfachen kann, da mehrere Befundregionen in einem einzigen Bild erfasst werden. Weiter verweist die Leitlinie darauf, dass DVT-Aufnahmen von CMD-Patienten ausreichende Informationen liefern können, um mögliche primäre Kieferge-

lenkserkrankungen, osteoarthritische Veränderungen, Kondylenverlagerungen und Röntgenopazitäten der Kieferhöhle zu diagnostizieren. Auch für KFO-Patienten liefern DVT-Datensätze laut den Autoren eine ausreichende Befundanzahl für die Untersuchung der Weisheitszahnposition, des Vorhandenseins apikaler Aufhellungen, der Eruptionsmuster der Zähne, der Röntgenopazitäten der Kieferhöhle, der Wurzelresorption und des Zustands der Kiefergelenkkondylen. [20]

Allgemein gibt es in der Fachliteratur einen Anstieg an Studien, in denen der Einsatz der DVT für den Diagnoseprozess bei kraniofazialen Schmerzen begutachtet wird. In den meisten Arbeiten wird die DVT-Diagnostik jedoch vorwiegend hinsichtlich einer bestimmten Schmerzquelle oder einer bestimmten Patientengruppe betrachtet. [52–54] Während DVT-Datensätze von KFO-Patienten hauptsächlich dafür verwendet wurden, unzureichendes peridentales Knochenangebot auszuschließen, bezog sich der Einsatz von DVT-Aufnahmen bei CMD-Patienten auf den Ausschluss osteoarthrotischer Veränderungen und therapeutisch relevanter Kondylenpositionen.

Es wurde bisher in keiner Studie das Risiko von zufälligen knöchernen Kiefergelenkbefunden und entzündlichen Läsionen in DVT-Datensätzen von CMD- und KFO-Patienten systematisch ausgewertet. Folglich liegen keine verlässlichen Daten vor, anhand derer sich feststellen ließe, ob es signifikante Unterschiede bei kraniofazialen Schmerzquellen in den DVT-Aufnahmen von CMD- und KFO-Patienten gibt. Wissenschaftliche Statistiken über das Auftrittsrisiko dieser Befunde würden es der Forschung jedoch ermöglichen, Rückschlüsse auf die Bedeutung der DVT als diagnostisches Bildgebungsverfahren für kraniofaziale Schmerzen zu ziehen. In dieser Arbeit wird daher das Risiko von fünf knöchernen Kiefergelenks- und Entzündungsläsionen, die häufig mit kraniofazialen Schmerzen assoziiert sind, in DVT-Datensätzen sowohl von CMD- als auch von KFO-Patienten systematisch analysiert. Des Weiteren wird überprüft, ob die Parameter in einer der beiden Patientengruppen häufiger auftreten. Die fünf untersuchten Parameter wurden einem CMD-Report entnommen, der von Axel Bumann (AB) mit dem Ziel entwickelt wurde, Befunde von Kiefergelenk- und Kraniofazialschmerzen in DVT-Bildern auszuwerten [55].

## 2. Fragestellung

Wenn es im Rahmen der Diagnostik von CMD-Patienten eine rechtfertigende Indikation für eine röntgenologische Untersuchungstechnik gibt, sollte laut der S2k-Leitlinie von 2022 ein DVT angefertigt werden, weil Panoramaschichtaufnahmen und Kiefergelenkprojektionen aus Panoramaschichtaufnahmegeräten keine zuverlässige Befundung von knöchernen Veränderungen im Kiefergelenk zulassen [20]. Die DVT-Aufnahme sollte dabei unter Einhaltung des ALARA-Prinzips [44] mit einem milliamperesekunde-(mAs)-reduzierten Protokoll erstellt werden, da die effektive Dosis E so unterhalb des Strahlenbelastungswertes von zweidimensionalen (2D) Röntgenaufnahmen gehalten werden kann [56]. Um zudem eine multiple Strahlenexpositionen zu vermeiden, sollte als weiterführende strahlenhygienische Maßnahme das geeignete FOV so gewählt werden, dass es sämtliche anatomisch relevanten Strukturen in einer einzigen Aufnahme erfassen kann [38, 57]. Im Anschluss sollte eine systematische Befundung des erfassten Volumens anhand eines standardisierten CMD-Reports erfolgen. Der standardisierte CMD-Report des MESANTIS 3D Dental-Radiologicums beinhaltet zur differentialdiagnostischen Abklärung von Schmerzen im craniomandibulären System einige der folgenden Parameter:

1. Degenerative Veränderungen
2. Kondylenverlagerungen
3. Apikale Aufhellungen
4. Verschattungen des Sinus maxillaris
5. Asymmetrien des aufsteigenden Unterkieferastes

So kann nach der klinischen Untersuchung auf Basis der klinischen Funktionsanalyse und der manuellen Strukturanalyse mit einer einzigen 3D-Röntgenaufnahme ein Maximum an Differentialdiagnostik erreicht werden. Inwieweit diese Parameter aufgrund ihrer erhöhten positiven Befunde differentialdiagnostische Relevanz bei CMD-Patienten und bei kieferorthopädischen Patienten mit Zahn- und Kieferfehlstellungen aufweisen und inwiefern es Unterschiede im Auftreten der positiven Befunde zwischen den Gruppen gibt, ist bisher noch nicht wissenschaftlich überprüft.

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurden die folgenden fünf Hypothesen (H) überprüft:

- H1: Das Risiko für degenerative Veränderungen bei CMD-Patienten unterscheidet sich vom Risiko bei KFO-Patienten.
- H2: Das Risiko einer Kondylenverlagerung aufgrund einer Diskusverlagerung unterscheidet sich zwischen CMD- und KFO-Patienten.
- H3: Das Risiko von apikalen Aufhellungen unterscheidet sich nicht zwischen CMD- und KFO-Patienten.
- H4: Das Risiko von Verschattungen des Sinus maxillaris bei CMD-Patienten unterscheidet sich nicht vom Risiko bei KFO-Patienten.
- H5: Das Risiko von Asymmetrien des aufsteigenden Unterkieferastes unterscheidet sich zwischen CMD- und KFO-Patienten.



### 3. Material und Methodik

#### 3.1 Allgemeine Methodik

Bei der vorliegenden Studie handelt es sich um retrospektive, explorative Studie, die mit Genehmigung der Ethikkommission der Charité (EA1/120/23) durchgeführt wurde.

##### 3.1.1 Patientengut

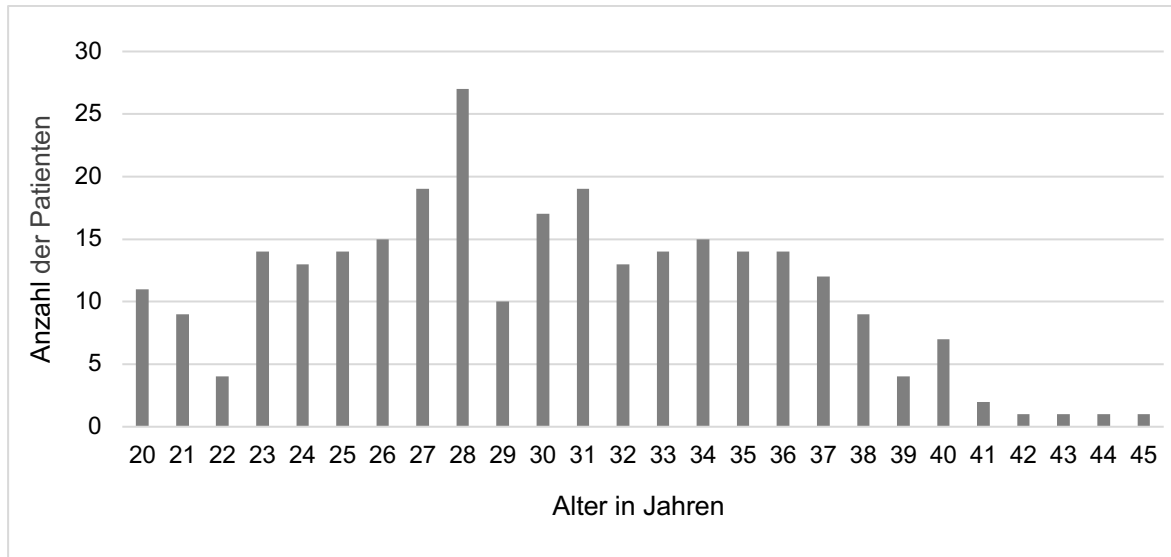
Für die Studie wurden zunächst die DVT-Aufnahmen von 4705 Patienten anhand der fünf Parameter eines standardisierten CMD-Reports des MESANTIS 3D Dental-Radiologiums untersucht. Die Patienten wiesen entweder CMD-Beschwerden auf oder waren in kieferorthopädischer Behandlung. Keiner der Patienten durfte jedoch in beiden Patientengruppen vertreten sein. Alle untersuchten DVT-Aufnahmen wurden im Vorfeld, unabhängig von der vorliegenden Studie, aufgrund einer rechtfertigenden medizinischen Indikation zur kieferorthopädischen Behandlung oder CMD-Diagnostik angefertigt und entweder zu Beginn, während oder zum Abschluss der Behandlung der Patienten erstellt. Aus den 4705 DVT-Aufnahmen wurden von der Autorin 280 Originaldatensätze bestimmt, die sich in 140 CMD- und 140 kieferorthopädische DVT-Aufnahmen aufteilen. Beide Gruppen bestanden darüber hinaus aus jeweils 70 männlichen und 70 weiblichen Patienten (siehe Tabelle 1). Die Aufnahmen der CMD-Patienten wurden so gewählt, dass die Indikation zur Beurteilung des Kiefergelenkes bestand und therapeutisch relevante Kondylenpositionen, primäre Gelenkerkrankungen und osteoarthrotische Deformationen ausgeschlossen werden konnten. Bei der Auswahl der kieferorthopädischen Aufnahmen war die Indikation, ein ungenügendes peridentales Knochenangebot auszuschließen.

Patientengruppe	Geschlecht		Gesamt	
	Weiblich	Männlich		
Gruppe	KFO	70	70	140
	CMD	70	70	140
Gesamt		140	140	280

**Tabelle 1: Aufteilung der Patientengruppen in männliche und weibliche sowie CMD- und KFO-Patienten.**  
Abkürzungen: CMD-Patienten= craniomandibuläre Patienten, KFO-Patienten= kieferorthopädische Patienten

Der Altersbereich der Patienten wurde im Hinblick auf die vermehrte Auftrittshäufigkeit für CMD gewählt [6]. Die untersuchten Patienten waren zwischen 20 und 45 Jahren alt.

Das Durchschnittsalter lag bei 30,5 Jahren mit einer Standardabweichung von  $\pm 5,5$ . Grafik 1 veranschaulicht die genaue Altersverteilung der beiden Patientengruppen in Summe.



**Grafik 1: Altersverteilung der 280 Patienten beider Patientengruppen**

### 3.1.2 DVT-Aufnahmen

Die DVT-Aufnahmen (n = 280) wurden im Zeitraum zwischen den Jahren 2012 und 2017 in dem MESANTIS 3D Dental-Radiologicum am Standort Berlin mit dem DVT-Gerät KaVo 3D eXam (KaVo Dental GmbH, Deutschland) aufgenommen.

Um die Vergleichbarkeit zu gewährleisten, wurden nur DVT-Aufnahmen gewählt, die die Einstellungsparameter 13,5 cm, 26,9 sec und 0,25 mm aufwiesen. Tabelle 2 führt die genauen Einstellungsdaten für das DVT-Gerät KaVo 3D eXam auf.

<u>Technische Daten</u>	<u>KaVo 3D eXam (Kavo Dental GmbH 2009)</u>
Bilddetektor	Flachfeld, amorphes Silizium
Strahlenprofil	Cone Beam
Röhrenspannung	90–120 kV
Graustufung	14 Bit
Bilderfassung	360° Einzelrotation
Voxelgröße	0,4/0,3/0,25/0,2/0,125 mm
Standard FOV (Durchmesser x Höhe)	16 x 13,5 cm
Erweitertes FOV (Durchmesser x Höhe)	23 x 17 cm
Bilderfassungsdauer	8,9/26,9 sec
Rekonstruktionszeit	< 2 min

**Tabelle 2: Technische Daten des KaVO 3D eXam.** Abkürzungen: kV = Kilovolt, mm = Millimeter, cm = Zentimeter, sec = Sekunden, FOV = Field of View, min = Minuten

Für jede DVT-Aufnahme wurde im Vorfeld unabhängig von dieser Studie durch fachkundige Zahnärzte die individuelle rechtfertigende medizinische Indikation nach S2k- Leitlinie der DGZMK gestellt [20]. Bei allen Patienten lag eine Einverständniserklärung für die DVT-Aufnahme vor. Diese erfolgte standardisiert und wurde bei jedem Patienten bei maximaler Interkuspitation durchgeführt. Für die Aufnahme saß der Patient aufrecht im DVT-Gerät, mithilfe einer Lichtkreuzausrichtung wurde der Kopf nach der Frankfurter Horizontalen eingestellt. Der Patient wurde instruiert, während der Aufnahme nicht zu schlucken und sich möglichst nicht zu bewegen. Die erfassten DVT-Datensätze wurden im DICOM-Format gespeichert.

### 3.1.3 Auswertungssoftware

Die DICOM-Datensätze aus dem Langzeitarchiv des MESANTIS 3D Dental-Radiologicums Berlin wurden unter Verwendung der 3D-Imaging-Software Invivo 5.4.5 Anatomage (San Jose, USA) ausgewertet. Mithilfe der Software wurden dabei aus den DICOM-Datensätzen 3D-Grafiken erzeugt, die anschließend anhand der Parameter des standardisierten CMD-Reports des MESANTIS 3D Dental-Radiologicums beurteilt wurden. Alle Datensätze wurden vor Befundung von einem wissenschaftlichen Mitarbeiter, der nicht an der Auswertung beteiligt war, randomisiert und anonymisiert.

### 3.1.4 Datenauswertung

Die Datenauswertung wurde von der Autorin durchgeführt und im Anschluss von AB überprüft. Sämtliche Daten wurden im Befundungsraum des MESANTIS 3D Dental-Radiologicums Berlin an Befundungsmonitoren, die den Richtlinien der DIN 6868-57 entsprechen, untersucht. Der Raum wurde zum Zeitpunkt der Befundung abgedunkelt, um mögliche externe Lichteinflüsse auszuschließen. Tabelle 3 gibt die technischen Daten des Befundungsmonitors wieder.

<b>Auflösung</b>	3 Megapixel
<b>Bildpunkte</b>	1536–2048
<b>Kontrastverhältnis</b>	400:1
<b>Helligkeit/Leuchtdichte</b>	400 cd/m <sup>2</sup>

**Tabelle 3: Technischen Daten des Befundungsmonitors EIZO Radiforce R31 Monitor (Deutschland).**  
Abkürzung: cd/m<sup>2</sup> = Candela pro Quadratmeter

### **3.1.5 Statistische Analyse**

Alle gemessenen Werte und erhobenen Daten wurden in einer Excel-Tabelle (MS Excel, Microsoft, Redmont, Washington, USA) erfasst und deskriptiv sowie explorativ mit dem Statistikprogramm IBM SPSS (Statistical Package of Social Science, Version 22, Chicago, Illinois, USA) analysiert. Zur Überprüfung der Statistik wurde der Promotionservice der Charité am Institut für Biometrie und Epidemiologie zur Unterstützung konsultiert.

Für alle statistischen Tests wurde ein Signifikanzniveau von  $\alpha = 0,05$  festgelegt. Aufgrund des explorativen Charakters der Studie wurde nicht für multiples Testen ausgerichtet, alle p-Werte sind deskriptiv zu verstehen. Zur deskriptiven Untersuchung der Variablen wurden die Quartile berechnet.

Um den Zusammenhang von entzündlichen Läsionen und Veränderungen im Kiefergelenk zwischen KFO- und CMD-Patienten zu vergleichen, wurde der Chi-Quadrat-Test verwendet. Die Voraussetzungen für den Chi-Quadrat-Test wurden erfüllt. Die Variablen waren nominalskaliert, die Fallzahl größer als 50 und es lag eine Unabhängigkeit der Messungen vor. Bei einem erwarteten Wert pro Zelle von kleiner 5, war die Bedingung für den Chi-Quadrat-Test nicht erfüllt, und infolgedessen der p-Wert nicht angegeben. Sowohl für die CMD-Patienten, als auch für die KFO-Patienten wurden jeweils die Odds Ratios mit entsprechenden Konfidenzintervallen berechnet, um das Chancenverhältnis der folgenden Befunde zu bestimmen: Das Auftreten von degenerativen Veränderungen, Kondylenverlagerung aufgrund einer Diskusverlagerung, apikalen Aufhellungen, Verschattungen des Sinus maxillaris und Asymmetrien des aufsteigenden Unterkieferastes. Das Konfidenzintervall (CI) von 95% wurde festgelegt.

Mithilfe der Streckenmessungen des Ramus mandibulae wurden durch einen modifizierten Asymmetrieindex die Asymmetrien des aufsteigenden Unterkieferastes bestimmt. Zur besseren Veranschaulichung der mittleren Längen der Rami mandibulae wurde außerdem ein Boxplot erstellt.

### **3.2 Spezielle Methodik**

Anhand der DVT-Aufnahmen wurden die Kiefergelenke und der Sinus maxillaris der Patienten retrospektiv auf das Auftreten von fünf Parametern analysiert, die einem standardisierten CMD-Report entnommen wurden. Dieser wurde dabei unabhängig von dieser

Studie von AB erstellt und wird in dem MESANTIS 3D Dental-Radiologicums Berlin verwendet. Das Auftreten eines Parameters wurde als hoch eingestuft, wenn der prozentuale Anteil bei mehr als 10 % lag. War ein Parameter hingegen mit weniger oder gleich 10 % vertreten, wurde die Befundlage als niedrig eingestuft. Vier der untersuchten CMD-Reportparameter repräsentieren potentielle Ätiologien für kraniofaszialen Schmerz [1]. Der fünfte Parameter stellt die Asymmetrien der aufsteigenden Unterkieferäste dar. Die Indikation gehört zu den primären Kiefergelenkserkrankungen und entsteht meist durch temporomandibuläre Dysfunktionen oder Wachstumsstörungen [2]. Im Detail wurden die fünf Parameter wie folgt definiert:

Kraniofasziale Schmerzätiologien:

- Degenerative Veränderungen
- Kondylenverlagerungen aufgrund von Diskusverlagerung
- Apikale Aufhellungen
- Verschattungen des Sinus maxillaris

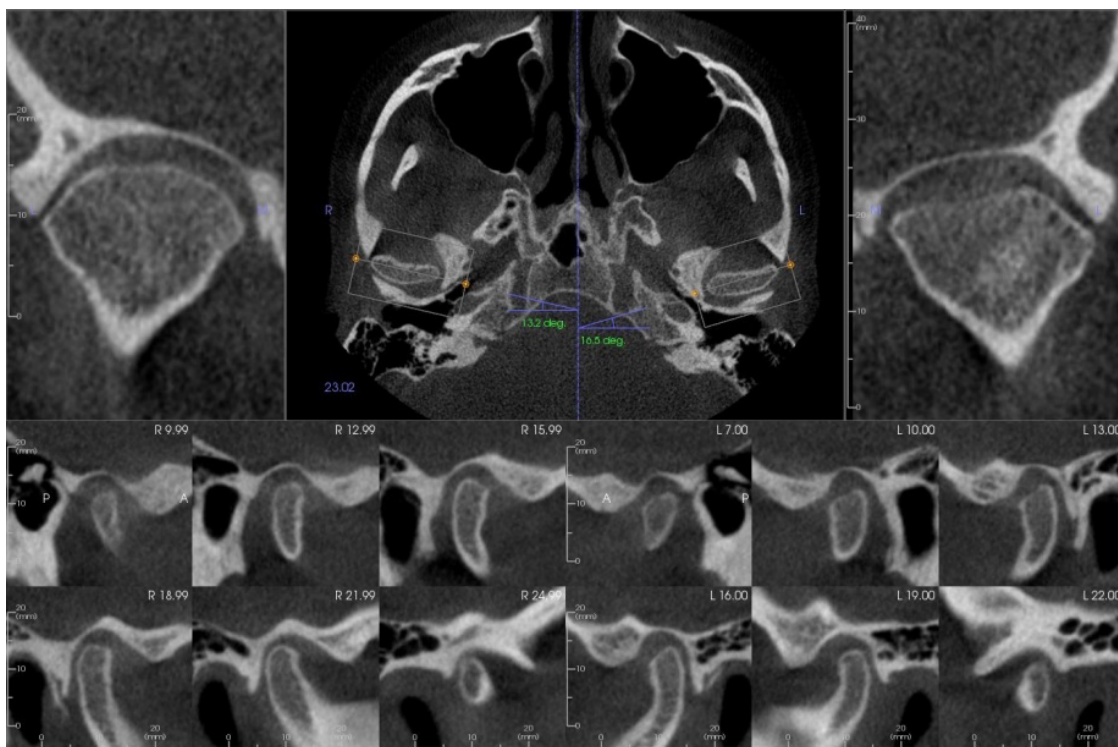
Kiefergelenkserkrankung als Folge von CMD oder Wachstumsstörungen:

- Asymmetrien der aufsteigenden Unterkieferäste

Die aufgezeichneten DVT-Datensätze wurden mittels der 3D-Bildgebungsoftware Invivo 5.4.5 von Anatomage in das DICOM-Format konvertiert und anschließend gemäß demselben Schema untersucht. So wurde zunächst der Patientenschädel nach der Frankfurter Horizontalen ausgerichtet und in koronarer und sagittaler Ansicht betrachtet. Bei allen Patientendatensätzen erfolgte zudem die Streckenmessung anhand einer Zwei-Punkt Messung. In der Volume-Render-Einstellung der Software wurden die Kiefer auf apikale Aufhellungen, fehlende Zähne und Implantate hin untersucht. Nicht berücksichtigt wurden hierbei Nichtanlagen sowie nicht durchgebrochene Zähne. In der Arch-Section-Einstellung der Software wurden darüber hinaus die einzelnen Schichten der Kiefergelenke und des Sinus maxillaris durchschnitten und betrachtet. Hierbei betragen die Thickness-Einstellung 0,5 mm und das Intervall 1,00 mm.

### 3.2.1 Degenerative Veränderungen

Für die optimale Analyse des Zustands und der Position der Kiefergelenke wurden diese in der TMJ-Einstellung ausgerichtet und dann in sogenannten DVT-Cross-Sections in sagittaler und koronarer Ebene betrachtet. Cross-Sections sind Querschnittaufnahmen, die es ermöglichen, die aufgenommenen Bildschichten individuell zu betrachten. Für die vorliegende Arbeit wurden die einzelnen Kondylenschichten von medial nach lateral beurteilt. Um zu überprüfen, ob die Patienten Diagnostikkriterien für CMD-Befunde und vor allem osteoarthrotische Veränderungen aufweisen, wurden die Kiefergelenke auf das Vorliegen der im CMD-Report des MESANTIS 3D Dental-Radiologicums festgelegten degenerativen Veränderungen analysiert. Diese umfassten dabei die folgenden Diagnostikstadien: Abflachung, Sklerosierung, sklerosierte osteoarthrotische Veränderung mit Knochenspitzen und ohne Knochenspitzen sowie nicht sklerosierte osteoarthritische Deformationen.



**Abbildung 4:** DVT-Cross-Sections zur Untersuchung der Kondylenposition sowie der Kondylengelenkfläche auf degenerative Veränderungen und Verlagerungen der Kondylen durch vermehrten Knochenumbau

Abbildung 4 veranschaulicht die Überprüfung auf die degenerativen Veränderungen anhand ausgewählter DVT Cross Sections. Im mittleren oberen Bereich ist dabei die axiale

Schichtebene abgebildet, während rechts bzw. links oben jeweils die koronaren Ansichten dargestellt werden. Im unteren Bereich sind die sechs sagittalen Schnittbilder der Gelenke zu sehen. Es ist zu erkennen, dass der Kondylus rechts nach dorsal und laterokranial verlagert ist. Dies könnte ein Hinweis für eine Diskusverlagerung sein. Der Kondylus links zeigt eine Verminderung der Kondylenhöhe und eine Abflachung des Kondylus, was ebenfalls auf eine degenerative Veränderung hinweist.

### **3.2.2 Kondylenverlagerung aufgrund von Diskusverlagerung**

Zur Beurteilung der Kondylenposition wurde die Breite vom anterioren und posterioren Gelenkspalt miteinander verglichen [58]. War der posteriore Gelenkspalt schmaler als anteriorer Gelenkspalt, wies dies auf eine dorsale Kondylenposition hin. Zur Überprüfung des Diagnostikparameters der Kondylenverlagerung wurde der dorsale Gelenkspalt der beiden Kiefergelenke in der sagittalen DVT-Aufnahme von medial nach lateral in 3-mm-Schichtebenen untersucht. Der dorsale Gelenkspalt wird dabei als Abstand zwischen den beiden Anteilen der knöchernen Strukturen des Processus condylaris und der Fossa articularis definiert. Hierfür wurde der geringste Abstand der beiden knöchernen Strukturen linear gemessen. Zudem erfolgte die Untersuchung des dorsalen Gelenkspaltes beider Kiefergelenke gleichzeitig und subjektiv unabhängig voneinander. Es handelt sich in der vorliegenden Studie um eine deskriptive, visuelle Untersuchung des dorsalen Gelenkspaltes.

Unterschieden wurde zwischen einem gleichmäßigen und einem ungleichmäßigen dorsalen Gelenkspalt. Letzterer lag vor, wenn durch eine Kondylenrotation der dorsale Gelenkspalt entweder lateral verengt und medial erweitert oder lateral erweitert und medial verengt war. Für diese Studie wurden die Ergebnisse für die beiden Varianten zusammengefasst. Um Kondylenverlagerungen nachzuweisen, die aufgrund von Diskusverlagerungen aufgetreten sind, wurden die Kondylen auf kraniale und dorsale Verlagerungen überprüft. Die Verlagerung in diese beiden Richtungen weisen häufig auf juvenile oder im Erwachsenenalter auftretende degenerative Veränderungen sowie Diskusverlagerungen hin. Es ist anzumerken, dass es grundsätzlich nicht möglich ist, eine Diskusverlagerung direkt in DVT-Datensätzen nachzuweisen. [59] In die vorliegende Studie nicht einbezogen wurde die Betrachtung beim gleichmäßigem dorsalem Gelenkspalt von anterioren, kaudalen, medialen und lateralen Kondylenverlagerungen. Die Verlagerungen der

Kondylen in diese Positionen lassen meist nicht auf potentielle Diskusverlagerungen schließen. Sie verweisen auf Ursachen anderer Ätiologie [60], die in dieser Arbeit nicht weiter betrachtet werden.

### 3.2.3 Apikale Aufhellungen

Zur Untersuchung der Ober- und Unterkieferzähne auf apikale Aufhellungen wurden die DVT-Cross-Sections in der koronaren und sagittalen Ebene evaluiert. Während der Untersuchung wurden die oberen und unteren Zahnreihen jeweils ausgehend vom rechten Weisheitszahn bis zum linken Weisheitszahn kontrolliert. Es wurde speziell auf das Vorliegen von apikalen Aufhellungen überprüft, die auf entzündliche Prozesse hinweisen. Nichtentzündliche Aufhellungen wurden in dieser Studie exkludiert. Abbildung 5 veranschaulicht das Beispiel von koronaren (a) und sagittalen (b) DVT-Cross-Sections zur Identifizierung apikaler Aufhellungen. Es ist zu erkennen, dass im Oberkiefer der erste Molar links eine periapikale Verdünnung mit Sklerosierung aufweist. Dies kann ein Indiz für eine apikale Entzündung darstellen.

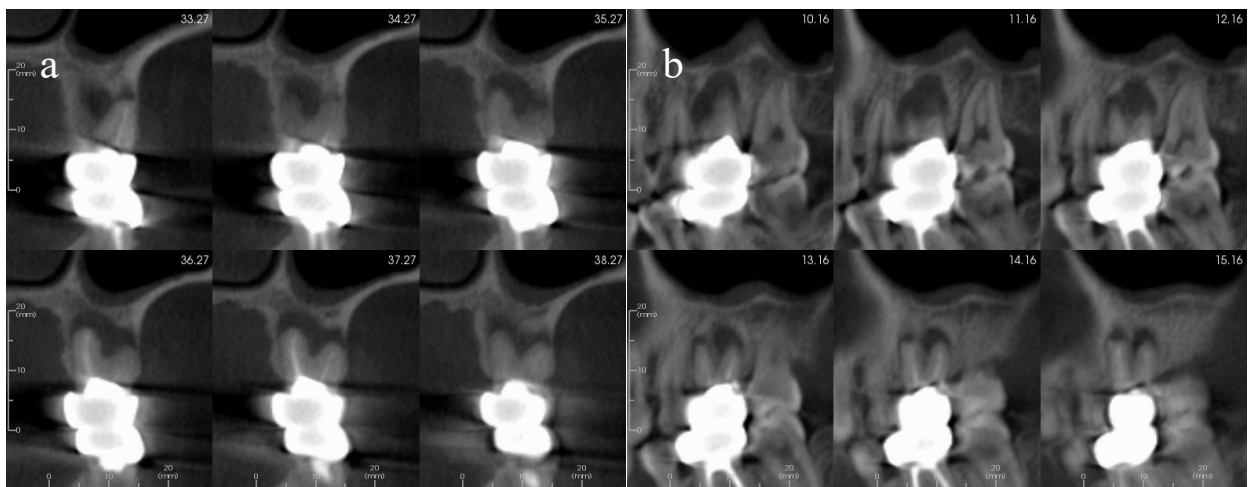


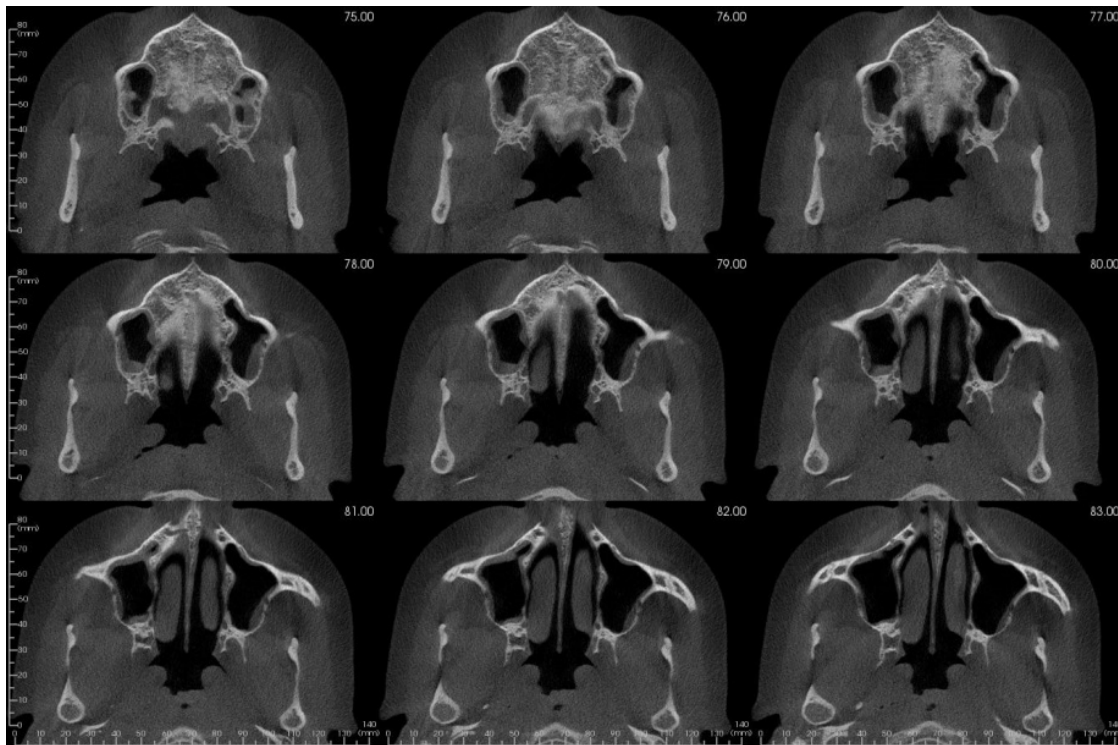
Abbildung 5: Koronare (a) und sagittale (b) Cross-Sections zur Identifizierung apikaler Aufhellungen

### 3.2.4 Verschattungen des Sinus maxillaris

Zur Überprüfung des Sinus maxillaris auf Indikationen von Verschattungen, wurden die DVT-Datensätze in der axialen, koronalen und sagittalen Ansicht betrachtet. Verschattungen des Sinus maxillaris können ein Hinweis auf entzündliche Prozesse, beispielsweise Zysten, Polypen oder verdickte Schleimhautmukosa, sein [61].



Zur genaueren Einstufung der Verschattungen wurde die 4-Grad-Einteilung nach Nair verwendet: Grad 1 besagt, dass keine Verschattung vorliegt, Grad 2 weist eine Verschattung unter 25 % auf, Grad 3 entspricht einer Verschattung von 25–50% und bei Grad 4 sind mehr als 50 % des Sinus maxillaris verschattet [62]. Abbildung 6 zeigt die axiale Ansicht einer DVT-Aufnahme. Es ist eine mukosale Verdickung des rechten und linken Sinus maxillaris zu erkennen.



**Abbildung 6:** Axiale Ansicht des Sinus maxillaris zur Evaluierung von Verschattungen

### **3.2.5 Asymmetrien des aufsteigenden Unterkieferastes**

Zur Feststellung von Asymmetrien der aufsteigenden Unterkieferäste wurden die beiden Rami mandibulae in der sagittalen Ansicht vermessen und dann miteinander verglichen. Die Längenbeurteilung erfolgte unter Einbezug aller anatomischen Strukturen und Veränderungen des Unterkiefers.

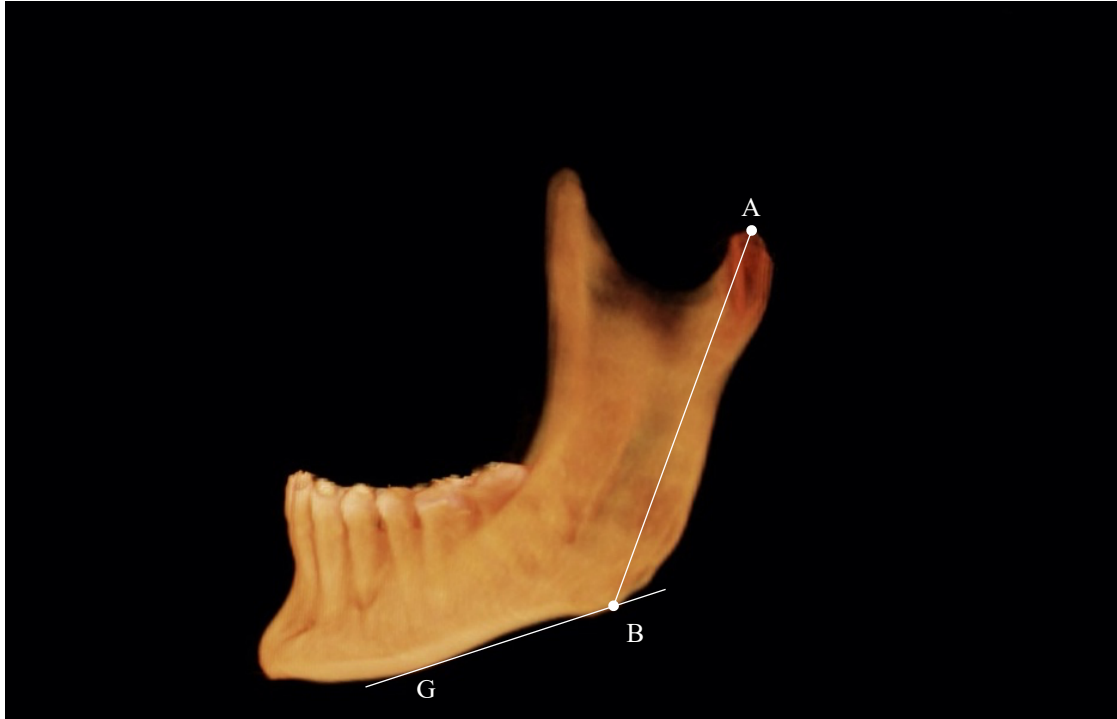


Abbildung 7: Vermessung des Ramus mandibulae nach dem modifizierten Asymmetrieindex nach Shafé [63]

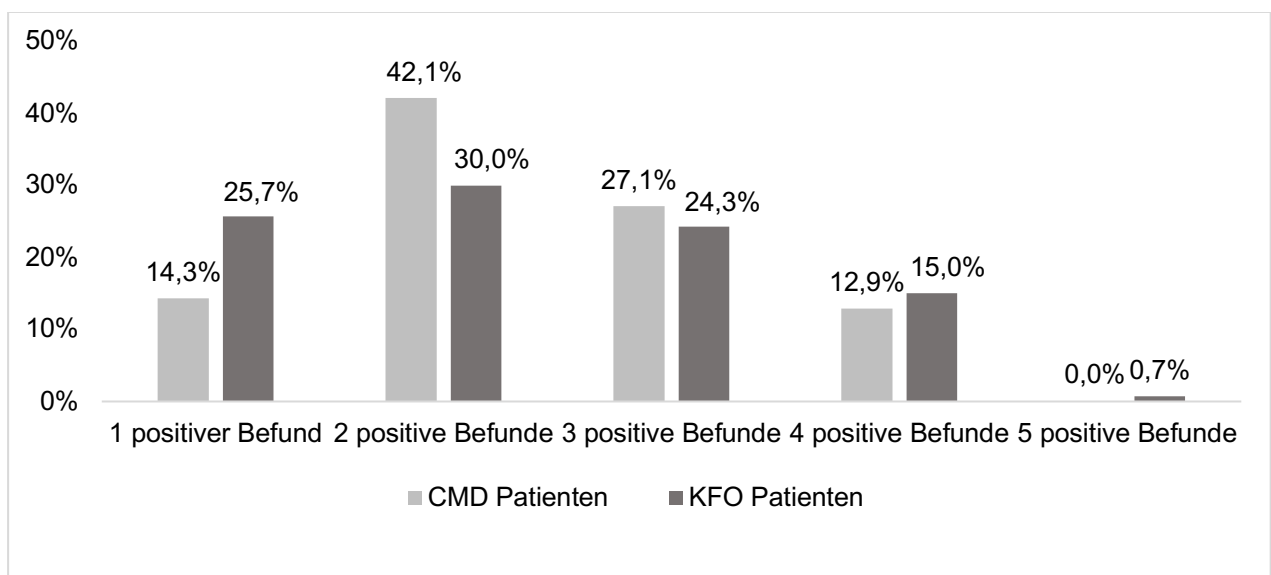
Zur Vermessung des Ramus mandibulae wurde der modifizierte Asymmetrieindex nach Shafé verwendet. Der Index sieht vor, dass zunächst eine Tangente (G) an den Unterkieferwinkel gelegt wird. Der dorsalste Punkt der Tangente dient als Startpunkt (B), von dem dann eine Linie zum kranialsten Punkt des Processus condylaris (A) gezogen wird (Abbildung 7). Für jeweils beide Unterkieferäste wird im Anschluss die Strecke zwischen Punkt A und Punkt B ausgemessen und in Relation zueinander gesetzt:

*Modifizierter Asymmetrieindex = Strecke B - A rechts / Strecke B - A links.*

Liegt der Vergleichsquotient außerhalb des vorgegebenen Toleranzbereiches von 2,5 %, der vom Autor bestimmt wurde, liegt eine mandibulare Asymmetrie vor. Demnach wurden alle Quotienten, die zwischen 0,975 und 1,025 lagen, als symmetrisch eingestuft. [63] Ein Wert außerhalb des Quotienten wies auf einen verkürzten bzw. verlängerten Ramus mandibulae hin, der im Seitenvergleich unter Einbezug aller anatomischen Strukturen subjektiv bestimmt wurde.

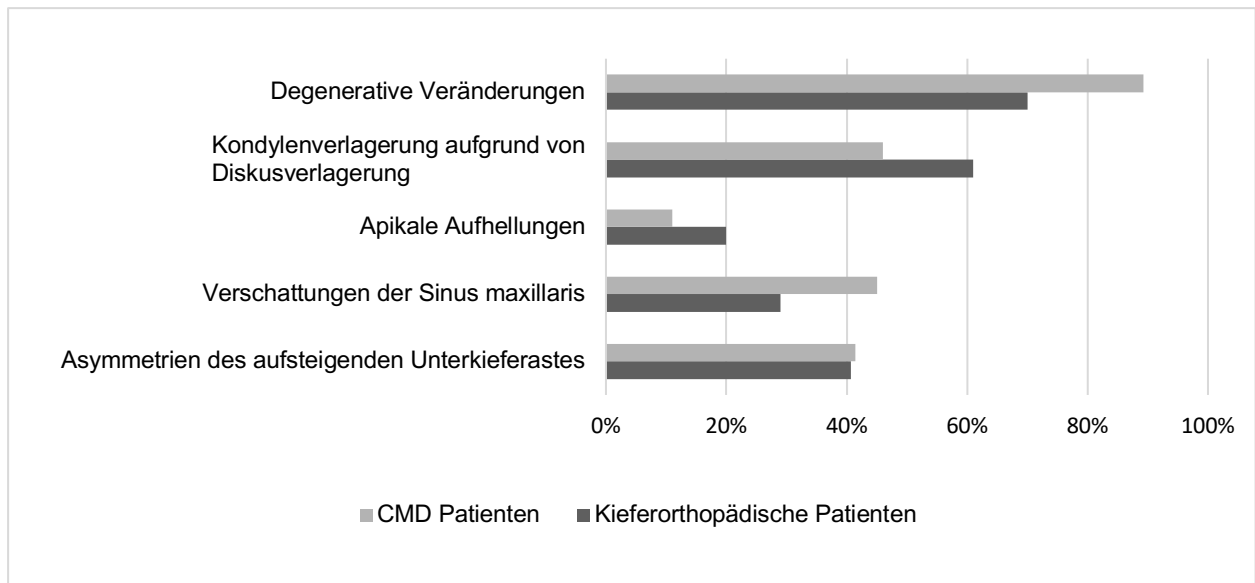
## 4. Ergebnisse

Sowohl für CMD- als auch für kieferorthopädische Patienten konnte ein hohes Risiko für positive CMD-Befunde und entzündliche Prozesse festgestellt werden. Es zeigten 14,3 % der CMD-Patienten und 25,7 % der kieferorthopädischen Patienten zeigten mindestens einen positiven Befund in Bezug auf die untersuchten Parameter. Zwei positive Befunde konnten bei 42,1 % der CMD-Patienten und bei 30 % der kieferorthopädischen Patienten festgestellt werden. Bei 27,1 % der CMD-Patienten und 24,3 % der kieferorthopädischen Patienten traten drei positive Befunde auf (Grafik 2).



**Grafik 2: Allgemeine prozentuale Verteilung positiver Befunde zwischen CMD- und KFO-Patienten**

Vier der fünf untersuchten CMD-Reportparameter zeigten signifikant höhere Risiken für eine der beiden untersuchten Gruppen auf. So wiesen die CMD-Patienten ein größeres Risiko für Sinusitiden und degenerative Veränderungen sowie die kieferorthopädischen Patienten ein höheres Risiko für den gleichmäßigen dorsalen Gelenkspalt und apikale entzündliche Läsionen auf (Grafik 3).



**Grafik 3: Spezifische prozentuale Verteilung der fünf ausgewählten Diagnostikparameter in DVT-Datensätzen der CMD- und KFO-Patienten**

Im Folgenden werden die Überprüfungsergebnisse der in Kapitel 2 aufgestellten Hypothesen im Detail dargelegt.

#### 4.1 Degenerative Veränderungen

Die in H1 aufgestellte Annahme, dass ein unterschiedliches Risiko für degenerative Veränderungen bei CMD- und KFO-Patienten vorliegt, konnte bestätigt werden. Beide Gruppen zeigten ein hohes Auftreten von degenerativen Veränderungen, CMD-Patienten (89,3 %) waren dennoch signifikant häufiger betroffen als kieferorthopädischen Patienten (70,0 %),  $p < 0,001$  (Tabelle 4). Das Odds Ratio für das Vorliegen von degenerativen Veränderungen betrug 0,280 [95%-CI: 0,147; 0,534]. Demnach hatten KFO-Patienten eine 0,280-fach geringere Chance degenerativen Veränderungen aufzuweisen.

			CMD	KFO	Gesamt
<b>Degenerative Veränderungen</b>	nein	Anzahl	15	42	57
		% von Gruppe	10,7 %	30,0 %	20,4 %
	ja	Anzahl	125	98	223
		% von Gruppe	<b>89,3 %</b>	<b>70,0 %</b>	<b>79,6 %</b>
<b>Gesamt</b>	Anzahl	140	140	280	
	% von Gruppe	100,0 %	100,0 %	100,0 %	

**Tabelle 4: Ergebnisse der degenerativen Veränderungen bei den beiden Patientengruppen in Prozent**

Tabelle 5 veranschaulicht die Befunde für die einzelnen Stadien der degenerativen Veränderungen. Die Sklerosierung trat signifikant häufiger bei CMD-Patienten (28,6 %) als bei KFO-Patienten (18,6 %) auf,  $p = 0,067$ . Das Odds Ratio für das Auftreten von Sklerosierung lag bei 0,570, mit einem 95%-Konfidenzintervall von [0,325; 1,000]. Somit haben KFO-Patienten eine 0,570-mal geringere Chance, eine Sklerosierung aufzuweisen.

Ein Abflachungsbefund trat bei beiden untersuchten Gruppen mit hohem Risiko auf. Es waren 67,9% der CMD-Patienten und 58,6% der KFO-Patienten betroffen. Es lag kein signifikanter Unterschied vor,  $p = 0,137$ . Das Odds Ratio für das Vorliegen von Abflachungen betrug 0,670 [95%-CI: 0,411; 1,092], das heißt, ein Auftreten von Abflachungen bei KFO-Patienten war 0,670-mal weniger wahrscheinlich.

Von einer sklerosierten osteoarthrotischen Deformationen ohne Knochenspitzen waren CMD-Patienten zu 10,0 % und KFO-Patienten zu 7,9 % betroffen. Der Ergebnisunterschied war nicht signifikant,  $p = 0,676$ . Damit haben KFO-Patienten eine 0,767-fach geringere Chance, sklerosierte osteoarthrotische Deformationen ohne Knochenspitzen aufzuweisen. Das Odds Ratio für das Auftreten lag bei 0,767, mit einem 95%-Konfidenzintervall von [0,336; 1,755].

Vergleichsweise ähnlich war die Befundlage für eine sklerosierte osteoarthrotische Deformation mit Knochenspitzen. Wieder lag kein signifikanter Unterschied zwischen den Patientengruppen vor, CMD-Patienten waren zu 7,9 % und KFO-Patienten zu 10,0 % betroffen,  $p = 0,676$ . Das Odds Ratio für das Auftreten einer sklerosierten osteoarthrotischen Deformation mit Knochenspitzen betrug 1,303 [95%-CI: 0,570; 2,979]. Die Chance für einen positiven Befund war somit für KFO-Patienten 1,303-mal größer.

Das Risiko für das Vorliegen einer nicht sklerosierten osteoarthritischen Deformation war in beiden Patientengruppen äußerst gering. Es wiesen 1,4 % der CMD-Patienten und 0,7 % der KFO-Patienten einen Befund auf. Das Odds Ratio in Bezug auf das Auftreten von einer nicht sklerosierten osteoarthritischen Deformation betrug 0,496, mit einem 95%-Konfidenzintervall von [0,044; 5,538]. Somit haben KFO-Patienten eine 0,496-fach geringere Chance, nicht sklerosierte osteoarthritische Deformationen aufzuweisen.

			<b>CMD</b>	<b>KFO</b>	<b>Gesamt</b>
<b>Sklerosierung</b>	nein	Anzahl	100	114	214
		% von Gruppe	71,4 %	81,4 %	76,4 %
	ja	Anzahl	40	26	66
		% von Gruppe	<b>28,6 %</b>	<b>18,6 %</b>	<b>23,6 %</b>
<b>Abflachung</b>	nein	Anzahl	45	58	103
		% von Gruppe	32,1 %	41,4 %	36,8 %
	ja	Anzahl	95	82	177
		% von Gruppe	<b>67,9 %</b>	<b>58,6 %</b>	<b>63,2 %</b>
<b>Sklerosierte osteoarthrotische Deformation ohne Knochenspitzen</b>	nein	Anzahl	126	129	255
		% von Gruppe	90 %	92,1 %	91,1 %
	ja	Anzahl	14	11	25
		% von Gruppe	<b>10 %</b>	<b>7,9 %</b>	<b>8,9 %</b>
<b>Sklerosierte osteoarthrotische Deformation mit Knochenspitzen</b>	nein	Anzahl	129	126	255
		% von Gruppe	92,1 %	90 %	91,1 %
	ja	Anzahl	11	14	25
		% von Gruppe	<b>7,9 %</b>	<b>10 %</b>	<b>8,9 %</b>
<b>Nicht sklerosierte osteoarthritische Deformation</b>	nein	Anzahl	138	139	277
		% von Gruppe	98,6 %	99,3 %	98,9 %
	ja	Anzahl	2	1	3
		% von Gruppe	<b>1,4 %</b>	<b>0,7 %</b>	<b>1,1 %</b>

Tabelle 5: Ergebnisse der einzelnen Stadien der degenerativen Veränderungen bei den beiden Patientengruppen in Prozent

## 4.2 Kondylenverlagerung aufgrund von Diskusverlagerung

Bei der Risikoauswertung für den Befund der Kondylenverlagerung wurden die Ergebnisse für die Indikation eines gleichmäßigen Gelenkspaltes und für die eines ungleichmäßigen Gelenkspaltes betrachtet. Bei letzterem Parameter wurde die Häufigkeitsverteilung der Kondylenrotation bewertet. Die Annahme aus H2, dass das Risiko für eine Kondylenverlagerung aufgrund einer Diskusverlagerung sich zwischen CMD- und KFO-Patienten unterscheidet, konnte bezüglich des gleichmäßigen dorsalen Gelenkspaltes bestätigt und hinsichtlich des ungleichmäßigen dorsalen Gelenkspaltes widerlegt werden.

### 4.2.1 Gleichmäßiger dorsaler Gelenkspalt

Tabelle 6 zeigt, dass bei beiden untersuchten Patientengruppen ein hohes Risiko für das Auftreten eines gleichmäßigen dorsalen Gelenkspaltes vorlag, KFO-Patienten (40,7 %) jedoch signifikant häufiger betroffen waren als CMD-Patienten (27,1 %),  $p = 0,023$ . Das Odds Ratio für das Auftreten eines gleichmäßigen dorsalen Gelenkspaltes lag bei 1,843, [95%-CI:1,115; 3,047]. Somit haben KFO-Patienten eine 1,843-mal höhere Chance, einen gleichmäßigen dorsalen Gelenkspalt aufzuweisen.

			<b>CMD</b>	<b>KFO</b>	<b>Gesamt</b>
<b>Gleichmäßiger dorsaler Gelenkspalt</b>	nein	Anzahl	102	83	185
		% von Gruppe	72,9 %	59,3 %	66,1 %
	ja	Anzahl	38	57	95
		% von Gruppe	<b>27,1 %</b>	<b>40,7 %</b>	<b>33,9 %</b>
<b>Gesamt</b>	Anzahl		140	140	280
	% von Gruppe		100,0 %	100,0 %	100,0 %

**Tabelle 6: Ergebnisse des gleichmäßigen dorsalen Gelenkspaltes bei den beiden Patientengruppen in Prozent**

Im Befundrahmen des gleichmäßigen dorsalen Gelenkspaltes wurde zudem das Auftreten von dorsalen und kranialen Kondylenverlagerungen im Sinne einer Diskusverlagerung untersucht. Es zeigten 23,6 % der CMD- und 27,9 % der KFO-Patienten eine dorsale Kondylenverlagerung, es gab keinen signifikanten Unterschied zwischen den zwei Patientengruppen,  $p = 0,494$  (Tabelle 7). Das Odds Ratio für das Auftreten einer dorsalen Kondylenverlagerung betrug 1,252 [95%-CI: 0,731; 2,143]. Die Chance für einen positiven Befund war somit für KFO-Patienten 1,252-mal größer.

			<b>CMD</b>	<b>KFO</b>	<b>Gesamt</b>
<b>Dorsale Kondylenverlagerung</b>	nein	Anzahl	107	101	208
		% von Gruppe	76,4 %	72,1 %	74,3 %
	ja	Anzahl	33	39	72
		% von Gruppe	<b>23,6 %</b>	<b>27,9 %</b>	<b>25,7 %</b>
<b>Gesamt</b>	Anzahl		140	140	280
	% von Gruppe		100,0 %	100,0 %	100,0 %

**Tabelle 7: Ergebnisse der dorsalen Kondylenverlagerung bei den beiden Patientengruppen in Prozent**

Auch beim CMD-Parameter der kranialen Kondylenverlagerung konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den Ergebnissen der CMD- (10,0 %) und der KFO-Patienten (17,1 %) festgestellt werden (Tabelle 8). Beide Gruppen waren ähnlich häufig betroffen,  $p = 0,115$ . Das Odds Ratio für das Auftreten einer kranialen Kondylenverlagerung betrug 1,862 [95%-CI: 0,919; 3,771]. Demnach hatten KFO-Patienten eine 1,862-fach höhere Chance, kraniale Kondylenverlagerung aufzuweisen.

			<b>CMD</b>	<b>KFO</b>	<b>Gesamt</b>
<b>Kraniale Kondylenverlagerung</b>	nein	Anzahl	126	116	242
		% von Gruppe	90,0 %	82,9 %	86,4 %
	ja	Anzahl	14	24	38
		% von Gruppe	<b>10,0 %</b>	<b>17,1 %</b>	<b>13,6 %</b>
<b>Gesamt</b>	Anzahl		140	140	280
	% von Gruppe		100,0 %	100,0 %	100,0 %

Tabelle 8: Ergebnisse der kranialen Kondylenverlagerung bei den beiden Patientengruppen in Prozent

#### 4.2.2 Ungleichmäßiger dorsaler Gelenkspalt

In Bezug auf den ungleichmäßigen dorsalen Gelenkspalt war das Risiko in beiden Patientengruppen hoch. Es wiesen 22,9 % der CMD- und 30,0 % der KFO-Patienten einen ungleichmäßigen dorsalen Gelenkspalt auf (Tabelle 9). Es lag kein signifikanter Unterschied vor,  $p = 0,222$ . Das Odds Ratio für das Auftreten eines ungleichmäßigen dorsalen Gelenkspaltes betrug 1,446, [95%-CI: 0,847; 2,470]. Somit haben KFO-Patienten eine 1,446-fach höhere Chance, einen ungleichmäßigen dorsalen Gelenkspalt aufzuweisen.

			<b>CMD</b>	<b>KFO</b>	<b>Gesamt</b>
<b>Ungleichmäßiger dorsaler Gelenkspalt</b>	nein	Anzahl	108	98	206
		% von Gruppe	77,1 %	70,0 %	73,6 %
	ja	Anzahl	32	42	74
		% von Gruppe	<b>22,9 %</b>	<b>30,0 %</b>	<b>26,4 %</b>
<b>Gesamt</b>	Anzahl		140	140	280
	% von Gruppe		100,0 %	100,0 %	100,0 %

Tabelle 9: Ergebnisse des ungleichmäßigen dorsalen Gelenkspaltes bei den beiden Patientengruppen in Prozent

#### 4.3 Apikale Aufhellungen

Die in H3 aufgestellte Annahme, dass in Bezug auf apikale Aufhellungen kein unterschiedliches Risiko bei CMD- und KFO-Patienten besteht, konnte widerlegt werden. Aus Tabelle 10 ist ersichtlich, dass beide Patientengruppen ein erhöhtes Auftreten des Parameters zeigen, KFO-Patienten jedoch mit 20,0 % signifikant häufiger betroffen waren als CMD-Patienten 10,7 %,  $p = 0,046$ . Das Odds Ratio für das Vorliegen von apikalen Aufhellungen betrug 2,083 [95%-CI: 1,059; 4,100]. Demnach hatten KFO-Patienten eine 2,083-fach höhere Chance, apikale Aufhellungen aufzuweisen.



			<b>CMD</b>	<b>KFO</b>	<b>Gesamt</b>
<b>Apikale Aufhellungen</b>	nein	Anzahl	125	112	237
		% von Gruppe	89,3 %	80,0 %	84,6 %
	ja	Anzahl	15	28	43
		% von Gruppe	<b>10,7 %</b>	<b>20,0 %</b>	<b>15,4 %</b>
<b>Gesamt</b>	Anzahl	140	140	280	
	% von Gruppe	100,0 %	100,0 %	100,0 %	

Tabelle 10: Ergebnisse für apikale Aufhellungen bei den beiden Patientengruppen in Prozent

#### 4.4 Verschattungen des Sinus maxillaris

In Bezug auf die Verschattungen des Sinus maxillaris konnte die in H4 aufgestellte Annahme, dass kein Risikounterschied zwischen den Patientengruppen besteht, ebenfalls widerlegt werden. Mit 45,0 % wiesen die CMD-Patienten signifikant häufiger Verschattungen auf als die KFO-Patienten (29,3 %),  $p = 0,009$  (Tabelle 11). Das Odds Ratio im Hinblick auf das Auftreten von Verschattungen des Sinus maxillaris betrug 0,506, mit einem 95%-Konfidenzintervall von [0,309; 0,829]. Somit haben KFO-Patienten eine 0,506-fach geringere Chance, Verschattungen des Sinus maxillaris aufzuweisen.

			<b>CMD</b>	<b>KFO</b>	<b>Gesamt</b>
<b>Verschattungen des Sinus maxillaris</b>	nein	Anzahl	77	99	176
		% von Gruppe	55,0 %	70,7 %	62,9 %
	ja	Anzahl	63	41	104
		% von Gruppe	<b>45,0 %</b>	<b>29,3 %</b>	<b>37,1 %</b>
<b>Gesamt</b>	Anzahl	140	140	280	
	% von Gruppe	100,0 %	100,0 %	100,0 %	

Tabelle 11: Ergebnisse der Verschattungen des Sinus maxillaris bei den beiden Patientengruppen in Prozent

In der detaillierteren Betrachtung der Sinusitis nach der 4-Grad-Einteilung nach Nair [62], konnte für Grad 1 und Grad 2 ein signifikanter Unterschied zwischen den Patientengruppen festgestellt werden. KFO-Patienten (70,7 %) waren signifikant häufiger von Grad 1 betroffen als CMD-Patienten (55,0 %),  $p = 0,009$  (Tabelle 12). Das Odds Ratio für das Auftreten von Grad 1 betrug 1,976 [95%-CI: 1,206; 3,236]. Demnach hatten KFO-Patienten eine 1,976-fach höhere Chance, Grad-1-Verschattungen aufzuweisen. Eine Grad-2-Verschattung von unter 25 %, trat wiederum signifikant häufiger für CMD-Patienten (35,0 %) als für KFO-Patienten (21,4 %) auf,  $p=0,017$  (Tabelle 13). Für das Vorliegen von Grad

2 betrug das Odds Ratio 0,506 [95%-C: 0,297; 0,863]. Somit wiesen KFO-Patienten 0,506-mal weniger Grad-2-Verschattungen auf. Für Grad 3 und Grad 4 konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Patientengruppen festgestellt werden. Der Wert für Grad-3-Verschattungen des Sinus maxillaris (25 %–50 %) war sowohl bei CMD- (6,4 %) als auch für KFO-Patienten (5,0 %) ein niedriges Auftreten,  $p = 0,789$  (Tabelle 14). Das Odds Ratio für das Auftreten von Grad 3 betrug 0,766 [95%-CI: 0,277; 2,118]. Demnach hatten KFO-Patienten eine 0,766-fach geringere Chance, Grad-3-Verschattungen aufzuweisen. Grad 4 entspricht einer Verschattung von über 50 %. Auch von diesem Parameter waren die CMD-Patienten (3,6 %) und die KFO-Patienten (2,9 %) gering betroffen, (Tabelle 15). Für das Auftreten von Grad 4 betrug das Odds Ratio 0,794 [95%-CI: 0,209; 3,021]. Somit wiesen KFO-Patienten 0,794-mal weniger Grad-4-Verschattungen auf.

			<b>CMD</b>	<b>KFO</b>	<b>Gesamt</b>
<b>Grad 1</b>	nein	Anzahl	63	41	104
		% von Gruppe	45,0 %	29,3 %	37,1 %
	ja	Anzahl	77	99	176
		% von Gruppe	<b>55,0 %</b>	<b>70,7 %</b>	<b>62,9 %</b>
<b>Gesamt</b>	Anzahl		140	140	280
	% von Gruppe		100,0 %	100,0 %	100,0 %

**Tabelle 12: Grad-1-Verschattungen des Sinus maxillaris bei den beiden Patientengruppen in Prozent**

			<b>CMD</b>	<b>KFO</b>	<b>Gesamt</b>
<b>Grad 2</b>	nein	Anzahl	91	110	201
		% von Gruppe	65,0 %	78,6 %	71,8 %
	ja	Anzahl	49	30	79
		% von Gruppe	<b>35,0 %</b>	<b>21,4 %</b>	<b>28,2 %</b>
<b>Gesamt</b>	Anzahl		140	140	280
	% von Gruppe		100,0 %	100,0 %	100,0 %

**Tabelle 13: Grad-2-Verschattungen des Sinus maxillaris bei den beiden Patientengruppen in Prozent**

			<b>CMD</b>	<b>KFO</b>	<b>Gesamt</b>
<b>Grad 3</b>	nein	Anzahl	131	133	264
		% von Gruppe	93,6 %	95,0 %	94,3 %
	ja	Anzahl	9	7	16
		% von Gruppe	<b>6,4 %</b>	<b>5,0 %</b>	<b>5,7 %</b>
<b>Gesamt</b>	Anzahl		140	140	280
	% von Gruppe		100,0 %	100,0 %	100,0 %

Tabelle 14: Grad-3-Verschattungen des Sinus maxillaris bei den beiden Patientengruppen in Prozent

			<b>CMD</b>	<b>KFO</b>	<b>Gesamt</b>
<b>Grad 4</b>	nein	Anzahl	135	136	271
		% von Gruppe	96,4 %	97,1 %	96,8 %
	ja	Anzahl	5	4	9
		% von Gruppe	<b>3,6 %</b>	<b>2,9 %</b>	<b>3,2 %</b>
<b>Gesamt</b>	Anzahl		140	140	280
	% von Gruppe		100,0 %	100,0 %	100,0 %

Tabelle 15: Grad-4-Verschattungen des Sinus maxillaris bei den beiden Patientengruppen in Prozent

#### 4.5 Asymmetrien des aufsteigenden Unterkieferastes

Die in H5 aufgestellte Annahme, dass das Risiko der Asymmetrien des aufsteigenden Unterkieferastes sich zwischen den Patientengruppen unterscheiden, wurde widerlegt. Im Rahmen der Hypothesenüberprüfung wurde das Risiko für die Asymmetrien des aufsteigenden Unterkieferastes untersucht, spezieller wurde überprüft ob ein verkürzter bzw. verlängerter Unterkieferast vorlag.

Generell gab es keinen signifikanten Unterschied zwischen den CMD-Patienten (40,7 %) und den KFO-Patienten (41,4 %) in Bezug auf die Indikation von Asymmetrien des aufsteigenden Unterkieferastes,  $p = 1,000$ . Beide Patientengruppen waren ähnlich hoch betroffen (Tabelle 16). Das Odds Ratio in Bezug auf das Auftreten von Asymmetrien der aufsteigenden Äste betrug 1,030, mit einem 95%-Konfidenzintervall von [0,640; 1,658]. Somit haben KFO-Patienten eine 1,030-mal höhere Chance, Asymmetrien des aufsteigenden Unterkieferastes aufzuweisen.

		CMD	KFO	Gesamt	
<b>Asymmetrien des aufsteigenden Unterkieferastes</b>	nein	Anzahl	83	82	165
		% von Gruppe	59,3 %	58,6 %	58,9 %
	ja	Anzahl	57	58	115
		% von Gruppe	<b>40,7 %</b>	<b>41,4 %</b>	<b>41,1 %</b>
<b>Gesamt</b>	Anzahl	140	140	280	
	% von Gruppe	100,0 %	100,0 %	100,0 %	

Tabelle 16: Ergebnisse in Bezug auf Asymmetrien des aufsteigenden Unterkieferastes bei den beiden Patientengruppen in Prozent

Bezüglich des Risikos für den verkürzten aufsteigenden Ast zeigten KFO-Patienten (40 %) und CMD-Patienten (39,3 %) ein ähnlich hohes Auftreten, es gab keinen signifikanten Unterschied zwischen den zwei Patientengruppen,  $p = 1,000$  (Tabelle 17). Das Odds Ratio für das Vorliegen eines verkürzten aufsteigenden Astes betrug 1,030 [95%-CI: 0,638; 1,663]. Die Chance für einen positiven Befund war somit für KFO-Patienten um 1,030-fach erhöht. Auch beim Parameter des verlängerten aufsteigenden Astes konnte kein Unterschied zwischen den Ergebnissen der Patientengruppen festgestellt werden. Sowohl die CMD- als auch die KFO-Patienten wiesen jeweils ein Befundauftritt von 1,4 % auf (Tabelle 18). Das Odds Ratio für das Vorliegen eines verlängerten aufsteigenden Astes betrug 1,000 [95%-CI: 0,139; 7,200]. Demnach haben CMD- und KFO-Patienten eine gleich hohe Chance, den Befund aufzuweisen.

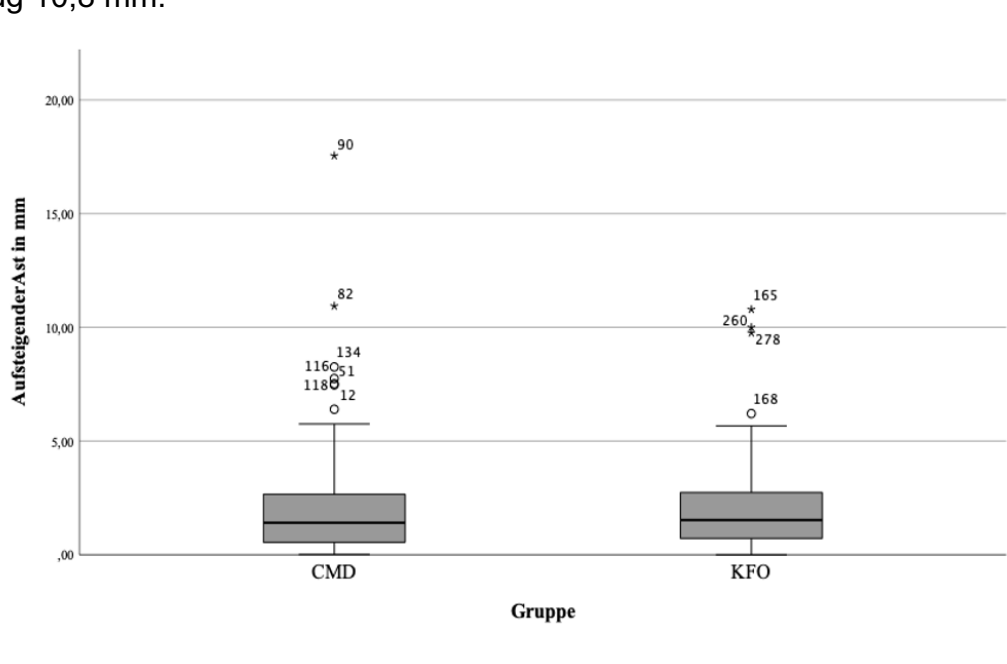
		CMD	KFO	Gesamt	
<b>Verkürzter aufsteigender Ast</b>	nein	Anzahl	85	84	169
		% von Gruppe	60,7 %	60,0 %	60,4 %
	ja	Anzahl	55	56	111
		% von Gruppe	<b>39,3%</b>	<b>40,0 %</b>	<b>39,6 %</b>
<b>Gesamt</b>	Anzahl	140	140	280	
	% von Gruppe	100,0 %	100,0 %	100,0 %	

Tabelle 17: Ergebnisse für den verkürzten aufsteigenden Ast bei den beiden Patientengruppen in Prozent

			CMD	KFO	Gesamt
<b>Verlängerter aufsteigender Ast</b>	nein	Anzahl	138	138	276
		% von Gruppe	98,6 %	98,6 %	98,6 %
	ja	Anzahl	2	2	4
		% von Gruppe	1,4 %	1,4 %	1,4 %
<b>Gesamt</b>	Anzahl		140	140	280
	% von Gruppe		100,0 %	100,0 %	100,0 %

Tabelle 18: Ergebnisse für den verlängerten aufsteigenden Ast bei den beiden Patientengruppen in Prozent

Um die Verteilung der mittleren Längen der aufsteigenden Äste beider Patientengruppen anschaulicher darzustellen, wurde ein Boxplot erstellt (Grafik 4). Die Y-Achse bildet die Messstrecken des aufsteigenden Astes in Millimetern (mm) ab, während die X-Achse die beiden Patientengruppen angibt. Der Boxplot zeigt eine analoge Verteilung der Befunde in beiden Gruppen. Dabei lag der Wert des 1. Quartils bei CMD-Patienten bei 0,54 mm und bei KFO-Patienten bei 0,72 mm. Die Mediane betragen 1,41 mm für die CMD-Patienten und 1,53 mm für die KFO-Patienten, während das 3. Quartil bei CMD-Patienten einen Wert von 2,68 mm und bei KFO-Patienten einen Wert von 2,75 mm ergab. Der Durchschnittswert der mittleren Länge des aufsteigenden Astes lag bei CMD-Patienten bei 2,01 mm und bei KFO-Patienten bei 1,98 mm. In beiden Patientengruppen waren außerdem einige Ausreißer in Bezug auf die mittlere Länge des aufsteigenden Astes ersichtlich, dabei wiesen jedoch nur die CMD-Patienten mit 17,5 mm einen extremen Ausreißer auf. Das Maximum der mittleren Länge des aufsteigenden Astes bei KFO-Patienten betrug 10,8 mm.



Grafik 4: Boxplot der mittleren Länge des aufsteigenden Astes bei CMD- und KFO-Patienten

## 5. Diskussion

### 5.1 Diskussion der Methodik

In der vorliegenden Studie wurden die DVT-Aufnahmen von 280 Patienten betrachtet. Um die Risiken von zufälligen CMD-Befunden und entzündlichen Läsionen für CMD- und KFO-Patienten zu untersuchen, wurden die DVT-Aufnahmen dafür auf das Auftreten bzw. Nichtauftreten von fünf CMD-Parametern überprüft. Die fünf untersuchten Parameter stellen dabei einige der häufigsten CMD-Befundparameter dar und wurden einem standardisierten CMD-Report des MESANTIS 3D Dental-Radiologicums entnommen, der von AB mit dem Ziel entwickelt wurde, Befunde von Kiefergelenk- und Kraniofazialschmerzen in DVT-Bildern auszuwerten. Die 280 untersuchten DVT-Aufnahmen wurden anhand vorher festgelegter Ausschlusskriterien aus einem Datensatz von 4705 DVT-Patientenaufnahmen ausgewählt. Die Datensätze bestanden dabei aus 140 CMD- und 140 kieferorthopädischen DVT-Aufnahmen. Darüber hinaus wiesen die beiden Patientengruppen eine gleiche Aufteilung in 70 männliche und 70 weibliche Patienten auf. Die Patientenzahl von  $n = 280$  ermöglichte es, statistisch signifikante Aussagen zu treffen. Alle DVT-Aufnahmen entstammen aus dem Langzeitarchiv des MESANTIS 3D Dental-Radiologicums Berlin und wurden zwischen 2012 und 2017 mithilfe des DVT-Geräts KaVo 3D eXam aufgenommen. Die Daten wurden als DICOM-Datensätze in die Diagnostiksoftware Invivo 5.4.5 Anatomage (San Jose, USA) importiert und dort auf das Vorliegen bzw. Nichtvorliegen der einzelnen Parameter untersucht.

Alle Vermessungen der DVT-Datensätze wurden von der Autorin durchgeführt, nachdem diese eine ausführliche Instruktion und Schulung von den DVT-fachkundespezialisierten Ärzten des MESANTIS 3D Dental-Radiologicums Berlin erhalten hatte. Die einzelnen Ergebnisse der Studie wurden mit AB besprochen. Um die Reproduzierbarkeit zu erhöhen, wurden alle Messungen am selben Monitor durchgeführt und eindeutige Messreferenzpunkte gewählt. Das Auftreten von positiven Befunden wurde bei  $\leq 10\%$  als niedrig und bei  $>10\%$  als hoch gewertet. Diese Annahme erfolgte subjektiv, kumuliert jedoch mit einigen Studien aus der Literatur [53, 50, 64]. Alle positiven Befunde in dieser Studie sind Zufallsbefunde, da die untersuchten DVT-Aufnahmen im Vorfeld unabhängig von der vorliegenden Studie und zur Bestimmung anderer rechtfertigender medizinischer Indikationen angefertigt wurden. Bei der Vermessung der mandibulären Asymmetrien mithilfe des modifizierten Asymmetrieindex nach Shafé wurde eine sensible Toleranzgrenze von 2,5

% festgelegt. Somit gilt: Je länger der Kiefer, desto weniger sensibel sind die Werte für die Asymmetrien des Unterkieferastes. [63]

Als mögliche Fehlerquellen für die Studie können Positionsfehler oder Bewegungen der Patienten während der DVT-Aufnahme genannt werden. Durch standardisierte Protokolle werden diese Fehler jedoch möglichst niedrig gehalten. Des Weiteren ist anzumerken, dass die Befundung der DVT-Datensätze zwar ohne Vorkenntnisse der klinischen Originalbefunde erfolgte, jedoch eine unterbewusste Beeinflussung der Untersucherin aufgrund ihrer Erfahrung und ihres Wissens über die Gruppenzugehörigkeit der Patienten (CMD oder KFO) nicht auszuschließen ist. Eine potenzielle Limitation der Studie ist die Tatsache, dass die Befundung nur von einer Untersucherin durchgeführt wurde. Eine Auswertung der 280 DVT-Datensätze durch mehrere unabhängige Untersucher würde die Genauigkeit und Verlässlichkeit der Testergebnisse verbessern.

## **5.2 Diskussion der Ergebnisse**

Mithilfe der vorliegenden Studie konnte gezeigt werden, dass beide Patientengruppen ein hohes Auftreten für die Ätiologie von craniomandibulären Dysfunktionen und entzündlichen Läsionen aufweisen. Von den 140 untersuchten CMD-Patienten zeigten 14,3 % mindestens einen positiven Befund für einen der fünf Parameter, während 25,7 % der 140 untersuchten KFO-Patienten mindestens einen positiven Befund zeigten. Bei 42,1 % der CMD-Patienten und 27,1 % der KFO-Patienten konnten zwei positive Befunde festgestellt werden. 30 % der CMD-Patienten und 24,3 % der KFO-Patienten hatten drei positive Befunde. Während das hohe Auftreten der positiven Befunde bei CMD-Patienten anzunehmen war, ist die hohe Befundanzahl bei den kieferorthopädischen Patienten überraschend. Besonders interessant ist, dass die KFO-Patienten ein hohes Risiko für Kondylenverlagerungen beim ungleichmäßigen (30 %) und beim gleichmäßigen dorsalen Gelenkspalt (40,7 %) aufwiesen, wobei letzterer Parameter sogar signifikant häufiger für die KFO-Patienten auftrat,  $p = 0,023$ . Die Ergebnisse veranschaulichen, dass mithilfe einer DVT-Aufnahme und unter Einbezug des CMD-Reports eine große Anzahl positiver Befunde für beide Patientengruppen diagnostiziert werden kann.

### **5.2.1 Diskussion der Ergebnisse zu degenerativen Veränderungen**

Wie zu erwarten war, waren CMD-Patienten signifikant häufiger von degenerativen Veränderungen betroffen,  $p < 0,001$ . Interessant ist jedoch, dass auch 70,0 % der 140 untersuchten KFO-Patienten einen positiven Zufallsbefund für den Parameter aufwiesen. Betrachtet man die einzelnen Stadien der degenerativen Veränderungen, so zeigt sich, dass bei beiden Patientengruppen zumeist eine Abflachung oder eine Sklerosierung des Processus condylaris vorlag. Sklerosierte osteoarthrotische Deformationen mit und ohne Knochenspitzen und nicht sklerosierte osteoarthritische Deformation waren hingegen nur selten vertreten. Generell, haben KFO-Patienten ein 0,28-fach geringere Chance, degenerative Veränderung aufzuweisen. Diese Annahme spiegelt sich auch in der Mehrheit der einzelnen Stadien der Odds Ratios wider. Lediglich für den Parameter einer sklerosierten osteoarthrotischen Deformation mit Knochenspitzen war die Chance für das Vorliegen des Befundes für KFO-Patienten um 1,303-mal höher und diese somit häufiger betroffen. Der Unterschied zwischen den Patientengruppen für dieses Stadium war jedoch nicht signifikant,  $p = 0,676$ . Beim letzten Parameter der nicht sklerosierten osteoarthritischen Deformation ist anzumerken, dass aufgrund der erwarteten Werte von  $< 5$ , die aufgeführten Ergebnisse deskriptiv zu verstehen sind. Die geringen Werte demonstrieren, dass dieser Parameter selten auftritt. In weiteren Studien sollten gezielt die therapeutische Bedeutung der positiven Befunde untersucht werden und es sollte ermittelt werden, welchen diagnostischen Mehrwert diese Befunde vor allem im Rahmen einer kieferorthopädischen Behandlung besitzen können.

### **5.2.2 Diskussion der Ergebnisse zur Kondylenverlagerung aufgrund von Diskusverlagerung**

Wie in H2 angenommen, zeigten die Ergebnisse, dass bezüglich des gleichmäßigen dorsalen Gelenkspaltes ein Unterschied zwischen den Patientengruppen vorlag. Die KFO-Patienten (40,7 %) waren dabei signifikant häufiger betroffen als CMD-Patienten (27,1 %),  $p = 0,023$ . Erstere hatten eine 1,843-fach größere Chance, einen gleichmäßigen dorsalen Gelenkspalt aufzuweisen. Auch die im Rahmen des gleichmäßigen dorsalen Gelenkspaltes beurteilten Risiken für kraniale und dorsale Kondylenverlagerungen ergaben, dass KFO-Patienten eine höhere Chance dafür besaßen, betroffen zu sein, und dass sie generell ein hohes Befundrisiko aufwiesen (17,1 % bzw. 27,9 %). Es ist jedoch anzumerken, dass die Unterschiede in der Befundung zwischen den Patientengruppen für beide



Verlagerungen als nicht signifikant eingestuft wurden. Ebenso konnten auch für den ungleichmäßigen dorsalen Gelenkspalt keine signifikanten Unterschiede zwischen den Patientengruppen festgestellt werden,  $p = 0,222$ . Mit 22,9 % der CMD-Patienten und 30 % der KFO-Patienten zeigten jedoch beide Gruppen ein erhöhtes Auftreten und auch die Chance für einen positiven Befund lag bei KFO-Patienten etwas höher, Odds Ratio (OR): 1,446. Vor dem Hintergrund der Ergebnisse sollte in zukünftigen Studien weitgehender überprüft werden, inwieweit Kondylenverlagerungen sowie Indikationen in Bezug auf den ungleichmäßigen dorsalen Gelenkspalt eine Bedeutung für die kieferorthopädische Therapieplanung darstellen.

### **5.2.3 Diskussion der Ergebnisse zu apikalen Aufhellungen**

Während beide untersuchten Patientengruppen ein erhöhtes Auftreten für apikale Aufhellungen aufwiesen, zeigten die Ergebnisse jedoch, dass KFO-Patienten (20,0 %) signifikant häufiger betroffen waren als CMD-Patienten (10,7 %),  $p = 0,046$ . Erstere hatten dabei eine mehr als doppelt so große Chance (OR: 2,083), einen Befund aufzuweisen. Da apikale Aufhellungen auf entzündliche Läsionen hindeuten können, die wiederum den Therapieerfolg bei einem Patienten beeinflussen können, sollte in Anbetracht der Ergebnisse insbesondere bei der Behandlung von KFO-Patienten kritisch hinterfragt werden, ob es nicht sinnvoll ist, die Zufallsbefunde in die Behandlungsplanung einzubeziehen. Eine DVT-Aufnahme kann wiederum dazu dienen, diese Zufallsbefunde vor der Therapie zu entdecken.

### **5.2.4 Diskussion der Ergebnisse zu Verschattungen des Sinus maxillaris**

Die CMD-Patienten (45,0 %) wiesen signifikant häufiger Verschattungen des Sinus maxillaris auf als die KFO-Patienten (29,3 %),  $p = 0,009$ . Letztere hatten dabei eine halb so große Chance (OR: 0,506), Verschattungen aufzuweisen. Betrachtet man die einzelnen Verschattungsgrade, so wird deutlich, dass sowohl CMD- als auch KFO-Patienten meist von einer Grad-2-Verschattung des Sinus maxillaris betroffen sind. Grad-3- und Grad-4-Verschattungen liegen bei beiden Patientengruppen eher selten vor, wobei CMD-Patienten immer eine geringere Chance dafür haben, keine Aufhellungen aufzuweisen. Bei den Grad-4-Verschattungen ist zu beachten, dass die angegebenen Werte aufgrund der erwarteten Werte von unter 5 deskriptiv sind. In zukünftigen Studien sollte demnach sowohl

für CMD- als auch für KFO-Patienten überprüft werden, inwiefern Zufallsbefunde von Verschattungen überhaupt einen Einfluss auf die Patientenbehandlung haben.

### **5.2.5 Diskussion der Ergebnisse zu Asymmetrien des aufsteigenden Unterkieferastes**

Unter dem Aspekt der primären Kiefergelenkserkrankungen wurden in dieser Studie die mandibulären Asymmetrien des aufsteigenden Astes analysiert. Spezieller wurde untersucht, ob die Patienten einen verkürzten oder einen verlängerten aufsteigenden Unterkieferast aufwiesen. Generell zeigten KFO-Patienten eine sehr minimal erhöhte Chance dafür, Asymmetrien des Ramus mandibulae aufzuweisen (OR: 1,030). Der Befundunterschied zwischen den Patientengruppen wurde als nicht signifikant eingestuft ( $p = 1,000$ ), die CMD-Patienten (40,7 %) und die KFO-Patienten (41,4 %) waren ähnlich hoch betroffen. Der verkürzte aufsteigende Ast trat bei 39,3 % der CMD-Patienten und bei 49 % der KFO-Patienten auf. Auch hier wiesen Letztere eine minimal erhöhte Chance auf einen positiven Befund auf (OR: 1,030). In beiden Gruppen trat der verlängerte aufsteigende Ast bei jeweils lediglich 1,4 % der Patienten auf. Die angegebenen Werte sind, aufgrund der erwarteten Werte  $< 5$ , auch bei diesem Parameter nur deskriptiv zu verstehen. Außerdem hatten beide Gruppen die gleiche Chance, den Befund aufzuweisen (OR: 1,000). Auch der dargestellte Boxplot der mittleren Länge des aufsteigenden Astes zeigt, dass die Messungen zwischen den beiden Patientengruppen relativ analog sind. Nachfolgende Untersuchungen sollten jedoch genauer auf die ‚Ausreißer‘ eingehen und es sollte überprüft werden, warum diese in dem vorliegenden Ausmaß vorhanden sind und ob es weiterer Diagnostik bei diesen Patienten bedarf.

### **5.3 Diskussion der aktuellen Studienlage**

Kieferorthopäden werden oftmals kritisiert, bei der Erstellung von Therapieplänen die Berücksichtigung der Kondylenposition außer Acht zu lassen. Dies kann dazu führen, dass Kiefergelenksstörungen nicht behandelt werden oder Extraktionsbehandlungen mit Retrusion der Frontzähne durchgeführt werden, die wiederum eine posteriore Verlagerung der Unterkieferposition zur Folge haben können und somit die craniomandibulären Störungen noch weiter verstärken. [65]

Das hohe Auftreten von Kondylenverlagerungen bei CMD-Patienten in dieser Studie zeigt offensichtlich, dass es relevant ist, mögliche posteriore Kondylenpositionen im kieferorthopädischen Therapieplan zu berücksichtigen, und dass Ultra-Low-Dose (ULD)-DVT bei der Diagnose des Befundes von Mehrwert sein können. Toh et al. haben in einer kürzlich durchgeführten Studie hinsichtlich dieses Themas die Korrelation zwischen CMD und Unterkieferasymmetrien analysiert. Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass die Unterkieferasymmetrie ein positiver ätiopathologischer Faktor für CMD sein kann. Die Autoren empfehlen, die Unterkieferasymmetrien in den prätherapeutischen Behandlungsplan für kieferorthopädische Patienten einzubeziehen. [66]

Allgemein gibt es bislang jedoch nur wenige Studien, in denen der Zusammenhang zwischen dem Kiefergelenk und der kieferorthopädischen Behandlung untersucht wurde [66–68]. In zukünftigen Studien sollte daher eingehender analysiert werden, inwieweit kiefergelenkbezogene kraniofaziale Schmerzen und mögliche Ätiologien, die auf DVT-Aufnahmen gefunden wurden, Einfluss auf die Behandlung von CMD- und kieferorthopädischen Patienten haben können. Die Ergebnisse dieser Studie deuten in jedem Fall darauf hin, dass die systematische Analyse von DVT-Aufnahmen anhand der fünf verwendeten Parameter eines CMD-Reports es Behandlern ermöglicht, eine überraschend hohe Anzahl an zufälligen positiven Befunden knöcherner Kiefergelenksstörungen und entzündlicher Läsionen sowohl bei CMD- als auch KFO-Patienten zu erkennen, und dass die DVT somit eine wertvolle Diagnostikmethode für beide Patientengruppen sein kann. Diese Schlussfolgerung deckt sich auch mit der aktuellen Studienlage. Aus zahlreichen Studien ist ersichtlich, dass die DVT als bildgebendes Verfahren dazu beitragen kann, die Diagnose von CMD zu erhöhen. [51, 53, 54, 70, 71, 72] Nach aktuellem Kenntnisstand ist dies jedoch die erste Studie, die sich auf eine systematische Auswertung von kraniofazialen Schmerzen in DVT-Aufnahmen von sowohl CMD- als auch KFO-Patientengruppen mit hoher Patientenzahl konzentriert und in der die betrachteten Patientengruppen zusätzlich im Verhältnis zueinander analysiert wurden.

In den meisten veröffentlichten Studien wurde die Bedeutung der DVT-Diagnostik lediglich bezüglich einer spezifischen Schmerzquelle oder für eine bestimmte Patientengruppe untersucht. Cha et al. beispielsweise analysierten 500 DVT-Aufnahmen unabhängiger kieferorthopädischer Patienten auf Zufallsbefunde. Die Studie ergab, dass 25,0 % der DVT-Aufnahmen eine Pathologie der oberen Atemwege, endodontische Läsionen oder

Kiefergelenksveränderungen aufwiesen. [61] Ferner stellten Honey et al. fest, dass kortikale Erosionen der Kondylen auf DVT-Aufnahmen besser diagnostiziert werden können als auf Panoramaaufnahmen oder linearen Tomographien [51]. Haney et al. wiesen außerdem in einer vergleichenden Studie nach, dass ein impaktierter Zahn auf DVT-Aufnahmen leichter zu lokalisieren ist als auf normalen 2D-Aufnahmen [27]. Farronato et al. zeigten in ihrer Studie, dass mithilfe der DVT-Aufnahmen vor allem die juvenile idiopathische Arthritis in einem frühen Stadium erkannt werden kann [72]. Des Weiteren erkannten Sendyk et al. anhand von DVT-Aufnahmen sogar, dass die Knochendichte erwachsener Patienten nach einer kieferorthopädischen Behandlung abnehmen kann und dass dieser Faktor bei der Entwicklung eines Therapieplans berücksichtigt werden sollte [73].

Pazera et al. untersuchten 139 DVT-Aufnahmen kieferorthopädischer Patienten, deren ursprüngliche Indikation die Lokalisation impaktierter Zähne und Wurzelresorptionen war, auf Zufallsbefunde im Sinus maxillaris. Das Ergebnis war, dass 46,8 % der DVT-Aufnahmen Zufallsbefunde aufwiesen. [52] Ähnlich analysierten von 2007 bis 2020 Kachlan et al. 1002 DVT-Aufnahmen, die für einen implantologischen Eingriff angefertigt wurden, auf Zufallsbefunde. Dabei wurden die Kondylen, die Kiefergelenke, die Rami mandibulae, die Nasennebenhöhlen, der Rachenraum, die Nasengruben, die Schädelbasis und die Halswirbelsäule untersucht. Es wurden 51 Zufallsbefunde entdeckt, wovon 36 Follow-ups benötigten. [74] Braun et al. untersuchten in einer ähnlichen Studie über 3 Jahre hinweg 374 DVT-Datensätze auf Zufallsbefunde. Hierbei wiesen 78,6 % aller DVT-Aufnahmen klinisch relevante Zufallsbefunde auf, 36,6 % davon wurden als behandlungsbedürftig eingestuft. Die Autoren weisen, ähnlich wie in dieser Studie, auf die erstaunlich hohe Anzahl von Zufallsbefunden hin und betonen, dass die richtige Auswahl des FOV und die ausführliche Betrachtung der gesamten DVT-Aufnahme notwendig ist. [75]

In einer weiteren aktuellen Studie analysierten Alzahrani et al. retrospektiv 145 DVT-Datensätze asymptomatischer Patienten, die im Rahmen einer Implantationsplanung erstellt wurden, auf Zufallsbefunde von Osteoarthritis. Diese wiesen 65,6 % der DVT-Aufnahmen auf, wobei das häufigste vertretene Stadium mit 86 % die Abflachung der Kondylen war. [54] Kurtuldu et al. untersuchten retrospektiv 300 DVT-Datensätze, die im Rahmen einer geplanten Implantation angefertigt wurden, auf Zufallsbefunde im Sinus maxillaris, in den Kiefergelenken, in den Zähnen und in den Weichteilverkalkungen. Es wiesen 49,3 % der

Patienten einen Zufallsbefund auf. Die Autoren betonen, dass Behandler diese Zufallsbefunde bewerten und die Patienten notfalls zu weiteren Spezialisten überweisen sollten. [76] Lopes et al. untersuchten 150 DVT-Aufnahmen auf Zufallsbefunde bezüglich der Atemwege, der Kiefergelenke, der Knochen, der Läsionen der Kiefer, der Weichteilverkalkungen und der Zähne. Dabei wurden 560 Zufallsbefunde entdeckt. Allgemein lag bei 92 % der Patienten ein Zufallsbefund vor, 27 % benötigten eine Therapie und bei 29 % der Patienten wurden Follow-ups geplant. [77]

In der Fachliteratur wird auch auf die hohe Strahlenbelastung der DVT und die damit verbundenen gesundheitlichen Probleme hingewiesen. Hodges et al. belegten zwar, dass die Auswertung von DVT-Aufnahmen zu einer Verbesserung der diagnostischen und therapeutischen Behandlung von impaktierten Zähnen, schweren Wurzelresorptionen und Skelettanomalien führen kann, schlugen aber dennoch vor, dass das bildgebende Verfahren aufgrund der hohen Strahlenbelastung nur dann einzusetzen, wenn bereits Grund zu der Annahme besteht, dass der Patient eine spezifische klinische Indikation hat und die DVT eine ausführlichere Diagnose der Störung oder Schmerzen liefern würde. [78] Die American Academy of Oral and Maxillofacial Radiology veröffentlichte 2013 eine Leitlinie, in der betont wird, dass DVT-Aufnahmen nur unter eingeschränkten Richtlinien und Bedingungen durchgeführt werden sollten [36]. Im Jahr 2018 legten De Grauwe et al. dar, dass die DVT die bevorzugte diagnostische Methode für impaktierte Eckzähne, Wurzelfrakturen und pathologische Veränderungen der Kondylen ist. Sie stellten fest, dass die DVT im Vergleich zu herkömmlichen Röntgenaufnahmen überlegenere diagnostische Resultate liefert. Dennoch wiesen auch sie darauf hin, dass die DVT-Anwendung bei Kindern und Jugendlichen aufgrund der höheren Anfälligkeit für Strahlenexposition eingeschränkt werden sollte. [24]

Trotzdem hat die DVT in den letzten zehn Jahren als strahlungsarmes Verfahren, das anstelle anderer Bildgebungsverfahren eingesetzt werden kann, an Aufmerksamkeit gewonnen und mindestens gleichwertige oder bessere Bildgebungsergebnisse geliefert [31, 79]. Obwohl die meisten DVT-Geräte nach wie vor eine deutlich höhere Strahlenbelastung aufweisen als 2D-Bildgebungsgeräte, können sie durch die Verwendung spezieller ULD-Protokolle (Ultra Low Dose) und des Prinzips IADR (Indikations-Abhängige-Dosis-Reduktion) so angepasst werden, dass sich gleichwertige oder sogar niedrigere effektive Strahlendosen (11–18  $\mu\text{Sv}$ ) ergeben als bei herkömmlichen Panaromaschichtaufnahmen

(21–24  $\mu\text{Sv}$ ) [39, 40, 51, 56, 80–82]. Schwabl et al. zeigten beispielsweise in ihrer Studie, dass die Verwendung spezifischer ULD-Modi mit dem DVT-Gerät Planmeca ProMax 3D DVT-Gerät zu einer durchschnittlichen effektiven Strahlenreduktion von 77,0 % im Vergleich zum Standardmodus führte [83]. Eine kürzlich veröffentlichte Studie von Dhavale and Bhowate verdeutlicht, dass mithilfe der ULD-Protokolle die DVT nicht nur eine geringere Strahlenbelastung aufweist als eine CT, sondern auch die genaueste Visualisierung für die Diagnostik der knöchernen pathologischen Veränderungen des Kiefergelenkes, im Sinne von Abflachung, Sklerosierung, Erosionen, Osteoarthritis, rheumatoider Arthritis, Ankylosen, Trauma sowie Aplasien, Hypo- und Hyperplasien ermöglicht [71].

Für diese Studie wurde ausschließlich ein DVT-Gerät verwendet, das mit speziellen ULD- und IADR-Protokollen modifiziert wurde, um eine niedrige Strahlendosis zu erzeugen. Während die Ergebnisse dieser Studie darauf hindeuten, dass die DVT mit geringerer Strahlung den diagnostischen Prozess zur Feststellung von kraniofazialen Schmerzen bei CMD- und KFO-Patienten verbessert, sollte dennoch darauf hingewiesen werden, dass sich das Ergebnis nur auf Patienten im frühen bis mittleren Erwachsenenalter (20–45 Jahre) bezieht und keine gesundheitlichen Auswirkungen untersucht wurden, die möglicherweise durch die Strahlung entstanden sind. In weiteren Studien müsste untersucht werden, ob die vorliegenden angepassten DVT-Geräte es ermöglichen würden, dass die DVT sich als diagnostische Methode für alle Patienten unabhängig von ihrem Alter etablieren kann. Ferner sollte auch die allgemeine therapeutische Bedeutung der DVT-Indikationen für alle Patientengruppen genauer bewertet werden.

#### **5.4 Diskussion der vorliegenden Studie**

Bei der Auswertung der Risiken der fünf untersuchten Parameter des CMD-Reports konnte festgestellt werden, dass 80,0 % der kraniofazialen Schmerzparameter ein signifikant höheres Risiko für eine der Patientengruppe aufwiesen. Bei kieferorthopädischen Patienten lag ein höheres Risiko für den gleichmäßigen dorsalen Gelenkspalt vor ( $p = 0,023$ ) und sie waren auch signifikant häufiger von apikalen Aufhellungen betroffen ( $p = 0,046$ ). Die CMD-Patienten hingegen zeigten ein höheres Vorkommen von Verschattungen des Sinus maxillaris ( $p = 0,009$ ) und von degenerativen Erkrankungen ( $p < 0,001$ ). Während diese Ergebnisse verdeutlichen, dass die DVT in Kombination mit einem stan-

standardisierten CMD-Report eine geeignete Methode für den allgemeinen Prozess der kraniofazialen Schmerzdiagnostik sowohl bei CMD-Patienten als auch bei KFO-Patienten ist, implizieren sie auch, dass weitere Studien erforderlich sind, um die DVT-Bedeutung für spezifische CMD-Indikationen in beiden Patientengruppen umfassender zu bestimmen. Ebenfalls sollte hervorgehoben werden, dass für diese Studie die fünf Indikationsparameter auf der Grundlage eines von AB erstellten CMD-Reports ausgewählt wurden. Mithilfe anderer CMD-Reports könnten alternative oder zusätzliche Parameter in Betracht gezogen werden, womit die Bedeutung der DVT noch ausführlicher untersucht werden könnte.

## 6. Schlussfolgerung

Das in dieser Studie festgestellte bemerkenswert hohe Risiko von zufälligen positiven Befunden knöcherner Kiefergelenkserkrankungen und entzündlicher Läsionen deutet darauf hin, dass die ULD-DVT ein wertvolles Bildgebungsverfahren sowohl für CMD- als auch für KFO-Patienten sein kann. Systematische Reports, wie der hier verwendete standardisierte CMD-Report, sollten zur Auswertung von DVT-Datensätzen eingesetzt werden. Die Reports ermöglichen, ähnlich wie die TMD/RDC-Methode von Dworkin und Leresche [10,12], eine Klassifizierung und Bewertung der positiven Zufallsbefunde mit einem systematischen Ansatz. Folglich können DVT-Befundungen auf der Grundlage eines CMD-Reports für die Diagnostik von kraniofazialen Schmerzen sowohl bei CMD-Patienten als auch bei kieferorthopädischen Patientengruppen von erheblichem Wert sein. Zukünftige Studien sollten eine detailliertere Bewertung der therapeutischen Bedeutung der einzelnen CMD-Parameter vornehmen und sich insbesondere auf die verschiedenen Stadien der degenerativen Deformationen in den einzelnen Patientengruppen konzentrieren. Des Weiteren sollten die hohen positiven Befunde Kieferorthopäden dahingehend sensibilisieren, bei KFO-Behandlungen über die geplante Therapie hinauszuschauen und bei kraniofazialen Schmerzen ihren Untersuchungshorizont auf den gesamten Gesichtsschädel auszuweiten. Inwiefern die durch die DVT-Aufnahmen zusätzlich vorliegenden Befunde einen diagnostischen Mehrwert besitzen und zukünftige Therapien beeinflussen, müsste in weiteren Studien ebenfalls analysiert werden.



## 7. Literaturverzeichnis

- [1] LeResche L. Epidemiology of temporomandibular disorders: implications for the investigation of etiologic factors. *Critical Reviews in Oral Biology & Medicine*. 1997;8(3):291–305. doi: 10.1177/10454411970080030401
- [2] de Leeuw R, Klasser G, Orofacial Pain. Guidelines for Assessment, Diagnosis und Management. The American Academy of Orofacial Pain, 6. Auflage. Quintessence Publishing Co, Inc. 2008. S. 154–176.
- [3] Samandari F., Mai JK. Funktionelle Anatomie für Zahnmediziner, Band 1. Berlin: Quintessenz Verlags-GmbH. 1995. S. 171–196.
- [4] Bumann A, Lotzmann U. Funktionsdiagnostik und Therapieprinzipien, Band 12. Stuttgart: Thieme; 2000. S. 16–30.
- [5] National Institut of Dental and Craniofacial Research. Prevalence of TMJD and its signs and symptoms. 2018 [zitiert 26. März 2020]. Verfügbar unter: <https://www.nidcr.nih.gov/research/data-statistics/facial-pain/prevalence>
- [6] Gauer R, Semidey M. Diagnosis and treatment of temporomandibular disorders. *Am Fam Physician*. 2015;91(6):378–386.
- [7] Dworkin SF, Huggins K, LeResche L, Korff M, Howard J, Truelove E, Sommers E. Epidemiology of signs and symptoms in temporomandibular disorders: clinical signs in cases and controls. *J Am Dent Assoc*. 1990;120(3):273–281.
- [8] Magnusson T, Egermarki I, Carlsson G. A prospective investigation over two decades on signs and symptoms of temporomandibular disorders and associated variables. A final summary. *Acta Odontologica Scandinavica*. 2005;63(2):99–109.
- [9] Sharma S. Etiological factors of temporomandibular joint disorders. *Natl J Maxillofac Surg*. 2011;2(2):116–119. doi: 10.4103/0975-5950.94463
- [10] Chisnoiu A, Picos A, Popa S, Chisnoiu P, Lascu L, Picos A, Chisnoiu R. Factors involved in the etiology of temporomandibular disorders – a literature review. *Clujul Medical*. 2015;88(4):473–478. doi: 10.15386/cjmed-485
- [11] Dworkin SF, LeResche L. Research diagnostic criteria for temporomandibular disorders: review, criteria, examinations and specifications, critique. *J Cranio-mandibular Disorder*. 1992;6(4):301–355.
- [12] DGFDT. S3-Leitlinie: Diagnostik und Behandlung von Bruxismus. 2019; Kapitel 6 [zitiert 04. April 2023]. S. 37–44. Verfügbar unter:

<https://www.dgfdt.de/documents/266840/3732791/Leitlinie+Bruxismus/40b51e33-c45e-49a6-80fd-0889132e8aaf>

- [13] DGFDT. Klinische Funktionsanalyse: Gemeinsame Stellungnahme der DGZMK und der Deutschen Gesellschaft für Funktionsdiagnostik und -therapie (DGFDT) in der DGZMK zur Diagnostik funktioneller Störungen des kranio-mandibulären Systems mittels klinischer Maßnahmen. 2003 [zitiert 04. April 2023]. Verfügbar unter: <https://www.dgfdt.de/klinische-funktionsanalyse>
- [14] Bumann A., CMD Kurs I Online, Klinische Funktionsanalyse und manuelle Strukturanalyse in der täglichen Praxis, 2022, [zitiert 06. Mai 2023]. Verfügbar unter: <https://ifg-fortbildung.de/online-angebot/funktion/7-online-seminar-prof-dr-axel-bumann-klinische-funktionsanalyse-und-manuelle-strukturanalyse-in-der-taeglichen-praxis-cmd-i-kurs-9909/individual-registration.html>
- [15] Look JO, Schiffmann E, Truelove E, Ahmad M. Reliability and validity of Axis I of the research diagnostic criteria for temporomandibular disorders (RDC/TMD) with proposed revisions. *J Oral Rehabil.* 2010;37(10):744–759.
- [16] Schiffmann E, Ohrbach R, Truelove E, Look J, Anderson G, Goulet JP, List T, Svensson P, Gonzalez Y, Lobbezoo F, Michelotti A, Brooks S, Ceusters W, Drangsholt M, Ettlin D, Gaul C, Goldberg L, Haythornthwaite J, Hollender L, Jensen R, John M, De Laat A, de Leeuw R, Maixner W, van der Meulen M, Murray G, Nixdorf D, Palla S, Petersson A, Pionchon P, Smith B, Visscher C, Zakrzewska J, Dworkin S. Diagnostic criteria for temporomandibular disorders (DC/TMD) for clinical and research applications: recommendations of the International RDC/TMD Consortium Network and Orofacial Pain Special Interest Group. *J Oral Facial Pain Headache.* 2014;28(1):6–27.
- [17] Ahmad M, Hollender L, Odont D, Anderson Q, Kartha K, Ohrbach R, Truelove E, John M, Schiffmann E. Research diagnostic criteria for temporomandibular disorders (RDC/TMD): development of image analysis criteria and examiner reliability for image analysis. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2009;107(6):844–860.
- [18] Ahmad M, Schiffman E. Temporomandibular joint disorders and orofacial pain. *Dental Clinics of North America.* 2016;60(1):105–124. doi: 10.1016/j.cden.2015.08.004

- [19] Mozzo P, Procacci C, Tacconi A, Martini P, Andreis A. A new volumetric CT machine for dental imaging based on cone beam technique: preliminary results. *Eur Radiol*, 1998;8(9):1558–1564. doi: 10.1007/s003300050586
- [20] ARö, DGZMK: "Dentale digitale Volumentomographie", Langversion 3.0. 2022, AWMF-Registernummer: 083-005, [zitiert 06. April 2023]. Verfügbar unter: <http://www.awmf.org/leitlinien/detail/II/083-005.html>
- [21] Bumann A, Wiemer K, Staribratova-Reister K. Die digitale Volumentomographie – klinisch unterschätzt und wirtschaftlich überschätzt? *ZMK*, Teil 1–3. 24:214–224. 2010 [zitiert 08.06.2020]. Verfügbar unter: [https://www.zmk-aktuell.de/fachgebiete/allgemeine-zahnheilkunde/story/die-digitale-volumentomographie--klinisch-unterschaetzt-und-wirtschaftlich-ueberschaetzt--teil-2\\_\\_3911.html](https://www.zmk-aktuell.de/fachgebiete/allgemeine-zahnheilkunde/story/die-digitale-volumentomographie--klinisch-unterschaetzt-und-wirtschaftlich-ueberschaetzt--teil-2__3911.html)
- [22] Scarfe WC, Angelopoulos C. *Maxillofacial Cone Beam Computed Tomography: Principles, Techniques and Clinical Applications*. Springer International Publishing AG. 2018. S. 13–23
- [23] Arnheiter C, Scarfe W, Farman A. Trends in maxillofacial cone-beam computed tomography usage. *Oral Radiology*. 2006;22(2):80–85.
- [24] De Grauwe A, Ayaz I, Shujaat S, Dimitrov S, Gbadegbegnon, Vannet B, Jacobs R. CBCT in orthodontics: a systematic review on justification of CBCT in a paediatric population prior to orthodontic treatment. *Eur J Orthod*. 2019;41(4):381–389. doi: 10.1093/ejo/cjy066
- [25] International commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103: The 2007 recommendations of the International Commission on Radiological Protection. *Ann IRCP*; 2007;37(2-4): 1-332.
- [26] Scarfe WC, Farman AG. What is cone beam CT and how does it work? *Dental clinics of North America*. 2008;52(4):707–730. doi: 10.1016/j.cden.2008.05.005
- [27] Haney E, Gansky S, Lee J, Johnson E, Maki K, Miller A, Huang J. Comparative analysis of traditional radiographs and cone-beam computed tomography volumetric images in the diagnosis and treatment planning of maxillary impacted canines. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2010;137(5):590–597.
- [28] Abdelkarim A. Cone-beam computed tomography in orthodontics. *Dent J (Basel)*. 2019;7(3):89. doi: 10.3390/dj7030089

- [29] Oenning A, Jacobs R, Pauwels R, Stratis A, Hedesiú M, Salmon B. DIMITRA Research Group. Cone beam CT in paediatric dentistry: DIMITRA project position statement. *Pediatr Radiol*. 2018;48(3):308–316. doi:10.1007/s00247-017-4012-9
- [30] Tantanapornkul W, Okouchi K, Fujiwara, Yamashiro M, Maruoka Y, Ohbayashi N, Kurabayashi T. A comparative study of cone beam computed tomography and conventional panoramic radiography in assessing the topographic relationship between the mandibular canal and impacted third molars. *Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2007;103(2):253–259. doi: 10.1016/j.tripleo.2006.06.060
- [31] Cevidanes LHS, Styner MA, Proffit WR. Image analysis and superimposition of 3-dimensional cone-beam computed tomography models. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2006;129(5):611–618. doi: 10.1016/j.ajodo.2005.12.008
- [32] Min KI, Kim SC, Kang KH, Cho JH, Lee EH, Chang NY, Chae JM. Root proximity and cortical bone thickness effects on the success rate of orthodontic micro implants using cone beam computed tomography. *Angle Orthod*. 2012;82(6):1014–1021. doi: 10.2319/091311-593.1
- [33] Cevidanes L, Bailey L, Tucker G, Styner M, Mol A, Philips C, Proffit W, Turvey T. Superimposition of 3D cone beam CT models of orthognathic surgery patients. *Dentomaxillofac Radiol*. 2005;34(6):369–375. doi: 10.1259/dmfr/17102411
- [34] Schendel SA. 3-dimensional facial simulation in orthognathic surgery: is it accurate? *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. 2013;71(8):1406–1414. doi: 10.1016/j.joms.2013.02.010
- [35] Aboudara C, Nielsen I, Huang J, Make K, Miller A, Hatcher D. Comparison of airway space with conventional lateral headfilms and 3-dimensional reconstruction from cone beam computed tomography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2009;135(4):468–479. doi: 10.1016/ajodo.2007.04.043
- [36] Evans C, Ahmad M, Cevidanes L, Ludlow J, Palomo J, Simmons K, White S, Scarfe W. Clinical recommendations regarding use of cone beam computed tomography in orthodontics. [corrected]. Position statement by the American Academy of Oral and Maxillofacial Radiology. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol*. 2013;116(2):238–257. doi: 10.1016/j.oooo.2013.06.002
- [37] Krause J. Untersuchungen zum erforderlichen Field of View für die bildgebende 3D Diagnostik in der Zahnmedizin [Dissertation]. [Berlin]: Charité Universitätsmedizin; 2013.

- [38] Hedeşiu M, Băciuţ M, Băciuţ G, Nackaerts O, Jacobs R. The SEDENTEXCT Consortium. Comparison of cone beam CT device and field of view for the detection of simulated periapical bone lesions. *Dentomaxillofac Radiol.* 2012;41(7): 548–552. doi: 10.1259/dmfr/19322177
- [39] Hassan B, Souza P, Jacobs R, de Azambuja Berti S, van der Stelt P. Influence of scanning and reconstruction parameters on quality of three-dimensional surface models of the dental arches from cone beam computed tomography. *Clinical oral investigations.* 2010;14(3):303–310. doi: 10.1007/s00784-009-0291-3
- [40] 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;106(1):106–114. doi: 10.1016/j.tripleo.2008.03.018
- [41] Pauwels R, Jacobs R, Bogaerts R, Bosmans H, Panmekiate S. Reduction of scatter-induced image noise in cone beam computed tomography: effect of field of view size and position. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol.* 2016;121(2):188–195. doi: 10.1016/j.oooo.2015.10.017
- [42] Rugani P, Kirnbauer B, Arnetzl G, Jakse N. Cone beam computerized tomography: basics for digital planning in oral surgery and implantology. *Int J Comput Dent.* 2009;12(2):131–145.
- [43] Lichtenfeld S. Die Bedeutung des Field of View für die dreidimensionale Behandlungsplanung auf der Basis digitaler Volumentomographien [Dissertation]. [Berlin]: Charité Universitätsmedizin; 2014.
- [44] Farman AG. ALARA still applies. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2005;100(4):395–397. doi: 10.1016/j.tripleo.2005.05.055
- [45] Jaju P, Jaju S. Cone-beam computed tomography: Time to move from ALARA to ALADA. *Imaging Sci Dent.* 2015;45(4):263–265. doi: 10.5624/isd.2015.45.4.263
- [46] Schattmann S. Dentale Volumentomographie in der Diagnostik vestibulärer parodontaler Defekte [Dissertation]. [Berlin]: Charité Universitätsmedizin; 2012.
- [47] Molen AD. Considerations in the use of cone-beam computed tomography for buccal bone measurements. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2010;137(4):130–135. doi: 10.1016/j.ajodo.2010.01.015
- [48] Schulze R. DVT-Diagnostik in der Implantologie: Grundlagen – Fallstricke. 2011 [zitiert 13. August 2023]. Verfügbar unter: [http://www.zmk-aktuell.de/fachgebiete/implantologie/story/dvt-diagnostik-in-der-implantologie-grundlagen--fallstricke\\_\\_404.html](http://www.zmk-aktuell.de/fachgebiete/implantologie/story/dvt-diagnostik-in-der-implantologie-grundlagen--fallstricke__404.html)

- [49] Horner K. and Panel, SEDENTEXCT, G.D. Cone Beam CT for Dental and Maxillofacial Radiology. Evidence Based Guidelines, Radiation Protection, European Commission, Directorate-General for EnergyX11. 2012;172:39, [zitiert 30. März 2018]. Verfügbar unter: [https://sedentexct.eu/files/radiation\\_protection\\_172.pdf](https://sedentexct.eu/files/radiation_protection_172.pdf)
- [50] Hatcher DC, Aboudara CL. Diagnosis goes digital. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2004;125(4):512–515. doi: 10.1016/j.ajodo.2003.12.009
- [51] Honey OB, Scarfe WC, Hilgers MJ, Klueber K, Silveira AM, Haskell BS, Farman AG. Accuracy of cone-beam computed tomography imaging of the temporomandibular joint: Comparisons with panoramic radiology and linear tomography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2007;132(4):429–438. doi: 10.1016/j.ajodo.2005.10.032
- [52] Pazera P, Bornstein M, Pazera A, Sendi P, Katsaros C. Incidental maxillary sinus findings in orthodontic patients: a radiographic analysis using cone-beam computed tomography. *Orthodontics & Craniofacial Research.* 2011;14(1):17–24. doi: 10.1111/j.1601-6343.2010.01502.x
- [53] de Holanda TA, Almeida R, Silva A, Damian M, Boscato N. Prevalance of abnormal morphology of the temporomandibular joint in asymptomatic subjects: a retrospective cohort study utilizing cone beam computed tomography. *Int J Prosthodont.* 2018;31(4):321–326. doi: 10.11607/ijp.5623
- [54] Alzahrani A, Yadav S, Gandhi V, Lurie A, Tadinada A. Incidental findings of temporomandibular joint osteoarthritis and its variability based on age and sex. *Imaging Sci Dent.* 2020;50(3):245–253. doi: 10.5624/isd.2020.50.3.245
- [55] Bumann, A., CMD-Report des MESANTIS 3D Dental-Radiologicums Berlin, 2001-2020, Verfügbar unter: [www.niti4u.de](http://www.niti4u.de)
- [56] Währisch K. Vergleich der Strahlenbelastung von konventionellen orthodontischen Röntgenaufnahmen mit konventionellen und indikationsabhängigen dosisreduzierten digitalen Volumentomographien [Dissertation]. [Berlin]: Charité Universitätsmedizin; 2015. doi: 10.17169/refubium-12230
- [57] Bumann A, Simon M, Heekeren D, Mandirola M, Schumann J. DVT in der Kieferorthopädie – wo stehen wir? 2014 [zitiert 30. März 2018]. Verfügbar unter: <https://www.zwp-online.info/fachgebiete/kieferorthopaedie/diagnostik/dvt-der-kieferorthopaedie-wo-stehen-wir>

- [58] Pullinger A, Hollender L. Variation in condyle-fossa relationships according to different methods of evaluation. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*. 1986; 62(6); 719–727, doi: 10.1016/0030-4220(86)90270-7
- [59] Ikeda K, Kawamura A. Disc displacement and changes in condylar position. *Dentomaxillofac Radiol*. 2013;42(3). doi: 10.1259/dmfr/84227642
- [60] Tamimi D, Hatcher D. *Speciality imaging: temporomandibular joint*. Amsterdam: Elsevier; 2016. S. 750–761.
- [61] Cha JY, Mah J, Sinclair P. Incidental findings in the maxillofacial area with 3-dimensional cone-beam imaging. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2007;132(1). doi: 10.1016/j.ajodo.2005.08.041
- [62] Nair S. Correlation between symptoms and radiological findings in patients of chronic rhinosinusitis: a modified radiological typing system. *Rhinology*. 2009;47(2):181–186.
- [63] Shafé P. *Asymmetrien im Bereich des aufsteigenden Unterkieferastes [Dissertation]*. [Berlin]: Charité Universitätsmedizin. 2014 [zitiert 30. März 2018]. Verfügbar unter: <https://d-nb.info/1062536622/34>
- [64] Price J, Thaw K, Tyndall D, Ludlow J, Padilla R. Incidental findings from cone beam computed tomography of the maxillofacial region: a descriptive retrospective study. *Clinical Oral Implants Res*. 2011;23(11):1261–1268. doi: 10.1111/j.1600-0501.2011.02299.x
- [65] Artun J, Hollender L, Truelove E. Relationship between orthodontic treatment, condylar position, and internal derangement in the temporomandibular joint. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 1992;101(1):48–53. doi: 10.1016/0889-5406(92)70081-k
- [66] Toh AQJ, Chan JH, Leung YY. Mandibular asymmetry as a possible etiopathologic factor in temporomandibular disorder: a prospective cohort of 134 patients. *Clin Oral Investig*. 2021;25(7):4445–4450. doi: 10.1007/s00784-020-03756-w
- [67] Sadowsky C, Polson AM. Temporomandibular disorders and functional occlusion after orthodontic treatment: results of two long-term studies. *Am J Orthod*. 1984;86(5):386–390. doi: 10.1016/s0002-9416(84)90030-7
- [68] Larsson E, Rönnerman A. Mandibular dysfunction symptoms in orthodontically treated patients ten years after the completion of treatment. *The European Journal of Orthodontic*. 1981;3(2):89–94. doi: 10.1093/ejo/3.2.89

- [69] Sim HY, Kim HS, Jung DU, Lee H, Han YS, Han K, Yun KI. Investigation of the association between orthodontic treatment and temporomandibular joint pain and dysfunction in the South Korean population. *Korean J Orthod.* 2019;49(3):181–187. doi: 10.4041/kjod.2019.49.3.181
- [70] Shahidi S, Salehi P, Abedi P, Dehbozorgi M, Hamedani S, Berahman N. Comparison of the bony changes of TMJ in patients with and without TMD complaints using CBCT. *Journal of Dentistry.* 2018;19(2):142–149.
- [71] Dhabale GS, Bhowate RR. Cone-beam computed tomography for temporomandibular joint imaging. *Cureus.* 2022;14(11):e31515. doi: 10.7759/cureus.31515
- [72] Farronato G, Garagiola U, Carletti V, Cressoni P, Marcatalli, Farronato D. Change in condylar and mandibular morphology in juvenile idiopathic arthritis: cone beam volumetric imaging. *Minerva Stomatology.* 2010;59(10):519–534.
- [73] Sendyk M, Linhares D. Effect of orthodontic treatment on alveolar bone thickness in adults: a systematic review. *Dental Press J Orthodontics.* 2019;24(4):34–45. doi: 10.1590/2177-6709.24.2.034-045.oar
- [74] Kachlan MO, Yang J, Balshi T, Wolfinger G, Balshi S. Incidental findings in cone beam computed tomography for dental implants in 1002 patients. *Journal of Prosthodontics.* 2021;30(8):665–675. doi: 10.1111/jopr.13329
- [75] Braun MJ, Rauneker T, Dreyhaupt J, Hoffmann T, Luthardt R, Schmitz B, Dammann F, Beer M. Dental and maxillofacial cone beam CT-high number of incidental findings and their impact on follow-up and therapy management. *Diagnostics.* 2022;12(5):1036. doi: 10.3390/diagnostics12051036
- [76] Kurtuldu E, Alkis HT, Yesiltepe S, Sumbullu MA. Incidental findings in patients who underwent cone beam computed tomography for implant treatment planning. *Nigerian Journal of Clinical Practice.* 2020;23(3):329–336. doi: 10.4103/njcp.njcp\_309\_19
- [77] Lopes IA, Tucunduva RM, Handem R, Capelozza AL. Study of the frequency and location of incidental findings of the maxillofacial region in different fields of view in CBCT scans. *Dentomaxillofac Radiol.* 2017;46(1). doi: 10.1259/dmfr.20160215
- [78] Hodges RJ, Atchinson KA, White SC. Impact of cone-beam computed tomography on orthodontic diagnosis and treatment planning. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2013;143(5):665–674. doi: 10.1016/j.ajodo.2012.12.011



- [79] Hussain AM, Packota G, Flores-Mir C. Role of different imaging modalities in assessment of temporomandibular joint erosions and osteophytes: a systematic review. *Dentomaxillofac Radiol.* 2008;37(2). doi: 10.1259/dmfr/16932758
- [80] Ludlow JB, Timothy R, Walker C, Hunter R, Benavides E, Samuelson DB, Scheske MJ. Effective dose of dental CBCT – a meta analysis of published data and additional data for nine CBCT units. *Dentomaxillofac Radiol.* 2015;44(1). doi: 10.1259/dmfr.20140197
- [81] 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;144(6). doi: 10.1016/j.ajodo.2013.07.013
- [82] Grünheid T, Schieck JR, Pliska BT, Ahmad M, Larson BE. Dosimetry of a cone-beam computed tomography machine compared with a digital x-ray machine in orthodontic imaging. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2012;141(4). doi: 10.1016/j.ajodo.2011.10.024
- [83] Schwabl D. Evaluierung der Effektivdosis verschiedener zahnärztlich radiologischer Verfahren [Diplomarbeit], [Graz]: Medizinische Universität. 2018 [zitiert 22. Mai 2019]. Verfügbar unter: [https://online.medunigraz.at/mug\\_online/wbAbs.showThesis?pThesisNr=53918&pOrgNr=1](https://online.medunigraz.at/mug_online/wbAbs.showThesis?pThesisNr=53918&pOrgNr=1)

## 8. Eidesstattliche Versicherung

„Ich, Natascha Shahpar, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: „Das Auftreten von bildgebenden Zufallsbefunden im Bereich des Gesichtsschädels bei kieferorthopädischen und CMD- Patienten“; ‚The occurrence of incidental findings in the craniofacial region in orthodontic and TMD patients‘ 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/innen beruhen, sind als solche in korrekter Zitierung kenntlich gemacht. Die Abschnitte zu Methodik (insbesondere praktische Arbeiten, Laborbestimmungen, statistische Aufarbeitung) und Resultaten (insbesondere Abbildungen, Graphiken und Tabellen) werden von mir verantwortet.

Ich versichere ferner, dass ich die in Zusammenarbeit mit anderen Personen generierten Daten, Datenauswertungen und Schlussfolgerungen korrekt gekennzeichnet und meinen eigenen Beitrag sowie die Beiträge anderer Personen korrekt kenntlich gemacht habe (siehe Anteilserklärung). Texte oder Textteile, die gemeinsam mit anderen erstellt oder verwendet wurden, habe ich korrekt kenntlich gemacht.

Meine Anteile an etwaigen Publikationen zu dieser Dissertation entsprechen denen, die in der untenstehenden gemeinsamen Erklärung mit dem/der Erstbetreuer/in, angegeben sind. Für sämtliche im Rahmen der Dissertation entstandenen Publikationen wurden die Richtlinien des ICMJE (International Committee of Medical Journal Editors; [www.icmje.org](http://www.icmje.org)) zur Autorenschaft eingehalten. Ich erkläre ferner, dass ich mich zur Einhaltung der Satzung der Charité – Universitätsmedizin Berlin zur Sicherung Guter Wissenschaftlicher Praxis verpflichte. Weiterhin versichere ich, dass ich diese Dissertation weder in gleicher noch in ähnlicher Form bereits an einer anderen Fakultät eingereicht habe.

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

---

Datum

---

Unterschrift

## **9. Lebenslauf**

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

## 10. Danksagung

Ich möchte meinen aufrichtigen Dank an meinen Doktorvater, Herrn Professor Dr. Axel Bumann, aussprechen, der mir die Möglichkeit zur Promotion an der Charité Universitätsmedizin ermöglichte, indem er dieses interessante Thema zur Verfügung stellte. Sein Vertrauen, und die anhaltende Unterstützung während dieser Arbeit hat maßgeblich zum Gelingen beigetragen.

Ich danke Herrn Dr. Dr. Ebker herzlich für die Unterstützung als Zweitbetreuer meiner Promotion.

Ein herzliches Dankeschön auch an das gesamte Team von MESANTIS für die geduldige Einführung in das Computersystem, für die stets hilfsbereite und freundliche Betreuung und schnelle Lösung aller meiner Fragen und Anliegen.

Besonderer Dank gebührt meinen Eltern und meinem Partner, ohne deren Unterstützung diese Arbeit nicht hätte realisiert werden können. Ebenso danke ich meinen lieben Freunden für ihre unermüdliche Motivation und Begleitung.

# 11. Bescheinigung der Statistik



CharitéCentrum für Human- und Gesundheitswissenschaften

Charité | Campus Charité Mitte | 10117 Berlin

**Name, Vorname:** Shahpar, Natascha

**Emailadresse:** natascha.shahpar@charite.de

**Matrikelnummer:** 217760

**Promotionsbetreuer:** Prof. Dr. med. dent. Axel Bumann

**Promotionsinstitution / Klinik:** Abteilung für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie mit Arbeitsbereich Oralmedizin, zahnärztliche Röntgenologie und Chirurgie

**Institut für Biometrie und klinische Epidemiologie (iBike)**

Direktor: Prof. Dr. Frank Konietschke

Postanschrift:  
Charitéplatz 1 | 10117 Berlin  
Besucheranschrift:  
Sauerbruchweg. 3 | 10117 Berlin

Tel. +49 (0)30 450 562171  
frank.konietschke@charite.de  
<https://biometrie.charite.de/>



## Bescheinigung

Hiermit bescheinige ich, dass Frau Natascha Shahpar innerhalb der Service Unit Biometrie des Instituts für Biometrie und klinische Epidemiologie (iBike) bei mir eine statistische Beratung zu einem Promotionsvorhaben wahrgenommen hat. Folgende Beratungstermine wurden wahrgenommen:

- *Termin 1: 15.01.2019*
- *Termin 2: 29.01.2019*
- *Termin 3: 22.02.2023*
- *Termin 4: 24.04.2023*

Folgende wesentliche Ratschläge hinsichtlich einer sinnvollen Auswertung und Interpretation der Daten wurden während der Beratung erteilt:

- rein explorative Analyse, p-Werte sollten nur deskriptiv interpretiert werden
- Der Endpunkt „Asymmetrien des aufsteigenden Unterkieferastes“ kann mit einem Mann-Whitney-U Test getestet werden, alle anderen mit einem Chi-Quadrat Test unter Angabe von ORs und Konfidenzintervallen

Diese Bescheinigung garantiert nicht die richtige Umsetzung der in der Beratung gemachten Vorschläge, die korrekte Durchführung der empfohlenen statistischen Verfahren und die richtige Darstellung und Interpretation der Ergebnisse. Die Verantwortung hierfür obliegt allein dem Promovierenden. Das Institut für Biometrie und klinische Epidemiologie übernimmt hierfür keine Haftung.

Datum: 24.08.2023

Name des Beraters/ der Beraterin: Lorena Hafermann



Unterschrift Beraterin, Institutsstempel

