

Aus dem Institut für 3D-Dentalradiologie - MESANTIS Berlin

DISSERTATION

Validität der Beurteilung knöcherner Strukturen von Kiefergelenken im Magnetresonanztomogramm und im digitalen Volumentomogramm

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

vorgelegt der Medizinischen Fakultät
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Arthur Buscot

aus Straßburg (Frankreich)

Datum der Promotion: 05.06.2016

Inhaltsverzeichnis

Abstrakt	4
Abstract	6
1. Einleitung	8
1.1. Anatomie des Kiefergelenks	8
1.2. Degenerative Veränderungen des Kiefergelenks	8
1.3. Indikationen zur Bildgebung des Kiefergelenks	10
1.4. Bildgebende Verfahren in der Kiefergelenksdiagnostik	12
1.4.1. Panoramaschichtaufnahme	12
1.4.2. Spezielle konventionelle Kiefergelenkaufnahmen	12
1.4.3. Computertomografie	13
1.4.4. Digitale Volumetomografie	13
1.4.5. Magnetresonanztomografie	15
2. Fragestellung	17
3. Methodik	18
3.1. Allgemeine Methodik	18
3.1.1. Patientengut	18
3.1.2. DVT-Aufnahme	18
3.1.3. MRT Aufnahmen	20
3.1.4. Auswertungssoftware und Befundungsmonitor	21
3.1.5. Allgemeine Messmethodik	22
3.2. Spezielle Methodik	25
3.2.1. Verteilung knöcherner Veränderungen des Kondylus im DVT	25
3.2.2. Verteilung der Kondylenposition im DVT	28
3.2.3. Gegenüberstellung der knöchernen Veränderungen des Kondylus und der Kondylenposition	29
3.2.4. MRT-DVT-Vergleich für die Ermittlung knöcherner Veränderungen des Kondylus	29
3.2.5. MRT-DVT-Vergleich für die Ermittlung der Kondylenposition	30
3.3. Statistische Auswertung	31
4. Ergebnisse	32
4.1. Verteilung knöcherner Veränderungen des Kondylus im DVT	32
4.2. Verteilung der Kondylenposition im DVT	36

4.3. Gegenüberstellung der knöchernen Veränderungen des Kondylus und der Kondylenposition	36
4.4. MRT-DVT-Vergleich für die Ermittlung knöcherner Veränderungen des Kondylus	39
4.5. MRT-DVT-Vergleich für die Ermittlung der Kondylenposition	43
5. Diskussion	46
5.1. Diskussion der Methoden	46
5.1.1. Allgemeine Methodik	46
5.1.2. Spezielle Methodik	48
5.2. Diskussion der Ergebnisse	51
5.2.1. Verteilung knöcherner Veränderungen des Kondylus im DVT	51
5.2.2. Verteilung der Kondylenposition im DVT	56
5.2.3. Gegenüberstellung der knöchernen Veränderungen des Kondylus und der Kondylenposition	57
5.2.4. MRT-DVT-Vergleich für die Ermittlung knöcherner Veränderungen des Kondylus	57
5.2.5. MRT-DVT-Vergleich für die Ermittlung der Kondylenposition	59
5.3. Schlussfolgerungen	60
6. Anhang	61
6.1. Literaturverzeichnis	61
6.2. Abbildungsverzeichnis	74
6.3. Tabellenverzeichnis	76
6.4. Abkürzungsverzeichnis	78
6.5. Eidesstattliche Erklärung	80
6.6. Lebenslauf	81

Abstrakt

Einleitung:

Ob degenerative knöcherner Veränderungen des Kiefergelenks bei Patienten mit symptomatischen Kiefergelenksbeschwerden häufiger vorkommen, wird in der Literatur kontrovers diskutiert. Auch wenn sich ein deutlicher Trend zum digitalen Volumentomogramm (DVT) abzeichnet, wird nach wie vor behauptet, dass das Magnetresonanztomogramm (MRT) geeignet ist, knöcherner Strukturen des Kiefergelenks zu bewerten. So wird in dieser Studie zum einen die Häufigkeit degenerativer knöcherner Veränderungen des Kiefergelenks bei Patienten mit Kiefergelenksbeschwerden untersucht und zum anderen analysiert, in wie weit sich das MRT eignet, um knöcherner Veränderungen und die Kondylenposition zu bewerten.

Methodik:

Die Untersuchungen erfolgten retrospektiv anhand von DVT und MRT Aufnahmen von 131 Patienten mit symptomatischen Kiefergelenksbeschwerden. 33 Probanden waren männlich und 98 weiblich. Das allgemeine Durchschnittsalter betrug 34,82 Jahre. Die Kondylen wurden nach eigenen Kriterien für degenerative knöcherner Veränderungen untersucht. Hierbei wurde unter anderem zwischen nicht entzündlichen osteoarthrotischen Veränderungen und entzündlichen osteoarthritischen Veränderungen unterschieden. Mit den DVT-Aufnahmen wurde die Verteilung der knöcherner Veränderungen und der Kondylenposition ermittelt. Um die Sensivität und Spezifität der MRT Aufnahmen für knöcherner Veränderungen des Kondylus und der Kondylenposition zu ermitteln, wurden die DVT Aufnahmen als Referenzmethode verwendet.

Ergebnisse:

35,5% der Kondylen zeigten mäßig auffällige und 64,5% deutlich auffällige degenerative knöcherner Veränderungen. Am häufigsten wurden Sklerosen (81,3%), Erosionen (55,7%), Osteophyten (46,2%) und Abflachungen (43,9%) diagnostiziert. 56,9 % der Kiefergelenke wiesen eine veränderte Kondylenposition auf. Hierbei waren ähnlich häufig laterale (27,4%) und dorsale (26,9%) Kondylenpositionen festzustellen. Für die Ermittlung degenerativer knöcherner Veränderungen des Kondylus zeigt das MRT eine Spezifität von 72,04% und eine Sensivität von 69,82%. Bei der Bewertung

der Kondylenposition zeigt das MRT eine Spezifität von 75,22% und eine Sensivität von 73,15%.

Schlussfolgerung:

Degenerative knöcherne Veränderungen des Kondylus kommen bei Patienten mit symptomatischen Kiefergelenksbeschwerden häufig vor. Diese Veränderungen sind meistens deutlicher Ausprägung. Ebenso kommen häufig veränderte Kondylenpositionen, vor allem lateral und dorsal, bei Patienten mit symptomatischen Kiefergelenksbeschwerden vor. Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass im Vergleich mit dem DVT die Diagnostik veränderter knöcherner Strukturen des Kiefergelenks mit dem MRT nur eingeschränkt möglich ist.

Schlagwörter:

DVT, MRT, Kiefergelenk, knöcherne Veränderungen, Kondylenposition

Abstract

Introduction:

The frequent occurrence of osseous degenerative deviations of the temporomandibular joint (TMJ) in patients with temporomandibular disorders (TMD) is controversially discussed in the literature. Despite on growing evidence that it does not matter, it is still claimed that the magnetic-resonance imaging (MRI) is useful to evaluate osseous structures of the TMJ. The purpose of this study is the examination of the frequency osseous degenerative deviations of the TMJ in patients with symptomatic TMJ and the investigation how far MRI is suitable to evaluate osseous degenerative deviations and the condyle position of the TMJ.

Methods:

This retrospective study was based on coned beam computer tomography (CBCT) and MRI scans of 131 patients having symptomatic TMJ's. 33 subjects were male and 98 female. The overall mean age was 34.82 years. The condyles were analyzed according special criteria for osseous degenerative deviations of the condyle. Among others, differences were made between non-inflammatory osteoarthrotic changes and inflammatory osteoarthritic changes. The spread of osseous degenerative deviations and the condyle position were determined using CBCT scans. These CBCT scans were used as reference method to investigate the sensitivity and specificity of MRI for bony changes and condyle position.

Results:

35.5% of the condyles showed moderate bony changes and 64.5% showed significantly abnormal bony changes. The most common deviations were sclerosis (81.3%), erosions (55.7%), osteophytes (46.2%) and flattening (43.9%). 56.9% of the TMJ's showed an altered condyle position. The common altered condyle positions were lateral (27.4%) and dorsal (26.9%). For the determination of bony changes in the condyle, the MRI showed a specificity of 72.04% and a sensitivity of 69.82%. For the assessment of the condyle position the MRI showed a specificity of 75.22% and a sensitivity of 73.15%.

Conclusions:

Osseous degenerative deviations are common in patients with symptomatic TMJ. These changes are mostly clear. Likewise, patients with symptomatic TMJ have frequently changed condyle position. The results of this study show that the diagnosis of changed bony structures of the TMJ and the condylar position using MRI scans is limited compared to CBCT scans.

Keywords:

CBCT, MRI, TMJ, osseous degenerative deviations, condyle position

1. Einleitung

1.1. Anatomie des Kiefergelenks

Das Kiefergelenk (*Articulatio temporomandibularis*) ist ein sogenanntes synoviales und echtes Gelenk (*Diarthrose*) und als Teil des stomatognathen Systems die einzige bewegliche Verbindung zwischen Schädel und Unterkiefer [1]. Bei Kiefergelenksbewegungen artikulieren mandibuläre und temporale knöcherne Strukturen [1]. Mandibulär zählt hierzu das *Caput mandibulae* des *Processus condylaris*. Temporale und mandibuläre Gelenkanteile berühren sich nicht und sind an ihren gelenkführenden Flächen mit Faser- bzw. sekundärem Knorpel überzogen [1,2]. Das Kiefergelenk weist eine große Normvarianz bezüglich der Anatomie auf und ist entsprechend selten seiten- gleich [3].

In der Vergangenheit sind unterschiedliche Kondylenpositionen definiert worden, unter anderem die habituelle Kondylenposition, die auf Grund ihrer guten Reproduzierbarkeit in wissenschaftlichen Studien als Referenzposition verwendet wird [4]. Bei der habituellen Kondylenposition handelt es sich um die Kondylenposition, die bei der gewohnheitsmäßig (habituellen) eingenommenen Okklusion vorliegt [5]. Bei 92,5% der nicht pathologischer Kondylen liegt bei einer habitueller Okklusion eine zentrale Kondylus-Fossa-Relation vor [6]. Hierbei wird ein kleinerer anteriorer als posteriorer Gelenkspalt diskutiert [7–9]. Die Komplexität des Themas Kondylenposition wird deutlich, wenn man bedenkt, dass jede Diskusposition oder Kondylus-Fossa-Relation, die beschwerdefrei ist, auch eine „normale“ Situation darstellt, auch wenn definitionsgemäß eine Veränderung vorliegt [5].

1.2. Degenerative Veränderungen des Kiefergelenks

Degenerative knöcherne Veränderungen des Kiefergelenks haben eine hohe, im Alter zunehmende Prävalenz [10–13]. Diese Veränderungen sind meistens im Kondylus lokalisiert und Frauen sind häufiger davon betroffen [11,13–15].

Zunächst besteht eine Anpassungsfähigkeit des Kiefergelenks, um seine Funktion zu sichern [5]. Die Anpassung setzt sich aus einer physiologischen degenerativen Veränderung des Knochens (*progressive Adaptation*) und der Kompensation als muskuläre Antwort auf einen Einfluss zusammen [5,16]. Zu den exogenen Noxen, die eine Anpassung notwendig machen, zählen Arthropathien, Knochenerkrankungen, Myopathien, Okklusopathien und psychosoziale Faktoren [16–20]. Übersteigt das Maß der Noxen

die Anpassungsfähigkeit, kommt es zu pathologischen knöchernen degenerativen Veränderungen (regressive Adaptation), also einer degenerativen Kiefergelenkserkrankung [5,21–23]. Diese Veränderungen haben bei Patienten mit einer craniomandibulären Dysfunktion (CMD) eine signifikant höhere Prävalenz [24].

Eine genaue radiologische Abgrenzung zwischen physiologischen und pathologischen degenerativen Veränderungen ist nur schwer möglich [23]. Deswegen spricht man erst bei zu ausgeprägten knöchernen Veränderungen oder bei zusätzlichen Schmerzen beziehungsweise Dysfunktionen von einem pathologischen Zustand [23].

Um der Tatsache Ausdruck zu verleihen, dass degenerative Erkrankungen primär nicht-entzündlich sind, haben sich im deutschen und kontinentaleuropäischen Sprachgebrauch verschiedene Begriffe etabliert. Zu diesen Synonymen gehören unter anderem die degenerative Arthrose, Arthrosis deformans, Arthropedia deformans, Osteoarthrose, degenerative joint disease und „joint failure“. Im angloamerikanischen Bereich hat sich, da zu einem späteren Zeitpunkt eine entzündliche Phase auftritt, der Begriff „Osteoarthritis“ durchgesetzt [25]. Vereinheitlichend sollte man bei den Begriffen Osteoarthrose und Osteoarthritis bleiben. Beide Begriffe sollten aber nicht als Synonyme verwendet werden, denn sie stellen tatsächlich unterschiedliche Stadien einer degenerativen Kiefergelenkserkrankung dar [26]. So kann man eine Osteoarthrose als ein primär oder sekundär nichtentzündliches degeneratives Gelenkerkrankungsstadium definieren, das regressive Adaptionen der knöchernen Strukturen verursacht und auf eine Knorpelschädigung zurückzuführen ist [5]. Kommt es zu einer Überforderung des Adaptionssystems, kann aus einer Osteoarthrose eine entzündliche Osteoarthritis entstehen [5]. Die Osteoarthritis stellt also ein aktives Schmerzstadium einer degenerativen Kiefergelenkserkrankung dar [26].

Zu den radiologischen Kennzeichen degenerativer Veränderungen zählen Sklerosen, Abflachungen der Gelenkflächen, Osteophyten, Erosionen und Zysten [11,23,27]. Abflachungen sind Abweichungen von der physiologischen, konvexen Form der Gelenkflächen des Kiefergelenks [15]. Sie können eine primäre oder sekundäre adaptive Veränderung darstellen [13]. Die Erosion ist ein Indikator für ein frühes Stadium einer entzündlichen degenerativen Erkrankung [28]. Radiologisch stellt sich eine Erosion als umschriebener Knochendefekt der kortikalen Gelenkfläche und des angrenzenden Knochengewebes dar [28,29]. Die zystischen Veränderungen sind subchondral gelegene, rundliche, teilweise konfluierende, osteolytische Bereiche. Sklerosen stellen eine Verdickung der Kompakta bzw. eine Verdichtung der Spongiosa dar. Eine umschriebe-

ne periostale Apposition wird als Osteophyt (Randzacke) bezeichnet [28]. Osteophyten stellen eine Anpassung im Sinne einer Reparatur dar [27]. Sie treten erst in einem späteren Stadium degenerativer Veränderungen auf [27].

Ebenso wird ein signifikanter Zusammenhang zwischen veränderter Kondylenposition und CMD diskutiert [30,31]. Kondylenverlagerungen können durch Belastungs- und Stellungsveränderungen hervorgerufen werden [32]. Bei den Belastungsveränderungen kann man, klinisch-relevant, die Kiefergelenkskompression (kraniale Kondylenposition) und –distraction (kaudale Kondylenposition) unterscheiden [32]. Die Stellungsänderungen können ventral, lateral und retral sein [32]. Sie entstehen durch okklusale Zwangsführungen, die ideopathisch sind oder während des Wachstums erworben werden [32].

1.3. Indikationen zur Bildgebung des Kiefergelenks

Klinische Untersuchungsbefunde und bildgebende Befunde korrelieren nicht immer miteinander [33,34]. So ist eine zuverlässige Diagnose und Therapieplanung für komplizierte Krankheitsbilder wie CMD nur durch eine Kombination beider Untersuchungstechniken möglich [33,35–37]. Die Notwendigkeit von Röntgenbildern bei Kiefergelenksproblematiken wird aber auch in Frage gestellt [38]. Die Europäische Kommission weist darauf hin, dass knöcherne Veränderungen bei symptomatischen Kiefergelenken selten vorkommen und dass die Mehrinformation durch Röntgenaufnahmen keinen therapeutischen Wert besitzt [38]. Die DGZMK (Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund-, und Kieferheilkunde) hat in Ihrer Leitlinie zur digitalen Volumentomografie diese Aussage übernommen [39].

Für den Einsatz bildgebender Verfahren, vor allem bei der Anwendung von Röntgenstrahlen, muss immer eine spezifische rechtfertigende Indikation vorliegen [39]. Funktionsdiagnostisch dient die Bildgebung vor allem dem Ausschluss primärer Kiefergelenkserkrankungen und der Erfassung differential-therapeutisch relevanter Befunde [39], wobei die Darstellung knöcherner Strukturen bei der Bildgebung des Kiefergelenks die erste Intention darstellt [23]. Vor allem bei Krankheiten, die sich primär im Knochen manifestieren, spielt eine genaue Knochendarstellung eine wichtige Rolle [40].

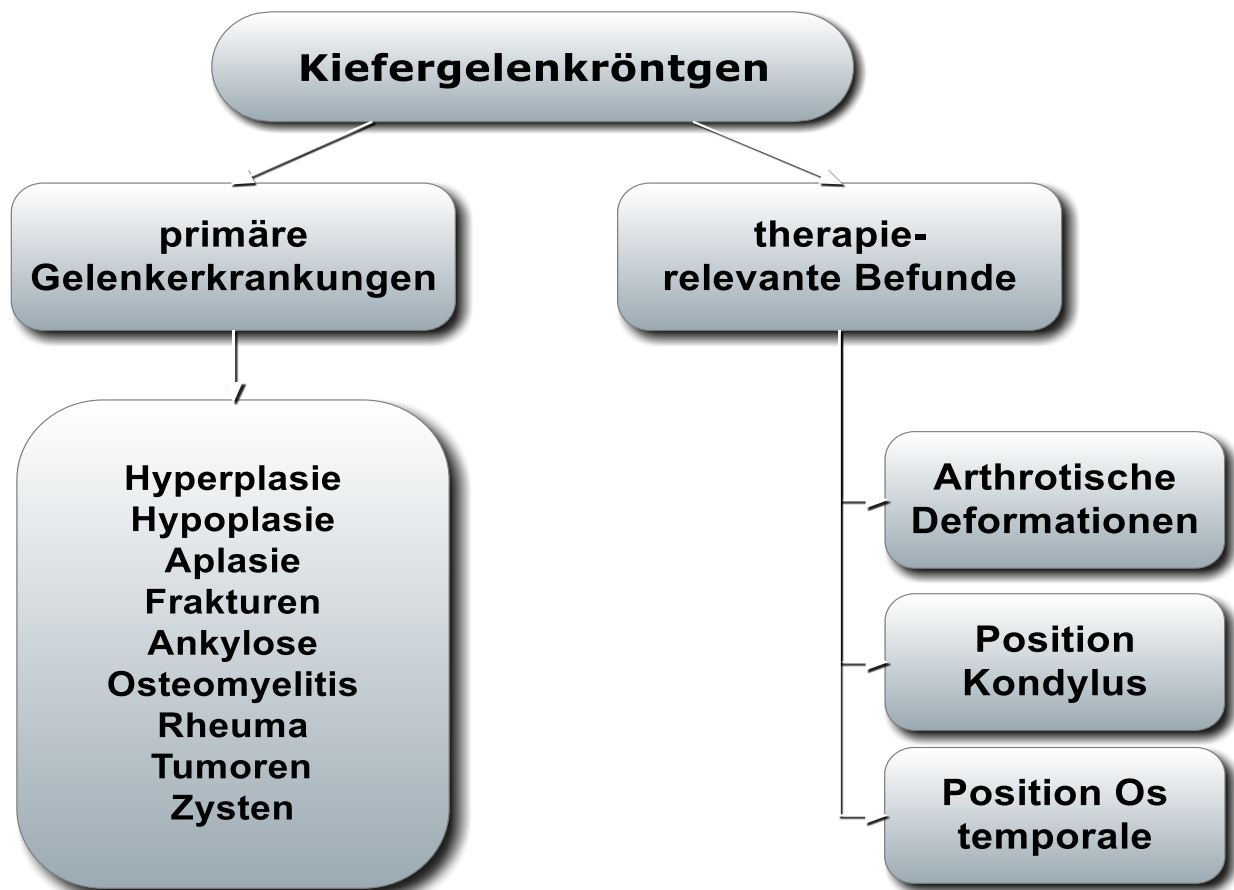


Abb. 1: Indikation für Röntgenaufnahmen des Kiefergelenks

Beim gewünschten Informationsgewinn geht es um das Ausmaß erosiver und sklerotischer Prozesse sowie um die Ermittlung von Position und Fehlstellung der Kondylen [39,41]. Da die Bildgebung des Kiefergelenks auch der Diagnose multikausaler Krankheitsbilder wie CMD dient, geht es bei der Bildgebung neben einer Darstellung der Kiefergelenke auch um eine zuverlässige Befundung von apikalen Aufhellungen, der Kieferhöhle und von Fehlstellungen des Kopfgelenkes. Im Idealfall möchte man alle Informationen mit nur einem Bild bekommen.

Vergleicht man die invasiven Verfahren zur Darstellung des Kiefergelenks, ist neben der Qualität der Aufnahmen auch die Strahlenbelastung ein wichtiger Diskussionspunkt, da jede Röntgenaufnahme nach dem ALARA (As low as reasonably achievable) Prinzip erfolgen muss [42]. Das Ziel ist es, mit der niedrigsten Strahlenbelastung zu arbeiten, die die gewünschte Diagnostik noch zulässt [43].

Die Strahlenbelastung wird in effektiver Dosis angegeben. Die effektive Dosis berücksichtigt unterschiedliche Wichtungsfaktoren der verschiedenen Gewebe im Aufnahme-

feld. Diese Faktoren sind in der 2007 herausgegebenen Empfehlung der Internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP) definiert worden [44].

1.4. Bildgebende Verfahren in der Kiefergelenksdiagnostik

1.4.1. Panoramaschichtaufnahme

Die Panoramaschichtaufnahme (PSA) gilt als Standard Übersichtsaufnahme der Zahnheilkunde [45]. Es werden sowohl die Zähne, als auch die Kiefer dargestellt [45]. Zur Beurteilung knöcherner Veränderungen am Kondylus ist die PSA jedoch eine unzuverlässige Methode [46,47]. So trägt die PSA bei über 90% der Kiefergelenkpatienten nicht zur klinischen Differentialdiagnostik bei [48]. Auch apikale Veränderungen können in 90% der Fälle nicht sicher beurteilt werden [49]. Die Interrater Reliabilität für osteoarthritische Veränderungen beträgt nur 19% [50]. In dieser Studie von Ahmad et al. mit 1435 Kiefergelenken wurde für die Diagnostik knöcherner Veränderungen die Sensivität der PSA mit mangelhaft (26%) und die Spezifität mit sehr gut (99%) bewertet [50]. Die speziellen Kiefergelenksprojektionen, die mit PSA-Geräten angefertigt werden, sind nicht besser zur Kiefergelenksdiagnostik geeignet als die normale PSA [51]. Hier werden nur 34% bis 45% der tatsächlichen Befunde erkannt [51]. Die effektive Dosis für digitale Panoramaschichtaufnahmen beträgt geräteabhängig 14,2 bis 24,3 μSv [52].

1.4.2. Spezielle konventionelle Kiefergelenkaufnahmen

In der Vergangenheit sind weitere konventionelle Röntgentechniken zur Kiefergelenksdarstellung beschrieben worden. Diese sind aber oft nur bedingt einsetzbar oder nicht mehr indiziert [2,5]. Mit der transkraniellen exzentrische Schädelaufnahme (Schüller Aufnahme) kann die Kondylusmorphologie, aber nicht die Kondylenposition bewertet werden [2,5]. Bei der Aufnahmetechnik nach Parma kommt ein Flachtubus zum Einsatz, der eine hohe Strahlenbelastung verursacht [2]. Auch die konventionelle Tomographie weist eine verhältnismäßig hohe Strahlenbelastung auf und hat eine geringe therapeutische Konsequenz [5]. Aufgrund der hohen Strahlenbelastung und der besseren Darstellung durch dreidimensionale bildgebende Verfahren hat auch die okzipitofrontale Aufnahme nach Clementschitsch kaum noch Bedeutung [53,54].

1.4.3. Computertomografie

Bei der Computertomografie (CT) werden Primäraufnahmen gewünschter Dicke durch ein kollimiertes (fächerförmiges) Strahlenfeld erzeugt [45]. Aus dem so gewonnenen Datensatz der Primäraufnahmen kann dann indirekt jede gewünschte Ebene rekonstruiert werden [45]. Grundsätzlich sind tomographische Röntgenverfahren gut geeignet, um knöchernen Strukturen des Kiefergelenks darzustellen [23,55]. Das sehr hohe Auflösungsvermögen der CT sorgt für eine bessere Darstellung knöcherner Gelenkstrukturen und deren Beziehung zueinander als die konventionellen Spezialaufnahmen [50,56,57]. Trotz dessen ist das CT auf Grund der hohen Anschaffungskosten und der großen Fläche, die für den Betrieb benötigt wird, vor allem großen chirurgischen Behandlungszentren vorbehalten geblieben [23,56]. So hat sich die CT auf Grund des Aufwandes und der Nebenwirkungen nicht als Routineverfahren durchsetzen können [27,56]. Die Computertomographie geht im Vergleich zu den zweidimensionalen Verfahren in jedem Fall mit einer erhöhten effektiven Dosis einher. Für hochmoderne CT Scans werden in der Literatur effektive Dosen von 429 μSv bis 1410 μSv angegeben [58–60].

1.4.4. Digitale Volumentomografie

Die digitale Volumentomografie (DVT, auch dentale Volumentomografie, engl. coned beam computer tomografie (CBCT)) stellt im Gegensatz zu den o.g. computertomografischen Verfahren durch den Entwicklungsschritt zur Flächenstrahltomografie ein echtes dreidimensionales Rekonstruktionsverfahren dar [61]. Das DVT Gerät besteht aus einer Röntgenröhre mit Generator, einem Bildverstärker und einer CCD-Chip-Camera (CCD: charge-couple device) [2]. Die Kegelstrahlgeometrie der DVT Geräte macht es möglich, durch eine 180-Grad Drehung dreidimensionale Volumendaten eines Objektes zu erzeugen [61]. Ein Scan besteht aus einer Abfolge kurzer Pulse von kegelförmigen Röntgenstrahlen auf das Objekt. Der Detektor (Sensor) erfasst dann die einzelnen Projektionsbilder [61]. Somit entstehen zweidimensionale Projektionen des Objektes aus unterschiedlichen Blickrichtungen, die anschließend durch einen dreidimensionalen Bildrekonstruktionsalgorithmus in ein Bildvolumen zusammengesetzt werden [61].

Unterschiedliche Parameter beeinflussen die Qualität der DVT-Aufnahmen [41]. Zu diesen gehören die Bestrahlungsemissionsfaktoren, die Größe des Sichtfeldes (englisch = field of view (FOV)), der Detektortypus und die Größe der rekonstruierten Voxel (dreidimensionaler Pixel) [41]. Diese Parameter variieren zwischen den Geräten, sind aber

größtenteils einstellbar [41]. Das Benutzen eines Kegelstrahls statt eines kollimierten Fächers ermöglicht die Aufnahme eines ganzen anatomischen Bereiches [39,62]. Beim DVT repräsentieren die Daten eines Detektorelements, im Gegensatz zur Parallelstrahl, keine ebene Schicht [61]. Je größer der Strahlenwinkel, desto mehr Strukturen unterschiedlicher Schichten tragen zum Signal bei [61]. Entsprechend unterscheiden sich dreidimensionale Bildrekonstruktionsverfahren erheblich von klassischen Rekonstruktionsverfahren und sind deutlich komplizierter [61]. DVT-Systeme bilden Hochkontraste, d.h. Hartgewebe, ab, welche in allen drei Raumrichtungen isometrisch, also ohne Verzerrung oder Vergrößerung, dargestellt werden [23,39]. Somit werden korrekte anatomische Verhältnisse wiedergegeben, in denen verzerrungsfrei gemessen werden kann [23,63]. Die Darstellung erfolgt überlagerungsfrei und gibt die Knochendichte realistisch wieder [23].

Die Zuverlässigkeit der digitalen Volumentomografie wird bei der Diagnostik knöcherner Veränderungen von mehreren Autoren bestätigt [11,27,51,62,64]. Knöcherne Strukturen werden im DVT besser als in konventionellen Röntgenbildern dargestellt [51,65]. Mittlerweile gilt die DVT als strahlenärmere, kostengünstigere, platzsparende und qualitativ zumindest gleichwertige Alternative zur CT [50,51,64]. Auch für den Nachweis erosiver Veränderungen, insbesondere am Kondylus, kann die DVT sinnvoll eingesetzt werden [27,66]. Für die DVT besteht sowohl eine gute Intra- als auch Interbeobachter Übereinstimmung [67]. Die DVT eignet sich auch gut zur Diagnostik von Lageveränderungen des Kondylus [68,69]. Bei der Diagnostik apikaler Aufhellungen eignen sich die DVT besser als Zahnfilmaufnahmen [70]. Ebenso ist die DVT zur differentialdiagnostischen Beurteilung der Sinus maxillares geeignet [71]. Im DVT können die oberen Halswirbel überlagerungsfrei rekonstruiert werden [72]. So können Hinweise auf Funktionsstörungen der oberen Halswirbelsäule bzw. Wirbelkörperanomalien aus einem DVT gewonnen werden [73].

Die Weichteildarstellung durch die DVT ist eingeschränkt. Entsprechend steht in der Leitlinie der DGZMK: „Zur Beantwortung von Fragestellungen mit Bildgebungsnotwendigkeit zum Diskus articularis bzw. zur artikulären Weichteilpathologie ist ein DVT nicht indiziert.“ [39].

Die ermittelte effektive Dosis für DVT-Aufnahmen variiert sehr stark [74]. Das liegt an den unterschiedlichen Geräten und ihrer Einstellung (u. a. Größe des FOV), der Zusammensetzung des in den Studien verwendeten Phantoms und den abgebildeten Strukturen [13,43,60,75].

Eine aktuelle Literaturrecherche von Ludlow et al. zeigt eine durchschnittlich effektive Dosis für große FOV's von 212 μSv , für mittlere FOV's von 177 μSv und für kleine FOV's von 84 μSv [74]. Dabei reichen, unabhängig von der Größe des FOV, die ermittelten effektiven Dosen von 5 μSv bis 1073 μSv [74].

Mittlerweile sind also niedrige effektive Dosen von 11 bis 77 μSv [76], 20 bis 43,3 μSv [77], 13 bis 82 μSv [59] und 58,9 bis 96,2 μSv [78] möglich. Sogar bei großen FOV's werden 61 μSv [79], bzw. 60 μSv [80] und 40 μSv [81] erreicht.

Unter anderem wird mit einer Verkleinerung des FOV's versucht, die effektive Dosis zu reduzieren [76,82]. Auch in einer Stellungnahme der europäischen Kommission wird dieses Vorgehen mit: „only the region of interest“ beschrieben [38]. Problematisch ist es, diese Idee auf die Kiefergelenksdiagnostik zu übertragen, weil damit der differentialdiagnostische Anspruch einer Kiefergelenksaufnahme ignoriert wird. Zudem muss auch berücksichtigt werden, dass gewebsabhängig ein kleineres FOV nicht immer mit einer Reduktion der effektiven Dosis einhergeht [59,82].

Grundsätzlich haben neuere DVT Geräte eine deutlich verkürzte Datenakquise und eine bessere Ausnutzung der Röhrenleistung mit folglich reduzierter Strahlenbelastung für den Patienten [23,83–85]. Zusammenfassend schneidet die effektive Dosis der DVT deutlich besser ab als die der CT. Trotz mindestens gleichwertiger Bildqualität empfiehlt die europäische Kommission bei radiologischer Bildgebung für das Kiefergelenk die CT [38].

Mit der Entwicklung neuer Technologien wie „ultra low dose“-Protokolle erreicht ein DVT bei einem FOV von 20 x 17 cm und einer Auflösung von 600 μm die effektive Dosis einer PSA [86]. Sollte sich dieser Trend der Reduktion der effektiven Dosis bei Erhalt einer guten Bildqualität bestätigen, ist die effektive Dosis der DVT kein Ausschlusskriterium mehr.

1.4.5. Magnetresonanztomografie

Durch die Entwicklung der Oberflächenspulen in der Mitte der 1980er Jahre ist die Anwendung der Magnetresonanztomografie (MRT, Kernspintomografie) auch in der Kiefergelenksdiagnostik zum Tragen gekommen [87]. „Die MRT beruht auf der Wiederausendung eines absorbierten Hochfrequenz-(HF-) Signals, während der Patient sich in einem starken Magnetfeld befindet“ [88]. Der in vielen Verbindungen vorkommende Wasserstoff hat mit seiner ungeraden Kernzahl ein magnetisches Moment und einen Drehimpuls [45]. Wirkt ein HF-Impuls, werden die Kerne aus ihrer Ausrichtung gekippt

(kernmagnetische Resonanz) und nehmen Energie auf [45]. Bei Abschaltung dieses HF-Impuls kommt es zur gewebspezifischen Relaxationen (Rückkehr in den Ausgangszustand) [45]. Der Spannungsverlauf des dabei erzeugten Induktionsfeldes wird von Empfangs- und Sendespulen empfangen und ähnlich dem CT in Grauwerten wiedergegeben [2].

Durch die Einstellung geeigneter Aufnahmeparameter (Repetitions- und Echozeit) sind T1, T2 oder Protonendichte (PD) Gewichtungen möglich [2]. Die PD Gewichtung ermöglicht die differenzierteste und bestauflöseste Darstellung [2]. Je nach Magnetisierungsebene teilt man die Relaxationszeit in eine T1 (Spingitter-Relaxationszeit, bzw. longitudinale z-Ebene) und T2 (Spin-Spin-Relaxationszeit, transversale bzw. xy- Ebene) ein [5]. T2-Bilder eignen sich für die Darstellung von Infektionen, Ödemen oder Gelenkergüssen [5]. Allgemein stellen sich Strukturen mit hohem Wasser- und Fettgehalt signalstärker (heller) dar. Andere sind signalschwächer und erscheinen somit dunkel. So zeichnet sich die Kortikalis in der T1- und in der T2-Gewichtung gleichermaßen signallos-dunkel [5]. Die Spongiosa hingegen hat in der T1 Gewichtung einen helleren, signalintensiveren Grauton als in der T2-Gewichtung [5]. Der Discus articularis und die Muskulatur erscheinen in einer intermediären Signalintensität [5].

Seit langem unumstritten ist die optimale Darstellung der nicht-knöchernen Strukturen mit der Magnetresonanztomografie möglich [89]. So ist für die Darstellung von Diskus articularis, Bandstrukturen und Gelenkergüssen die MRT das Verfahren der Wahl [37,90–92]. Das MRT ist weniger zur Darstellung knöcherner Strukturen geeignet [39,50,84]. Trotzdem ist die Meinung noch weit verbreitet, dass die Hartgewebstdarstellung eine Indikation für die MRT darstellt [39,57]. So wird in einer Studie von Schmitter et al. das MRT als Goldstandard (Referenzmethode) verwendet, um den Kondylus zu bewerten [93].

2. Fragestellung

Aktuelle europäische und deutsche Richtlinien suggerieren, dass knöcherne Veränderungen selten sind und dass der therapeutische Mehrwert durch das DVT fraglich ist. Zudem besteht Uneinigkeit bei der Wahl des bildgebenden Verfahrens zur Darstellung knöcherner Strukturen und des Kondylus. Mit dem DVT hat sich ein bildgebendes Verfahren etabliert, das sich hervorragend zur Darstellung knöcherner Strukturen des Kiefergelenks eignet. Dem DVT hängt aber immer noch das Dogma des zwar präzisen Instruments zur Darstellung knöcherner Strukturen an, dass aber eine sehr hohe Strahlenbelastungen erzeugt. Aus dieser Verlegenheit heraus wird zum Teil die Meinung vertreten, dass eine Darstellung knöcherner Strukturen mit dem MRT ausreichend ist. Abschließend ist der Mehrwert des DVT gegenüber dem MRT für die Hartgewebstdarstellung zu prüfen.

Mit der vorliegenden Arbeit sollen insbesondere folgende Hypothesen überprüft werden:

1. Bei Patienten mit symptomatischen Kiefergelenksbeschwerden sind knöcherne Veränderungen des Kondylus selten im DVT zu finden.
2. Bei Patienten mit symptomatischen Kiefergelenksbeschwerden sind unphysiologische Kondylenpositionen im DVT häufig zu erkennen.
3. Bei Patienten mit symptomatischen Kiefergelenksbeschwerden besteht im DVT ein Zusammenhang zwischen der Kondylenposition und der Art der knöchernen Veränderung des Kondylus.
4. Zwischen MRT und DVT besteht kein signifikanter Unterschied in der Beurteilung der knöchernen Strukturen des Kondylus.
5. Zwischen MRT und DVT besteht kein signifikanter Unterschied hinsichtlich der Beurteilung der Kondylenposition.

3. Methodik

3.1. Allgemeine Methodik

3.1.1. Patientengut

Um die Hypothesen zu prüfen, wurden 131 DVT- und MRT-Datensätze ausgewertet. Diese bestanden jeweils aus einem linken und einem rechten Kondylus. Somit wurden 262 Kondylen bewertet. Diese wurden zwischen Juli 2006 und Dezember 2011 angefertigt. Die Datenauswahl beschränkte sich auf Probanden mit symptomatischen Kiefergelenksbeschwerden.

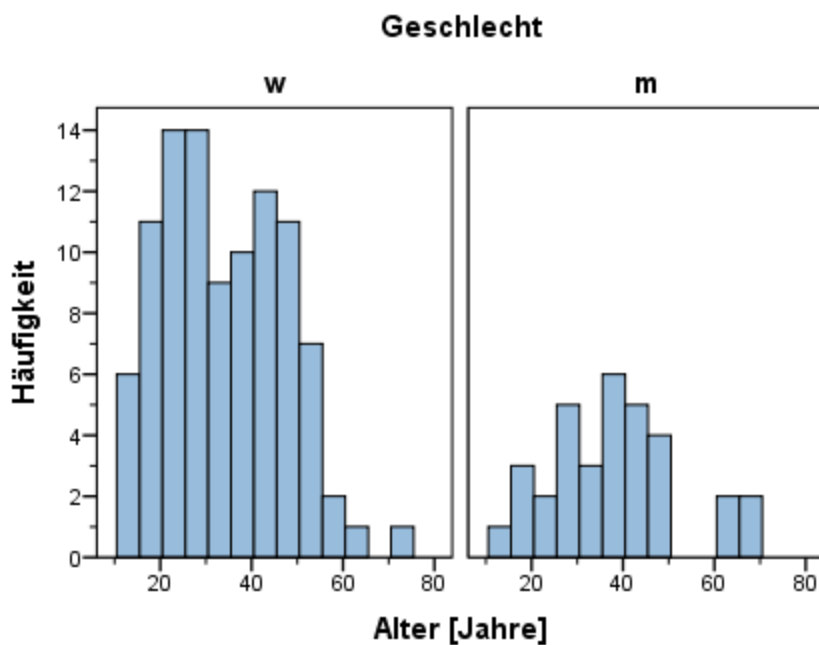


Abb. 2: Verteilung der Probanden nach Geschlecht und Alter

Es sind die Aufnahmen von 33 männlichen und 98 weiblichen Probanden verwendet worden. Das allgemeine Durchschnittsalter betrug 34,82 Jahren (Median = 34,00 Jahre). Hierbei lag das Alter zwischen 13 bis 72 Jahren.

3.1.2. DVT-Aufnahme

Die verwendeten DVT Aufnahmen entstammen der Kieferorthopädischen Praxis „Ihre Kieferorthopäden in Berlin“ sowie dem 3D-Röntgeninstitut **MESANTIS®** in Berlin. Für

die Selektion der 131 Datensätze wurden vorab spezifische Selektionskriterien festgelegt:

- Die Indikation der Bildherstellung mussten symptomatische Kiefergelenksbeschwerden sein
- Die Kiefergelenke mussten vollständig abgebildet sein
- Die Aufnahmen mussten bei geschlossenem Mund erfolgt sein
- Es mussten sowohl MRT-Bilder der Patienten vorliegen
- 7er stehen in Okklusion

Für jede DVT-Aufnahme bestand vor einer kieferorthopädischen Behandlung eine rechtfertigende Indikation zur Anfertigung einer dentalen Volumentomographie nach der S2k-Leitlinie der DGZMK [39]. Die jeweils individuelle rechtfertigende Indikation wurde von einem/r fachkundigen Zahnarzt/ärztin gestellt.

Alle Aufnahmen wurden entweder mit dem DVT-Gerät „i-CAT classic“ (Imaging Sciences International, Inc., Hatfield, USA) oder der Sonderedition **MESANTIS® line** (Imaging Sciences International, Inc., Hatfield, USA) angefertigt. Details zu den technischen Angaben sind in Tabelle 1 dargestellt.

Beide DVT-Geräte generierten DICOM Datensätze, die mit Hilfe einer speziellen Auswertungssoftware für die weiteren Vermessungen verwendet werden konnten. Sämtliche Patienten wurden vertikal nach der Okklusionsebene im DVT-Gerät ausgerichtet. Die sagittale Orientierung richtete sich nach der Erfassung der Nasenspitze und der Referenzpunkte „Porion rechts und links“.

Tab 1: Technische Daten der verwendeten DVT-Geräte

	iCAT classic	MESANTIS® line
Bilddetektor	Flachfeld, amorphes Silizium (ablesbarer Bereich) 23,8 cm × 19,2 cm (B × H)	Flachfeld, amorphes Silizium (erfassbarer Bereich) 23,8 cm × 19,2 cm (B × H)
Voxelgröße	0,3 mm oder 0,25	0,3 mm oder 0,25
Graustufen	12 Bit	14 Bit

Bilderfassung	Einzelrotation um 360° (max.)	Einzelrotation um 360° (max.)
Bilderfassungsdauer	20 oder 10 Sekunden	26,9 oder 8,9 Sekunden
Sichtfeld (Field of View)	16 cm x 13 cm (D x H)	16,50 cm x 13,50 cm (D x H)
Röntgenröhrenspannung	120 kV	120 kV
Stromstärke	3-8 mA	3-7 mA

Abkürzungen: D=Durchmesser, H=Höhe, B=Breite, kV=Kilovolt, mA=Milliampere

3.1.3. MRT Aufnahmen

Die Magnetresonanztomogramme wurde in der radiologischen Praxis „Kernspintomographie im Bismarck-Karrée“ (Berlin) von Dr. Rehbock erstellt. Die MRT Aufnahmen erfolgten mit dem MAGNETOM Espree 1,5T (Siemens Medical Systems, Erlangen, Germany). Diese Aufnahmen sind ebenfalls im DICOM Format gespeichert. Zu Betrachtung der MRT wurde das Programm syngo fastView (©Siemens AG 2004-2006) verwendet. Die technischen Angaben zum MRT sind in Tabelle 2 dargestellt.

Tab 2: Technische Daten des verwendeten MRT

	MAGNETOM Espree 1,5 T
Magnetfeldstärke	1,5 Tesla
Gradient-Stärke	33 mT/m
Min. Anstiegszeit	330 μ s
Slew-Rate	125 T/m/s
Tunnellänge	125 cm
Innendurchmesser	70 cm
Sichtfeld (Field of View)	45 cm

Abkürzungen: T=Tesla, m=Meter, mT=Millitesla, μ s=Mikrosekunde, s=Sekunde,
cm=Zentimeter

3.1.4. Auswertungssoftware und Befundungsmonitor

Die vollständige Diagnostik, sowohl der DVT- als auch der MRT Datensätze, erfolgte im Befundungszentrum des Mesantis®-Institut-Berlin an DIN-genormten Monitoren (Tabelle 3).

Tab 3: Technische Parameter des Befundungsmonitors

	EIZO 3 Megapixel RadiForce™ R31 Monitor
Produktionsfirma	Fa. Avnet Technology Solutions GmbH, Nettetal, Deutschland
DIN	6868-57 für Anwendungskategorie B
Bildpunkte	1536x2048
Kontrastverhältnis	400:1
Helligkeit/Leuchtdichte	400cd/m ²

Abkürzungen: cd/ m²= Candela/Quadratmeter

Für die Auswertung der DVT-Aufnahmen wurde die volumetrische Bildgebungssoftware InVivo5.0 verwendet. Sie kann DICOM erzeugte DVT-Daten verarbeiten und dreidimensionale Volumendaten darstellen. In diesem Programm wurden sogenannte Kiefergelenksreporte erstellt.

3.1.5. Allgemeine Messmethodik

Um die DVT-Datensätze mit den MRT-Datensätzen vergleichen zu können, mussten aus den DVT's anonymisierte Kiefergelenksreporte erstellt werden. Diese zeigen neun sagittale Schichten pro Kiefergelenksseite (Abbildung 3).

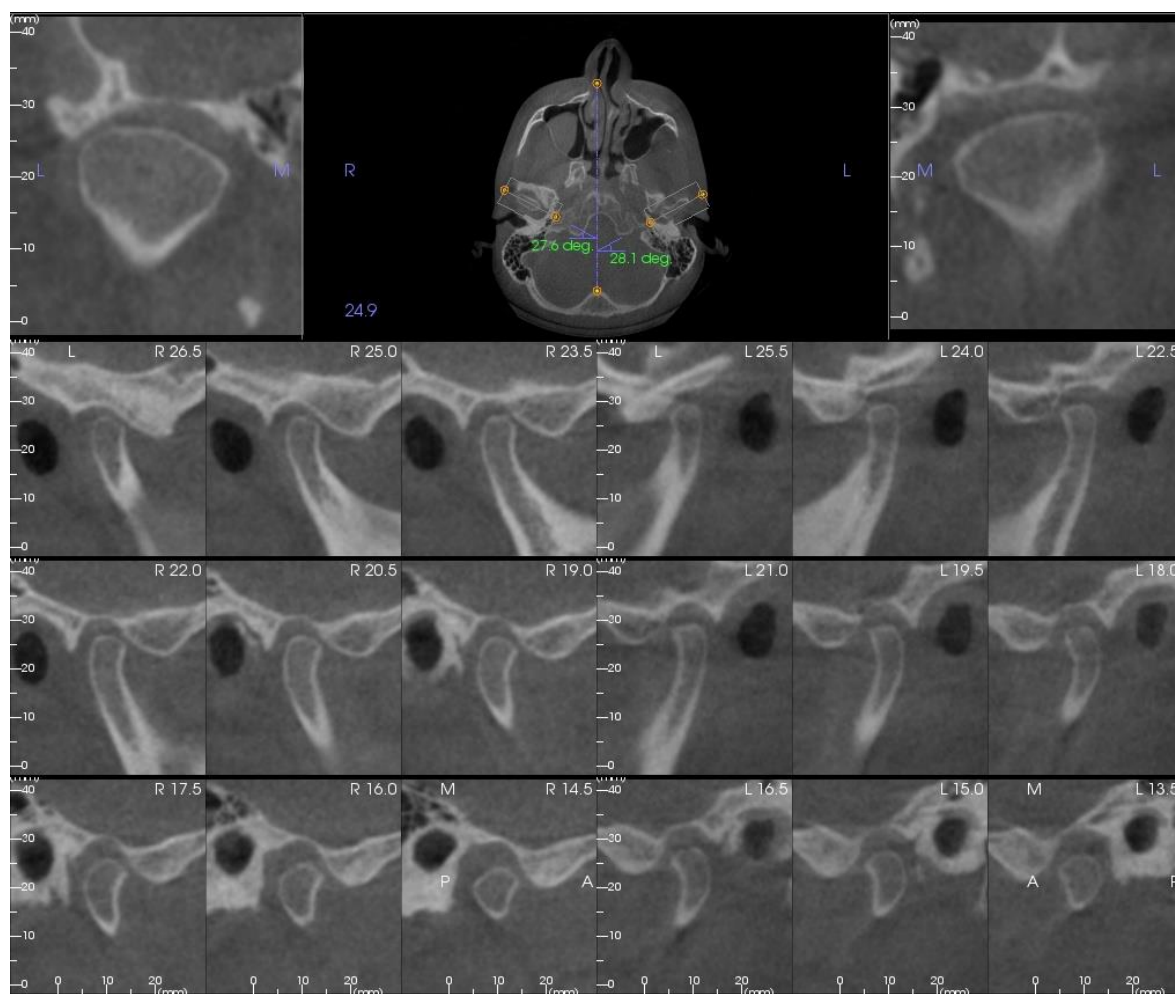


Abb. 3: DVT-Kiefergelenksreport eines Probanden

Für die Kiefergelenksreporte wurden zunächst im Programmpunkt „TMJ“ unter „Adjust“ das transversale Ausmaß der Schnittbilder angepasst (Abbildung 4). Die Schichtstärke wurde je nach anatomischem Ausmaß der Kiefergelenke auf 10mm oder 15mm ange-

passt. Unter „Layout“ wurde die Menge und Reihenfolge der Schnittbilder festgelegt. Anschließend wurden mithilfe der Orientierungswerkzeuge die Schnittbilder in der koronalen und sagittalen Ebene adjustiert (Abbildung 4). Die koronale Ebene wurde an der maximalen medial-zentral-Ausdehnung des Kondylus fixiert. Damit alle neun Schnittbilder Informationen über das Kiefergelenk liefern können, wurden die Ebenen so gelegt, dass die zentralen Schichten der Mitte des Kondylus entsprechen. An dieser Stelle wurden unter dem Unterpunkt „i“ die Patientendaten zur Anonymisierung entfernt. So eingestellt wurden die Daten unter zugeordneten Kennzahlen unter dem Format „JPG File“ gespeichert.

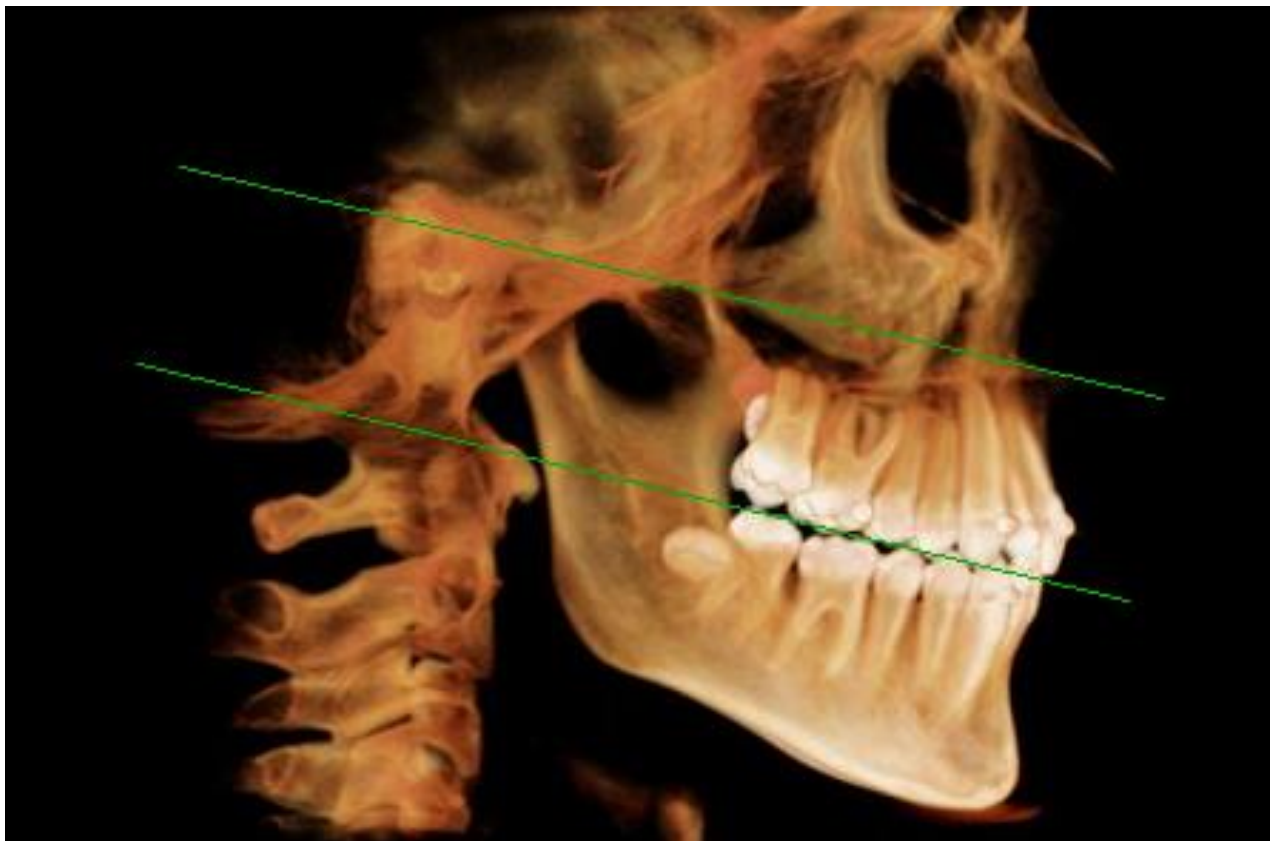


Abb. 4: Anpassung des transversalen Ausmaßes der Schnittbilder

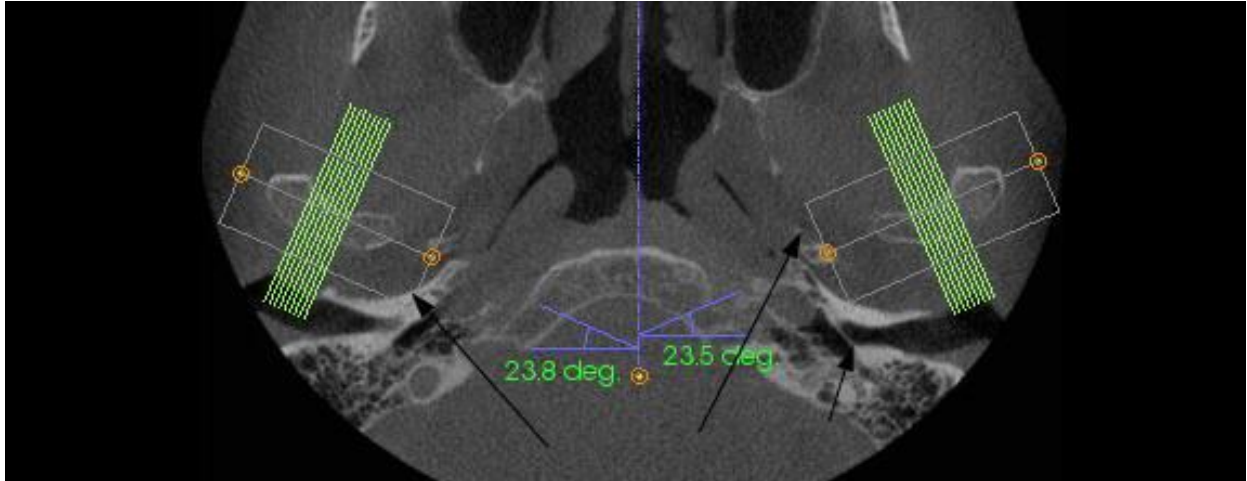


Abb. 5: Transversale Ansicht zur Anpassung des sagittalen und koronalen Ausmaßes der Schnittbilder

Ein MRT-Datensatz für Kiefergelenksdiagnostik besteht aus unterschiedlichen Schnittbildern und Einstellung. Darunter 6 oder 10 sagittale Schnittbilder pro Patient in T1 oder T2 bei geschlossenem Mund (Abbildung 6), 6 oder 10 sagittale Schnittbilder bei maximaler Mundöffnung in T1 (Abbildung 7) und 14 sagittale Schnittbilder bei leichter Mundöffnung in T2 (Abbildung 8).

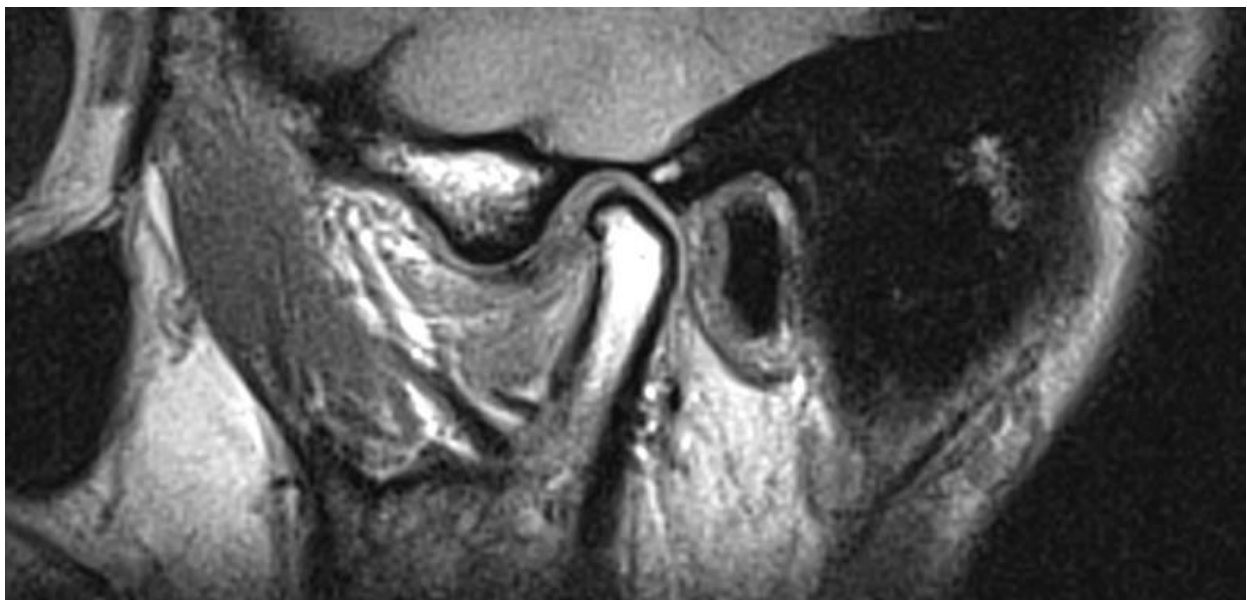


Abb. 6: Zentraler MRT Schnittbild-Ausschnitt eines rechten Kiefergelenks in T1 bei Mundschluss

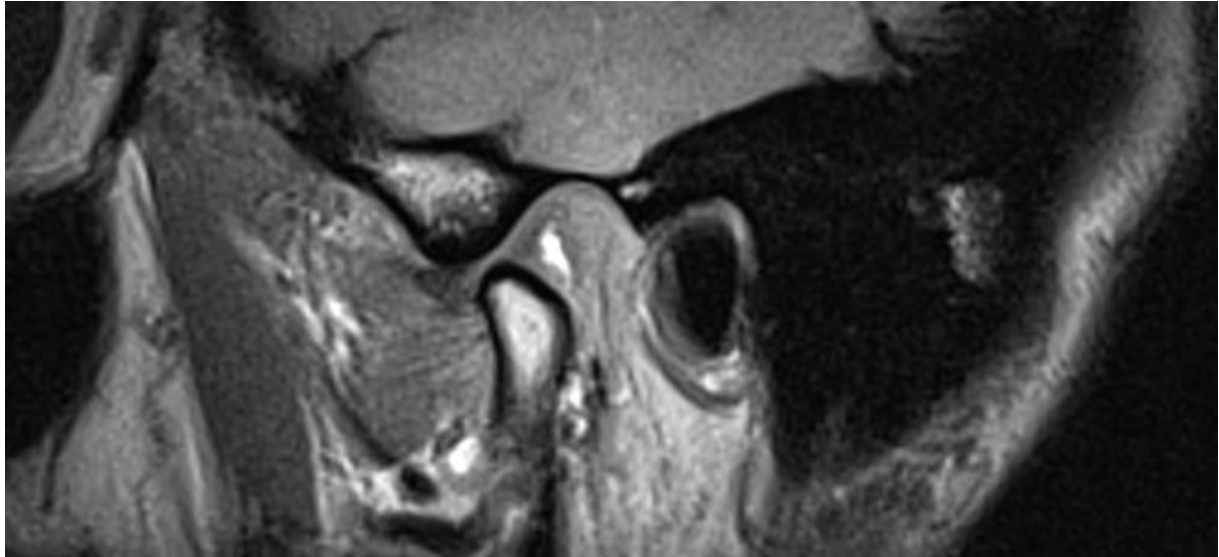


Abb. 7: Zentraler MRT Schnittbild-Ausschnitt eines rechten Kiefergelenks in T1 bei maximaler Mundöffnung

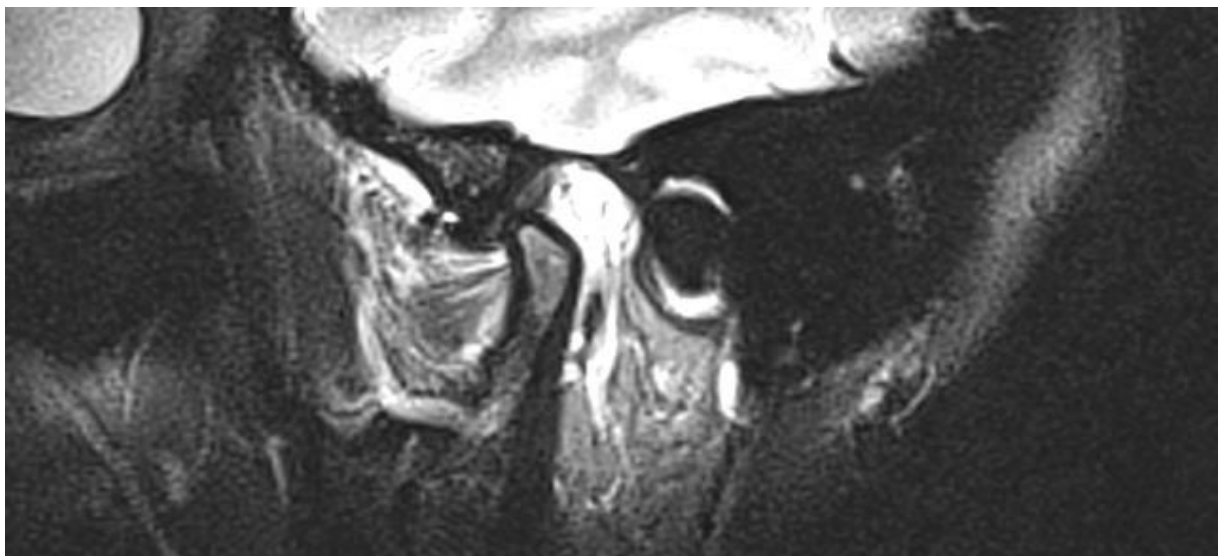


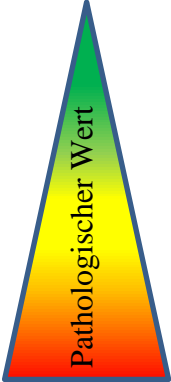
Abb. 8: Zentraler MRT Schnittbild-Ausschnitt eines rechten Kiefergelenks in T2 bei gemäßigter Mundöffnung

3.2. Spezielle Methodik

3.2.1. Verteilung knöcherner Veränderungen des Kondylus im DVT

Zur Genauigkeit wurde jeder Kondylus in drei sagittalen (lateral/zentral/medial) Ebenen hinsichtlich des Vorkommens degenerativer Veränderungen beurteilt (Tabelle 4). Die Auswahl der degenerativen Veränderung erfolgte in Anlehnung an die Einteilung verschiedener Studien [50,94,95].

Tab. 4: Degenerative Veränderungen der knöchernen Strukturen des Kiefergelenks (KS = Knochenspitzen)

Degenerative Veränderungen (DV)		
DV 0	keine degenerativen knöchernen Veränderungen	
DV 1	Sklerosierung	
DV 2	Abflachung	
DV 3	Sklerosierte osteoarthrotische Deformation ohne KS	
DV 4	Sklerosierte osteoarthrotische Deformation mit KS	
DV 5	Nicht sklerosierte osteoarthritische Deformation	

Die Reihenfolge der Aufzählung soll den unterschiedlichen pathologischen Wert der degenerativen Veränderungen unterstreichen. Ein Kondylus kann mehrere degenerative Veränderungen aufweisen.

Im Folgenden sind die in Tabelle 4 aufgelisteten Veränderungen definiert. Es liegen keine degenerativen knöchernen Veränderungen vor, wenn weder die Schichtstärke noch die Dichte der Kortikalis verändert ist. Allgemein weist der Kondylus seine typische Morphologie auf. Bei einer Sklerosierung liegt eine erhöhte Spongiosadichte beziehungsweise erhöhte Schichtstärke der Kortikalis vor. Bei Abflachungen der Kontur des Kondylus handelt es sich um eine antero- oder posteriosuperiore gelegene Veränderungen der physiologischen, konvexen Form der Gelenkflächen des Kondylus. Zu den osteoarthrotischen Veränderungen zählen unter anderem Osteophyten und sklerosierte zystische Veränderungen. Je nach Form der Veränderungen werden Veränderungen mit und ohne „Knochenspitzen“ unterschieden. Mit Knochenspitzen sind spitze bzw. scharfkantige osteophytische Veränderungen gemeint. Zu den osteoarthritischen Veränderungen zählen Erosionen und nichtsklerosierte osteolytisch-zystische Veränderungen. Radiologisch stellt sich eine Erosion als umschriebener Knochendefekt der kortikalen Gelenkfläche und des angrenzenden Knochengewebes dar [28,29,96] Erosive Veränderungen können an allen kondylären Gelenkflächen gleichermaßen vorkommen [29].

Um nun den gesamten Kondylus bewerten zu können, wurden aus den degenerativen Veränderungen der drei sagittalen Ebenen vier Klassen abgeleitet (Tabelle 5).

Tab. 5: Klassen der degenerativen Veränderung knöcherner Strukturen des Kiefergelenks

Klasse I	Nicht pathologische Kondylen
Klasse II	Geringfügig osteoarthrotische Kondylen
Klasse III	Ausgeprägt osteoarthrotische Kondylen
Klasse IV	Stark osteoarthritische Kondylen

Dafür wurden die Ergebnisse für die drei sagittalen DVT-Ebenen in Excel in eine Kreuztabelle überführt. Durch einen Filter mit denen in Tabelle 6 beschriebenen Bedingungen wurde die Klassenzugehörigkeit ermittelt.

Tab. 6: Bedingungen der Klassenzuordnung im DVT (DV = degenerative Veränderungen)

Klasse I	DV0 und DV 2 haben keine Relevanz
	DV1, DV3 und DV5 in maximal eine Ebene
	Nie DV4
Klasse II	DV0 und DV2 haben keine Relevanz
	DV5 in maximal eine Ebene
	DV1 oder DV3 in mindestens zwei Ebenen
	Nie DV4
Klasse III	DV0, DV1, DV2 und DV3 haben keine Relevanz
	DV5 in maximal einer Ebene
	DV4 in mindestens einer Ebene
Klasse IV	DV0 bis DV4 haben keine Relevanz
	DV5 in mindestens zwei Ebenen

Aus den so ermittelten absoluten Werten wurden zur Vergleichbarkeit relative Werte berechnet. Diese wurden zur Verdeutlichung in einem Kreisdiagramm dargestellt. Zudem wurde die Verteilung der degenerativen Veränderungen in den vier Klassen ermittelt. Hierfür wurde aus den Ergebnissen für knöcherne Veränderungen des Kondylus der einzelnen DVT-Ebenen ein Gesamtwert für jedes Kiefergelenk abgeleitet. Damit eine degenerative Veränderung für das gesamte Kiefergelenk als positiv gewertet werden konnte, reichte es, dass das Merkmal in nur einer Ebene positiv war. Die hier ermittelten relativen Werte wurden zur Verdeutlichung in einem Balkendiagramm dargestellt. Weiter wurde die Ausprägung der degenerativen Veränderungen in den vier Klassen errechnet. Um die Ausprägung diskutieren zu können, wurde geschaut, in wie vielen der drei sagittalen Ebenen die jeweilige degenerative Veränderung vorkam. Kommt eine degenerative Veränderung in nur einer Ebene vor, wird von einer leichten Ausprä-

gung gesprochen. Das Vorkommen in zwei Ebenen bedeutet eine mittlere Ausprägung und in drei Ebenen eine starke Ausprägung. Auch die Ausprägung wurde in einem Balkendiagramm veranschaulichend dargestellt.

Alle hier ermittelten Daten ermöglichten die Diskussion der Hypothese: „Bei Patienten mit symptomatischen Kiefergelenken kommen im DVT knöcherne Veränderungen des Kondylus selten vor.“

3.2.2. Verteilung der Kondylenposition im DVT

Zum MRT/DVT-Vergleich und der Einzelbewertung via DVT der sagittalen Kondylenposition diente das Schema aus dem Konsilbogen digitale Volumentomografie der Manuellen Strukturanalyse (MSA) nach Prof. Bumann. Dieses Schema wurde um die dorso-kraniale und ventro-kaudale Kondylenposition erweitert (Abbildung 9). Wenn keine Veränderung zutreffend war, wurde der Kondylus als nicht-verändert bewertet.

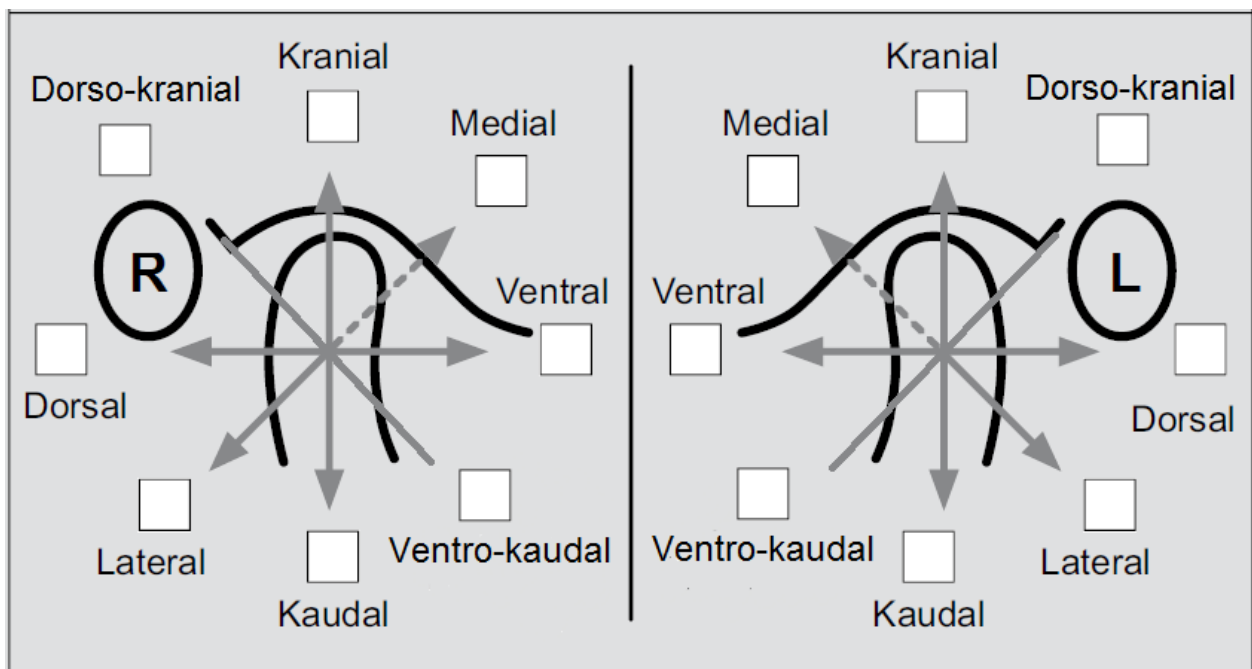


Abb. 9.: Schema zur Erfassung der individuellen Kondylenposition

Auch für die Kondylenposition wurden zunächst die drei sagittalen Ebenen des Kondylus einzeln bewertet.

Der Gesamtwert für einen Kondylus wurde mittels folgender Bedingungen aus den Einzelwerten ermittelt. Um einer Kondylenposition zugeordnet zu werden, musste mindestens die zentrale Ebene oder die laterale und mediale Ebene positiv sein. Kamen in den

Ebenen unterschiedliche Kondylenpositionen vor, galt die Position, die bei Gleichstand in der zentralen Ebene positiv war oder die, die häufiger vorkam. War bei einem Gleichstand die zentrale Ebene nicht verändert, wurden die beiden anderen Ebenen addiert (Bsp.: kaudal + dorsal = lateral). Ergab die Addition keinen Sinn (Bsp.: kranial + kaudal), wurde das Kiefergelenk nochmals ausgewertet. Da einzelne Kondylenpositionen zu selten vorkamen, wurden diese als „Andere“ zusammengefasst. Die so ermittelten Werte wurden in Kreuztabellen dargestellt. Die relativen Werte wurden, um die Hypothese: „Bei Patienten mit symptomatischen Kiefergelenksbeschwerden kommen im DVT veränderte Kondylenpositionen häufig vor.“ besser diskutieren zu können, in einem Kreisdiagramm dargestellt.

3.2.3. Gegenüberstellung der knöchernen Veränderungen des Kondylus und der Kondylenposition

Für die Diskussion der Hypothese „Bei Patienten mit symptomatischen Kiefergelenksbeschwerden besteht im DVT ein Zusammenhang zwischen der Kondylenposition und der Art der knöchernen Veränderung des Kondylus.“ wurden die in Kapitel 3.2.1. ermittelten Klassen und die in 3.2.2. ermittelten Kondylenpositionen gegenübergestellt. Bei beiden Werten handelt es sich um die Werte für einen ganzen Kondylus. Diese Ergebnisse wurden in einem Balkendiagramm veranschaulicht.

3.2.4. MRT-DVT-Vergleich für die Ermittlung knöcherner Veränderungen des Kondylus

Hierfür wurden zunächst die MRT ebenfalls in die Klassen eingeteilt.

Da für die MRT's nicht ausreichend Schnittbilder vorlagen, um wie in 3.2.1. zu verfahren, wurden diese nach den Bedingungen in Tabelle 7 den Klassen zugeordnet.

Tab. 7: Definition der Klassen für MRT's

Klasse I	Keine pathologischen Veränderungen (keine Erosion, Osteophyten mit Knochenspitzen, deutlichen Sklerosen oder deutliche Deviation liegen vor). Es können Abflachungen vorliegen.
Klasse II	Keine Erosionen, keine deutlichen Osteophyten mit Knochenspitzen liegen vor. Es liegen deutliche sklerotische Veränderungen oder Deviationen vor. Abflachungen können vorliegen.
Klasse III	Keine Erosionen liegen vor. Es liegen deutliche Osteophyten mit Knochenspitzen vor. Abflachungen, Sklerosen und weitere Deviationen können vorliegen.
Klasse IV	Es liegen deutliche Erosionen vor. Osteophyten mit Knochenspitzen, Abflachungen, Sklerosen und weitere Deviationen können vorliegen.

Für den Vergleich beider Methoden wurden die DVT-Ergebnisse als Goldstandard angesehen. Um die Hypothese „Für die Diagnostik der knöchernen Strukturen des Kondylus besteht zwischen MRT und DVT kein signifikanter Unterschied.“ zu diskutieren, wurden in Excel Sensitivität und Spezifität, positiver und negativer prädiktiver Wert sowie positive und negative Likelihood-Ratio, jeweils mit entsprechendem Konfidenzintervall, berechnet. Um dies zu ermöglichen, wurden die Klassen I und II als „gesund“ definiert und die Klassen III und IV als „krank“. Dies ist unabhängig von der Kiefergelenkseite gemacht worden.

3.2.5. MRT-DVT-Vergleich für die Ermittlung der Kondylenposition

Die Kondylenposition wurde im MRT ebenso wie im DVT ermittelt. Der Vergleich beider Methoden erfolgte auch mit dem DVT als Referenzmethode. Wie in 3.2.4. wurden Sensitivität und Spezifität, positiver und negativer prädiktiver Wert sowie positive und negative Likelihood-Ratio, jeweils mit entsprechendem Konfidenzintervall, berechnet. Für die Kiefergelenke wurden solche, die nicht verändert waren, als „gesund“ bewertet und der Rest, also alle veränderten Kiefergelenke, wurden als „krank“ definiert. Diese Werte ermöglichten die Diskussion der Hypothese: „Für die Diagnostik der Kondylenposition gibt es zwischen MRT und DVT keinen signifikanten Unterschied.“

3.3. Statistische Auswertung

Im ersten Teil der Studie, wo es zu einer Auswertung der DVT Daten kommt, liegen unabhängige Stichproben vor. Diese quantitativen Größen wurden anhand von Mittelwert und Standardabweichung, Minimum und Maximum sowie den Quartilen beschreibend dargestellt. Zu ordinal und nominal skalierten Größen wurden absolute und prozentuale Häufigkeiten angegeben. Je zwei dieser Größen wurden in Kontingenztafeln gegenübergestellt, um Abhängigkeiten, größtenteils beschreibend, darzustellen. Beim vergleichenden zweiten Teil dieser Studie (MRT/DVT-Vergleich) liegen verbundene Stichproben vor. Um die verbundenen Stichproben statistisch auszuwerten, wurden der McNemar- oder der Symmetrietest nach Bowker eingesetzt. Die Bewertung des MRT hinsichtlich der Diagnostik von knöchernen Veränderungen und pathologischer Kondylenposition erfolgte anhand von Sensitivität und Spezifität, positivem und negativem prädiktivem Wert sowie den positiven und negativen Likelihood-Ratio. Hierzu wurde jeweils das Konfidenzintervall berechnet. Goldstandard bei dieser Betrachtung war die DVT-Aufnahme. Es wurde zweiseitig getestet und ein Signifikanzniveau von 5% zugrunde gelegt. Eine Alpha-Adjustierung für multiples Testen fand nicht statt, die Ergebnisse haben demnach explorativen und beschreibenden Charakter. Für die Durchführung der statistischen Berechnungen wurde IBM SPSS Statistics 21 (SPSS Inc. an IBM Company, Chicago, IL) eingesetzt. Mit MS Excel 2010 © (Microsoft Deutschland GmbH, Unterschleißheim, Deutschland) wurde die Datenanalyse der Messergebnisse durchgeführt.

4. Ergebnisse

4.1. Verteilung knöcherner Veränderungen des Kondylus im DVT

Die Gesamtsumme der untersuchten Kondylen betrug 262. Bei der Betrachtung der Verteilung nach Klassen (Abbildung 10) im DVT fiel auf, dass nur 36 Kondylen (13,7%) der Klasse I (Nicht pathologische Kondylen) zugeordnet werden konnten. 57 Kondylen (21,8%) waren ausgeprägt osteoarthrotische Kondylen (Klasse II) und 73 Kondylen konnten der Klasse III (Ausgeprägt osteoarthrotische Kondylen) zugeordnet werden. Die restlichen 96 Kondylen (36,3%) verfielen auf die Klasse IV (Stark osteoarthritische Kondylen).

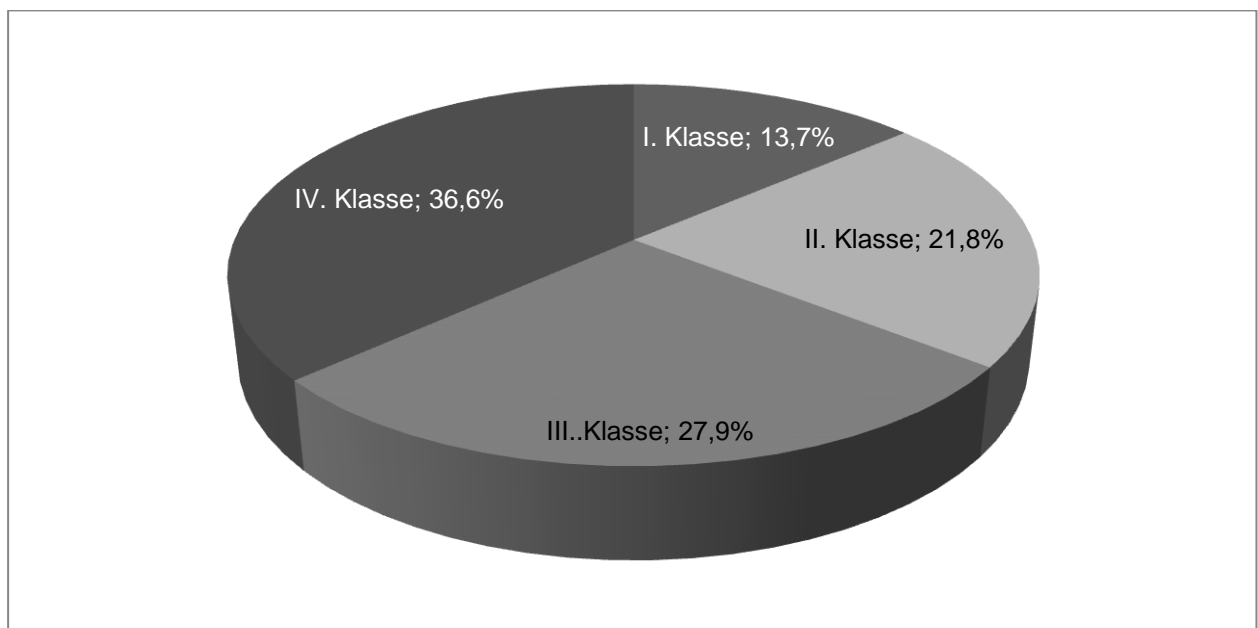


Abb. 10: Prozentuale Verteilung aller Kiefergelenke in den vier Klassen im DVT.

Schaut man sich die Verteilung der degenerativen Veränderungen in den vier Klassen an, kann man feststellen, dass bei Kondylen der Klasse I (Abbildung 11) vor allem Sklerosierung, Abflachungen und osteoarthritische Deformationen vorkamen. Die osteoarthrotischen Veränderungen kamen kaum vor.

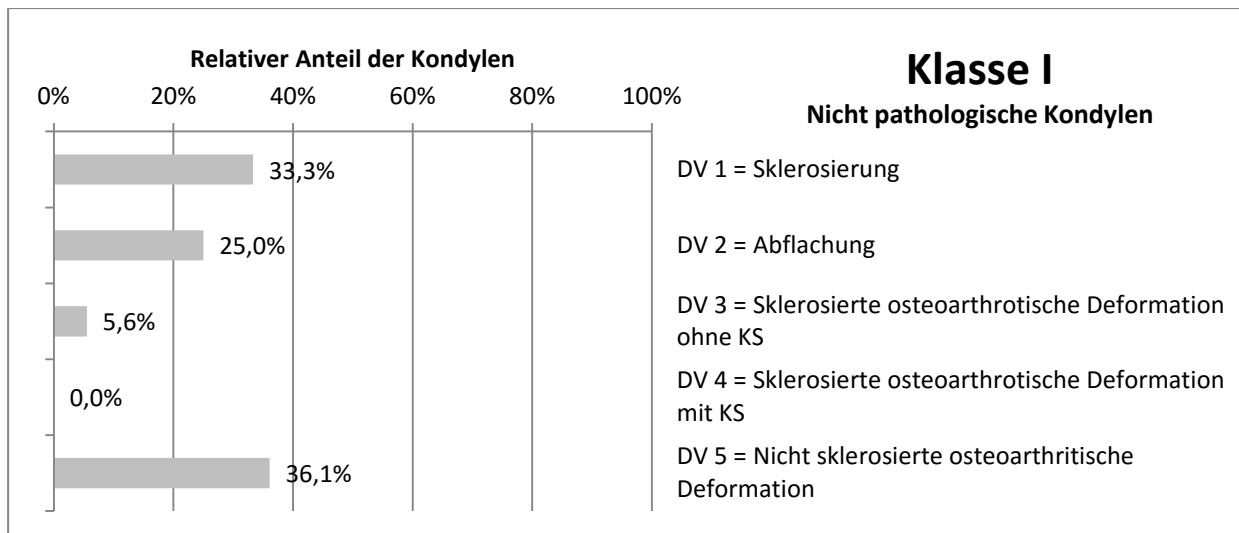


Abb. 11 Relative Verteilung degenerativer Veränderungen knöcherner Strukturen der Kondylen I. Klasse im DVT (KS = Knochenspitze, DV = Degenerative Veränderungen). Es kamen nie sklerosierte osteoarthrotische Veränderungen ohne Knochenspitzen vor.

Bei den Kondylen der Klasse II (Abbildung 12) kamen immer Sklerosierungen vor. Bei der Hälfte dieser Kondylen kamen Abflachungen vor. Zu jeweils einem knappen Drittel kamen osteoarthrotische Veränderungen (DV 3) und osteoarthritische Veränderungen (DV 5) vor. Kondylen dieser Klasse wiesen definitionsgemäß nie osteoarthrotische Veränderungen mit Knochenspitzen auf (DV 4).

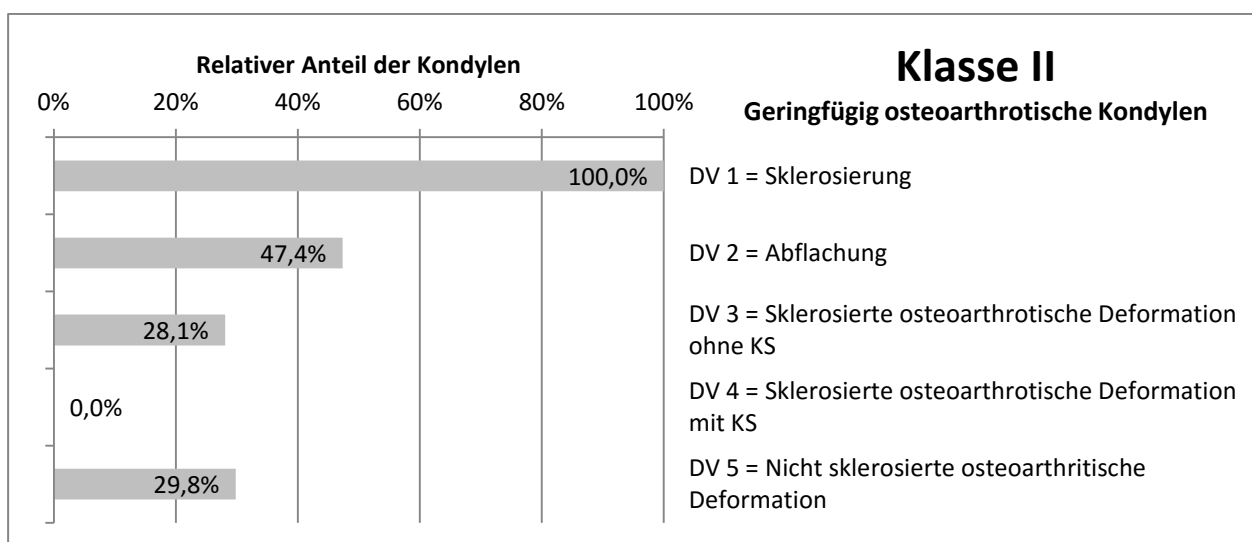


Abb. 12: Relative Verteilung degenerativer Veränderungen knöcherner Strukturen der Kondylen II. Klasse im DVT (KS = Knochenspitze, DV = Degenerative Veränderungen). Es kamen nie Sklerosen vor.

Bei den Kondylen der Klasse III (Abbildung 13) kamen immer Sklerosierungen (DV 1) und osteoarthrotische Deformationen mit Knochenspitzen (DV 4) vor. Bei über einem Drittel kamen auch Abflachungen und/oder osteoarthrotische Veränderungen ohne Knochenspitzen (DV 3) vor. Die hier seltensten degenerativen Veränderungen waren die osteoarthritischen Veränderungen (DV 5).

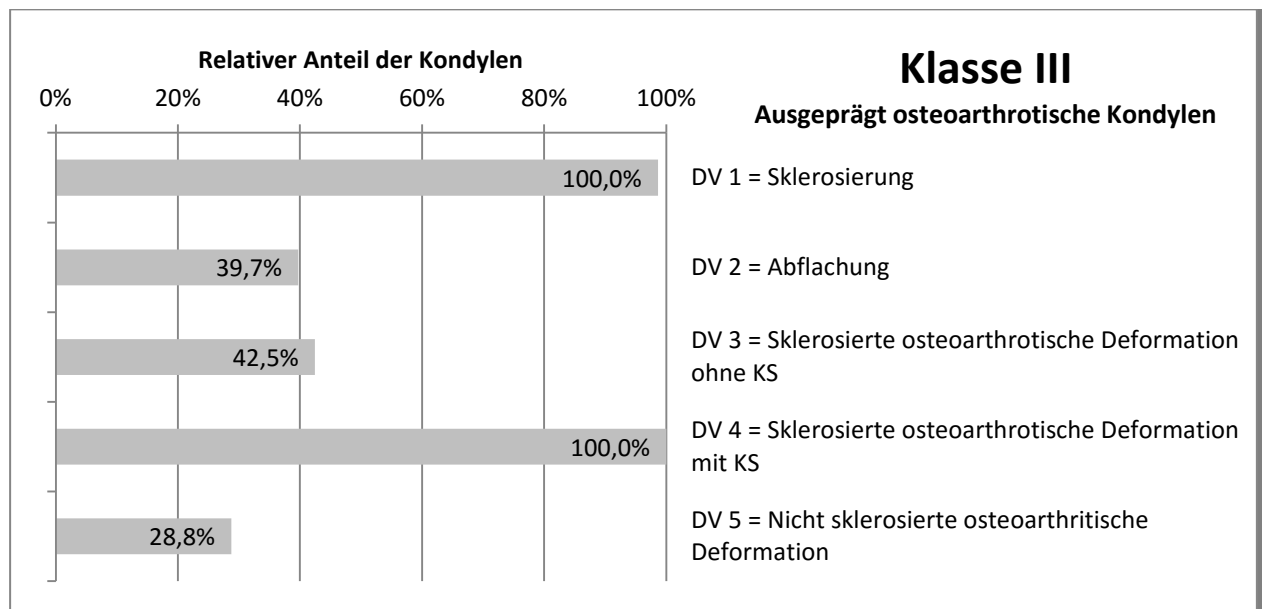


Abb. 13: Relative Verteilung degenerativer Veränderungen knöcherner Strukturen der Kondylen III. Klasse (im DVT (KS = Knochenspitze, DV = Degenerative Veränderungen). Es kommen immer Sklerosen und sklerosierte osteoarthrotische Veränderungen ohne Knochenspitzen vor.

Bei den Klasse IV (Abbildung 14) Kondylen kamen bei genau drei Viertel Sklerosen vor. Die Hälfte zeigten Abflachungen (DV 2) und/oder osteoarthrotische Veränderungen mit Knochenspitzen (DV 4). Bei lediglich einem Viertel zeigten sich osteoarthrotische Deformationen ohne Knochenspitze (DV 3). Alle Kondylen wiesen hier osteoarthritische Veränderungen (DV 5) auf.

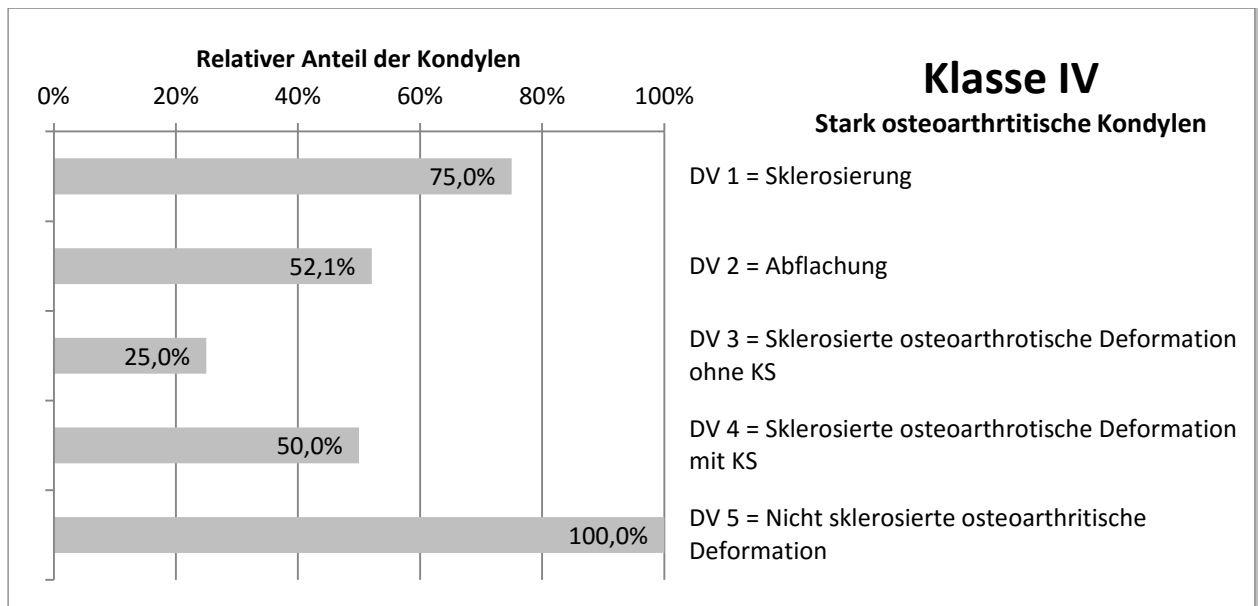


Abb. 14: Relative Verteilung degenerativer Veränderungen knöcherner Strukturen der Kondylen IV. Klasse im DVT (KS = Knochenspitze, DV = Degenerative Veränderungen). Es kamen immer nicht sklerosierte osteoarthritische Deformationen vor.

Betrachtet man ungeachtet ihrer Klassenzugehörigkeit alle Kondylen (Abbildung 15), stellt man fest, dass die häufigste degenerative Veränderung Sklerosen sind. Bei über der Hälfte kommen osteoarthritische Deformationen (DV 5) vor. Ähnlich häufig sind Abflachungen und osteoarthrotische Deformationen (DV 4). Osteoarthrotische Veränderungen ohne Knochenspitzen (DV 3) kommen nur bei einem Drittel vor.

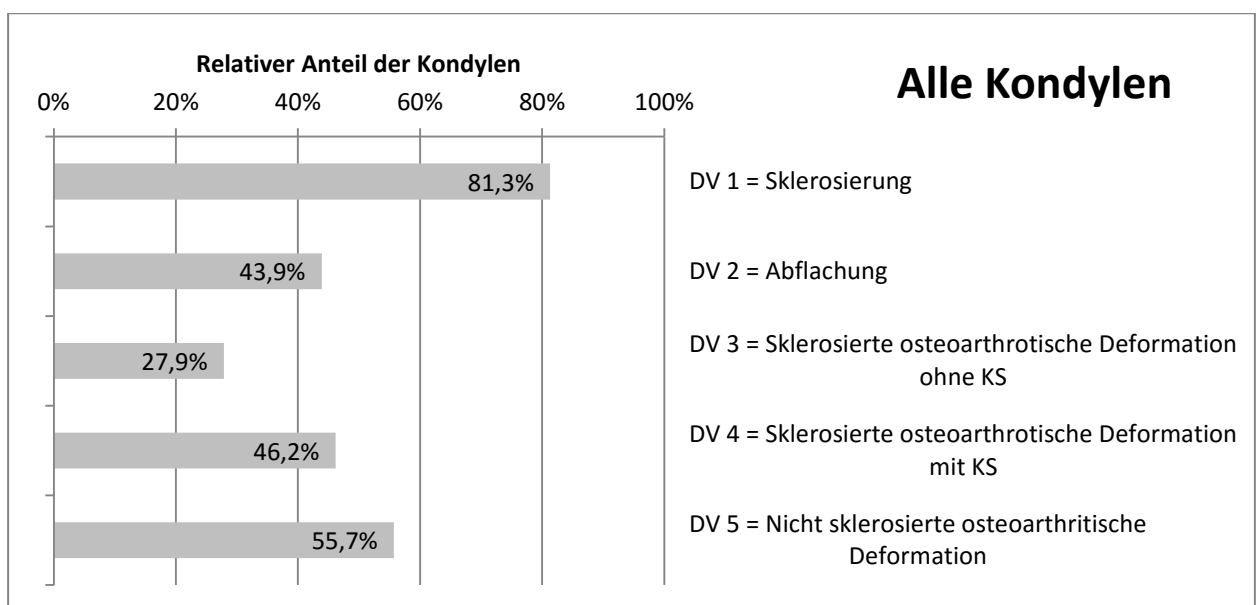


Abb. 15: Relative Verteilung degenerativer Veränderungen knöcherner Strukturen aller Kondylen im DVT (KS = Knochenspitze, DV = Degenerative Veränderungen). Am häufigsten kamen Sklerosen vor.

Zusammenfassend muss der Hypothese: „Bei Patienten mit symptomatischen Kiefergelenksbeschwerden sind knöcherne Veränderungen des Kondylus selten im DVT zu finden.“ widersprochen werden.

4.2. Verteilung der Kondylenposition im DVT

Hier wurden die Kondylenpositionen der 262 Kondylen ermittelt. Bei 56,9% (n=149) der Kondylen wurde eine veränderte Kondylenposition diagnostiziert. Die am meisten vertretenen Abweichungsvektoren waren lateral, dorsal und kranial. Die anderen veränderten Kondylenpositionen ergaben in der Summe 15,6%. Da deutlich mehr veränderte als nicht-veränderte Kondylenpositionen diagnostiziert wurden, kann der Hypothese: „Bei Patienten symptomatischen Kiefergelenksbeschwerden kommen im DVT veränderte Kondylenpositionen häufig vor.“ zugestimmt werden.

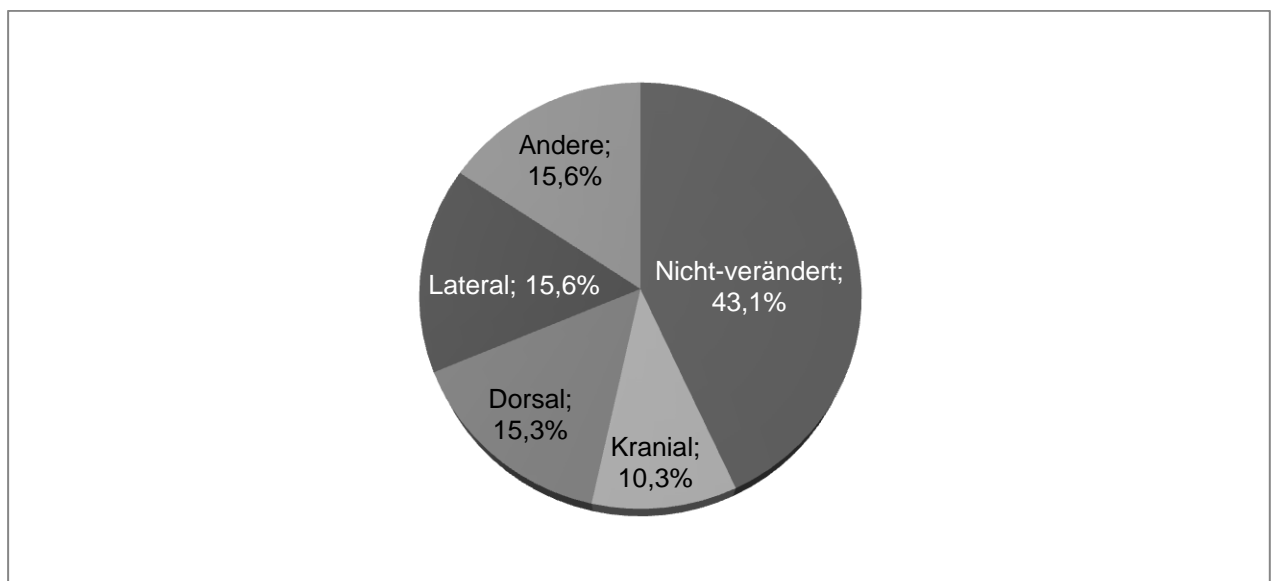


Abb. 16: Verteilung der Kiefergelenkspositionen bei Patienten mit Kiefergelenksbeschwerden im DVT. Es kamen mehr veränderte als nicht veränderte Kondylenpositionen vor.

4.3. Gegenüberstellung der knöchernen Veränderungen des Kondylus und der Kondylenposition

Für die Bearbeitung dieser Hypothese wurde die Häufigkeit der knöchernen Veränderungen bei Kiefergelenken den veränderten Kondylenpositionen gegenübergestellt (Abbildung 17).

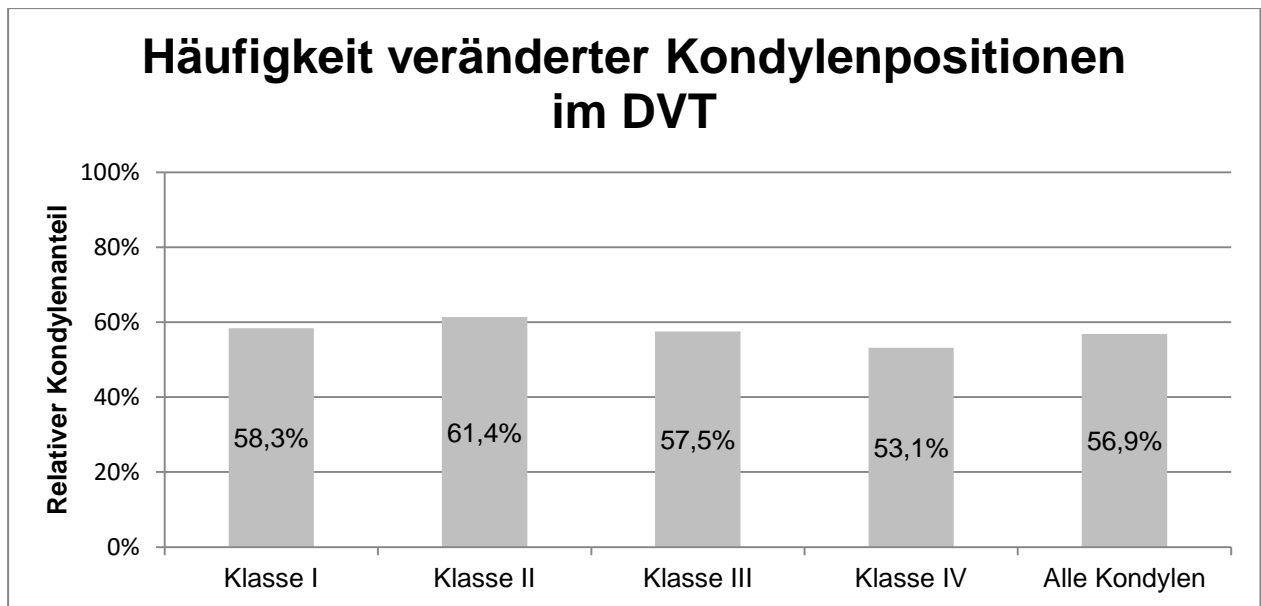


Abb. 17: Häufigkeit veränderter Kondylenpositionen in den vier Klassen und Insgesamt. Es wurde eine gleichmäßige Verteilung festgestellt.

Am häufigsten kamen veränderte Kondylenpositionen bei Kondylen der zweiten Klasse vor (61,4%). Die erste und dritte Hauptgruppe wies eine ähnliche Verteilung auf. Bei der vierten Hauptgruppe traten am wenigsten pathologische Kondylenpositionen auf. Es ist noch anzumerken, dass die relativen Unterschiede insgesamt dezent sind. Auch die Betrachtung der Verteilung der 27 kranialen Kondylen in den vier Klassen zeigt eine annähernd gleiche Verteilung (Abbildung 18).

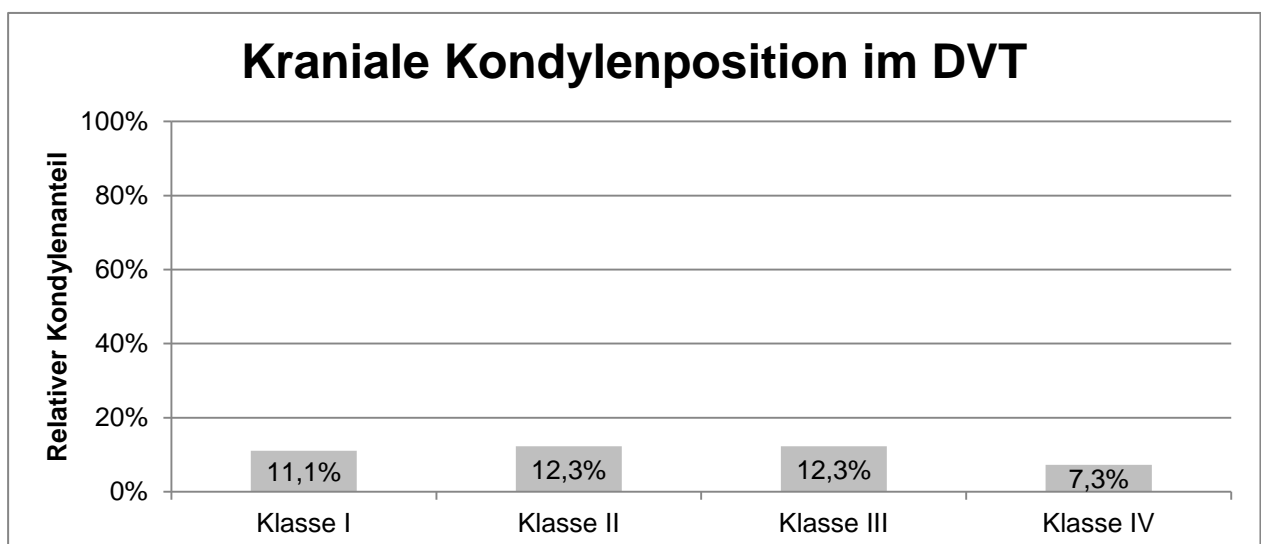


Abb. 18: Verteilung der kranial gelegenen Kondylen in den vier Klassen. Es wurde eine annähernd gleichmäßige Verteilung festgestellt.

Gleiches galt für die Verteilung der dorsalen Kondylen (n = 40, Abbildung 19).

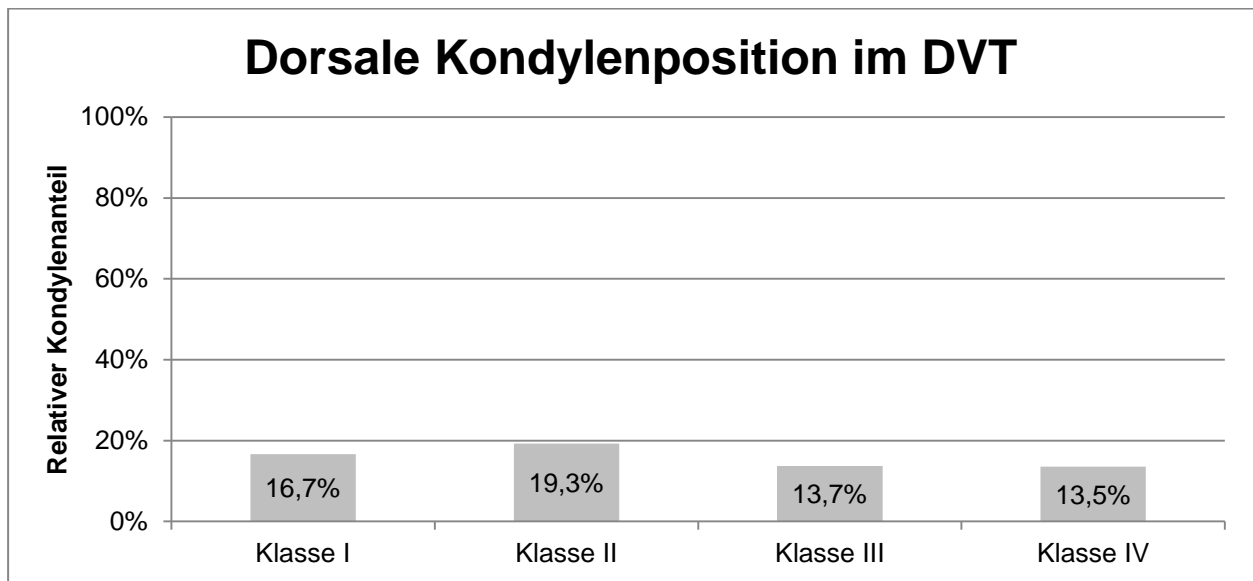


Abb. 19: Verteilung der dorsal gelegenen Kondylen in den vier Klassen. Es wurde eine annähernd gleichmäßige Verteilung festgestellt.

Bei den lateralen Kondylen schien die Verteilung wiederum größere Unterschiede aufzuweisen (n = 41, Abbildung 20).

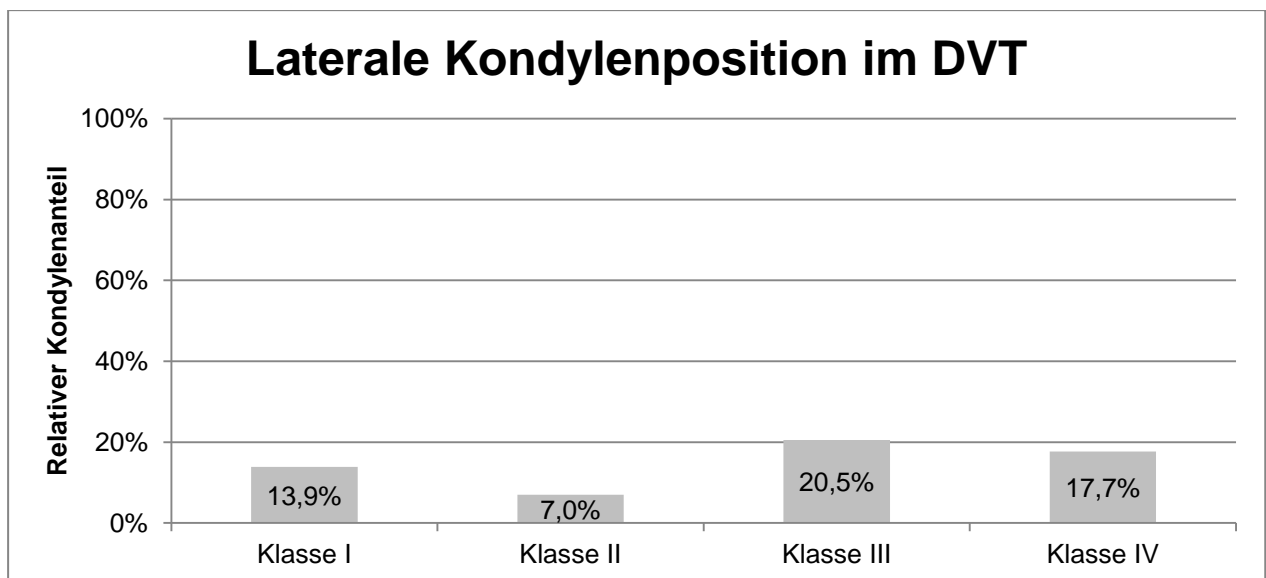


Abb. 20: Verteilung der lateral gelegenen Kondylen in den vier Klassen. In der Klasse II zeigt sich ein geringeres Vorkommen.

Somit muss der Hypothese: „Bei Patienten symptomatischen Kiefergelenksbeschwerden besteht im DVT ein Zusammenhang zwischen der Kondylenposition und der Art der knöchernen Veränderung des Kondylus.“ widersprochen werden.

4.4. MRT-DVT-Vergleich für die Ermittlung knöcherner Veränderungen des Kondylus

Die Ergebnisse der DVT's wurden hier als Referenzmethode angewendet. Zunächst wurde die Häufigkeit der vier Klassen im MRT und DVT verglichen (Abbildung 21). Es stellte sich so dar, dass die Klasse I und II im MRT häufiger diagnostiziert wurden. Die Klassen III und IV wurden hingegen im DVT häufiger diagnostiziert. Allgemein ist die Verteilung aber ähnlich. Lediglich in den Klasse II und III waren die Unterschiede etwas deutlicher.

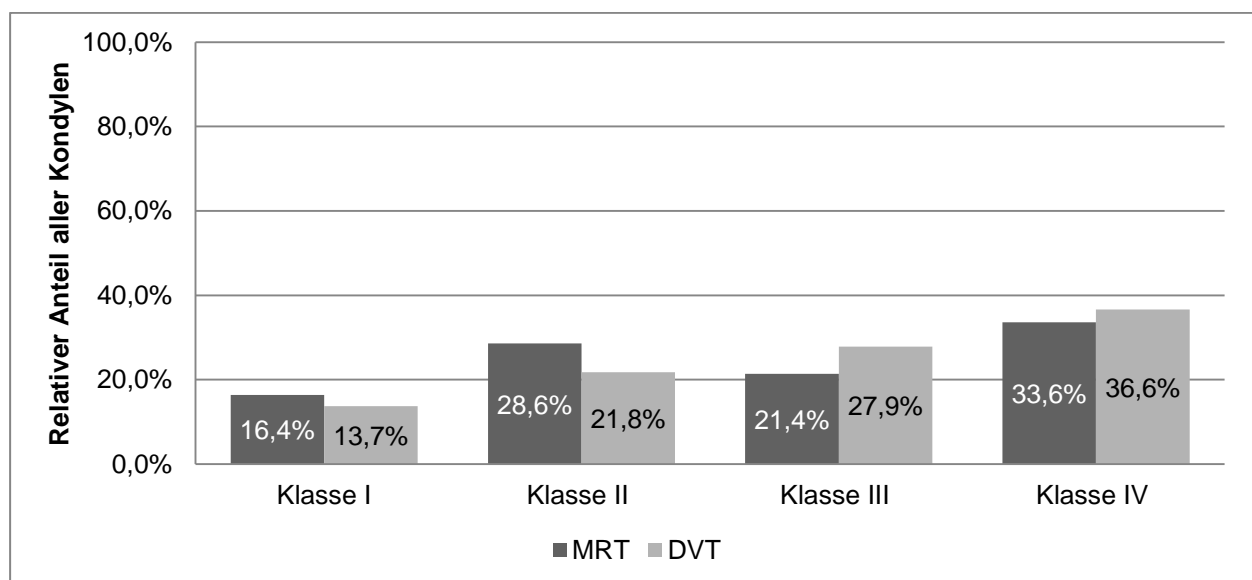


Abb. 21: Relative Verteilung der vier Klassen im DVT und MRT Die Klassen I und II kommen im MRT häufiger vor und die Klassen III und IV kommen im DVT häufiger vor.

Anschließend wurde die genaue Übereinstimmung des MRT mit dem DVT für die einzelnen vier Klassen überprüft. In der Klasse I liegt die relative Übereinstimmung bei 41,7% (Abbildung 22). Wenn im DVT die Klasse I diagnostiziert wurde, wurde im MRT lediglich zu 2,8% (n = 1) die Klasse III diagnostiziert. 27,8% verfielen dann jeweils auf die Klassen II und III.

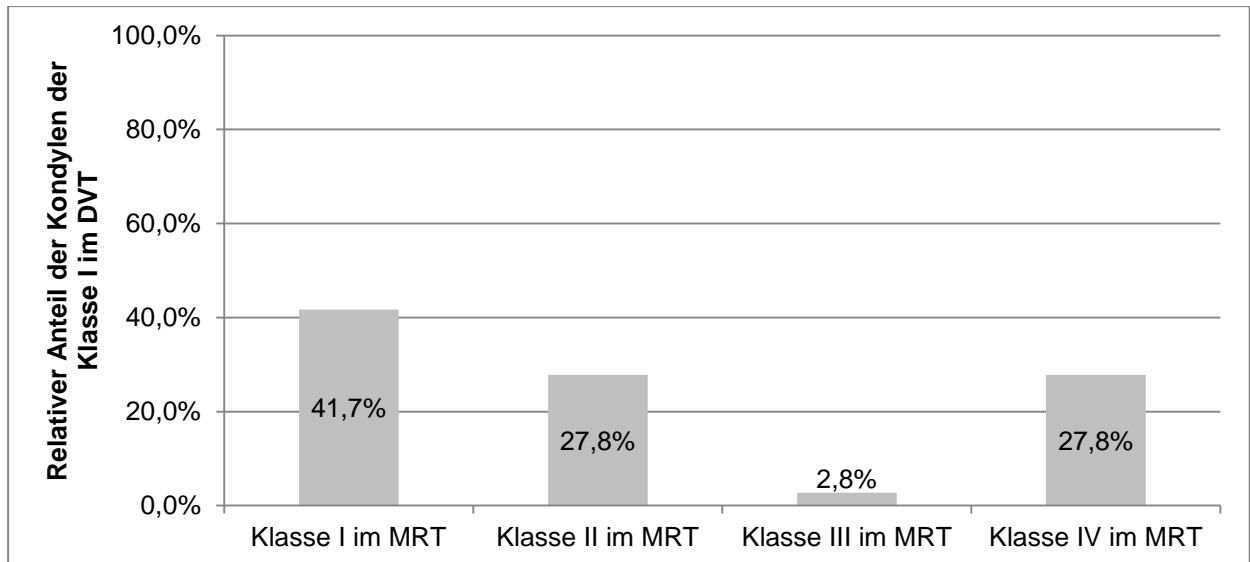


Abb. 22: Relative Übereinstimmung der MRT's mit der DVT Klasse I. Die genaue Übereinstimmung für die Klasse I liegt bei MRT bei 41,7%.

Die relative Übereinstimmung lag für die Klasse II bei 56,1% (Abbildung 23). Im MRT waren die Kondylen, die im DVT der Klasse II zuordnet wurden, zu 17,5% eine Klasse I, zu 16,8% eine Klasse III und zu 10,5% eine Klasse IV im MRT.

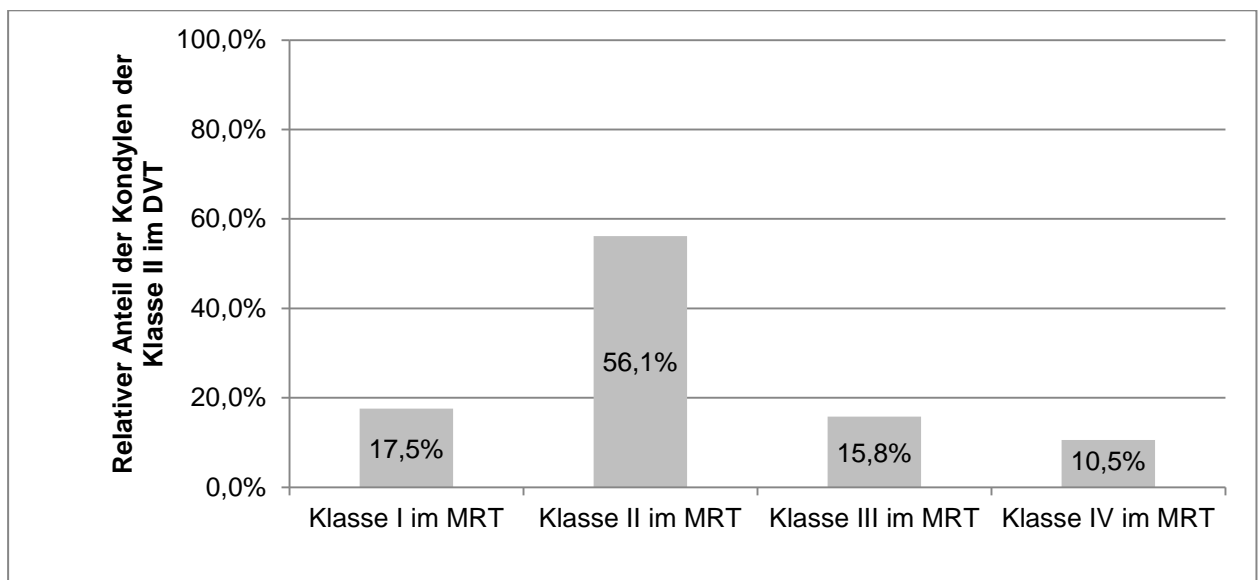


Abb. 23: Relative Übereinstimmung der MRT's mit der DVT Klasse II. Die genaue Übereinstimmung für die Klasse II liegt bei MRT bei 56,1%.

Bei den Kondylen der Klasse III im DVT lag die relative Übereinstimmung bei 43,8% (Abbildung 24). Die anderen Kondylen waren mit jeweils 23,3% im MRT der Klasse II und IV sowie 9,6% der Klasse I zugeordnet worden.

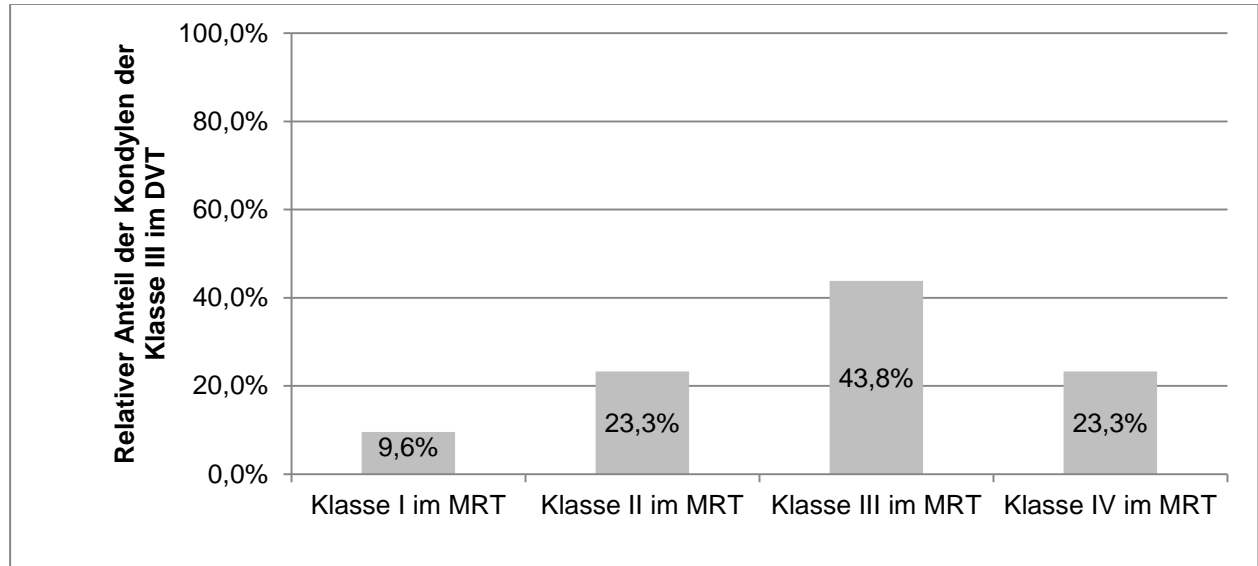


Abb. 24: Relative Übereinstimmung der MRT's mit der DVT Klasse III. Die genaue Übereinstimmung für die Klasse III liegt bei MRT bei 43,8%.

Für die Klasse IV gab es eine Übereinstimmung im MRT von 57,3% (Abbildung 25). Die Kondylen, die nicht übereinstimmten, wurden im MRT zu 11,4 % der Klasse I, zu 16,7% der Klasse II und zu 15,6 der Klasse III zugeordnet.

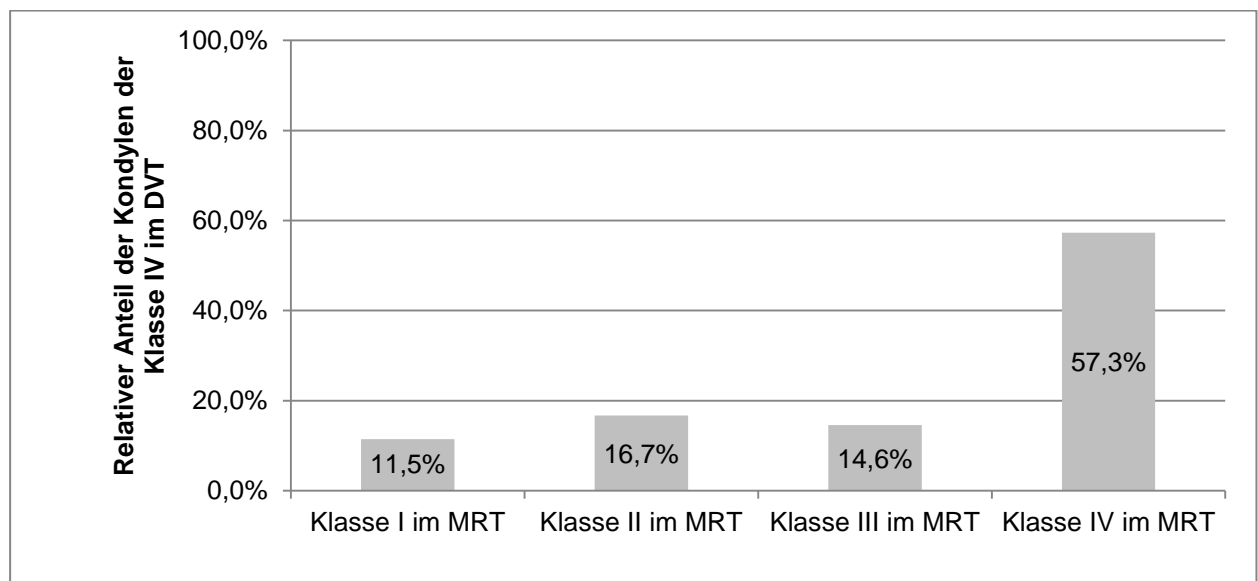


Abb. 25: Relative Übereinstimmung der MRT's mit der DVT Klasse IV. Die genaue Übereinstimmung für die Klasse IV liegt bei MRT bei 57,3%.

Um die Werte der Tabelle 8 zu ermitteln, wurden die Klassen I und II als „mäßig auffällig“ definiert und die Klassen III und IV als „deutlich auffällig“. Unter dieser Annahme besteht eine Übereinstimmung für die „mäßig auffälligen“ Kondylen bei 72,0% und für die „deutlich auffälligen“ Kondylen bei 69,8%.

Tab. 8: Übereinstimmung der MRT's nach „mäßig auffälligen“ (Klasse I und II) und „deutlich auffälligen“ Kondylen (Klassen III und IV). Bei den „mäßig auffälligen“ Kondylen liegt eine Übereinstimmung von 72,0% und bei den „deutlich auffälligen“ Kondylen eine Übereinstimmung von 69,8% vor.

	Klasse I und II DVT	Klasse III und IV DVT
Klasse I und II MRT	72,0%	30,2%
Klasse III und IV MRT	28,0%	69,8%

Aufgrund des Studiendesigns wurden die Signifikanzen für die rechten und linken Kondylenseiten getrennt ermittelt. Im Vorhinein wurde ein Unterschied zwischen den beiden Kondylenseiten ausgeschlossen ($p = 0,560$). Die Signifikanz wurde für die einzelnen vier Klassen und für die Zusammenfassung der Klassen I und II in „mäßig auffällig“ und der Klassen III und IV in „deutlich auffällig“ berechnet. Für die rechten Kondylen zeigte sich für die Untersuchungen der vier Klassen kein signifikanter Unterschied zwischen MRT und DVT ($p = 0,113$). Bei der Unterteilung nach der Auffälligkeit (mäßig bzw. deutlich auffällig) zeigte sich entsprechend ebenfalls kein signifikanter Unterschied ($p = 0,636$). Für die linke Kondylenseite hingegen wurde für die vier Klassen ein signifikanter Unterschied festgestellt ($p = 0,029$). Dieses Ergebnis bestätigte sich für die Überprüfung nach der Auffälligkeit ($p = 0,001$).

Alle weiteren relevanten statistischen Werte zur Aussagekraft von MRT's bezüglich knöcherner Veränderungen sind der Tabelle 9 zu entnehmen. Die Werte beziehen sich auf alle (262) Kiefergelenke.

Tab. 9: Statistischer Vergleich der Auswertung knöcherner Strukturen des Kiefergelenks im DVT und MRT. Die Zahlen in eckigen Klammern bedeuten das Konfidenzintervall.

Prävalenz	64.50% [58.38%, 70.30%]
Sensitivität	69.82% [62.30%, 76.63%]
Spezifität	72.04% [61.78%, 80.86%]
Rate "falsch positiv"	27.96% [19.14%, 38.22%]
Rate "falsch negativ"	30.18% [23.37%, 37.70%]
Prädiktiver Wert positiv	81.94% [74.67%, 87.85%]
Prädiktiver Wert negativ	56.78% [47.34%, 65.87%]
Effizienz	70.61% [64.69%, 76.06%]
Youden-Index Y	41.87% [30.42%, 53.31%]
Likelihood-Ratio positiv	2.497 [1.776, 3.512]
Likelihood-Ratio	0.419 [0.322, 0.544]

Entsprechend diesen Ergebnissen kann man der Hypothese: „Für die Beurteilung der knöchernen Strukturen des Kondylus besteht zwischen MRT und DVT kein signifikanter Unterschied“ widersprechen.

4.5. MRT-DVT-Vergleich für die Ermittlung der Kondylenposition

Auch hier wurden die DVT's als Referenzmethode verwendet. Zunächst wurde die Verteilung der Kondylenposition aller 262 Kondylen miteinander verglichen (Abbildung 26). Hierbei stellte sich heraus, dass im MRT mit 52,3 % seltener veränderte Kondylenpositionen vorkamen als im DVT. Kranial und dorsal gelegene Kondylen kamen im MRT seltener vor als im DVT. Lediglich die lateral gelegenen und anderen Kondylen kamen im MRT häufiger vor. Die Unterschiede sind aber gering.

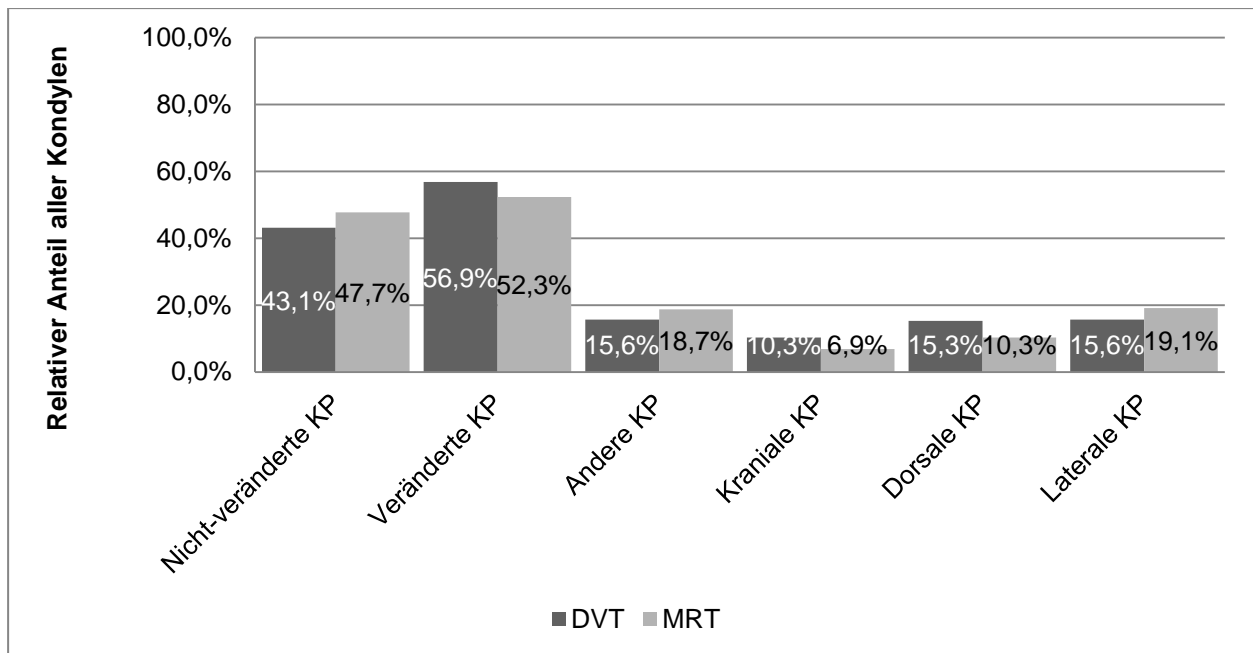


Abb. 26: Relative Verteilung der Kondylenposition im DVT und MRT. Im MRT wurden seltener veränderte Kondylenpositionen festgestellt.

Wie in Kapitel 4.4. mussten aus Studiendesigngründen die Kondylenseiten getrennt betrachtet werden. Im Vorhinein wurde ein möglicher signifikanter Unterschied zwischen der linken und rechten Kondylenseite bezüglich der Kondylenposition ausgeschlossen ($p = 0,761$). Bei der Prüfung der Signifikanz zwischen MRT bezüglich des DVT's ergab sich für die linke Kondylenseite ein signifikanter Unterschied ($p = 0,035$). Für die rechte Seite hingegen gab es keinen signifikanten Unterschied bei den Kondylenpositionen ($p = 1,000$).

Die relevanten statistischen Werte zur Aussagekraft von MRT's für die Bestimmung der Kondylenpositionen im Vergleich zu MRT sind der Tabelle 10 zu entnehmen.

Tab. 10: Statistischer Vergleich der Auswertung Kondylenpositionen des Kiefergelenks im DVT und MRT. Die Zahlen in eckigen Klammern bedeuten das Konfidenzintervall.

Prävalenz	56.87% [50.63%, 62.95%]
Sensitivität	73.15% [65.29%, 80.08%]
Spezifität	75.22% [66.22%, 82.86%]
Rate "falsch positiv"	24.78% [17.14%, 33.78%]
Rate "falsch negativ"	26.85% [19.92%, 34.71%]
Prädiktiver Wert positiv	79.56% [71.83%, 85.97%]

Prädiktiver Wert negativ	68.00% [59.07%, 76.06%]
Effizienz	74.05% [68.29%, 79.25%]
Youden-Index Y	48.38% [37.70%, 59.05%]
Likelihood-Ratio positiv	2.952 [2.111, 4.130]
Likelihood-Ratio negativ	0.357 [0.268, 0.475]

Entsprechend ist der Hypothese: „Für die Diagnostik der Kondylenposition gibt es zwischen MRT und DVT keinen signifikanten Unterschied“ zuzustimmen.

5. Diskussion

5.1. Diskussion der Methoden

5.1.1. Allgemeine Methodik

5.1.1.1. Patientengut

In dieser Studie wurden von 131 Patienten 262 Kondylen beurteilt. Die Patienten hatten symptomatische Kiefergelenksbeschwerden. Es sind die Aufnahmen von 33 männlichen Probanden und 98 weiblichen Probanden verwendet worden. Das Durchschnittsalter betrug 34,82 Jahren.

Die Studie von Alkhader et al. weist eine ähnliche Probandenkonstellation auf [84]. Hier sind 110 Kiefergelenke von Patienten mit klinisch auffälliger CMD untersucht worden [84]. 43,64% waren männlich und 56,36% waren weiblich. Das Durchschnittsalter betrug 41 Jahre. Ebenso vergleichbar ist die Studie von Shetty et al. [15]. Hier wurden die Kiefergelenke von 62 CMD-Patienten untersucht. 67,75% waren weiblich und 32,25% männlich und das Durchschnittsalter betrug 28,15 Jahre. In der Studie von Koyama et al. wurden 516 Patienten mit CMD untersucht [94]. Hier waren nur 17,64% männlich und 82,36% weiblich und das Durchschnittsalter lag bei 32 Jahren. In der Studie von Cho und Jung wurden Jugendliche im Alter von 10 bis 18 Jahren untersucht [97]. 181 (davon 66 männliche und 115 weibliche Probanden) hatten CMD und 101 (davon 40 männliche und 61 weibliche Probanden) waren beschwerdefrei.

Die Alters und Geschlechterverteilung dieser Studie entspricht vergleichbaren Studien. Ausgenommen hiervon ist die Studie von Cho und Jung, die sich mit Jugendlichen, die unter CMD leiden, befasst [97]. Die Menge an Kiefergelenken unterstützt die Aussagekraft der hier ermittelten Ergebnisse. Die relative Verteilung der Geschlechter in allen Studien bestätigt, dass mehr Frauen als Männer von Kiefergelenksproblemen betroffen sind [98].

5.1.1.2. DVT und MRT Aufnahmen

Mehrere Studien bestätigen einen signifikanten Zusammenhang zwischen Okklusion und Kondylenposition [99–101]. Entsprechend wurden alle Aufnahmen, die mit geschlossenem Mund erfolgten, in habitueller Okklusion angefertigt. Die Unterschiede bei den DVT Aufnahmen anderer Studien liegen häufig im Bereich des FOV [15,84]. In der

Studie von Alkhader et al. wurde die DVT Aufnahmen dem 3DX multi-image micro-CT (Morita, Kyoto, Japan) angefertigt. Das FOV war mit 3,8 cm x 2,9 cm deutlich kleiner als in dieser Studie (16 cm x 13 cm bzw. 16,50 cm x 13,50 cm). In der Studie von Shetty et al. wurden die DVT Aufnahmen mit einem KODAK 9000C, 3D (Care Stream Health, Inc, 150 Verona Street, Rochester, NY 14 608) angefertigt [15]. Auch hier war das FOV mit 5,0 cm x 3.75 cm kleiner.

In den meisten MRT Studien kam ein 1,5 T Scanner zum Einsatz [50,84,89,102,103]. Mittlerweile sind 3.0 T MRT Aufnahmen möglich. Diese stellen zwar anatomische Strukturen deutlicher dar [104], inwieweit aber knöchernen Strukturen signifikant besser dargestellt werden, ist strittig.

5.1.1.3. Allgemeine Messmethodik

Die MRT Datensätze, die in dieser Studie verwendet wurden, bestehen aus sagittalen Schnittbildern. Um die DVT-Datensätze mit den MRT-Datensätzen möglichst objektiv vergleichen zu können, wurden aus den DVT's ebenso Schnittbilder in Form eines Kiefergelenksreportes verwendet.

In den Studien von Ahmad et al. und Alkhader et al. wurden aus den CT Aufnahmen ähnliche Kiefergelenksreporte erstellt wie in der hier vorliegenden Studie [50,84]. Ebenso ist für die MRT-Aufnahmen in den Studien von Alkhader et al. und Ahmad et al. mit einer nahezu gleichen Anzahl an Schnittbildern und Protonengewichtungen gearbeitet worden [50,84]. In der Studie von Cho und Jung sowie Shetty et al. wurden die knöchernen Strukturen des Kiefergelenks via DVT dreidimensional ausgewertet [15,97].

Die Bewertung der Kondylenposition erfolgte in unserer Studie analog zu der Bewertung der knöchernen Veränderung mit den Schnittbildern. Im Unterschied dazu wurde in der Studie von Cho und Jung die Kondylenposition durch dreidimensionales Navigieren im DVT Datensatz ermittelt [97]. In vielen Studien, die sich mit der Kiefergelenksposition befassen, erfolgte eine Datenakquise durch Messungen [7–9,105] Da aber eine Messung im Vergleich zur subjektiven Bewertung keine deutlichen Vorteile bringt, wurde in dieser Studie darauf verzichtet [105].

Klinisch relevanter ist sicherlich eine Diagnostik der knöchernen Strukturen des Kiefergelenks und der Kondylenposition durch dreidimensionales Navigieren im DVT, jedoch sind Kiefergelenksreporte eine nützliche Form, um Veränderungen dem Patienten und

dem etwaigen Überweiser zu zeigen, vor allem kann hier die sagittale Achse optimal eingestellt werden.

5.1.1.4. Statistische Methoden

Wenn in Studien die Fähigkeit des MRT's, knöcherne Veränderungen des Kiefergelenks zu bewerten, untersucht wurde, wurden hierfür Sensivität und Spezifität berechnet [50,84,89,102,103]. Die Studie von Alkhader et al. ist die Einzige, in der für jede einzelne knöcherne Veränderung diese Parameter erhoben wurden [84]. Ebenso wurde in diesen Studien die Urteilerübereinstimmung berechnet. Diese schnitt weitestgehend gut bis sehr gut ab. Deswegen ist in dieser Studie auf eine Auswertung durch mehrere verzichtet worden. In den Studien, die via DVT bzw. CT das Vorkommen knöcherner Veränderungen untersuchen, wurden relative Häufigkeiten angegeben [15,50,84,94,97].

5.1.2. Spezielle Methodik

5.1.2.1. Verteilung knöcherner Veränderungen des Kondylus im DVT

In einem Großteil der Studien sind lediglich die degenerativen Veränderungen bewertet worden [15,84]. Es erfolgte keine Zuordnung zu osteoarthrotischen und osteoarthritischen Veränderungen. Es wurde nicht berücksichtigt, dass die knöcherne Degeneration des Kondylus einen Verlauf hat und dass knöcherne Veränderungen wie Abflachung, Sklerosen, Osteophyten und Erosionen Stadien dieser Degeneration darstellen. In dieser Studie wurde in den DVT-Kiefergelenksreporten zunächst jeder Kondylus für degenerative Veränderungen in drei sagittalen Schichten bewertet. Wenn eine degenerative Veränderung auch nur in einer Schicht vorkam, wurde der gesamte Kondylus positiv für diese Veränderung gewertet. Die Anzahl der positiven Schichten für eine degenerative Veränderung beschreibt den Schweregrad der Veränderung. Nach einem festen Schlüssel wurden die Kondylen je nach Vorkommen und Ausprägung der knöchernen Veränderungen in die vier Klassen degenerativer Veränderungen eingeteilt.

In einer Studie von Ahmad et al. wurden für den Kondylus die einzelnen knöchernen Veränderungen diagnostiziert und geprüft, ob eine Osteoarthritis vorliegt [50]. Hierfür erfolgten jedoch zwei getrennte Bewertungen. Die Studie von Koyama et al. ist die Einzige, in der degenerative knöchernen Veränderungen nach Stadien eingeteilt wurden [94]. In den Studien von Alkhader et al. und Ahmad et al. wurden zusätzlich Fossa und

Eminentia nach degenerativen Veränderungen untersucht [50,84]. Da aber degenerative Veränderungen des Kiefergelenks vor allem im Kondylus vorkommen, wurde in dieser Studie darauf verzichtet [98,106].

5.1.2.2 Verteilung der Kondylenposition im DVT

In dieser Studie wurde die Kondylenposition nach einem modifizierten Schema der Manuellen Strukturanalyse (MSA) nach Prof. Bumann bewertet. Hierbei wurden die Kondylen für alle möglichen Vektoren untersucht (kranial, medial, ventral, ventro-kaudal, kaudal, lateral, dorsal und dorsokranial). Die meisten Studien haben als Bewertungsparameter nur die anteriore, posteriore oder superiore Kondylenposition beziehungsweise den entsprechenden Gelenkspalt bewertet [50,97].

Beim Vergleichen der Studienlage muss immer berücksichtigt werden, ob von Gelenkspalt oder Kondylenposition die Rede ist. Zukünftige Studien sollten, um der international gängigsten Nomenklatur zu entsprechen, bei den Termini posterior, superior und anterior bleiben.

5.1.2.3. Gegenüberstellung der knöchernen Veränderungen des Kondylus und der Kondylenposition

Hier wurden die Vektoren der Kondylenposition den Klassen degenerativer Veränderungen gegenübergestellt. In einer anderen Studie, die diesen Zusammenhang untersucht hat, wurde zusätzlich zwischen symptomatische und asymptomatische Kiefergelenken differenziert [97].

5.1.2.4. MRT-DVT-Vergleich für die Ermittlung knöcherner Veränderungen des Kondylus

Ältere Studien von Westesson et al., Katzberg et al. und Tasaki et al. haben noch Autopsieproben als Referenzmethode verwendet, um die Sensivität und Spezifität von MRT-Aufnahmen für knöcherne Veränderungen zu ermitteln [89,102,103]

Mit der CT bzw. DVT gibt es mittlerweile Instrumente, die eine so hohe diagnostische Genauigkeit für knöcherne Veränderungen des Kiefergelenks aufweisen, dass keine Autopsieproben für Studien mehr benötigt werden [51,84]. Hierbei wird die DVT als mindestens gleichwertig wenn nicht gar besser als die CT eingestuft [64,66,107,108]. Dem folgend ist in dieser Studie das DVT als Referenzmethode gewählt worden. Ebenso wurden in der Studie von Alkhader et al. die Sensivität und Spezifität von MRT Aufnahmen mit der DVT als Referenzmethode ermittelt [84]. In der Studie von Ahmad et al. wurde hierfür das CT als Referenzmethode verwendet [50]. Trotz dessen werden nach wie vor Studien veröffentlicht, in der die MRT zur Bewertung knöcherner Strukturen benutzt wird [14,109].

5.1.2.5. MRT-DVT-Vergleich für die Ermittlung der Kondylenposition

Vereinzelt wurde zur Bestimmung der Kondylenposition das MRT verwendet [110,111]. Bereits ältere Studien empfehlen zur Bestimmung der Kondylenposition Röntgentechniken [53,112]. So wurde in vielen Studien für diese Fragestellung das CT verwendet [113–115]. Auch das DVT wird für die Fragestellung genutzt [97].

Letztendlich zeichnet sich für die Wahl des bildgebenden Verfahrens für die Kondylenposition ein Trend zum DVT ab. Aufgrund der Studienlage wurde in der hier vorgestellten Studie auch für die Fragestellung der Kondylenposition die DVT als Referenzmethode gewählt.

5.2. Diskussion der Ergebnisse

5.2.1. Verteilung knöcherner Veränderungen des Kondylus im DVT

In der hier vorliegenden Studie wurden zunächst die Häufigkeiten der degenerativen Veränderung ermittelt (Tabelle 11).

Tab. 11: Degenerative Veränderungen der knöchernen Strukturen des Kondylus (KS = Knochenspitzen) und deren Häufigkeit.

Degenerative Veränderungen (DV)		Häufigkeit (%)
DV 1	Sklerosierung	81,3
DV 2	Abflachung	43,9
DV 3	Sklerosierte osteoarthrotische Deformation ohne KS	27,9
DV 4	Sklerosierte osteoarthrotische Deformation mit KS	46,2
DV 5	Nicht sklerosierte osteoarthritische Deformation	55,7

Aus diesen Werten für degenerative Veränderungen wurden dann nach einem festen Schlüssel automatisch die Häufigkeiten der Klassen für degenerative Veränderungen berechnet (Tabelle 12). Aus diesen Klassen erfolgte eine weitere Unterteilung. 35,5% der Kondylen zeigten mäßig auffällige knöcherne Veränderungen (Klasse I + II) und 64,5% zeigten deutlich auffällige knöcherne Veränderungen (Klasse III + IV).

Tab. 12: Einteilung knöcherner Veränderungen des Kondylus in dieser Studie.

Häufigkeit (%)	Klassen der knöchernen Veränderung im Kondylus
13,7	Klasse I = Keine pathologische Veränderung
21,8	Klasse II = Geringfügig osteoarthrotische Veränderung
27,9	Klasse III = Ausgeprägt osteoarthrotische Veränderung
36,6	Klasse IV = Stark osteoarthritische Veränderung

In der Studie von Alkhader et al. sind Kiefergelenke nach der Einteilung von Uemura et al. bewertet worden [84,116] (Tabelle 13).

Tab. 13: Einteilung knöcherner Veränderungen in Alkhader et al. nach Uemura et al. [84,116].

Typ	Häufigkeit (%)	Definition
1	24	Destruktive und erosive Veränderungen des Kondylus
2	18	Abflachung des Kondylus
3	25	Deformation des Kondylus
4	19	Sklerose des Kondylus
5	13	Osteophyten
6	5	Ankylosen
7	18	Erosionen der fossa und/oder eminentia
8	21	Sklerosen der fossa und/oder eminentia

In dieser Studie von Alkhader et al. ist nicht ersichtlich, wie viele Kiefergelenke keine knöchernen Veränderungen aufweisen. Auch inwieweit die Veränderungen gleichzeitig auftreten, ist nicht untersucht worden. Ähnlich wie in der hier vorgestellten Arbeit sind erosive Veränderungen und Deformationen bei Alkhader et al. die häufigsten Veränderungen des Kondylus (Tabelle 13). Weiter fällt eine große Diskrepanz bei Sklerosen und Osteophyten im Vergleich zur hier vorgelegten Studie auf (Tabelle 13). Eventuell liegt es an einer Auffassung dieser Veränderungen. Auf die Definitionen wurde in dieser Studie nicht weiter eingegangen [84].

In der Studie von Shetty et al. wurden die Kiefergelenke nach knöchernen Veränderungen des Kondylus im DVT und in der PSA untersucht [15] (Tabelle 14). Insgesamt zeigten 44 % der Kondylen knöcherne Veränderungen. Dieser Wert bestätigt die Häufigkeit mäßig auffälliger Kondylen in der Klassifikation der hier vorliegenden Studie. Bei Shetty et al. wurden am häufigsten Abflachungen diagnostiziert, gefolgt von Erosionen und Osteophyten. Dass Sklerosen hier so selten vorkommen, liegt an einer abweichenden Definition. In der Studie von Shetty et al. musste für das Vorliegen einer Sklerose eine Verdickung der Kompakta und eine Verdichtung der Spongiosa vorliegen. In der hier vorliegenden Studie wurde bereits die ausschließliche Sklerose der Kompakta als positiv für Sklerose bewertet.

Tab. 14: Auszug der Einteilung knöcherner Veränderungen in Shetty et al.

Typ	Häufigkeit (%)	Definition
0	56	Normaler
1	21	Erosionen
2	29	Abflachung
3	4	Osteophyten
4	5	Sklerosen
5	1	Resorption
6	3	Andere Veränderungen

Die diagnostischen Kriterien für Osteoarthritis nach Ahmad et al. sind in Tabelle 15 dargestellt [50]. Für die Häufigkeit der degenerativen Veränderungen werden in der Studie von Ahmad et al. keine Werte angegeben [50]. Osteoarthritis wurde in 24,72 % der Fälle im CT diagnostiziert. [50]. Ahmad et al. unterscheiden nicht zwischen der entzündlichen Osteoarthritis und der primär nicht entzündlichen Osteoarthrose. Zudem wird die kortikale Sklerose als Veränderung ohne jeglichen pathologischen Wert angesehen. Entsprechend taucht diese nicht in den Auswahlmöglichkeiten für knöcherne Veränderungen auf [50]. Das führt dazu, dass ein Vergleich nur unter Vorbehalt möglich ist. Die Häufigkeit für Osteoarthritis korreliert mit den Ergebnissen dieser Studie.

Tab. 15: Kriterien für Osteoarthritis nach Ahmad et al.

A. Keine Osteoarthritis	
i.	Normale relative Größe des Kondyus; und
ii.	Keine subkortikale Sklerose oder Abflachung; und
iii.	Keine Deformation durch subkortikale Zysten, oberflächliche Erosionen, Osteophyten, oder generalisierte Sklerose
B. Keine eindeutige Osteoarthritis	
i.	Normale relative Größe des Kondyus; und
ii.	subkortikale Sklerose und/oder Abflachung; und
iii.	Keine Deformation durch subkortikale Zysten, oberflächliche Erosionen, Osteophyten, oder generalisierte Sklerose
C. Osteoarthritis	
i.	Deformation durch subkortikale Zysten, oberflächliche Erosionen, Osteophyten, oder generalisierte Sklerose

In der Studie von Koyama et al. werden Sklerosen nicht berücksichtigt (Tabelle 16). Deutliche Erosionen (Typ E nach Koyama et al.) werden in dieser Studie als Anfangsstadium einer Osteoarthrose angesehen. Da dies nicht mit der hier angewendeten Definition korreliert, wurde in der oben stehenden Tabelle der Typ E den stark osteoarthritischen Veränderungen gegenüber gestellt. So ergibt sich eine ähnliche Verteilung für osteoarthrotische und osteoarthritische Veränderungen. Die teilweise größeren Unterschiede bei Typ N und F entstehen durch das Nicht-Berücksichtigen von Sklerosen bei Koyama et al. Insgesamt wiesen in der Studie von Koyama et al. 63,7 % der Kondylen bei Patienten mit craniomandibulärer Dysfunktion knöcherne Veränderungen auf. Fasst man die ausgeprägt osteoarthrotischen und die stark osteoarthritischen Kondylen als deutlich veränderte Kondylen zusammen, ergibt sich mit 65,5% ein fast gleicher Wert wie bei Koyama et al..

Tab. 16: Gegenüberstellung der Einteilung nach Koyama et al. und der Klassifikation dieser Studie.

Koyama et al. [94]		(Buscot)	
Typ N	36,3%	Keine pathologische Veränderung	13,7%
Typ F	8%	Geringfügige osteoarthrotische Veränderung	21,8%
Typ D	19%	Ausgeprägt osteoarthrotische Veränderung	27,9%
Typ E + Typ S	19%+14% = 33%	Stark osteoarthritische Veränderung	36,6%

Trotz der Abweichungen durch verschiedene Studiendesigns und Definitionen fügen sich die Ergebnisse der aktuellen Studienlage. So kann bestätigt werden, dass Erosionen, Abflachungen und Osteophyten bei Patienten mit symptomatischen Kiefergelenksbeschwerden bzw. CMD häufig vorkommen [15,84,94,95]. Die aktuelle Studienlage bestätigt, dass Patienten mit symptomatischen Kiefergelenken häufiger degenerative knöchernen Veränderungen des Kondylus aufweisen [15,84,94,95,97]. Umso erstaunlicher ist die Aussage der europäischen Kommission, die von der DGZMK übernommen wurde, dass bei Patienten mit symptomatischen Kiefergelenksbeschwerden keine knöchernen Veränderungen auftreten oder dass solche nicht mit den Beschwerden korrelieren [38,39].

Zukünftig sollten die Definitionen der degenerativen Veränderungen und der Osteoarthrose bzw. Osteoarthritis vereinheitlichend überarbeitet werden. Die pathologische Wertigkeit der Sklerose sollte berücksichtigt werden. Auch die Tatsache, dass degenerative Veränderungen für ein Stadium einer Kiefergelenkserkrankungen wie Osteoarthrose und Osteoarthritis stehen, sollte beachtet werden. Entsprechend muss in Zukunft eine Einteilung wie in Tabelle 17 für die Bewertung knöcherner Veränderung Anwendung finden.

Tab. 17: Definition der Klassen knöcherner Veränderungen.

Klasse I	Keine pathologischen Veränderungen (keine Erosion, Osteophyten mit Knochenspitzen, deutlichen Sklerosen oder deutliche Deviation liegen vor). Es können Abflachungen vorliegen.
Klasse II	Keine Erosionen, keine deutlichen Osteophyten mit Knochenspitzen liegen vor. Es liegen deutliche sklerotische Veränderungen oder Deviationen vor. Abflachungen können vorliegen.
Klasse III	Keine Erosionen liegen vor. Es liegen deutliche Osteophyten mit Knochenspitzen vor. Abflachungen, Sklerosen und weitere Deviationen vorliegen können vorliegen.
Klasse IV	Es liegen deutliche Erosionen vor. Osteophyten mit Knochenspitzen, Abflachungen, Sklerosen und weitere Deviationen können vorliegen.

Ein weiterer wichtiger Punkt im Fokus anderer Untersuchungen ist, ob ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Vorkommen und dem Ausmaß der knöchernen Deformation und der klinischen Symptomatik besteht. In Studien von Wiese et al. und Cevitanes et al. wurde ein Zusammenhang verneint [95,115]. Campos et al. bestätigten wiederum einen Zusammenhang [14]. Andere Studien sehen vor allem einen Korrelation zwischen Erosionen und Schmerzen [97,117,118].

Erst wenn dieser Zusammenhang abschließend geklärt ist, kann der Mehrwert der Knochendarstellung vollständig bewertet werden.

5.2.2. Verteilung der Kondylenposition im DVT

In dieser Studie zeigten 56,9 % der Kiefergelenke von Patienten mit symptomatischen Kiefergelenken eine veränderte Kondylenposition. Hierbei waren ähnlich häufig eine laterale (27,4%) und dorsale (26,9%) Kondylenposition festzustellen. Das bestätigt die Studienlage für Kondylenpositionen bei CMD Patienten. Nicht nur die Tatsache, dass veränderte Kondylenpositionen häufiger vorkommen, sondern auch der Richtungsvektor bestätigt die Literatur. So konnten mehrere Studien eine vermehrt posteriore Kondylenposition bei CMD Patienten feststellen [97,114,119]. Inwieweit aber ein signifikanter Zusammenhang zwischen pathologischen Kondylenpositionen und symptomatischen Kiefergelenken besteht, wird im folgenden Kapitel diskutiert.

5.2.3. Gegenüberstellung der knöchernen Veränderungen des Kondylus und der Kondylenposition

Das Ergebnis dieser Studie, dass es keinen signifikanten Zusammenhang zwischen einer veränderten Kondylenposition und dem Vorkommen degenerativer Veränderungen des Kondylus gibt, wird in der Literatur kontrovers diskutiert.

Einige Studien kommen zu dem Ergebnis, dass der Kondylus grundsätzlich eher posterior gelegen ist. [7–9]. Andere Studien zeigen, dass bei Diskusverlagerungen posteriore Kondylenpositionen häufiger vorkommen [14,110,111,113].

Für den Zusammenhang zwischen knöchernen Veränderungen und der Kondylenposition konnte in der Studie von Campos et al. ebenfalls keine Signifikanz festgestellt werden [14]. Im Gegensatz dazu beschreiben andere Studien, dass es einen Zusammenhang zwischen knöchernen Veränderungen des Kiefergelenks und einer veränderten Kondylenposition gibt. Fest steht bei dieser Diskussion, dass aus einer veränderten Kondylenposition nicht auf eine Diskusverlagerung oder CMD geschlossen werden kann [111,113]. Um dieses Thema abschließend zu klären, ist die Studienlage unzureichend.

5.2.4. MRT-DVT-Vergleich für die Ermittlung knöcherner Veränderungen des Kondylus

In dieser Studie lagen für die Bewertung knöcherner Strukturen des Kondylus mittels MRT eine Sensivität von 69,8% und eine Spezifität von 72,1% vor.

In der Studie von Alkhader et al. wurde die Sensivität und Spezifität für jede knöcherner Veränderung einzeln berechnet (Tabelle 18). Hierbei wird deutlich, dass das MRT zur Diagnostik deutlicherer Veränderungen wie Deformationen besser geeignet ist als zur Diagnostik kleinerer Veränderungen [84].

Tab. 18: Sensivität und Spezifität der MRT für knöcherner Veränderungen in Alkhader et al. von Uemura et al..

Typ	Sensivität (%)	Spezifität (%)	Definition
Typ 1	61	86	Destruktive und erosive Veränderungen des Kondylus
Typ 2	30	92	Abflachung des Kondylus
Typ 3	82	91	Deformation des Kondylus
Typ 4	40	95	Sklerose des Kondylus
Typ 5	48	84	Osteophyten
Typ 6	34	98	Ankylosen
Typ 7	61	89	Erosionen der fossa und/oder eminentia
Typ 8	41	91	Sklerosen der fossa und/oder eminentia

Westesson et al. vergleichen MRT Aufnahmen mit Autopsieproben von 15 Kiefergelenken. Die Sensivität für die MRT beträgt 50% und die Spezifität 71% [89]. In einer ähnlichen Studie von Katzberg et al. beträgt die Sensivität 83% und die Spezifität 100% [102]. Sehr ähnliche Ergebnisse beschreiben Tasaki et al. mit einer Sensivität von 87% und einer Spezifität von 100% [120].

Ahmad et al. vergleichen 1435 MRT's mit CT Aufnahmen. Hierbei wurde die Sensivität als ausreichend (59%) und die Spezifität als sehr gut (98%) bewertet [50].

Der Wert der Sensivität in dieser Studie stellt einen Durchschnittswert der anderen Studien dar und bestätigt damit die Aussage, dass das MRT nicht optimal geeignet ist, um vorhandene knöcherne Veränderungen des Kiefergelenks bzw. Kondylus als solche zu entdecken.

Der Wert für Spezifität dieser Studie ist so wie in anderen Studien auch höher als die Sensivität. Das bedeutet, dass man im MRT besser Kiefergelenke erkennen kann, die keine Veränderungen aufweisen als Kiefergelenke, die pathologisch verändert sind. Jedoch ist die Differenz zwischen Spezifität und Sensivität in anderen Studien, außer in der von Westesson et al., deutlich kleiner. Teilweise erklären sich die Unterschiede damit, dass MRT-Aufnahmen von Autopsieproben weniger Artefakten unterliegen [84]. Auch die Fallzahl in den Studien ist mit 15, 18 oder 55 Kiefergelenken im Vergleich zu 262 wichtig für den repräsentativen Wert der Ergebnisse.

Die Ergebnisse dieser Studie bestätigen, dass die Diagnostik veränderter knöcherner Strukturen des Kiefergelenks nur eingeschränkt mit dem MRT möglich ist und dass die DVT hierfür besser geeignet ist.

5.2.5. MRT-DVT-Vergleich für die Ermittlung der Kondylenposition

Zu dieser exakten Fragestellung ist keine Literatur gefunden worden. Den Ergebnissen dieser Studie folgend, sollte auch zur Diagnostik der Kondylenposition, das DVT bevorzugt werden. Die ermittelte Sensivität (73.15%) und Spezifität (75.22%) machen deutlich, dass die MRT nicht gleichermaßen wie die DVT für die Diagnostik der Kondylenposition geeignet ist. Weitere Studien müssen diese Ergebnisse bestätigen.

5.3. Schlussfolgerungen

Das Ziel der Arbeit war es, die diagnostische Genauigkeit der MRT, mittels der DVT als Referenzmethode, für die Befundung knöcherner Veränderungen des Kondylus und der Kondylenposition zu ermitteln. Dabei wurde die Verteilung degenerativer knöchernen Veränderungen sowie die Kondylenposition bei Patienten mit symptomatischen Kiefergelenksbeschwerden ermittelt. Insgesamt ergaben sich zwei Kernaussagen:

1. Die MRT ist weniger als die DVT geeignet knöchernen Strukturen des Kiefergelenks und die Kondylenposition zu bewerten.
2. Grundsätzlich weisen Patienten mit symptomatischen Kiefergelenksbeschwerden oft degenerative knöchernen Veränderungen des Kondylus auf. Erosionen, Abflachungen und Osteophyten kommen dabei am häufigsten vor. Ebenso zeigen diese Patienten meistens veränderte Kondylenpositionen. Hierbei wurden vor allem lateral- und dorsal verlagerte Kondylen diagnostiziert.

Relevanz für den klinischen Alltag

Patienten mit symptomatischen Kiefergelenksbeschwerden zeigen häufiger degenerative Veränderungen der knöchernen Strukturen des Kiefergelenks sowie veränderte Kondylenpositionen. Jedoch können diese im MRT nicht optimal dargestellt werden. Das gelingt mittels DVT. Kommt das DVT für die Kiefergelenksdiagnostik zum Einsatz, ist eine genauere und sicherere Beurteilung des Vorhandenseins und des Schweregrades knöcherner Veränderungen und veränderter Kondylenpositionen möglich. Das birgt ein großes Potential für eine zielgerichtete Therapie. Da die Strahlenbelastung der DVT durch technologischen Fortschritt stets reduziert wird, ist davon auszugehen, dass dieses bildgebende Verfahren in absehbarer Zeit routinemäßig zum Einsatz kommen kann.

Ausblick

Die bessere Darstellung der knöchernen Strukturen im DVT ist unstrittig. Was in folgenden Studien untersucht werden sollte, ist der genaue therapeutische Nutzen dieser Mehrinformation. So ist auch nicht eindeutig geklärt, inwieweit ein Zusammenhang zwischen der Art der knöchernen Veränderung und der klinischen Symptomatik besteht. Hierbei ist eine einheitliche Klassifikation der unterschiedlichen Stadien degenerativer Veränderungen, wie in der hier vorliegenden Dissertation versucht, wichtig.

6. Anhang

6.1. Literaturverzeichnis

1. Schünke M, Schulte E, Schumacher U. PROMETHEUS Kopf, Hals und Neuroanatomie: LernAtlas Anatomie. 3., überarbeitete und erweiterte Auflage. Stuttgart u.a.: Thieme; 2012. 600 p.
2. Stelzenmüller W, Wiesner J. Therapie von Kiefergelenkschmerzen: Ein Behandlungskonzept für Zahnärzte, Kieferorthopäden und Physiotherapeuten. 2., überarbeitete und erweiterte Auflage. Stuttgart: Thieme; 2010. 568 p.
3. Solberg WK, Hansson TL, Nordström B. The temporomandibular joint in young adults at autopsy: a morphologic classification and evaluation. *J Oral Rehabil.* 1985 Jul;12(4):303–21.
4. Tripodakis AP, Smulow JB, Mehta NR, Clark RE. Clinical study of location and reproducibility of three mandibular positions in relation to body posture and muscle function. *J Prosthet Dent.* 1995 Feb;73(2):190–8.
5. Bumann A, Lotzmann U. Farbatlanten der Zahnmedizin, Bd.12, Funktionsdiagnostik und Therapieprinzipien. 1st ed. Thieme, Stuttgart; 2000.
6. Dalili Z, Khaki N, Kia SJ, Salamat F. Assessing joint space and condylar position in the people with normal function of temporomandibular joint with cone-beam computed tomography. *Dent Res J (Isfahan).* 2012 Sep;9(5):607–12.
7. Christiansen EL, Chan TT, Thompson JR, Hasso AN, Hinshaw DB, Kopp S. Computed tomography of the normal temporomandibular joint. *Scand J Dent Res.* 1987 Dec;95(6):499–509.
8. Ikeda K, Kawamura A. Assessment of optimal condylar position with limited cone-beam computed tomography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2009 Apr;135(4):495–501.
9. Vitral RWF, da Silva Campos MJ, Rodrigues AF, Fraga MR. Temporomandibular joint and normal occlusion: Is there anything singular about it? A computed tomographic evaluation. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2011 Jul;140(1):18–24.

10. Pereira FJJ, Lundh H, Westesson PL, Carlsson LE. Clinical findings related to morphologic changes in TMJ autopsy specimens. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1994 Sep;78(3):288–95.
11. Alexiou K, Stamatakis H, Tsiklakis K. Evaluation of the severity of temporomandibular joint osteoarthritic changes related to age using cone beam computed tomography. *Dentomaxillofac Radiol.* 2009 Mar;38(3):141–7.
12. Schmitter M, Essig M, Seneadza V, Balke Z, Schröder J, Rammelsberg P. Prevalence of clinical and radiographic signs of osteoarthrosis of the temporomandibular joint in an older persons community. *Dentomaxillofac Radiol.* 2010 May;39(4):231–4.
13. Dos Anjos Pontual M, Freire J, Barbosa J, Frazão M, Dos Anjos Pontual A. Evaluation of bone changes in the temporomandibular joint using cone beam CT. *Dentomaxillofac Radiol.* 2012 Jan;41(1):24–9.
14. Campos MIG, Campos PSF, Cangussu MCT, Guimarães RC, Line SRP. Analysis of magnetic resonance imaging characteristics and pain in temporomandibular joints with and without degenerative changes of the condyle. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2008 Jun;37(6):529–34.
15. Shetty US, Burde KN, Naikmasur VG, Sattur AP. Assessment of condylar changes in patients with temporomandibular joint pain using digital volumetric tomography. *Radiol Res Pract.* 2014;2014:106059.
16. Leeuw R de. *Orofacial Pain: Guidelines for Assessment, Diagnosis, and Management.* 0004 ed. Quintessence Pub; 2008. 316 p.
17. John MT, Hirsch C, Reiber T, Dworkin S f. Translating the research diagnostic criteria for temporomandibular disorders into German: evaluation of content and process. *J Orofac Pain.* 2006;20(1):43–52.
18. Buescher JJ. Temporomandibular joint disorders. *Am Fam Physician.* 2007 Nov 15;76(10):1477–82.

19. Ismail F, Eisenburger M, Lange K, Schneller T, Schwabe L, Stempel J, et al. Identification of psychological comorbidity in TMD-patients. *Cranio*. 2015 Apr 2;2151090315Y0000000008.
20. Gauer RL, Semidey MJ. Diagnosis and treatment of temporomandibular disorders. *Am Fam Physician*. 2015 Mar 15;91(6):378–86.
21. Smartt JM, Low DW, Bartlett SP. The pediatric mandible: I. A primer on growth and development. *Plast Reconstr Surg*. 2005 Jul;116(1):14e – 23e.
22. Okeson JP. Management of temporomandibular disorders and occlusion. 6. ed. St. Louis, Mo.: Mosby; 2008.
23. Barghan S, Merrill R, Tetradis S. Cone beam computed tomography imaging in the evaluation of the temporomandibular joint. *J Calif Dent Assoc*. 2010 Jan;38(1):33–9.
24. Talaat W, Bayatti S Al, Kawas S Al. CBCT analysis of bony changes associated with temporomandibular disorders. *Cranio*. 2015 Feb 12;2151090315Y0000000002.
25. Attur MG, Dave M, Akamatsu M, Kato M, Amin AR. Osteoarthritis or osteoarthritis: the definition of inflammation becomes a semantic issue in the genomic era of molecular medicine. *Osteoarthr Cartil*. 2002 Jan;10(1):1–4.
26. Freesmeyer. Was man vom Kiefergelenk des Menschen wissen sollte. *Manuelle Medizin*. 2001 Apr 25;39(2):79–85.
27. Hussain AM, Packota G, Major PW, Flores-Mir C. Role of different imaging modalities in assessment of temporomandibular joint erosions and osteophytes: a systematic review. *Dentomaxillofac Radiol*. 2008 Feb;37(2):63–71.
28. Akerman S. Morphologic, radiologic and thermometric assessment of degenerative and inflammatory temporomandibular joint disease. An autopsy and clinical study. *Swed Dent J Suppl*. 1987;52:1–110.
29. Flygare L, Rohlin M, Akerman S. Microscopy and tomography of erosive changes in the temporomandibular joint. An autopsy study. *Acta Odontol Scand*. 1995 Oct;53(5):297–303.

30. Padala S, Padmanabhan S, Chithranjan AB. Comparative evaluation of condylar position in symptomatic (TMJ dysfunction) and asymptomatic individuals. *Indian J Dent Res.* 2012 Feb;23(1):122.
31. Paknahad M, Shahidi S. Association between mandibular condylar position and clinical dysfunction index. *J Craniomaxillofac Surg.* 2015 Jan 24;
32. Freesmeyer. Was man vom Kiefergelenk des Menschen wissen sollte. *Manuelle Medizin.* 2001 Jun 1;39(3):126–32.
33. Palconet G, Ludlow JB, Tyndall DA, Lim PF. Correlating cone beam CT results with temporomandibular joint pain of osteoarthritic origin. *Dentomaxillofac Radiol.* 2012 Feb;41(2):126–30.
34. Bakke M, Petersson A, Wiesel M, Svanholt P, Sonnesen L. Bony deviations revealed by cone beam computed tomography of the temporomandibular joint in subjects without ongoing pain. *J Oral Facial Pain Headache.* 2014;28(4):331–7.
35. Roberts C, Katzberg RW, Tallents RH, Espeland MA, Handelman SL. The clinical predictability of internal derangements of the temporomandibular joint. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1991 Apr;71(4):412–4.
36. Paesani D, Westesson PL, Hatala MP, Tallents RH, Brooks SL. Accuracy of clinical diagnosis for TMJ internal derangement and arthrosis. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1992 Mar;73(3):360–3.
37. Limchaichana N, Petersson A, Rohlin M. The efficacy of magnetic resonance imaging in the diagnosis of degenerative and inflammatory temporomandibular joint disorders: a systematic literature review. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2006 Oct;102(4):521–36.
38. European Commission. Radiation Protection no 172: Cone beam ct for dental and Maxillofacial radiology. Evidence based guidelines: Evidence based guidelines. a report prepared by the sedentext project. 2012;
39. Schulze. s2k-Leitlinie Dentale digitale Volumentomographie Version Nr. 9. 2013;

40. Hansson LG, Westesson PL, Eriksson L. Comparison of tomography and mid-field magnetic resonance imaging for osseous changes of the temporomandibular joint. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 1996 Dec;82(6):698–703.
41. Barghan S, Tetradis S, Mallya S. Application of cone beam computed tomography for assessment of the temporomandibular joints. *Aust Dent J.* 2012 Mar;57 Suppl 1:109–18.
42. Farman AG. ALARA still applies. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2005 Oct;100(4):395–7.
43. Pauwels R, Beinsberger J, Collaert B, Theodorakou C, Rogers J, Walker A, et al. Effective dose range for dental cone beam computed tomography scanners. *Eur J Radiol.* 2012 Feb;81(2):267–71.
44. ICRP. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection - CRP Publication 103 [Internet]. 2007 [cited 2015 Apr 23]. Available from: <http://www.icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%20103>
45. Pasler FA. *Zahnärztliche Radiologie.* 5., aktualisierte Auflage. Stuttgart: Thieme; 2007.
46. Mawani F, Lam EWN, Heo G, McKee I, Raboud DW, Major PW. Condylar shape analysis using panoramic radiography units and conventional tomography. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2005 Mar;99(3):341–8.
47. Petersson A. What you can and cannot see in TMJ imaging - an overview related to the RDC/TMD diagnostic system. *J Oral Rehabil* [Internet]. 2010 May 18 [cited 2010 May 29]; Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20492436>
48. Winocur E, Reiter S, Krichmer M, Kaffe I. Classifying degenerative joint disease by the RDC/TMD and by panoramic imaging: a retrospective analysis. *J Oral Rehabil.* 2010 Mar;37(3):171–7.
49. Low KMT, Dula K, Bürgin W, von Arx T. Comparison of periapical radiography and limited cone-beam tomography in posterior maxillary teeth referred for apical surgery. *J Endod.* 2008 May;34(5):557–62.

50. Ahmad M, Hollender L, Anderson Q, Kartha K, Ohrbach R, Truelove EL, et al. 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 Jun;107(6):844–60.
51. Honey OB, Scarfe WC, Hilgers MJ, Klueber K, Silveira AM, Haskell BS, et al. Accuracy of cone-beam computed tomography imaging of the temporomandibular joint: comparisons with panoramic radiology and linear tomography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2007 Oct;132(4):429–38.
52. Ludlow JB, Davies-Ludlow LE, White SC. Patient risk related to common dental radiographic examinations: the impact of 2007 International Commission on Radiological Protection recommendations regarding dose calculation. *J Am Dent Assoc*. 2008 Sep;139(9):1237–43.
53. Kahl B, Fischbach R, Gerlach KL. Temporomandibular joint morphology in children after treatment of condylar fractures with functional appliance therapy: a follow-up study us computed tomography. *Dentomaxillofac Radiol*. 1995 Feb;24(1):37–45.
54. Avrahami E, Katz R. An association between imaging and acute posttraumatic ear bleeding with trismus. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 1998 Mar;85(3):244–7.
55. Lewis EL, Dolwick MF, Abramowicz S, Reeder SL. Contemporary imaging of the temporomandibular joint. *Dent Clin North Am*. 2008 Oct;52(4):875–90, viii.
56. Brooks SL, Brand JW, Gibbs SJ, Hollender L, Lurie AG, Omnell K-Å, et al. Imaging of the temporomandibular joint : A position paper of the American Academy of Oral and Maxillofacial Radiology. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*. 1997 May;83(5):609–18.
57. Ahlers MO, Freesmeyer W, Götz G, Jakstat H, Koeck B, Meyer G, et al. Instrumentelle, bildgebende und konsiliarische Verfahren zur CMD-Diagnostik, Gemeinsame Stellungnahme der DGZMK und der DGFDT in der DGZMK. *DZZ*. 2003 Jan;58(7).

58. Ludlow JB, Ivanovic M. Comparative dosimetry of dental CBCT devices and 64-slice CT for oral and maxillofacial radiology. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2008 Jul;106(1):106–14.
59. Loubele M, Bogaerts R, Van Dijck E, Pauwels R, Vanheusden S, Suetens P, et al. Comparison between effective radiation dose of CBCT and MSCT scanners for dentomaxillofacial applications. *Eur J Radiol.* 2009 Sep;71(3):461–8.
60. Suomalainen A, Kiljunen T, Käser Y, Peltola J, Kortensniemi M. Dosimetry and image quality of four dental cone beam computed tomography scanners compared with multislice computed tomography scanners. *Dentomaxillofac Radiol.* 2009 Sep;38(6):367–78.
61. Zöllner JE, Neugebauer J. *Digitale Volumentomografie in der Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde: Grundlagen, Diagnostik und Therapieplanung.* 2., vollständig neu bearbeitete Auflage. Berlin: Quintessenz Verlag; 2013. 288 p.
62. Tsiklakis K, Syriopoulos K, Stamatakis HC. Radiographic examination of the temporomandibular joint using cone beam computed tomography. *Dentomaxillofac Radiol.* 2004 May;33(3):196–201.
63. Harrell WE, Hatcher DC, Bolt RL. In search of anatomic truth: 3-dimensional digital modeling and the future of orthodontics. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2002 Sep;122(3):325–30.
64. Honda K, Larheim TA, Maruhashi K, Matsumoto K, Iwai K. Osseous abnormalities of the mandibular condyle: diagnostic reliability of cone beam computed tomography compared with helical computed tomography based on an autopsy material. *Dentomaxillofac Radiol.* 2006 May;35(3):152–7.
65. Honda K, Larheim TA, Johannessen S, Arai Y, Shinoda K, Westesson PL. Orthocubic super-high resolution computed tomography: a new radiographic technique with application to the temporomandibular joint. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2001 Feb;91(2):239–43.

66. Katakami K, Shimoda S, Kobayashi K, Kawasaki K. Histological investigation of osseous changes of mandibular condyles with backscattered electron images. *Dentomaxillofac Radiol*. 2008 Sep;37(6):330–9.
67. Fu K-Y, Zhang W-L, Liu D-G, Chen H-M, Ma X-C. [Cone beam computed tomography in the diagnosis of temporomandibular joint osteoarthritis]. *Zhonghua Kou Qiang Yi Xue Za Zhi*. 2007 Jul;42(7):417–20.
68. Wang R, Ma X, Zhang W, Liu D. [Investigation of temporomandibular joint space of healthy adults by using cone beam computed tomography]. *Beijing Da Xue Xue Bao*. 2007 Oct 18;39(5):503–6.
69. Huntjens E, Kiss G, Wouters C, Carels C. Condylar asymmetry in children with juvenile idiopathic arthritis assessed by cone-beam computed tomography. *Eur J Orthod*. 2008 Dec;30(6):545–51.
70. de Paula-Silva FWG, Santamaria MJ, Leonardo MR, Consolaro A, da Silva LAB. Cone-beam computerized tomographic, radiographic, and histologic evaluation of periapical repair in dogs' post-endodontic treatment. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2009 Nov;108(5):796–805.
71. Howe RB. First molar radicular bone near the maxillary sinus: a comparison of CBCT analysis and gross anatomic dissection for small bony measurement. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2009 Aug;108(2):264–9.
72. Shi H, Scarfe WC, Farman AG. Three-dimensional reconstruction of individual cervical vertebrae from cone-beam computed-tomography images. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2007 Mar;131(3):426–32.
73. Kawakami N, Tsuji T, Imagama S, Lenke LG, Puno RM, Kuklo TR, et al. Classification of congenital scoliosis and kyphosis: a new approach to the three-dimensional classification for progressive vertebral anomalies requiring operative treatment. *Spine*. 2009 Aug 1;34(17):1756–65.
74. Ludlow JB, Timothy R, Walker C, Hunter R, Benavides E, Samuelson DB, et al. Effective dose of dental CBCT—a meta analysis of published data and additional data for nine CBCT units. *Dentomaxillofac Radiol*. 2015;44(1):20140197.

75. Grünheid T, Kolbeck 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 Apr;141(4):436–43.
76. Lofthag-Hansen S, Thilander-Klang A, Ekestubbe A, Helmrot E, Gröndahl K. Calculating effective dose on a cone beam computed tomography device: 3D Accuitomo and 3D Accuitomo FPD. *Dentomaxillofac Radiol.* 2008 Feb;37(2):72–9.
77. Hirsch E, Wolf U, Heinicke F, Silva MAG. Dosimetry of the cone beam computed tomography Veraviewepocs 3D compared with the 3D Accuitomo in different fields of view. *Dentomaxillofac Radiol.* 2008 Jul;37(5):268–73.
78. Roberts JA, Drage NA, Davies J, Thomas DW. Effective dose from cone beam CT examinations in dentistry. *Br J Radiol.* 2009 Jan;82(973):35–40.
79. Silva MAG, Wolf U, Heinicke F, Bumann A, Visser H, Hirsch E. Cone-beam computed tomography for routine orthodontic treatment planning: a radiation dose evaluation. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2008 May;133(5):640.e1–5.
80. Jadu F, Yaffe MJ, Lam EWN. A comparative study of the effective radiation doses from cone beam computed tomography and plain radiography for sialography. *Dentomaxillofac Radiol.* 2010 Jul;39(5):257–63.
81. Hyer DE, Serago CF, Kim S, Li JG, Hintenlang DE. An organ and effective dose study of XVI and OBI cone-beam CT systems. *J Appl Clin Med Phys.* 2010;11(2):3183.
82. Lukat TD, Wong JCM, Lam EWN. Small field of view cone beam CT temporomandibular joint imaging dosimetry. *Dentomaxillofac Radiol.* 2013;42(10):20130082.
83. Ludlow JB, Davies-Ludlow LE, Brooks SL, Howerton WB. Dosimetry of 3 CBCT devices for oral and maxillofacial radiology: CB Mercuray, NewTom 3G and i-CAT. *Dentomaxillofac Radiol.* 2006 Jul;35(4):219–26.
84. Alkhader M, Ohbayashi N, Tetsumura A, Nakamura S, Okochi K, Momin M, et al. Diagnostic performance of magnetic resonance imaging for detecting osseous abnormalities of the temporomandibular joint and its correlation with cone beam computed tomography. *Dentomaxillofac Radiol.* 2010 Jul;39(5):270–6.

85. Davies J, Johnson B, Drage N. Effective doses from cone beam CT investigation of the jaws. *Dentomaxillofac Radiol.* 2012 Jan;41(1):30–6.
86. Währisch. Strahlenbelastung neuester „ultra low dose“ DVT-Protokolle für die kieferorthopädische Behandlungsplanung. Charité Berlin; 2014.
87. Katzberg RW, Schenck J, Roberts D, Tallents RH, Manzione JV, Hart HR, et al. Magnetic resonance imaging of the temporomandibular joint meniscus. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1985 Apr;59(4):332–5.
88. Greenspan A. *Skelettradiologie.* 4. ed. München: Elsevier, Urban & Fischer; 2007.
89. Westesson PL, Katzberg RW, Tallents RH, Sanchez-Woodworth RE, Svensson SA. CT and MR of the temporomandibular joint: comparison with autopsy specimens. *AJR Am J Roentgenol.* 1987 Jun;148(6):1165–71.
90. Schmitter M, Kress B, Hähnel S, Rammelsberg P. The effect of quality of temporomandibular joint MR images on interrater agreement. *Dentomaxillofac Radiol.* 2004 Jul;33(4):253–8.
91. Iwasaki H, Kubo H, Harada M, Nishitani H, Ohashi Y. Temporomandibular joint and 3.0 T pseudodynamic magnetic resonance imaging. Part 2: evaluation of articular disc obscurity. *Dentomaxillofac Radiol.* 2010 Dec;39(8):486–93.
92. Loría Chami A, Balcázar Vázquez R, Sánchez Vargas K. [Value of magnetic resonance imaging for diagnosis of temporomandibular joint dysfunction]. *Gac Med Mex.* 2014 Dec;150 Suppl 2:255–8.
93. Schmitter M, Gabbert O, Ohlmann B, Hassel A, Wolff D, Rammelsberg P, et al. Assessment of the reliability and validity of panoramic imaging for assessment of mandibular condyle morphology using both MRI and clinical examination as the gold standard. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2006 Aug;102(2):220–4.
94. Koyama J, Nishiyama H, Hayashi T. Follow-up study of condylar bony changes using helical computed tomography in patients with temporomandibular disorder. *Dentomaxillofac Radiol.* 2007 Dec;36(8):472–7.

95. Cevidanes LHS, Hajati A-K, Paniagua B, Lim PF, Walker DG, Palconet G, et al. Quantification of condylar resorption in temporomandibular joint osteoarthritis. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2010 Jul;110(1):110–7.
96. Bohndorf K, Imhof H, Wörtler K. *Radiologische Diagnostik der Knochen und Gelenke.* 3., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage. Stuttgart: Thieme; 2013. 544 p.
97. Cho B-H, Jung Y-H. Osteoarthritic changes and condylar positioning of the temporomandibular joint in Korean children and adolescents. *Imaging Sci Dent.* 2012 Sep;42(3):169–74.
98. Anjos Pontual ML dos, Freire JSL, Barbosa JMN, Frazão M a. G, Anjos Pontual A dos. Evaluation of bone changes in the temporomandibular joint using cone beam CT. *Dentomaxillofac Radiol.* 2012 Jan;41(1):24–9.
99. Pullinger AG, Solberg WK, Hollender L, Petersson A. Relationship of mandibular condylar position to dental occlusion factors in an asymptomatic population. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1987 Mar;91(3):200–6.
100. O'Byrn BL, Sadowsky C, Schneider B, BeGole EA. An evaluation of mandibular asymmetry in adults with unilateral posterior crossbite. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1995 Apr;107(4):394–400.
101. Schudy FF. Treatment of adult midline deviation by condylar repositioning. *J Clin Orthod.* 1996 Jun;30(6):343–7.
102. Katzberg RW, Westesson PL, Tallents RH, Anderson R, Kurita K, Manzione JV, et al. Temporomandibular joint: MR assessment of rotational and sideways disk displacements. *Radiology.* 1988 Dec;169(3):741–8.
103. Tasaki MM, Westesson PL. Temporomandibular joint: diagnostic accuracy with sagittal and coronal MR imaging. *Radiology.* 1993 Mar;186(3):723–9.
104. Stehling C, Vieth V, Bachmann R, Nassenstein I, Kugel H, Kooijman H, et al. High-resolution magnetic resonance imaging of the temporomandibular joint: image quality at 1.5 and 3.0 Tesla in volunteers. *Invest Radiol.* 2007 Jun;42(6):428–34.

105. Pullinger A, Hollender L. Variation in condyle-fossa relationships according to different methods of evaluation in tomograms. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1986 Dec;62(6):719–27.
106. de Bont LG, Stegenga B. Pathology of temporomandibular joint internal derangement and osteoarthritis. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 1993 Apr;22(2):71–4.
107. Hashimoto K, Kawashima S, Kameoka S, Akiyama Y, Honjaya T, Ejima K, et al. Comparison of image validity between cone beam computed tomography for dental use and multidetector row helical computed tomography. *Dentomaxillofac Radiol.* 2007 Dec;36(8):465–71.
108. Liang X, Jacobs R, Hassan B, Li L, Pauwels R, Corpas L, et al. A comparative evaluation of Cone Beam Computed Tomography (CBCT) and Multi-Slice CT (MSCT) Part I. On subjective image quality. *Eur J Radiol.* 2010 Aug;75(2):265–9.
109. Badel T, Pavicin IS, Jakovac M, Kern J, Zadavec D. Disc and condylar head position in the temporomandibular joint with and without disc displacement. *Coll Antropol.* 2013 Sep;37(3):901–6.
110. Gateno J, Anderson PB, Xia JJ, Horng JC, Teichgraeber JF, Liebschner MAK. A comparative assessment of mandibular condylar position in patients with anterior disc displacement of the temporomandibular joint. *J Oral Maxillofac Surg.* 2004 Jan;62(1):39–43.
111. Vasconcelos Filho JO, Menezes AV de, Freitas DQ de, Manzi FR, Bóscolo FN, de Almeida SM. Condylar and disk position and signs and symptoms of temporomandibular disorders in stress-free subjects. *J Am Dent Assoc.* 2007 Sep;138(9):1251–5; quiz 1268.
112. Katzberg RW. Temporomandibular joint imaging. *Radiology.* 1989 Feb;170(2):297–307.
113. Bonilla-Aragon H, Tallents RH, Katzberg RW, Kyrkanides S, Moss ME. Condyle position as a predictor of temporomandibular joint internal derangement. *J Prosthet Dent.* 1999 Aug;82(2):205–8.

114. Pereira LJ, Gavião MBD, Bonjardim LR, Castelo PM. Ultrasound and tomographic evaluation of temporomandibular joints in adolescents with and without signs and symptoms of temporomandibular disorders: a pilot study. *Dentomaxillofac Radiol.* 2007 Oct;36(7):402–8.
115. Wiese M, Svensson P, Bakke M, List T, Hintze H, Petersson A, et al. Association between temporomandibular joint symptoms, signs, and clinical diagnosis using the RDC/TMD and radiographic findings in temporomandibular joint tomograms. *J Orofac Pain.* 2008;22(3):239–51.
116. Uemura, Nakamura, Iwasaki, Fuchihata. A roentgenological study on temporomandibular joint disorders. morphological changes of TMJ in arthrosis. *Dent Radiol.* 1979;19:224–37.
117. Yamada K, Saito I, Hanada K, Hayashi T. Observation of three cases of temporomandibular joint osteoarthritis and mandibular morphology during adolescence using helical CT. *J Oral Rehabil.* 2004 Apr;31(4):298–305.
118. Zhao Y, Zhang Z, Wu Y, Zhang W, Ma X. Investigation of the clinical and radiographic features of osteoarthritis of the temporomandibular joints in adolescents and young adults. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2011 Feb;111(2):e27–34.
119. Pullinger AG, Solberg WK, Hollender L, Guichet D. Tomographic analysis of mandibular condyle position in diagnostic subgroups of temporomandibular disorders. *J Prosthet Dent.* 1986 Jun;55(6):723–9.
120. Tasaki MM, Westesson PL, Raubertas RF. Observer variation in interpretation of magnetic resonance images of the temporomandibular joint. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1993 Aug;76(2):231–4.

6.2. Abbildungsverzeichnis

Abb. 1	Indikation für Röntgenaufnahmen des Kiefergelenks	11
Abb. 2	Verteilung der Probanden nach Geschlecht und Alter	18
Abb. 3	DVT-Kiefergelenksreport eines Probanden	22
Abb. 4	Anpassung des transversalen Ausmaßes der Schnittbilder	23
Abb. 5	Transversale Ansicht zur Anpassung des sagittalen und koronalen Ausmaßes der Schnittbilder	24
Abb. 6	Zentraler MRT Schnittbild-Ausschnitt eines rechten Kiefergelenks in T1 bei Mundschluss	24
Abb. 7	Zentraler MRT Schnittbild-Ausschnitt eines rechten Kiefergelenks in T1 bei maximaler Mundöffnung	25
Abb. 8	Zentraler MRT Schnittbild-Ausschnitt eines rechten Kiefergelenks in T2 bei gemäßigter Mundöffnung	25
Abb. 9	Schema zur Erfassung der individuellen Kondylenposition	28
Abb. 10	Prozentuale Verteilung aller Kiefergelenke in den vier Klassen im DVT.	32
Abb. 11	Relative Verteilung degenerativer Veränderungen knöcherner Strukturen der Kondylen I. Klasse im DVT	33
Abb. 12	Relative Verteilung degenerativer Veränderungen knöcherner Strukturen der Kondylen II. Klasse im DVT	33
Abb. 13	Relative Verteilung degenerativer Veränderungen knöcherner Strukturen der Kondylen III. Klasse im DVT	34
Abb. 14	Relative Verteilung degenerativer Veränderungen knöcherner Strukturen der Kondylen IV. Klasse im DVT	35

Abb. 15	Relative Verteilung degenerativer Veränderungen knöcherner Strukturen aller Kondylen im DVT	35
Abb. 16	Verteilung der Kiefergelenkspositionen bei Patienten mit symptomatischen Kiefergelenken im DVT	36
Abb. 17	Häufigkeit veränderter Kondylenpositionen in den vier Klassen und Insgesamt	37
Abb. 18	Verteilung der kranial gelegenen Kondylen in den vier Klassen	37
Abb. 19	Verteilung der dorsal gelegenen Kondylen in den vier Klassen	38
Abb. 20	Verteilung der lateral gelegenen Kondylen in den vier Klassen	38
Abb. 21	Relative Verteilung der vier Klassen im DVT und MRT	39
Abb. 22	Relative Übereinstimmung der MRT's mit der DVT Klasse I	40
Abb. 23	Relative Übereinstimmung der MRT's mit der DVT Klasse II	40
Abb. 24	Relative Übereinstimmung der MRT's mit der DVT Klasse III	41
Abb. 25	Relative Übereinstimmung der MRT's mit der DVT Klasse IV	41
Abb. 26	Relative Verteilung der Kondylenposition im DVT und MRT	44

6.3. Tabellenverzeichnis

Tab. 1	Technische Daten der verwendeten DVT-Geräte	19
Tab. 2	Technische Daten des verwendeten MRT	21
Tab. 3	Technische Parameter des Befundungsmonitors	21
Tab. 4	Degenerative Veränderungen der knöch. Strukturen des Kiefergelenks	26
Tab. 5	Klassen der degenerativen Veränderung knöcherner Strukturen des Kiefergelenks	27
Tab. 6	Bedingungen der Klassenzuordnung im DVT	27
Tab. 7	Definition der Klassen für MRT's	30
Tab. 8	Übereinstimmung der MRT's nach „mäßig auffälligen“ (Klasse I und II) und „deutlich auffälligen“ Kondylen (Klassen III und IV)	42
Tab. 9	Statistischer Vergleich der Auswertung knöcherner Strukturen des Kiefergelenks im DVT und MRT	43
Tab. 10	Statistischer Vergleich der Auswertung Kondylenpositionen des Kiefergelenks im DVT und MRT	44
Tab. 11	Degenerative Veränderungen der knöchernen Strukturen des Kondylus	51
Tab. 12	Einteilung knöcherner Veränderungen des Kondylus in dieser Studie	51
Tab. 13	Einteilung knöcherner Veränderungen in Alkhader et al. nach Uemura et al.	52
Tab. 14	Auszug der Einteilung knöcherner Veränderungen in Shetty et al.	53
Tab. 15	Kriterien für Osteoarthritis nach Ahmad et al.	54
Tab. 16	Gegenüberstellung der Einteilung nach Koyama et al. und der Klassifikation dieser Studie	55
Tab. 17	Definition der Klassen knöcherner Veränderungen	56

Tab. 18 Sensivität und Spezifität der MRT für knöcherner Veränderungen in Alkhader
et al. von Uemura et al. 58

6.4. Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
B	Breite
bsp.	beispielsweise
bzw.	beziehungsweise
CBCT	coned beam computer tomography
cd	Candela
cm	Zentimeter
CMD	Craniomandibuläre Dysfunktion
CT	Computertomographie
D	Durchmesser
DGZMK	Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
DV	Degenerative Veränderung
DVT	Digitales Volumentomogramm
Dicom	digital imaging and communication in medicine
engl.	englisch
H	Höhe
KS	Knochenspitzen
kV	Kilovolt
mA	Milliampere
m	Meter
m ²	Quadratmeter
mm	Millimeter
mT	Millitesla
MRT	Magnetresonanztomogramm
MRI	magnetic-resonance imaging
mSv	Millisievert
n	Anzahl
PD	Protonendichte
PSA	Panoramaschichtaufnahme
s	Sekunde
T	Tesla
Tab.	Tabelle

TMD	temporomandibular disorder
TMJ	temporomandibular joint
μS	Mikrosekunde
μSv	Mikrosievert

6.5. Eidesstattliche Erklärung

„Ich, Arthur Buscot, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: „Validität der Beurteilung knöcherner Strukturen von Kiefergelenken im Magnetresonanztomogramm und im Digitalen Volumentomogramm“ selbstständig und ohne nicht offengelegte Hilfe Dritter verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel genutzt habe.

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

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

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

Braunschweig, den 25.09.2015

Arthur Buscot

6.6. Lebenslauf

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