

FAKULTÄT FÜR MEDIZIN
DER TECHNISCHEN UNIVERSITÄT MÜNCHEN

ABTEILUNG
FÜR MUND-KIEFER-GESICHTSCHIRURGIE
PROF. DR. DR. KLAUS-DIETRICH WOLFF

**PRÄVALENZ RETRO-KRANIALER, KONDYLÄRER VERLAGERUNG IN
UNTERSCHIEDLICHEN SKELETTALEN KLASSEN – EINE
KEPHALOMETRISCH-KONDYLOGRAPHISCHE STUDIE**

Anna Hoffmann

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Medizin der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Zahnheilkunde genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Prof. Dr. Jürgen Schlegel

Prüfer der Dissertation:

1. Prof. Dr. Dr. Andreas Kolk
2. Prof. Dr. Jan Stefan Kirschke

Die Dissertation wurde am 02.07.2018 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Medizin am 11.12.2018 angenommen.

Für Hendrik, Malte und Alva

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	3
Abkürzungsverzeichnis	5
1. Einleitung und Problemstellung	7
2. Literaturübersicht.....	9
2.1. Anatomie des Kiefergelenks – Craniomandibuläres System.....	9
2.2. Kondylusverlagerung	12
2.2.1. Physiologische Kondylusverlagerung	12
2.2.2. Kondylusposition und TMD	13
2.2.3. Kondylenpositionsanalyse.....	16
2.2.4. Grenzwert Kondylusverlagerung	19
2.3. Bruxismus	21
2.4. Skelettale Klasse	23
2.4.1. Verteilung der skelettalen Klassen.....	25
2.4.2. Skelettale Klasse und Kondylusverlagerung	26
3. Zielstellung	27
4. Material und Methoden.....	28
4.1. Patientengut.....	28
4.2. Datenerhebung	29
4.2.1. Kondylographie	29
4.2.2. Fernröntgenseitenbild	31
4.3. Datenverarbeitung	32
4.3.1. Auswertung der Kondylographie	32
4.3.2. Auswertung des Fernröntgenseitenbildes.....	35
4.3.3. Statistische Auswertung	40
5. Ergebnisse	43
5.1. Beschreibende Analyse	43
5.2. Statistische Analyse.....	47
5.3. Clusteranalyse	50
6. Diskussion	54
6.1. Übersicht.....	54

6.2. Diskussion der Methodik.....	54
6.2.1. Elektronische Kondylographie.....	54
6.2.2. Retrokraniale Kondylusverlagerung	55
6.3. Diskussion der Ergebnisse	56
6.3.1. Patientenkollektiv	56
6.3.2. Verteilung der skelettalen Klasse.....	57
6.3.3. Kondylusverlagerung	58
6.3.4. Korrelation skelettale Klasse - Kondylusverlagerung.....	59
6.3.5. Cluster Analyse	59
6.4. Fazit	61
6.5. Limitationen	62
7. Zusammenfassung.....	63
8. Ausblick	65
Tabellenverzeichnis.....	66
Abbildungsverzeichnis.....	67
Literaturverzeichnis	69
Danksagung	84

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
ANB	Winkel zwischen den Strecken A-Punkt – Nasion und B-Punkt - Nasion
ANOVA	Analysis of Variance
APDI	Anterior-Posterior Dysplasie Index
Ar	Artikuläre
Ba	Basion
bzw.	beziehungsweise
CMS	Craniomandibuläres System
CO	Centric occlusion – heute IKP
CPM/CPI	Condylen-Positions-Messgerät (CPM-SAM Artikulator, CPI – Panadent Artikulator)
CR	Centric relation – zentrische Kondylenposition
CT	Computertomographie
DGZMK	Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
DVT	Digitale Volumetomographie
et al.	Et alii
FBP	Forced bite position
FH	Frankfurter Horizontale
fMRT	funktionelle Magnetresonanztomographie
FRS	Fernröntgen-Seitenbild
Gn	Gnathion
IKP	Interkuspitationsposition
kPa	Kilopascal
kV	Kilovolt
mA	Milliampere
MRT	Magnetresonanztomographie
ms	Millisekunden
NMS	Neuromuskuläres System
Na	Nasion
Pt	Pterygoidale

RMMA	rapid masticatory muscle activity – schnelle mastikatorische Muskel Aktivität
SNA	Winkel zwischen Sella- Nasion- A Punkt
SNB	Winkel zwischen Sella- Nasion- B-Punkt
Tab.	Tabelle
TMD	Temporomandibuläre Dysfunktion
VieSID	Vienna School of Interdisciplinary Dentistry
ZNS	Zentralnervensystem

1. Einleitung und Problemstellung

Jeden Tag kommen viele unterschiedliche Patienten in unsere Praxis auf der Suche nach der Behandlung diverser Fragestellungen. In dieser Arbeit wird untersucht, ob bestimmte Grundkonditionen einen Patienten zu einem stärker risikobehafteten Patienten machen als andere. Ist unter bestimmten Grundvoraussetzungen mehr Diagnostik notwendig als in anderen? Was sind diese Konditionen?

Vor allem beziehe ich mich hierbei auf die skelettale sagittale Schädelmorphologie und damit in Zusammenhang gesetzt die Kondylusverlagerung vom unbelasteten Zustand der Strukturen ausgehend unter bruxistischer Aktivität.

Besonders interessant ist, dass keine statische okklusale Relation, sondern eine kraftaktive Funktion des mastikatorischen Organs unter Nutzung der okklusalen Kontakte untersucht wird. Es wird zudem nicht die statische Position des Kondylus-Diskus-Komplexes innerhalb der Fossa des Kiefergelenks ausgemessen. Stattdessen wird die maximale Verlagerung des Kondylus innerhalb seines funktionellen Gelenkraumes unter Bruxismusfunktion analysiert.

Bruxistische Aktivitäten tagsüber und nachts sind nach neuen wissenschaftlichen Erkenntnissen physiologische Funktionen, die potentiell von jedem Patienten im Bereich des Stressmanagements ausgeführt werden können. Bruxismus in Assoziation mit einer posterioren Kondylusverlagerung wird in der Literatur jedoch als biomechanisch und unter Umständen als besonders belastend für das Kiefergelenk beschrieben und in Zusammenhang mit einer temporomandibulären Gelenkpathologie gesetzt (Yang, Kim, Yi, & Hwang, 2013).

Unsere Hypothese ist, dass Patienten mit einer skelettalen Unterkieferrücklage in Relation zum Oberkiefer im Sinne einer skelettalen Klasse II aufgrund ihrer anatomischen Grundbedingungen eine höhere Ausgangswahrscheinlichkeit einer Kondylusverlagerung über den pathologischen Schwellenwert bei bruxistischer Aktivität haben, als Patienten mit einer neutralen Position des Unterkiefers im Sinne einer Klasse I bzw. einer Vorlage des Unterkiefers im Sinne einer Klasse III.

Durch eine Clusteranalyse eröffnet sich eine Möglichkeit, Patienten mit Behandlungsbedarf anhand verschiedener Eigenschaften, die in pathologischen Situationen gehäuft bzw. kombiniert auftreten können, einzuschätzen. Anhand dieser Einschätzung kann erfasst werden, wie wahrscheinlich bestimmte Symptome der

temporomandibulären Dysfunktion in Korrelation mit skelettalen Kieferrelationen auftreten.

2. Literaturübersicht

2.1. Anatomie des Kiefergelenks – Craniomandibuläres System

Das Kiefergelenk wird von Rudolf Slavicek in Anerkennung der Zusammensetzung aus knöchernen Strukturen, passiv zentrierendem ligamentären Apparat und aktiv zentrierenden Muskeln auch als craniomandibuläres System bezeichnet (R. Slavicek, 2015). Es setzt sich knöchern aus der Gelenkgrube, der Fossa glenoidalis mit der angrenzenden Eminentia articularis und dem walzenförmigen Kondylus (Proc. condylaris ossis mandibulae) zusammen. Diese scheinbare Gelenkgrube entsteht durch den Aufbau der Eminentia articularis unter dem funktionellen Einfluss der Okklusion während des Wachstums des Menschen (R Slavicek, 2000).

Der Boden der Fossa articularis ist hauchdünn und wird von der Fissura petrotympanica durchzogen, einer Spalte, die eine Verbindung vom Kiefergelenk zum Mittelohr bildet und bei der Entstehung des Tinnitus eine Rolle spielen kann (Ahlers & Jakstat, 2001).

Eine funktionell bedingt schlaffe Gelenkkapsel verbindet den Processus condylaris und das Os temporale ohne sie fest zusammen zu halten. Durch diese Schloffheit der Gelenkkapsel wird die weitgehende physiologische Mobilität der Kiefergelenke ermöglicht, die phänotypisch unterschiedlich ausgeprägt sein kann (R Slavicek, 2000). Das Kiefergelenk hat 6 Freiheitsgrade (Stamm, Hohoff, van Meegen, & Meyer, 2004).

Das Kiefergelenk ist ein aus zwei Kompartimenten bestehendes Gelenk. Der Diskus articularis unterteilt das Gelenk in eine obere und eine untere Gelenkkammer.

Die Translation, eine Gleitbewegung, findet vor allem im oberen Gelenkraum durch die Bewegung der Kondylus-Diskus-Einheit gegen die Fossa und Eminentia articularis statt. Die Rotation, eine Drehbewegung, entsteht eher im unteren Gelenkanteil durch die Bewegung des Kondylus zum Diskus articularis.

Slavicek beschreibt das Kiefergelenk, Sicher zitierend, als synoviales Gleitgelenk mit einer beweglichen Pfanne, die der Diskus articularis darstellt. Damit stellt er die translative Funktion als Hauptfunktion, die Rotation im unteren Gelenkanteil eher als unterstützende Funktion dar (R Slavicek, 2000).

Der Diskus, als eine mobile Fossa für den Kondylus, ist anterior, medial und lateral mit der Kiefergelenkkapsel verbunden. Posterior geht er in das retroartikuläre Polster

über. Der M. pterygoideus lateralis superior inseriert mit seiner Sehne in den medialen Anteil des Diskus (Fanghänel & Gedrange, 2007).

Die Faszie des Muskulus Masseter ist lateral mit dem Diskus verbunden. In 20 % der Fälle geht ein Teil des lateralen Ligaments in die Temporalisfaszie über. Im Gegensatz zum Muskulus pterygoideus lateralis superior haben diese Verbindungen jedoch eher einen passiven, signal-sendenden Charakter (Schmolke, 1994).

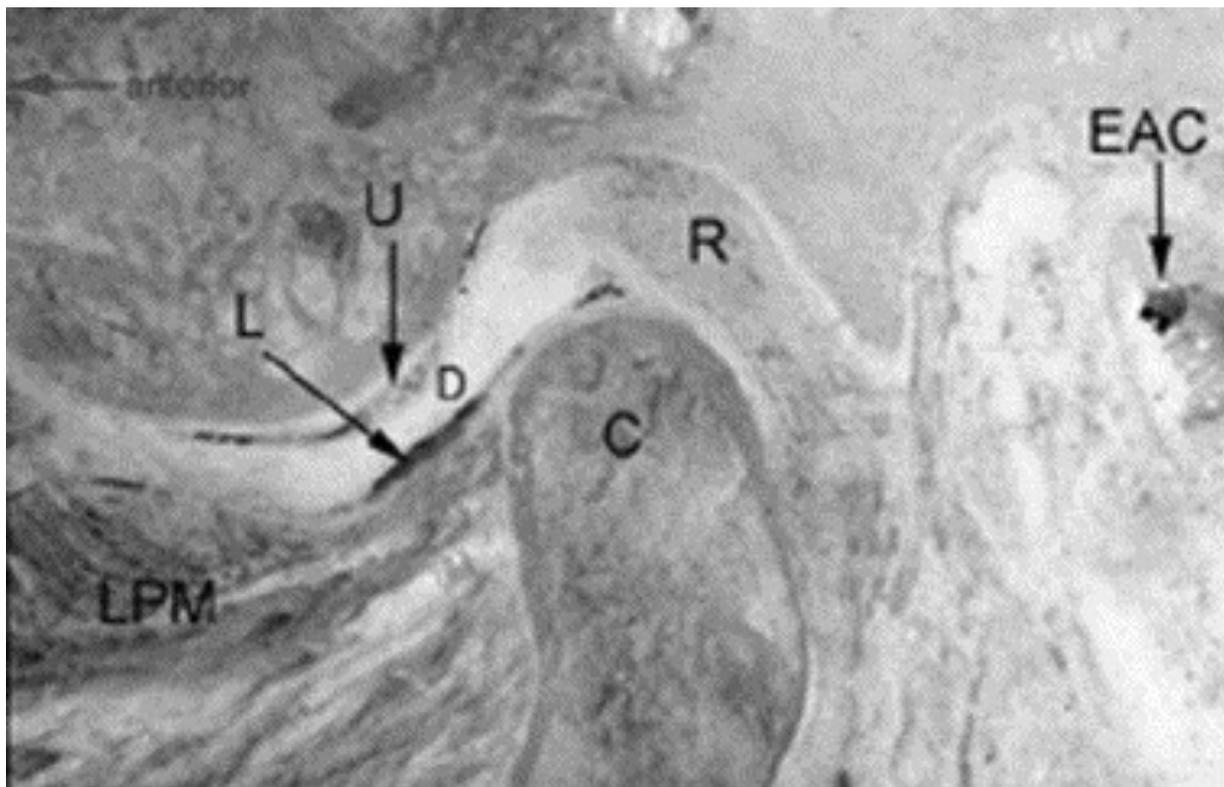


Abb.1 - Kiefergelenk im Saggitalschnitt – Das posteriore Band des Diskus (D) liegt über dem Kondylus. Der Diskus ist zwischen oberem (U) und unterem (L) Gelenkraum. R – retroartikuläre Gewebe, EAC – äußerer Gehörgang, LPM – M. pterygoideus lateralis (Sano, Yamamoto, Okano, Gokan, & Westesson, 2004, S.16)

Der Diskus ist innerhalb der Kapsel mit zwei Bändern, einem medianen und einem stärker ausgebildeten lateralen Ligament, auch als Kollateralligamente bezeichnet, am Gelenkköpfchen befestigt. Durch den seitlichen Ansatz der Bänder ist die Rotationsbewegung des Kiefergelenkköpfchens möglich. Sagittal gesehen sichern das disco-temporale Ligament und das disco-kondyläre Ligament den Diskus und bilden das obere Band bzw. das untere Band der bilaminären Zone des

retroartikulären Polsters. Das disco-temporale Band hat seinen Ursprung in der bereits beschriebenen Fossa petrotympanica und kann daher in Gelenkpathologien eine Rolle spielen.

Die retroartikulären Strukturen beinhalten zwischen den beschriebenen Ligamenten ein hochvaskularisiertes retroartikuläres Polster. Dieses dient zum hydrodynamischen Druckausgleich während der Translation, als hydrodynamischer Stellmechanismus zur Positionierung des Gelenkköpfchens und als hydrodynamischer Schutzmechanismus gegen dorsal wirkenden Kräfte.

Zum craniomandibulären System werden drei Muskeln gezählt, die nicht der eigentlichen Kaumuskulatur zu zuordnen sind. Dazu gehören der Musculus pterygoideus lateralis superior, der tiefe Kopf des Musculus masseter und in ca. 30-40 % der Menschen der vierte frontale Kopf des Musculus temporalis. Diese drei Muskeln dienen der Positionierung der Mandibula zur Eminentia articularis, der Abstandshaltung des Unterkiefers zum Oberkiefer und der Feinsteuerung der Zahnreihen zueinander (R Slavicek, 2000).

Generell entsprechen die Konstruktionsmerkmale des Kiefergelenks den Merkmalen der großen orthopädischen Gelenke, jedoch besitzt der Kondylus in der Fossa articularis des Kiefergelenks anstelle eines Gelenkspaltes einen Gelenkraum, der elastisch begrenzt wird:

- kranial durch Pars posterior des Discus articularis
- dorsal durch das retroartikuläre Polster
- kaudal durch Ligamente der Gelenkkapsel.

Gerd Christiansen bezeichnet ihn als funktionellen Gelenkraum und definiert diesen als „die Diskrepanz der Spaltweite zwischen belastetem und unbelastetem Zustand“ (Christiansen, 2012).

Durch diesen Aufbau und die Funktion des Kiefergelenks unterscheidet es sich jedoch auch wesentlich von anderen Gelenken des Körpers.

Das Kiefergelenk ist mit 50-80 kPa möglicher Kraftaufnahme das am stärksten belastete Gelenk im menschlichen Körper.

Der Kondylus hat keine fixierte Rotationsachse, da die Kondylus-Diskuseinheit ein Gleitgelenk darstellt. Die zwei Kiefergelenke sind über die Mandibula miteinander verbunden, so dass die Bewegung des einen Gelenks die Bewegung des anderen bedingt. Die Kauflächen als Kodeterminanten beeinflussen die Form und Bewegung des Gelenks (Fanghänel & Gedrange, 2007).

Es gibt eine deutliche Formvariabilität intra- und interindividuell bezüglich Fossa und Kondylus (Stamm, Hohoff, van Meegen, et al., 2004).

2.2. Kondylusverlagerung

2.2.1. Physiologische Kondylusverlagerung

Kondylusverlagerung bedeutet eine Positionsänderung des Kiefergelenkkondylus in der Fossa articularis von einer Ruheposition, im Sinne einer okklusionsunabhängigen zentrischen Kondylenposition, zu einer okklusionsdiktierter Position unter maximaler Interkuspitation der Zahnreihen (Alexander, Moore, & DuBois, 1993; Cordray, 2006; Hoffman, Silverman, & Garfinkel, 1973; Ponces, Tavares, Lopes, & Ferreira, 2014; Utt, Meyers, Wierzba, & Hondrum, 1995). Es wurde nachgewiesen, dass bei fast allen Menschen die Position der Kiefergelenkskondylen in der Ruheposition und der maximalen Interkuspitation nicht übereinstimmen (Alexander et al., 1993; Cordray, 2006, 2016; Crawford, 1999; Henrikson, Nilner, & Kurol, 2000; Hoffman et al., 1973; Rosner, 1982; Wood & Korne, 1992).

Die zentrische Kondylenposition ist anatomisch determiniert und reproduzierbar (Cordray, 2006; Dawson, 1996; Williamson, 1977). Christiansen beschreibt die zentrische Kondylenposition als die Positionierung des Kondylus innerhalb seines funktionellen Gelenkraums (Christiansen, 2012).

Als „kranioventrale nicht seitenverschobene Position beider Kondylen bei physiologischer Kondylusdiskusposition und physiologischer Belastung der beteiligten Gewebstrukturen“ wird sie durch die deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde (DGZMK) definiert (Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde, 2005).

In der Referenzposition nach Slavicek befindet sich das Gelenk, wie auch in der zentrischen Kondylenposition, in einer okklusionsunabhängigen Position. Dabei positioniert sich das Kiefergelenkköpfchen in einer retralen Grenzposition, in der alle Strukturen unbelastet sind. Die Muskelaktivität ist in dieser Position minimal. Der Knorpel ist nicht druckbelastet und es findet kein Zug an den beteiligten Bändern des craniomandibulären Systems statt (R Slavicek, 2000).

Unter Okklusion der Zahnreihen kommt es meistens zu einer neuromuskulären Positionierung des Unterkiefers in der Position des maximalen Kontakts der Okklusion ohne Rücksicht auf die kondyläre Position. Die Position des Kiefergelenkkondylus kann von der Okklusion bestimmt werden (Barrera-Mora et al., 2012). Diese Feststellung wird auch von Bräunig in seiner Dissertation zum Thema der zentrischen Kondylenpositionsanalyse bestätigt (Bräunig, 2012). In ihrer Leitlinie von 2015 beschreiben Utz et al., dass die IKP beim vollbezahnten Menschen die Kondylenposition der Kiefergelenke in den Gelenkgruben, gegebenenfalls beeinflusst durch arthrogene und muskuläre Einflüsse, bei Kieferschluss festlegt (Utz, Hugger, Ahlers, & Seeher, 2015).

In der Literatur findet sich keine einheitliche Auffassung der physiologischen Kondylusposition. Stamm et al. weisen in ihrer systematischen Übersichtsarbeit von 2004 zum Thema der dreidimensionalen physiologischen Position des Kiefergelenkkondylus darauf hin, dass es bisher nur eine geringe Anzahl evidenter Fakten über die dreidimensionale physiologische Position des Kondylus gibt. Sie untersuchten 1903 Studien aus den Jahren 1899-2001. Die größte Zahl an Studien nutzt zweidimensionale Techniken, die die Autoren aufgrund der Vereinfachung der dreidimensionalen Struktur des Kiefergelenks als fragwürdig für eine therapeutische Positionierung des Kiefergelenkkondylus zur Fossa articularis einschätzen. Anhand ihrer Auswertung konnten sie einen historischen Umschwung von einer posterioren Position nach kranioventral ausmachen, den sie auf einen „publication bias“ zurückführen. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass die Studien mit der höchsten Evidenz keine spezifische Position herausstellen (Stamm, Hohoff, Van Meegen, & Meyer, 2004).

2.2.2. Kondylusposition und TMD

Die Korrelation von Kondylusposition, sowie Zeichen und Symptomen der temporomandibulären Dysfunktion werden in der Literatur kontrovers diskutiert (Bonilla-Aragon, Tallents, Katzberg, Kyrkanides, & Moss, 1999; Ikeda, Kawamura, & Ikeda, 2011; Robinson de Senna, Marques, França, Ramos-Jorge, & Pereira, 2009). Auch die Verbindung zwischen Kondylusposition und Internal Derangement wird erörtert (Bonilla-Aragon et al., 1999; Paesani, Westesson, Hatala, Tallents, & Kurita, 1992; Ren, Isberg, & Westesson, 1995; Vasconcelos Filho et al., 2007).

In einer Fall-Kontroll-Studie an 30 prothetisch voll rekonstruierten Patienten und einer Kontrollgruppe von 30 unbehandelten Probanden belegten Crawford et al., dass die kondyläre Position von der Okklusion diktiert wird und statistisch signifikant mit dem Auftreten von TMD Symptomen korreliert (Crawford, 1999).

Sie haben, wie auch viele weitere Studien eine posteriore Kondylusposition unter Okklusion mit einer temporomandibulären Dysfunktion assoziiert (Crawford, 1999; Fernández Sanromán, Gómez González, & Alonso del Hoyo, 1998; Incesu, Taşkaya-Yilmaz, Oğütçen-Toller, & Uzun, 2004; Otsuka et al., 2011; Pullinger, Solberg, Hollender, & Guichet, 1986; Rammelsberg, Jäger, & Duc, 2000; Toll, Popović, & Drinkuth, 2010; Weinberg, 1979). In zahlreichen Studien wird eine Assoziation zwischen einer posterioren Kondylenposition und einer anterioren Diskusverlagerung hergestellt (Bonilla-Aragon et al., 1999; Gateno et al., 2004; Ikeda et al., 2011; Incesu et al., 2004; Kurita, Ohtsuka, Kobayashi, & Kurashina, 2001).

Bonilla-Aragón et al. untersuchten im Rahmen einer Fall-Kontroll-Studie 130 Patienten mit einer Schmerzsymptomatik im Bereich des Kiefergelenks in Ruhe und/oder bei Bewegung sowie 52 asymptotische Freiwillige hinsichtlich einer vorhandenen oder nicht vorhandenen Diskusverlagerung und der Position der Kondylen in den Fossae der Kiefergelenke. Die Autoren konnten bei symptomatischen Patienten mit einer Diskusverlagerung eine signifikant höhere Wahrscheinlichkeit darstellen auch einen distal positionierten Kondylus zu haben, als bei einer Kontrollgruppe von asymptotischen Freiwilligen (Bonilla-Aragón, Tallents, Katzberg, Kyrkanides, & Moss, 1999).

Anhand einer Untersuchung von 122 Kiefergelenk-MRTs an 61 Patienten bezüglich Kondylenposition, Veränderung des Diskus und anteriorer Diskusverlagerung stellten Incesu et al. eine posteriore Kondylusposition als Hauptmerkmal bei leichten bis mittleren Diskusverlagerungen fest (Incesu et al., 2004).

Yang et al. suggerieren in ihrer Veröffentlichung von 2013, dass der Kondylus-Diskuskomplex und die umgebenden Gewebe bei einer posterioren Kondylenposition eine stärkere physikalische Belastung erfahren als in anderen Positionen. Daraus schlussfolgern sie, dass diese Position einen verstärkenden Effekt bei belastungsverursachten temporomandibulären Dysfunktionen unter parafunktionellen Aktivitäten haben kann (Yang et al., 2013).

Eine anhaltende pathologische Verlagerung des Kondylus kann zu einer degenerativen Veränderung der verschiedenen Strukturen des temporomandibulären

Gelenks führen. Dies kann aufgrund der Funktion des Kiefergelenks als eines der chondrogenen Wachstumszentren des Körpers weitreichende Folgen haben (Fanghänel & Gedrange, 2007).

Tanaka et al. beschreiben, dass die degenerativen Alterationen auf einem pathologischen Remodelling beruhen. Dieses wird durch eine verminderte Adaptationskapazität der artikulierenden Gewebe und ein funktionelles Überstrapazieren, das die normalen adaptiven Kapazitäten biologischer Strukturen überschreitet, verursacht (E. Tanaka et al., 2005). Durch eine Überlastung des Kiefergelenks bei Parafunktion kann eine graduelle adaptive Anpassung bei Überschreiten eines bestimmten Schwellenwertes in eine Osteoarthritis des Gelenks übergehen (Zarb & Carlsson, 1999).

In kieferchirurgischen Nachuntersuchungen der orthognathen Chirurgie wurde festgestellt, dass eine Fehlpositionierung des Kondylus Resorptionserscheinungen hervorrufen kann (Wolford, Karras, & Mehra, 2002; Wolford, Reiche-Fischel, & Mehra, 2003).

In aktuellen Studien konnte anhand von histologischen Untersuchungen an Hasen nachgewiesen werden, dass nach einer unilateralen Kompression, die durch Aufbisse von 1 mm Höhe auf den Oberkiefer- und Unterkiefermolaren induziert wurde, die Veränderung der Belastung des Gelenks zu kondylärer Schädigung führt. Die Autoren konnten beweisen, dass abnormale Belastung zu einer verhärteten Knorpelstruktur führte, indem es zu einem nahezu kompletten Verlust der subchondralen Schicht des Knorpels vom Kondylus vor allem in den posterioren Regionen der kontralateralen Seiten des Kondylus kam. Diese Verhärtung des Knorpels wurde von einem weiteren Verlust definierter Zellschichten begleitet, wobei anschließend nur noch eine fibröse Schicht auf dem Kondylus zu finden war. Interessanterweise konnten sie jedoch auch nachweisen, dass die erhöhte Belastung nicht zu einer Veränderung der Knorpelstruktur des Diskus führte. Dementsprechend bezieht sich die in ihrer Studie herausgefundene Veränderung nur auf den Knorpelanteil des Kondylus.

Dennoch erklären die Autoren, dass die erhöhte Friktion der beteiligten Strukturen möglicherweise auch zu einer Verlagerung des Diskus führen kann. Die von diesem Forscherteam gezeigten Veränderungen sind bereits sehr kurzfristig nach einer Veränderung der Okklusion, sie beziehen sich auf einem Zeitraum von 6 Wochen, nachweisbar. In bildgebender Diagnostik (MRT, CT) würde man diese

Veränderungen nach so kurzer Zeit jedoch noch nicht wahrnehmen können (Henderson, Lowe, Tudares, Gold, & Almarza, 2015).

2.2.3. Kondylenpositionsanalyse

Die Kondylenpositionsanalyse dient der Beurteilung von Abweichungen vom Normbereich bezüglich der Positionierung der Kondylen im Gelenkraum, sowie zur Bewertung der Unterkieferposition. Therapeutische Unterkieferpositionen und Änderungen der Positionierung des Unterkiefers im Laufe der Therapie können erfasst werden (Utz et al., 2015).

Traditionell wurden zur Bestimmung der Kondylusposition in der Fossa articularis des Kiefergelenks Tomographien genutzt um die Struktur und das Verhältnis des Kondylus zur Fossa darzustellen. Vor allem ältere Studien nutzen transkraniale Röntgenaufnahmen des Kiefergelenks zur Evaluierung der Kondylusposition (Ismail & Rokni, 1980; Mikhail & Rosen, 1979; Mongini, 1977; Weinberg, 1973, 1979, 1983). Bereits damals wurde jedoch in der Literatur Zweifel an der Reliabilität dieser Methode zur Auswertung der Kondylusposition geäußert.

Aquilino et al. untersuchten anhand eines Schädels unterschiedliche transkraniale Kiefergelenksröntgenaufnahmen und kamen zu dem Schluss, dass die Position der Kiefergelenkskondylen in den Fossae nicht akkurat aufgenommen und verlässlich ausgewertet werden können (Aquilino, Matteson, Holland, & Phillips, 1985).

In der aktuellen Leitlinie der deutschen Gesellschaft für Funktionsdiagnostik und Therapie werden sie neben anderen herkömmlichen Röntgentechniken als ungeeignet für die exakte Diagnostik der Kondylusposition eingeschätzt (Utz et al., 2015).

Auch die Magnetresonanztomographie, die in der Bewertung von Diskusverlagerungen als Goldstandard gilt (Bernhardt & Meyer, 2014; Sano et al., 2004), wird in der Leitlinie als nur eingeschränkt genau in Bezug auf die Positionsbestimmung der Kondylen bewertet, da die Bildauflösung unter Umständen allein zur präzisen Bestimmung der Position nicht ausreicht. Die Leitlinie empfiehlt den Einsatz bildgebender Verfahren bei der Positionsbeurteilung der Kiefergelenkskondylen nur im Rahmen klinischer Forschung. In der Praxis werden

funktionelle Verfahren, wie der Mandibula-Position-Indikator (MPI)/ Kondylen-Positionenindikator (CPI) oder die Kondylographie empfohlen (Utz et al., 2015).

Der MPI/CPI ist ein Instrument, das am Artikulator angebracht wird. Es wird genutzt um die Position der Kondylen in den drei Ebenen aufzuzeichnen. Das Gerät misst die Unterschiede der Position der Artikulatorachsen, die die Scharnierachse der Mandibula repräsentieren, zwischen zentrischer Kondylenposition (ZKP) und maximaler Interkuspitation (IKP). Die Scharnierachse der Mandibula kann als eine gedachte Linie zwischen zwei Rotationszentren, den Kondylen, verstanden werden, sodass jede Veränderung der Achsenlokalisierung eine Veränderung der Kondylenposition indiziert (Crawford, 1999). In seiner Arbeit über die Bestimmung der Kondylenposition von MRT und MPI/CPI im Vergleich, befanden Alexander et al. den MPI/CPI als präzise Bestimmung der kondylären Position (Alexander et al., 1993).

Christiansen stellt die Kondylographie als „Mikroskop des Funktionstherapeuten“ dar. Er erläutert den hohen Nutzwert der Kondylographie in Beantwortung der Fragestellung wo der Kondylus bei Einnahme des Zusammenbisses in Bezug zu seiner Sollposition steht und ob diese gegebenenfalls vorhandene Malposition für einen nichtphysiologischen Bewegungsablauf verantwortlich sein kann (Christiansen, 2012).

Kondylographien werden bereits seit Ende des 19. Jahrhunderts durchgeführt. Erste Aufzeichnungen der Unterkieferbewegung gab es 1896 durch Ulrich und Walker. (Piehslinger, Celar, Celar, & Slavicek, 1991)

Es gibt unterschiedliche Verfahren der elektronischen Aufzeichnung der Unterkieferbewegung (Edinger, 2001):

1. elektromechanische
2. optoelektronische
3. Ultraschallbasierte
4. magnetische Messsysteme

Man unterscheidet zwischen gelenkfernen und gelenknahen Aufzeichnungen. Das Prinzip der scharnierachsbezogenen Aufzeichnung wurde von Campion 1902 als gelenknahe Aufzeichnung definiert (Piehslinger et al., 1991).

Überlegungen zur Scharnierachse gab es erstmals 1860 durch Langer, der einstellbare Nadeln nutzte, um die reine Rotationsposition an den Kondylen von Leichen darzustellen (Tuppy, Celar, Celar, Piehslinger, & Jäger, 1994).

Mit der elektronischen Kondylographie können gleichzeitig Scharnierachsbewegungen in alle drei Raumrichtungen (X, Y, Z) gemessen und aufgezeichnet werden (R Slavicek, 1988). Damit ist es möglich die Kondylenbewegungen, die Gelenkgeräusche und die Momente des Auf- und Abspringens des Diskus aufzunehmen und anschließend digital zu reproduzieren und sie zu analysieren (Marpaung, Kalaykova, Lobbezoo, & Naeije, 2014). Die elektronische Kondylographie ermöglicht Aufzeichnungen der Unterkieferbewegung bei spezifischen aktiven und manipulierten Bewegungen. Auch okklusionsbegründete Kondylusverlagerungen können dargestellt werden (Bumann & Lotzmann, 2000). Durch den Vergleich von Messkurven gesunder Probanden und Patienten mit einer temporomandibulären Dysfunktionssymptomatik konnte eine Klassifikation zur Differentialdiagnose entwickelt werden.

In ihrer Kondylographiestudie an 197 Patienten bezüglich der Korrelation von klinischen Befunden einer temporomandibulären Dysfunktion und Messkurven beschreiben Kordass et al., dass die Aufzeichnung der Kondylusbewegung mittels einer Kondylographie das Risiko des Vorhandenseins einer mittelschweren oder schweren craniomandibulären Dysfunktion deutlich aufzeigt und dieses auch bei Nichtbekanntsein aufdecken kann. Sie geben an, dass durch die Analyse von Kondylenbahnaufzeichnungen im Sinne einer Kondylographie statistisch gesicherte Rückschlüsse auf das Risiko des Auftretens von CMD Symptomen möglich ist (Kordass, Hugger, & Bernhardt, 2012).

Auch Slavicek bezeichnet die Früherkennung einer subklinischen Diskopathie und die Erkennung von Faktoren, die eine temporomandibuläre Dysfunktion verursachen können, als wertvollste Eigenschaft der Kondylographie (R Slavicek, 1988).

Mit der Bestimmung von patientenindividuellen Gelenkwerten wie zum Beispiel des sagittalen und transversalen Kondylenbahnwinkels und des Bennetwinkels kann die instrumentelle Bewegungsanalyse zudem zur Programmierung der Artikulorgelenke genutzt werden (Bumann & Lotzmann, 2000).

Jedoch können die durch bruxistische Aktivitäten verursachten Schliiffacetten häufig selbst im programmierten Artikulator nicht eindeutig nachvollzogen werden. Slavicek begründet dies durch eine mediale Positionierung des Diskus durch die Muskulatur und externe Faktoren, ähnlich eines Kissens, wodurch eine veränderte Unterkieferbewegung produziert wird. Die Nutzung dieser Facetten während der kondylographischen Aufzeichnung kann Hinweise auf die Bewegung des

Unterkiefers geben, die die Abnutzung der Zahnschubstanz hervorruft. Es können zudem elektronische MPI Koordinaten aufgezeichnet werden, um die Position während des Bruxens zu erfassen. Der Patient kann angewiesen werden Bruxismusbewegungen nachzuahmen, um distraktive und kompressive Bewegungsmuster zu erfassen, wenn die Schliiffacetten genutzt werden (R Slavicek, 1988).

2.2.4. Grenzwert Kondylusverlagerung

Christiansen studierte in seinen Untersuchungen zum funktionellen Gelenkraum mit Hilfe von optoelektronischen Untersuchungstechniken die passiven Bewegungskapazitäten des Kondylus in allen drei Raumebenen bei gesunden Probanden sowie bei 50 Patienten mit einer craniomandibulären Dysfunktion. Dabei fand er heraus, dass bei gelenkgesunden Probanden die maximale Entfernung vom Ausgangspunkt zwischen 0,6-0,8 mm sowohl in dorsokranieler, als auch transversaler Richtung liegt. In der Patientengruppe mit einer craniomandibulären Dysfunktion fanden sich deutlich veränderte Bewegungsweiten, die alle außerhalb des vorab definierten Normbereichs lagen.

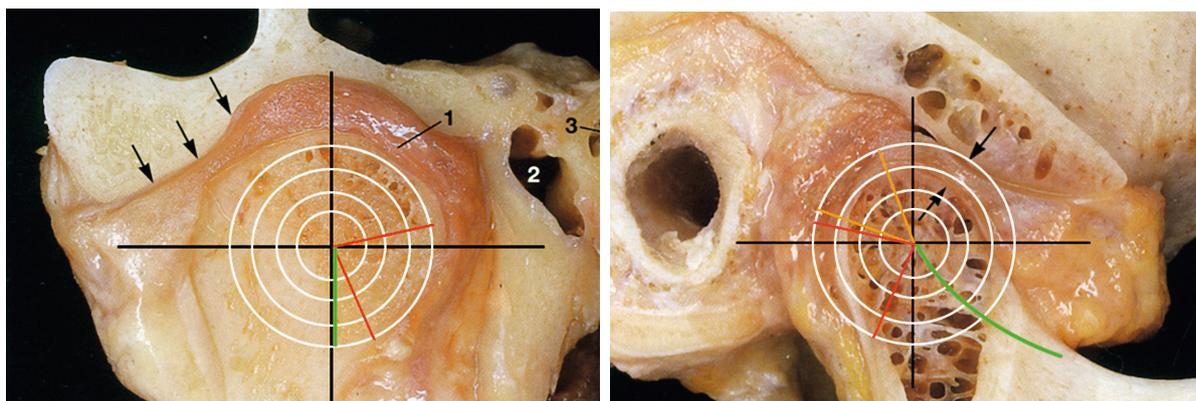


Abb. 2a/2b - frontale (a = links) und sagittale (b = rechts) Ansicht der passiven Bewegungskapazität des Kondylus (Christiansen, 2010)

Christiansen erklärt diesen Befund bei den Patienten mit einer CMD Symptomatik mit einem gelockerten Bandapparat. Er schließt aus seiner Studie, dass es beim funktionsgesunden Patienten einen definierten funktionellen Gelenkraum gibt. Treten

pathologische Veränderungen der Kondylus-Diskus-Einheit auf, kommt es zu abweichenden Werten vom definierten funktionellen Gelenkraum. Christiansen geht davon aus, dass eine okklusionsbedingte Veränderung auch eine primäre Ursache einer craniomandibulären Dysfunktion darstellen kann (Christiansen, 2010).

In Untersuchungen anhand von einartikulierten Modellen in zentrischer Kondylenposition und maximaler Interkuspitation mit Hilfe des Kondylenpositionsindikator (CPI) wurden die Tendenzen einer Veränderung des funktionellen Gelenkraums im Vergleich von asymptomatischen zu symptomatischen Patienten von Cordray et al. bestätigt. In einer Studie an 596 asymptomatischen und 596 Patienten mit einer temporomandibulären Dysfunktionssymptomatik stellten sie deutlich höhere Distanzen der Kondylusverlagerung in der horizontalen, vertikalen und transversalen Ebene bei den symptomatischen Patienten fest. Sie nutzten als klinisch relevante Grenzwerte $>1,6\text{mm}$ in der Horizontalen, $>2\text{mm}$ in der Vertikalen und $>0,5\text{ mm}$ in der Transversalen (Cordray, 2016). Dabei bezogen sie sich wie auch andere Studien (Cordray, 2006, 2016; Crawford, 1999; Hidaka, Adachi, & Takada, 2002; Ponces et al., 2014; Utt et al., 1995) zur Untersuchung der Kondylusverlagerung mit Hilfe des CPI auf eine Untersuchung von Dr. Brian Wong, die von Crawford et al. und Utt et al. aus einer persönlichen Kommunikation zitiert wurde. Dieser untersuchte 250 Patienten ohne Vorbehandlung und fand $0,7\text{ mm}$ in der Sagittalen, 1 mm in der Vertikalen und $0,3\text{ mm}$ in der Transversalen als Durchschnittswerte für die Verlagerung von ZKP zur IKP. Utt et al. befanden die Verdoppelung der von Dr. Wong untersuchten normalen Werte als klinisch relevant (Crawford, 1999; Utt et al., 1995).

Crawford et al. nutzten 1mm in der Horizontalen und Vertikalen und $0,5\text{mm}$ in der Transversalen als kritische Grenze für die CPI Messungen in ihrer Studie bezüglich Zeichen und Symptomen einer temporomandibulären Dysfunktion (Crawford, 1999).

Deutlich kleinere Werte ergab eine Studie von Hoffmann et al. Sie untersuchten 52 asymptomatische Probanden und fanden Durchschnittswerte von $0,28\text{ mm}$ in der Sagittalen, $0,26\text{ mm}$ in superiorer Richtung und $0,24\text{ mm}$ in inferiorer Richtung in der Vertikalen und $0,1\text{ mm}$ in der Transversalen (Hoffman et al., 1973).

Um eine objektivierbare Relation zwischen Kondylusverlagerung und klinischer Symptomatik der Probanden herzustellen, nutzten Otsuka et al. Funktionsmagnetresonanztomographien und speziell hergestellte Schienen, die den Unterkiefer und somit auch die Kondylen beim Zusammenbiss von Ober- und

Unterkiefer in eine vorher kondylographisch bestimmte spezifische retrale Position brachten. Die Autoren fanden anhand von Untersuchungen an 12 Probanden heraus, dass es bei Bruxismus in einer retralen Kondylenposition auch beim gesunden Probanden zu einer signifikanten Erhöhung des Signals im Bereich des präfrontalen Kortex und der Amygdala kommt. Daraus zogen sie die Schlussfolgerung, dass Knirschen kombiniert mit einer Malokklusion, die eine posteriore Verlagerung des Kondylus zur Folge hat, zu einer emotionalen und/oder schmerzbehafteten neuralen Prozessierung im Gehirn führt (Otsuka et al., 2011).

In einer anknüpfenden Studie, die 12 weiteren Probanden umfasste, konnten Greven et al. nachweisen, dass eine Verstärkung der Verlagerung des Kondylus in posteriorer Richtung auch zu einer verstärkten Aktivierung des präfrontalen Kortex führt. Die Verstärkung der Aktivierung löste eine Intensivierung des unangenehmen Gefühls im Probanden aus. Die Autoren bezogen sich dabei auf eine kondylographisch bestimmte Verlagerung des Kondylus von 0,5 und 0,7 mm in retrokranialer Richtung (Greven et al., 2011).

2.3. Bruxismus

Im Ergebnis einer internationalen Konsensuskonferenz um Lobbezoo et al. ist Bruxismus als eine repetitive Kiefer- und Muskelaktivität beschrieben, die durch Pressen oder Knirschen der Zähne und/oder einer Verspannung oder eines Vorstoßens des Unterkiefers gekennzeichnet ist. Bruxismus hat einen spezifischen Tag-Nacht-Rhythmus, der in einen Schlafbruxismus und einen Wachbruxismus unterschieden wird (Lobbezoo et al., 2013).

Mit einer Prävalenz von 10% in der Bevölkerung ist Bruxismus einer der möglichen Gründe für Schmerzen im Bereich des Kiefergelenks als Symptom einer temporomandibulären Dysfunktion und Abnutzung der Zahnschicht in Form von Attrition. Dabei spielt eine Überlastung des mastikatorischen Systems durch den Bruxismus unter Umständen eine wichtige ätiologische Rolle bei der Entstehung der temporomandibulären Dysfunktion (Lobbezoo, van der Zaag, Visscher, & Naeije, 2004).

In den letzten Jahren haben sich die Ansichten bezüglich der Ätiologie vor allem des Schlafbruxismus deutlich gewandelt. Ging man früher noch davon aus, dass der

Schlafbruxismus hauptsächlich durch mechanische Faktoren wie zum Beispiel okklusale Fehlkontakte oder psychische Ursachen wie Stress verursacht wird, vermuten neuere Forschungen eine multifaktorielle Ätiologie und komplexe multisystemische physiologische Prozesse bei der Entstehung (Klasser, Rei, & Lavigne, 2015).

Während des Schlafens werden sowohl bei Bruxismuspatienten als auch bei normalen Probanden rhythmische mastikatorische Muskelaktivitäten (RMMA) beobachtet. Dabei unterscheiden sich die Häufigkeiten. In 60% der normalen Probanden und 80% der Bruxismuspatienten konnten in einer Studie von Lavigne et al. an insgesamt 115 Patienten, davon 33 Bruxismuspatienten, RMMAs festgestellt werden. Die Häufigkeit des Auftretens von RMMAs in normalen Probanden lässt die Autoren vermuten, dass diese Aktivitäten mit bestimmten physiologischen Schlafprozessen, unter anderem einer autonomen Aktivierung zusammenhängen.

Vergleiche des Schlafs bei den Probanden mit und ohne RMMAs zeigen, dass diese nicht mit einer Schlafunterbrechung einhergehen und damit eher eine natürliche muskuläre Aktivität während des Schlafes sind. Vergleicht man jedoch die Bruxer mit den gesunden Probanden, haben die Bruxer deutlich mehr RMMAs sowie pro RMMA mehr Aktivität mit einer höheren Amplitude und kürzerer Dauer (Lavigne et al., 2001). Zum gleichen Ergebnis, dass RMMAs sowohl bei Bruxismuspatienten, als auch bei asymptomatischen Probanden auftreten, kommen auch Sjöholm et al. in ihrer Studie an 23 diagnostizierten Schlafbruxismuspatienten und 6 asymptomatischen Kontrollprobanden. Sie fanden rhythmische und phasische Muskelkontraktionen des Musculus Masseter in 94% der Bruxismuspatienten und 88% der Kontrollen. Sie vermuten, dass die Stärke der Beißkraft der Hauptfaktor für schädigende Prozesse am mastikatorischen Apparat ist und schlagen vor, die Amplitude und Dauer der RMMAs zur Diagnostizierung eines Bruxismuspatienten zu verwenden (Sjöholm, Lehtinen, & Helenius, 1995).

Nishigawa et al. stellten fest, dass die Kräfte, die beim Schlafbruxismus entstehen, die Kräfte eines tagsüber freiwillig ausgeführte Pressens übersteigen können (Nishigawa, Bando, & Nakano, 2001). Zusätzlich scheinen neuromuskuläre Schutzmechanismen, die tagsüber aktiv sind, nachts unterdrückt zu sein. (Yap & Chua, 2016).

Spezifische Auswirkungen des Bruxismus können dementsprechend nicht physiologische Folgen haben, sowie z.B. primäre und sekundäre okklusale Traumata,

Frakturen der Zähne, Zahnwanderungen und die temporomandibuläre Dysfunktion. Dennoch sollten Zahnärzte laut Sato et al. Bruxismus nicht als pathologische, sondern eher als natürliche, physiologische Funktion des mastikatorischen Organs ansehen. Nach Sato ist Bruxismus eine Art Notausgang in psychischen Überlastungsperioden (Sadao Sato, 2001).

Sato und Slavicek bezeichnen die Wiederherstellung der Funktion des Kauorgans als Stressabbauventil als wichtigste Aufgabe der Okklusionsmedizin (S Sato & Slavicek, 2009).

In Tierstudien an Ratten konnte herausgefunden werden, dass die Entstehung von Magengeschwüren mit Bruxismus direkt negativ korreliert. Das bedeutet, je mehr stress-induzierter Bruxismus auftritt, desto weniger pathologisch sind die Magengeschwüre (C. Sato et al., 2010). Weiterhin verringert laut Tanaka et al. starkes Beißen bei Ratten in einer Stresssituation die Noradrenalin-Ausschüttung der Amygdala im Vergleich zu einer Gruppe, die nicht beißen konnte signifikant. Auch sie konnten den gleichen Zusammenhang zwischen Bruxismus und Magengeschwüren herstellen (T. Tanaka, Yoshida, Yokoo, Tomita, & Tanaka, 1998).

2.4. Skelettale Klasse

Nachdem das Fernröntgenseitenbild um 1931 durch Broadbent in den USA und Hofrath in Deutschland eingeführt wurde, hat es sich bis heute als fester Bestandteil in der Diagnostik und Therapieevaluation vor allem in der Kieferorthopädie etabliert. In der Cephalometrie werden die Röntgenbilder durch das Setzen von spezifischen Referenzpunkten vermessen und die erhaltenen Strecken- und Winkelwerte mit statistischen Daten eines Gesamtkollektivs abgeglichen, um damit den Einzelpatienten individuell bewerten zu können (R Slavicek, 2000).

Die anteroposteriore Beziehung zwischen den skelettalen Basen der Kiefer ist eines der wichtigsten diagnostischen Kriterien in der Kieferorthopädie (Han & Kim, 1998). Zur Bestimmung der skelettalen Klasse bzw. der anteroposterioren Beziehung der Mandibula und Maxilla zueinander können unterschiedliche Winkel und Markierungen genutzt werden. Der ANB-Winkel als erster Winkel zur Bestimmung mittels Fernröntgenseitenbildanalyse wurde von Riedel 1952 eingeführt (Riedel, 1952) und ist der am meisten genutzte Indikator zur Feststellung der skelettalen

Klasse (Oktaý, 1991). Die WITS-Analyse wurde 1975 von Jacobsen vorgestellt (Jacobson, 1975). Weitere Analysen sind die AF-BF-Distanz von Chang (Chang, 1987), App-Bpp von Nanda und Merrill (Nanda & Merrill, 1994), der β -Winkel von Baik und Ververidou (Baik & Ververidou, 2004) und der APDI von Kim und Vietas (Kim & Vietas, 1978).

Bisher gibt es keinen Goldstandard bezüglich der Parameter, die zur Bestimmung der skelettalen Klasse herangezogen werden können (Han & Kim, 1998; Ishikawa, Nakamura, Iwasaki, & Kitazawa, 2000; Moyers, Bookstein, & Guire, 1979; Oktaý, 1991).

In der Literatur wird eine Verbindung von mehreren Parametern empfohlen, da die Einzelwerte sich gegenseitig aufgrund ihrer unterschiedlichen geometrischen Basis gegenseitig ergänzen und damit geometrische Distorsionen aufwiegen (Ishikawa et al., 2000; Joshi, Hamdan, & Fakhouri, 2014; R Slavicek, 2000).

Ishikawa et al. untersuchten in ihrer Studie anhand von prä- und postpubertalen Fernröntgenseitenbildern von 44 japanischen Probanden sieben Parameter, die die anteroposteriore Beziehung der skelettalen Basen zueinander beschreiben und stellten fest, dass die gemeinsame Nutzung von ANB-Wert, Wits-Wert und APDI eine klinisch anwendbare Methode zur Ermittlung der skelettalen Klassen darstellt (Ishikawa et al., 2000).

Um die Verbindungen zwischen ANB, WITS, AF-BF und APDI zu untersuchen, analysierte Oktaý 145 Fernröntgenseitenbilder. Der Autor kam zu dem Schluss, dass statistisch gesehen eine hohe Korrelation zwischen den Werten besteht (Oktaý, 1991).

Nach Slavicek werden 6 unterschiedliche kephalometrische Werte bestimmt, die in einer Summationsanalyse verglichen mit statistischen Bezugswerten - basierend auf der Rasse, dem Geschlecht und dem Alter des Patienten, die skelettale Klasse der Kiefer des jeweiligen Patienten definieren. Mandibula und Maxilla werden als skelettale Basen einzeln betrachtet und in Zusammenhang zu Bezugsebenen des Schädels und ihrer relativen Lage zueinander gebracht (R Slavicek, 2000).

Die rassen- und geschlechtsspezifische Auswertung wird auch von Joshi et al. empfohlen, um eine möglichst hohe Präzision bei der Bestimmung der skelettalen Klasse zu erreichen (Joshi et al., 2014).

2.4.1. Verteilung der skelettalen Klassen

In seiner Habilitationsschrift untersuchte Slavicek 2275 unbehandelte Probanden und stellte folgende Verteilung der skelettalen Klassen in seinem Probandengut fest. 51,8% der untersuchten Probanden waren skelettale Klasse II, womit diese die größte Klasse der skelettalen Klassen ist. Die Skelettale Klasse III war mit 11% die kleinste Gruppe, skelettale Klasse I folgte mit 37,2% (R Slavicek, 1984).

Trotz dieses sehr heterogenen Schädelaufbaus in der Bevölkerung scheint es laut Slavicek eine starke Tendenz des Organismus zu geben, in dentaler Klasse I der Angle Klassifikation zu okkludieren. Er beschreibt, dass die Angle Klasse I die Zähne aus sagittaler Sicht am besten verzahnt und in dieser Verzahnungsvariante oberer und unterer Zahnbogen gut harmonisieren (R Slavicek, 2000).

Die Einteilung nach Angle beschreibt das Zusammentreffen des ersten Molaren von Oberkiefer und Unterkiefer in sagittaler Ansicht zueinander. In der Klasse I verzahnt der mesiobukkale Höcker des oberen ersten Molaren in die Fissur zwischen mesialem und distalen Höcker des unteren ersten Molaren. In der Klasse II ist der mesiobukkale Höcker des ersten oberen Molaren mesial der bukkalen Fissur des ersten unteren Molaren, in Klasse III distal der bukkalen Fissur des ersten unteren Molaren positioniert (Angle, Edward H., 1899).

Slavicek führt aus, dass der Mensch während seines Wachstums trotz der Verschiedenartigkeit der skelettalen Bedingungen eine optimale Verzahnung in Angle Klasse I oder zumindest eine Annäherung an diese mit verschiedenen Kompensationsmechanismen zu erreichen versucht (R Slavicek, 2000).

Aufgrund der Tendenz des Organismus in dentaler Klasse I zu funktionieren unterscheidet sich die Verteilung der dentalen Klassen deutlich von der Verteilung der skelettalen Klassen innerhalb der Bevölkerung.

In ihrem Review 2014 zur skelettalen Malokklusion werteten Joshi et al. Studien von 1907 bis 2001 aus. Sie konnten zeigen, dass die durchschnittliche Verteilung der dentalen Klassen, hinsichtlich der Angle Klassifizierung, 68,7 % Klasse I, 20,9 % Klasse II und 7,2% Klasse III ist. Vergleicht man die Verteilung der dentalen Klassen nach Angle mit der Verteilung der skelettalen Klassen in der Studie von Slavicek, ist festzustellen, dass ein deutlich höherer Anteil an dentaler Klasse I nach Angle mit 68,7% als an skelettaler Klasse I mit 37,2% (R. Slavicek, 1984) auftritt.

Dieser Umstand bestätigt die Aussage von Slavicek, dass es eine natürliche Tendenz des Organismus gibt in dentaler Klasse I der Angle Klassifikation zu okkludieren (R Slavicek, 2000).

2.4.2. Skelettale Klasse und Kondylusverlagerung

Hidaka et al. untersuchten in ihrer Studie an 150 kieferorthopädischen Patienten mit Hilfe des CPI die Kondylusverlagerung zwischen zentrischer Kondylenposition und maximaler Interkuspidation. Dabei erfassten sie unter anderem die Angle Klassifikation und den ANB Winkel der Patienten, der einen Hinweis auf die skelettale Klasse geben kann. Sie fanden heraus, dass weder Angle-Klassifizierung noch ANB Winkel einen Hinweis auf die Häufigkeit, Größe und Richtung der kondylären Verlagerung geben kann (Hidaka et al., 2002). Zum gleichen Ergebnis kamen Utt et al. in ihrer MPI-Studie an 107 kieferorthopädischen Patienten. Auch sie konnten keinen statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen Angle Klassifizierung, ANB Winkel und der Größe der Kondylusverlagerung herstellen (Utt et al., 1995).

3. Zielstellung

Das Ziel der Arbeit ist die Klärung der Fragestellung, ob Patienten mit einer skelettalen Klasse II eine höhere Prädisposition für eine Verlagerung des Kondylus über den Schwellenwert unter bewusster bruxistischer Aktivität haben als Patienten anderer skelettaler Klassen.

Dazu sollen folgende Fragen beantwortet werden:

1. Wie ist die Verteilung der skelettalen Klassen in unserer Kohorte?
2. Haben Patienten mit einer Unterkieferrückverlagerung im Sinne einer skelettalen Klasse II eine höhere Wahrscheinlichkeit für eine Verlagerung des Kondylus über dem Schwellenwert?
3. Gibt es einen statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen einer Verlagerung des Kondylus über dem Schwellenwert und der skelettalen Klasse unter bruxistischer Aktivität?
4. Wie beeinflussen andere Parameter wie zum Beispiel Alter und Geschlecht in Verbindung mit der skelettalen Klasse die Prädisposition einer Kondylusverlagerung über dem Schwellenwert?

4. Material und Methoden

4.1. Patientengut

Im Rahmen einer retrospektiven Studie wurden Daten von 385 bisher unbehandelten bzw. alio loco behandelten Patienten untersucht, die in mit VieSID zusammenarbeitenden, spezialisierten Praxen vorstellig wurden. In diesen Praxen werden die Patienten nach dem Konzept der Wiener Schule ständig dokumentiert. Das bedeutet, für alle Patienten wurden Hauptanliegen und allgemeinmedizinische und dentale Anamnese (Okklusalindex) dokumentiert, vergleichende Muskelpalpation, Hirnnervanalyse durchgeführt, extraorale und intraorale Fotos, sowie Modelle in maximaler Interkuspidation und Referenzposition hergestellt, eine elektronische Kondylographie durchgeführt und eine Panoramaschichtaufnahme sowie ein Fernröntgenseitenbild mit Bleikügelchen markierten Achsen aufgenommen.

Die Auswahl des Patientenkollektivs geschah zufällig auf Basis von allen Patienten, die in den mitarbeitenden Praxen und Instituten eine elektronische Kondylographie, bei der Protrusions- und Bruxismusbahn aufgezeichnet wurden, sowie ein FRS mit individueller Scharnierachspunktmarkierung erhalten haben. Die Kondylographie wurde mit dem Cadiax Diagnostik ® System der Firma Gamma mit individueller Scharnierachsbestimmung aufgezeichnet. Es gab keine weiteren Ausschlusskriterien. Die Gruppe stellt sich zusammen aus sowohl symptomatischen Patienten im Sinne einer temporomandibulären Dysfunktion, als auch aus Patienten, die im Rahmen größerer geplanter kieferorthopädischer und prothetischer Maßnahmen vordiagnostiziert wurden, um eine unerkannte Frühsymptomatik einer TMD auszuschließen.

Die Kohorte der 385 Patienten besteht aus 286 weiblichen und 99 männlichen Probanden im Alter zwischen 12 und 84 Jahren (siehe Tab. 1).

Tab. 1 - Alters- und Geschlechtsverteilung des Patientenguts

Altersklasse	m	w	m+w
10-19	16	25	41
20-29	15	60	75
30-39	24	72	96
40-49	30	76	106
50-59	8	31	39
60-69	5	17	22
70-79	1	4	5
>80		1	1
alle Altersklassen	99	286	385

4.2. Datenerhebung

Aus dem Archiv wurden alle Fälle herausgesucht, die den Kriterien, eine vollständige kondylographische Aufzeichnung mit Protrusions- und Bruxismusbahn und individueller Scharnierachsbestimmung, sowie ein FRS mit markierten Achspunkten und Orbitale zu haben, entsprachen. Dies traf auf 385 Patienten zu. Es gab keine weiteren Einschränkungen bezüglich Alter und Geschlecht der Patienten.

4.2.1. Kondylographie

Die vorliegenden kondylographischen Aufzeichnungen wurden mit Hilfe des Cadiax diagnostic® Systems der Firma Gamma, Klosterneuburg aufgezeichnet. Dies ist ein Verfahren der gelenknahen, scharnierachsbezogenen Aufzeichnung nach Prof. Rudolf Slavicek. Dabei wird ein Doppelbogensystem am Patienten angebracht. Der untere, in allen Ebenen adjustierbare, Bogen wird genutzt um Scharnierachsbewegungen der Mandibula mit Hilfe eines Doppelstylussystems auf die Messflaggen des oberen Gesichtsbogens zu übertragen. Der obere Gesichtsbogen trägt 2 sagittal ausgerichtete Flaggen zur elektronischen Messung

und zur Übertragung der individuellen Scharnierachse. Um eine Aufzeichnung von okklusionsnutzenden Funktionen, wie in diesem Fall der Bruxismusbahn, zu ermöglichen, wird ein paraokklusaler, das heißt nicht okklusionsbedeckender Löffel zur Befestigung des Unterkieferbogens genutzt. Dieser wird mit einem provisorischen Kunststoffmaterial an den Unterkiefer des Patienten angepasst und an den vestibulären Zahnflächen des Unterkiefers befestigt. Zu beachten ist, dass es dabei keine Störkontakte bei voller Interkuspitation und okklusionsnahen Seitwärtsbewegungen gibt, um eine interferenzfreie Unterkieferbewegung zu ermöglichen.

Durch das Doppelstylusystem wird eine Aufzeichnung der individuellen Scharnierachse ermöglicht. Die Bewegungsbahnen der Mandibula können in alle 3 Raumrichtungen (X-, Y-, Z-Achse) aufgezeichnet werden. Weiterhin kann durch den Doppelstylus eine Rotationsbewegung eindeutig von einer translatorischen Bewegung differenziert werden und ermöglicht damit eine präzise Ermittlung der individuellen Scharnierachse.

Zur Scharnierachsbestimmung wurde eine möglichst reine Rotationsbewegungsmessung bei nur leichter Öffnungsbewegung unter Kinnpunktkontrolle durchgeführt. Nach mehrfacher korrekter Verifizierung der individuellen Scharnierachse wurden alle Bewegungsbahnen gemäß einem Standardprotokoll nach VieSID-Richtlinien aufgezeichnet.

Für die spezielle Fragestellung dieser Dissertation wurden anschließend jedoch nur die Pro-/Retrusionsbahnen sowie die Bruxismusbahnen ausgewertet. Zur Aufzeichnung der Bruxismusbahn wurde der Patient angewiesen so stark wie möglich mit den Zähnen zu knirschen und somit eine Bruxismusaktivität nachzuahmen.

Ausgangspunkt für alle Funktionsbewegungen war die sogenannte RP-Position nach Slavicek, die eine retrale Grenzposition im aufrecht und entspannt sitzenden Patienten darstellt. Dabei wird unter Kinnpunktkontrolle ohne Druckausübung eine unbelastete Position der Gelenkstrukturen erzielt (R Slavicek, 2000). Im Anschluss an die Messung wurden die Achspunkte sowie der Orbitalpunkt mit Hilfe von Bleikugeln zur Darstellung und Übertragung in das Fernröntgenseitenbild am Patienten markiert.

Die kondylographischen Aufzeichnungen wurden von unterschiedlichen von VieSID ausgebildeten Behandlern nach identischem VieSID-Standard durchgeführt, um eine Vergleichbarkeit zu gewährleisten.

Kritisch in Bezug auf Behandlerabhängigkeit ist die Einstellung der retralen Grenzposition vor jeder Bewegungsaufzeichnung. Diese stellt den Nullpunkt unserer Messung dar und von diesem Punkt aus wird der maximale Abstand in retrokranialer Richtung bei bruxistischer Aktivität gemessen. Die Reproduzierbarkeit der Referenzposition bei unterschiedlichen Behandlern wurde in Studien von Piehslinger et al. untersucht. Sie stellten fest, dass die Inter-Operatoren-Variabilität in Bezug auf die Bestimmung der Referenzposition nach Slavicek nicht signifikant ist. Für die Referenzposition stellten sie einen physiologischen Bereich mit einer maximalen Varianz von 0,2 mm bei Wiederholungsmessungen fest. Ihren Angaben zufolge ist die Kinnpunktkontrolle eine einfache, klinisch anwendbare Methode zur Feststellung des Referenzpunktes. Somit ist eine exakte Feststellung des Referenzpunktes weitestgehend unabhängig vom Behandler möglich (Piehslinger, Celar, Celar, Jäger, & Slavicek, 1993; Tuppy et al., 1994).

4.2.2. Fernröntgenseitenbild

Nach durchgeführter elektronischer Kondylographie wurde vom Patienten ein Fernröntgenseitenbild mit bleimarkierten Achspunkten sowie einem bleimarkierten Orbitalpunkt gemäß der VieSID-Richtlinien angefertigt. Das Röntgenbild wurde mit dem Siemens Orthophos XG^{Plus} DS/Ceph Gerät (Software Sidexis) mit einer Strahlendosis von 64 kV 16 mA und einer Belichtungszeit von 9,1s aufgenommen und lag anschließend in digitaler Form zur weiteren Bearbeitung vor.

4.3. Datenverarbeitung

4.3.1. Auswertung der Kondylographie

Um die vorliegende Fragestellung zu beantworten, wurden die Pro-/Retrusionsbahn- und Bruxismusbahnaufzeichnungen aus den Kondylographiedaten mit Hilfe der Cadiax® Software ausgewertet. Dazu wurden beide Bahnen auf den Koordinatenursprung genullt, um einen allgemeingültigen Ausgangspunkt zu erhalten, und überlagert. Mit Hilfe des Programms wurde anschließend die am weitesten nach retrokranial gehende Auslenkung der Bruxismusbahnen in allen drei Raumebenen (X, Y, Z) gemessen und in einer Tabelle von Microsoft Excel® zusammen mit Fallnummer, Geburtsdatum, Untersuchungsdatum, Alter am Untersuchungstag, Altersklasse und Geschlecht dokumentiert. Ausgangspunkt ist die retrale Grenzposition unter Kinnpunktkontrolle, wie bereits im Kondylographieteil beschrieben. Die gemessenen Werte beziehen sich auf eine Abweichung von dieser Position unter bruxistischer Aktivität des Patienten in allen drei Raumebenen in mm. Als Grenzwert zur pathologischen Kondylusverlagerung in Funktion legten wir in Anlehnung an die Studien von Otsuka et al., Greven et al. und Christiansen, die in der Literaturanalyse eingehend beschrieben wurden, 0,6 mm auf der X- und Z-Achse das heißt retral und kranial, sowie 0,3mm auf der Y-Achse das heißt medial fest (Christiansen, 2010; Greven et al., 2011; Otsuka et al., 2011).

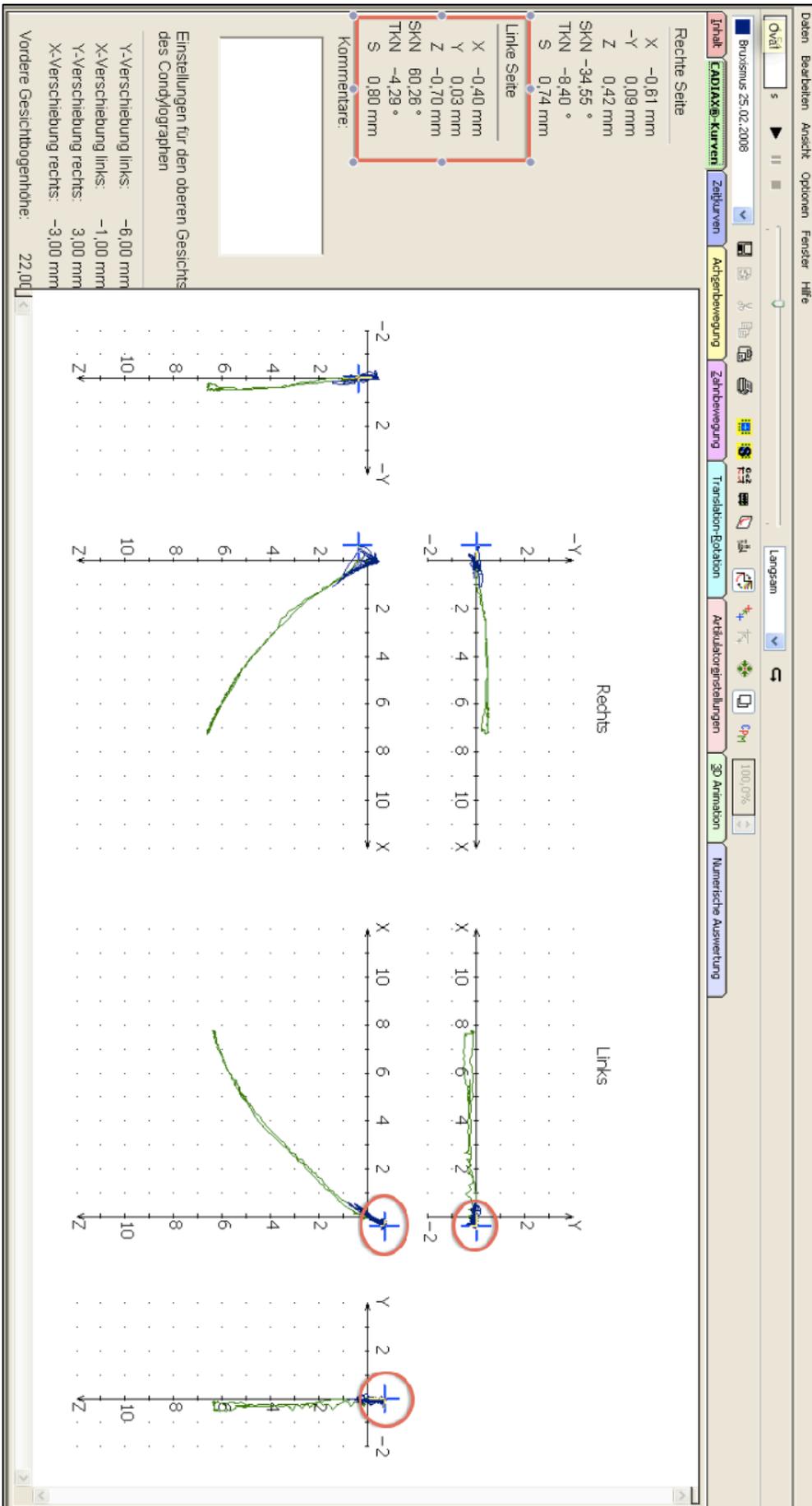


Abb. 3 - Cadiax® – Ausmessung der am weitesten retrokranialen Auslenkung links

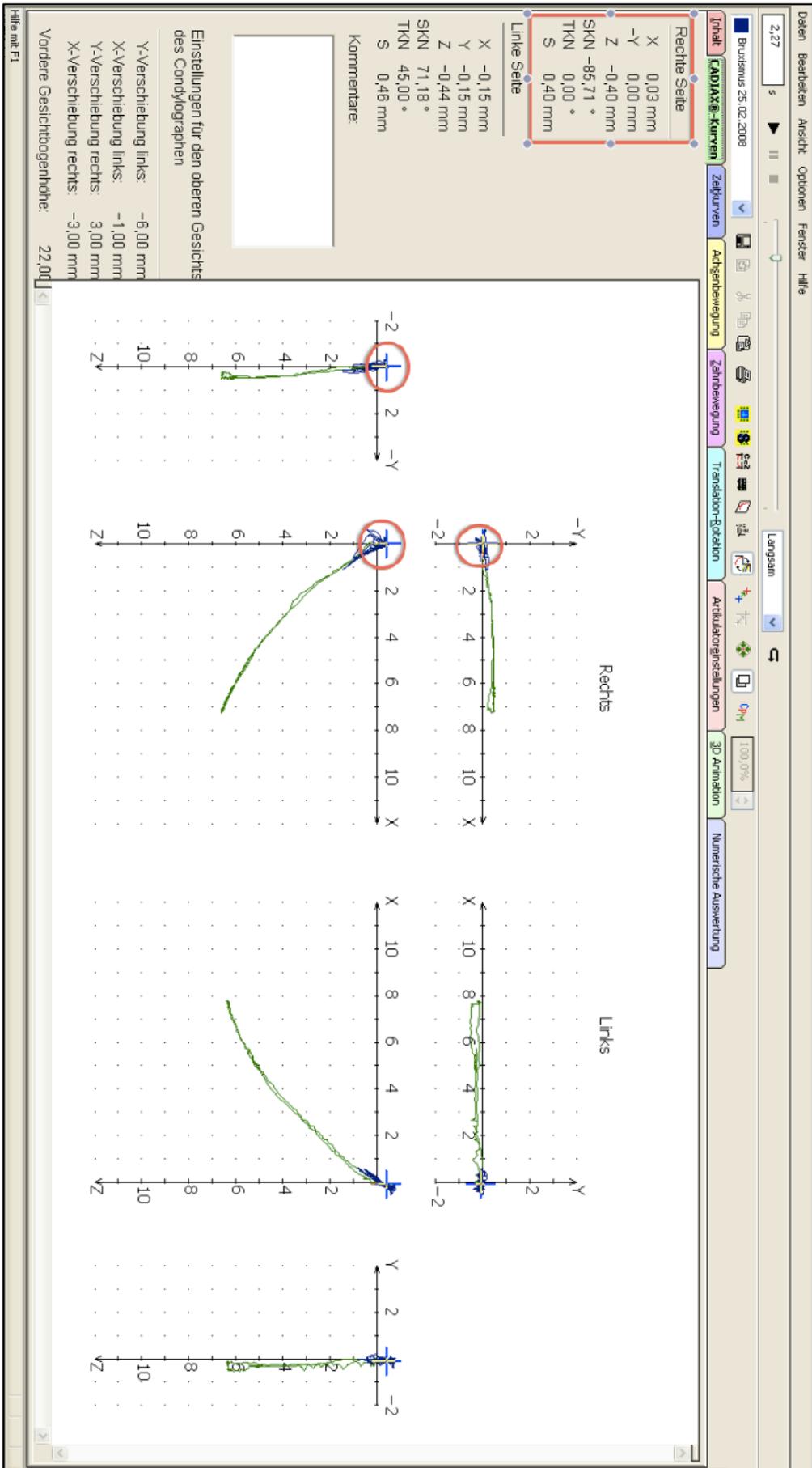


Abb. 4 - Cadiax® – Ausmessung der am weitesten retrokranialen Auslenkung rechts

4.3.2. Auswertung des Fernröntgenseitenbildes

Die kephalometrische Auswertung wurde mit der Cadius ® Software von Gamma Dental Software durchgeführt. Dabei wurde das digitale Röntgenbild mit dem Programm kephalometrisch auf Basis des Slavicek Analysemoduls durchgezeichnet (siehe Abb. 5 und 6). Anschließend wurde die Zuordnung der jeweiligen skelettalen Klasse mit Hilfe eines programminternen Logarithmus nach Prof. Slavicek berechnet und in die erstellte Exceltabelle eingetragen. Dieser Logarithmus berücksichtigt die 6 Werte Maxilläre Position, SNA-Winkel, Oberkiefertiefe, Fazialtiefe, SNB-Winkel und SND-Winkel. Diese 6 Parameter, die der Berechnung der skelettalen Klasse nach Slavicek zugrundeliegen sind in der folgenden Tabelle dargestellt.

Tab. 2 - Übersicht der Winkel zur Bestimmung der skelettalen Klasse nach Slavicek

Bezeichnung	Beschreibung	Kephalometrie
Maxilläre Position	Winkel zwischen den Linien Pterygoidale – Nasion und Nasion – A-Punkt	 <p>A lateral cephalometric radiograph with various anatomical landmarks labeled. A blue line is drawn from the Pterygoidale (Pt) point to the Nasion (N) point. Another blue line is drawn from the Nasion (N) point to the A-point (A). The angle between these two lines is highlighted with a blue arc, representing the Maxillary Position angle.</p>
SNA-Winkel	Winkel zwischen den Linien Sella Zentrum – Nasion und Nasion – A-Punkt	 <p>A lateral cephalometric radiograph with various anatomical landmarks labeled. A blue line is drawn from the Sella (S) point to the Nasion (N) point. Another blue line is drawn from the Nasion (N) point to the A-point (A). The angle between these two lines is highlighted with a blue arc, representing the SNA angle.</p>
Oberkiefertiefe	Winkel zwischen den Linien Porion – Orbitale Osseum und Nasion – A-Punkt	 <p>A lateral cephalometric radiograph with various anatomical landmarks labeled. A blue line is drawn from the Porion (PO) point to the Orbitale Osseum (ORo) point. Another blue line is drawn from the Nasion (N) point to the A-point (A). The angle between these two lines is highlighted with a blue arc, representing the Upper Jaw Depth angle.</p>

<p>Fazialtiefe</p>	<p>Winkel zwischen den Linien Porion – Orbitale Osseum und Nasion – Pogonium Osseum</p>	
<p>SNB-Winkel</p>	<p>Winkel zwischen den Linien Sella Zentrum – Nasion und Nasion – B-Punkt</p>	
<p>SND-Winkel</p>	<p>Winkel zwischen den Linien Sella Zentrum – Nasion und Nasion – D-Punkt</p>	

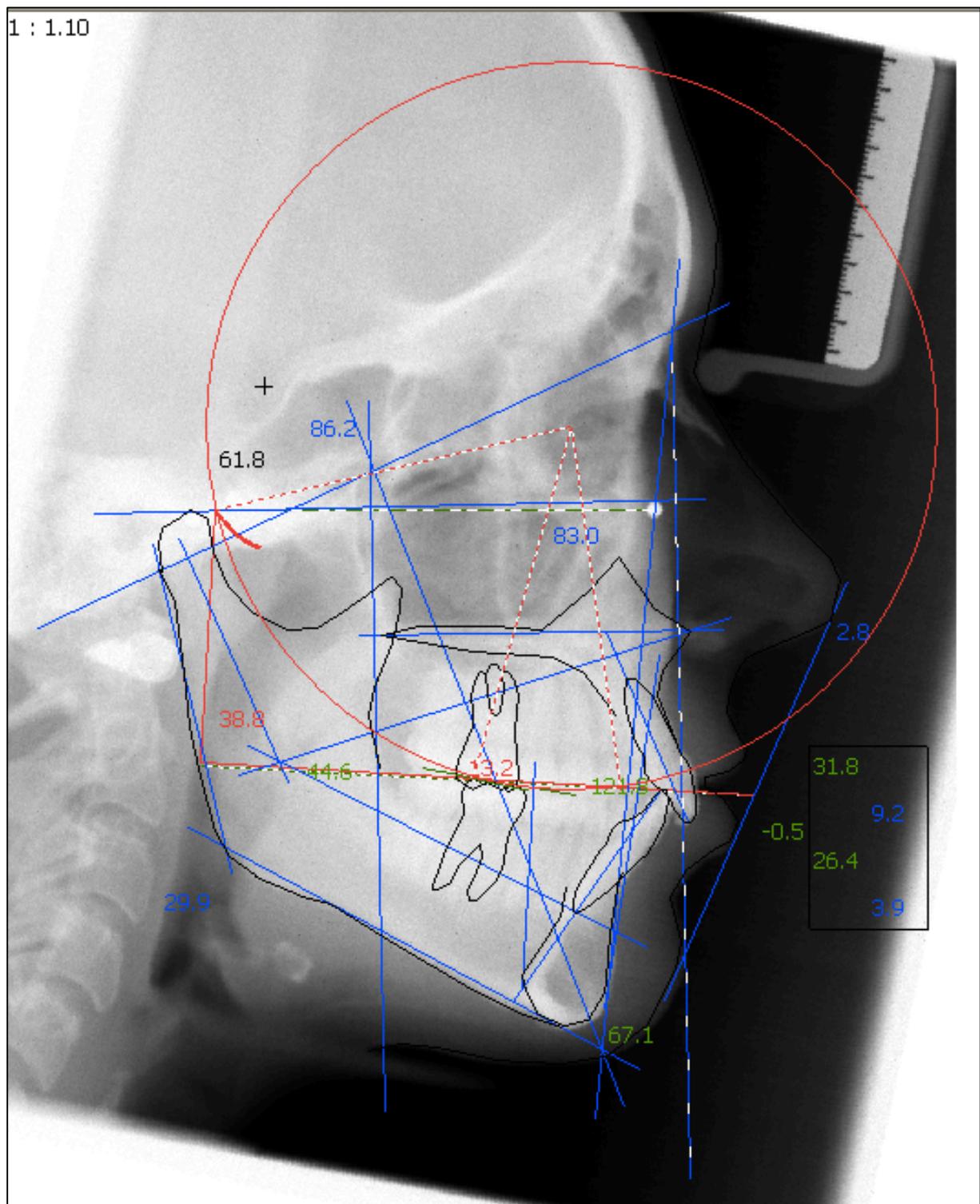


Abb. 5 - Überlagertes Patienten FRS mit Durchzeichnung

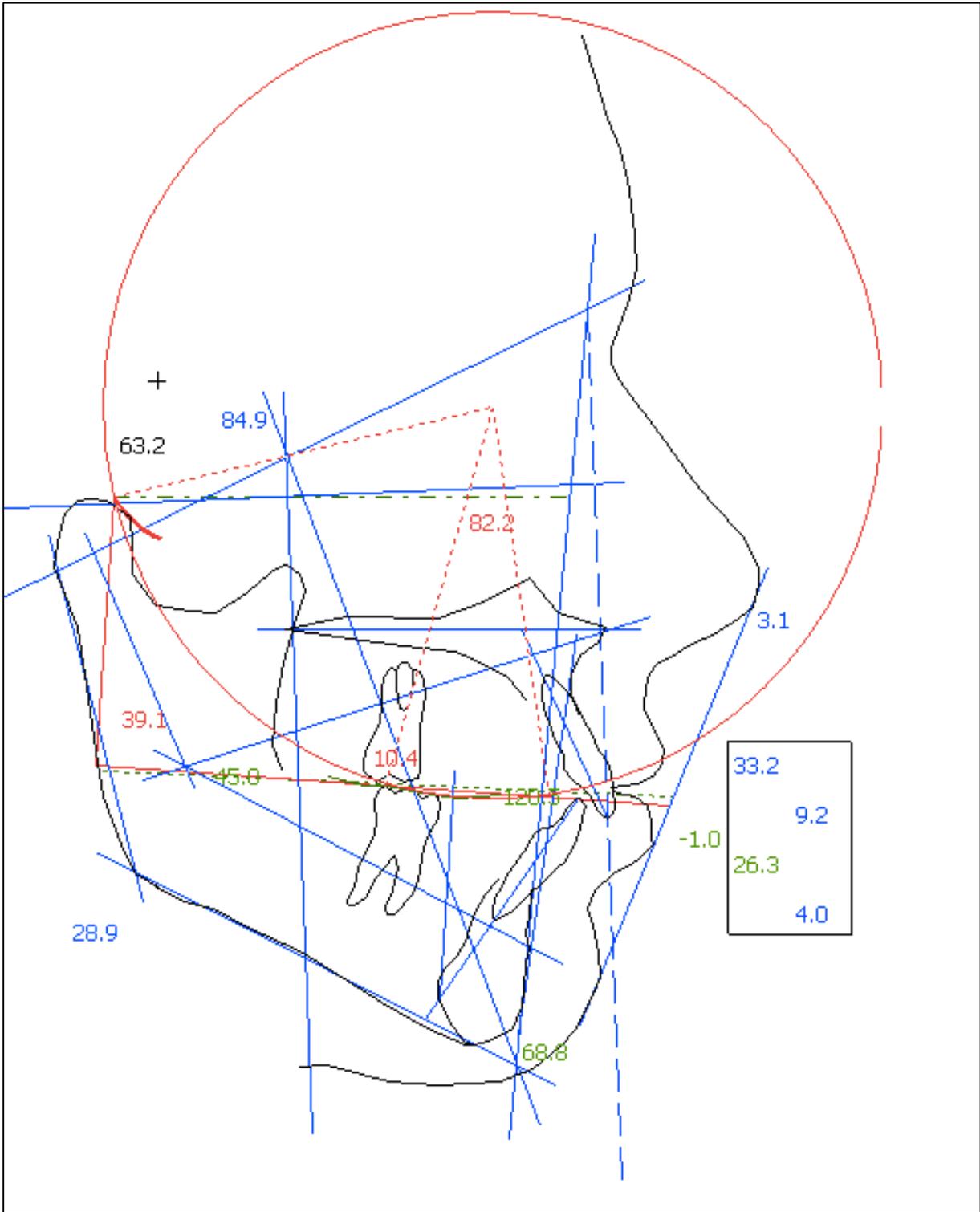


Abb. 6 - Durchzeichnung mit Cadius®

4.3.3. Statistische Auswertung

In dieser Querschnittsstudie wurde nach einer relevanten Korrelation zwischen einer Verlagerung des Kondylus nach retrokranial in den unterschiedlichen skelettalen Klassen gesucht. Dafür sammelten wir demographische Befunde, funktionelle Gelenkbefunde, instrumentelle Analysebefunde mit Hilfe einer Kondylographie und FRS-Daten in mit VieSID zusammenarbeitenden, spezialisierten Praxen und analysierten diese mit dem statistischen Auswertungsprogramm SPSS 20.0. Anschließend wurde eine beschreibende Analyse von allen gesammelten Variablen durchgeführt, um die Gruppencharakteristika (Altersklasse, Geschlecht, skelettale Klasse) darzustellen.

Wir ermittelten die Häufigkeit von gesunden Patienten (keine Verlagerung über den Schwellenwert in allen Achsen) und von Patienten, die unterschiedliche Arten von Kondylusverlagerungen (nur auf der X-, Y- oder Z-Achse, X- und Y-, X- und Z-, und Y und Z-Achse, sowie auf allen 3 Achsen) aufwiesen. Kondylusverlagerungen im linken und rechten Gelenk in allen 3 Achsen wurden zunächst als kontinuierliche Variablen mit Hilfe des Kolmogorov-Smirnov-Tests ausgewertet, um auf Normalität der Verteilung zu prüfen und den geeigneten statistischen Test zur Auswertung aller gesammelten Daten der Analyse durchzuführen.

Da die Verteilung der sechs Messungen nicht normal war, wurden die Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Verlagerungen unter den skelettalen Klassen mit einem nicht parametrischen Test, dem Mood's-Median Test ausgewertet.

Um die Patienten in Gruppen aufzuteilen, die sich nicht nur auf Basis ihrer skelettalen Klasse unterscheiden, sondern auch andere spezifische Charakteristika berücksichtigen, nutzten wir die Cluster-Analyse. Skelettale Klasse, Geschlecht (als eine kategoriale Variable), Alter, Verlagerung der Kondylen auf der rechten und der linken Seite auf allen drei Achsen (kontinuierliche Variable) wurden als Prädiktoren in einer Zwei-Schritt-Cluster-Analyse genutzt, um eventuelle Gruppen von Patienten und die Stärke des jeweiligen Prädiktors auszuwerten.

Die traditionelle Cluster-Analyse-Methode erschafft eine Abstandsmessung von Unterschieden zwischen Individuen (gleich einer euklidischen Distanz) und versucht anschließend eine unterliegende Subgruppenstruktur durch Optimierung der Variabilität innerhalb einer Subgruppe, der einzelnen Distanzmessungen und Maximierung ihrer Variabilität zwischen den Gruppen zu finden.

Nachdem die Patienten gruppiert waren, wurden andere individuelle Charakteristika betrachtet, um jene Eigenschaften spezifischer zu identifizieren, die näher in Verbindung mit bestimmten Verlagerungsprofilen stehen.

Insbesondere wurde eine Proxy-Variable (Abb. 1) erschaffen, die das Vorhandensein oder die Abwesenheit einer Kompression auf den spezifischen Achsen berücksichtigt. So beschreibt zum Beispiel das X_MONOLATERAL Profil die Patienten, die eine Verlagerung über dem Schwellenwert entweder auf der linken oder auf der rechten X-Achse haben. Das 3AX-BILATERAL Profil beschreibt Patienten, die auf allen drei Achsen und in beiden Gelenken eine Verlagerung des Kondylus über dem potentiell pathologischen Wert haben.

Alle Eigenschaften jedes Clusters wurden in einer Tabelle zusammengefasst, um direkte Vergleiche zwischen den Clustern anzustellen. Weiterhin wurden Mittelwerte der Verlagerung der linken und rechten Seite mit allen anderen Clustern verglichen. Dabei wurden paarweise Vergleiche herangezogen.

Tab. 3 - Proxy-Variable, die das Vorhandensein einer Kompression auf den spezifischen Achsen beschreibt

Beschreibung der pathologischen Profile						
	X Kompression rechts	X Kompression links	Y Kompression rechts	Y Kompression links	Z Kompression rechts	Z Kompression links
NoD						
XMONOLATERAL						
XL_		○				
XR_	○					
XBILATERAL						
XRL_	○	○				
YMONOLATERAL						
YL_				○		
YR_			○			
ZMONOLATERAL						
ZL_						○
ZR_					○	
ZBILATERAL						
ZRL_					○	○
XYMONOLATERAL						
XR_YR_	○		○			
XY_ANDERES_PROFIL						
XL_YR_		○	○			
XRL_YR_	○	○	○			
XZMONOLATERAL						
XL_ZL_		○				○
XR_ZR_	○				○	
XZ_ANDERES_PROFIL						
XL_ZR_		○			○	
XL_ZRL_		○			○	○
XR_ZL_	○					○
XR_ZRL_	○				○	○
XRL_ZL_	○	○				○
XRL_ZR_	○	○			○	○
XRL_ZRL_	○	○			○	○
YZMONOLATERAL						
YL_ZL_				○		○
YR_ZR_			○		○	
YZ_ANDERES_PROFIL						
YL_ZR_				○	○	
YL_ZRL_				○	○	○
YR_ZL_			○			○
YR_ZRL_			○		○	○
3AX_MONOLATERAL						
XL_YL_ZL_		○		○		○
3AX_BILATERAL						
XRL_YRL_ZRL_	○	○	○	○	○	○
3AXES_ANDERES_PROFIL						
XL_YL_ZR_		○		○	○	
XL_YR_ZL_		○	○			○
XR_YR_ZRL_	○		○		○	○
XRL_YL_ZRL_	○	○		○	○	○
XRL_YR_ZL_	○	○	○			○
XRL_YR_ZRL_	○	○	○		○	○

5. Ergebnisse

5.1. Beschreibende Analyse

Die Patientengruppe bezog 385 Subjekte ein. Davon waren 74,3% der Patienten Frauen. Das Durchschnittsalter betrug 34,7 Jahre.

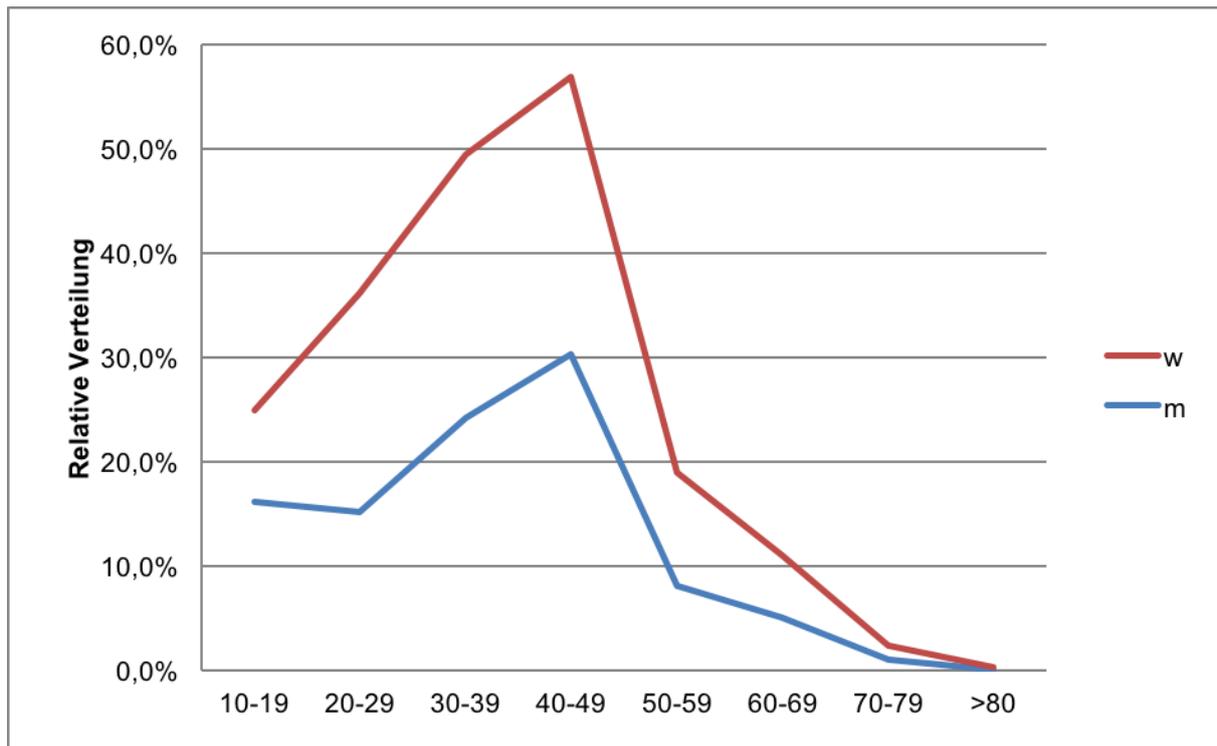


Abb. 7 - prozentuale Verteilung der Patienten nach Alter und Geschlecht

Wie in Abb. 8 ersichtlich, ist die skelettale Klasse I mit 52,7% die am meisten vertretene skelettale Klasse in unserer Patientenkohorte. Darauf folgt die skelettale Klasse II mit 38,4%. Der kleinste Anteil unserer Kohorte ist die skelettale Klasse III mit 8,9%. Die prozentuale Verteilung ist zwischen den Geschlechtern leicht unterschiedlich (siehe Abb. 9). Demnach ist der Anteil der Klasse I in der männlichen Kohorte nahezu 10 % größer als der weibliche Anteil. Bei den Patienten der Klasse II hingegen ist der Klasse II Anteil bei den Männern 10% niedriger als bei den weiblichen Studienteilnehmern.

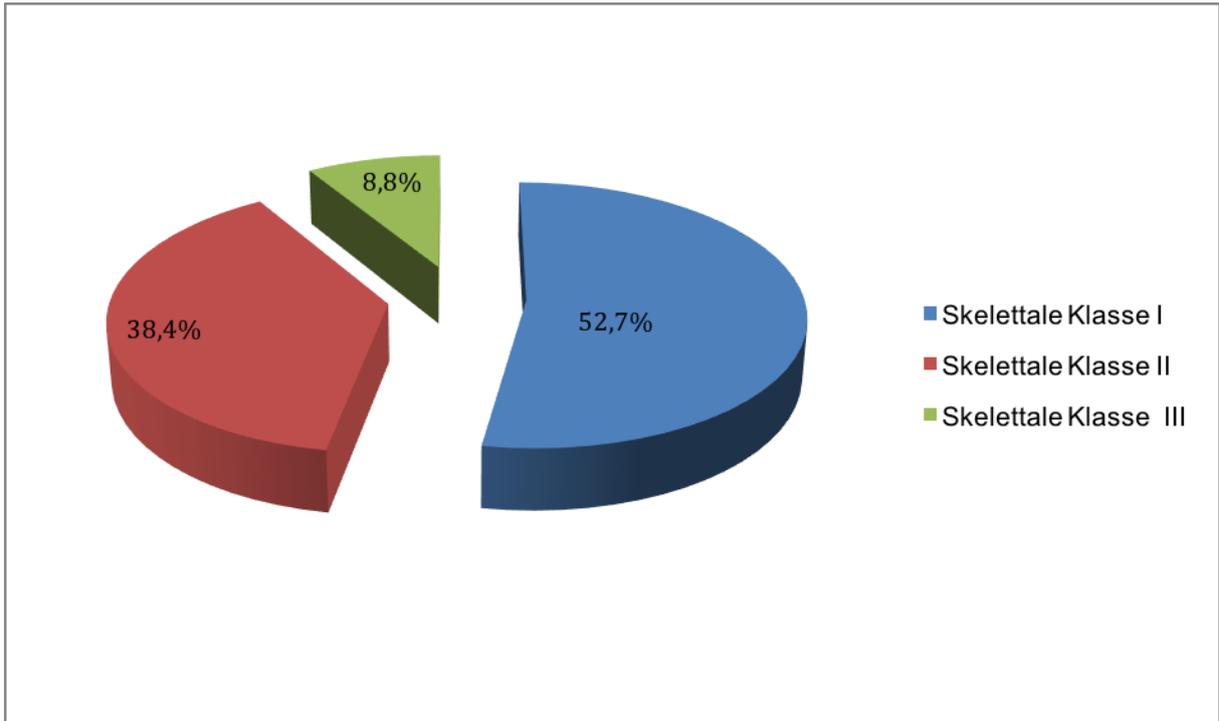


Abb. 8 - prozentuale Verteilung der Patienten nach skelettaler Klasse

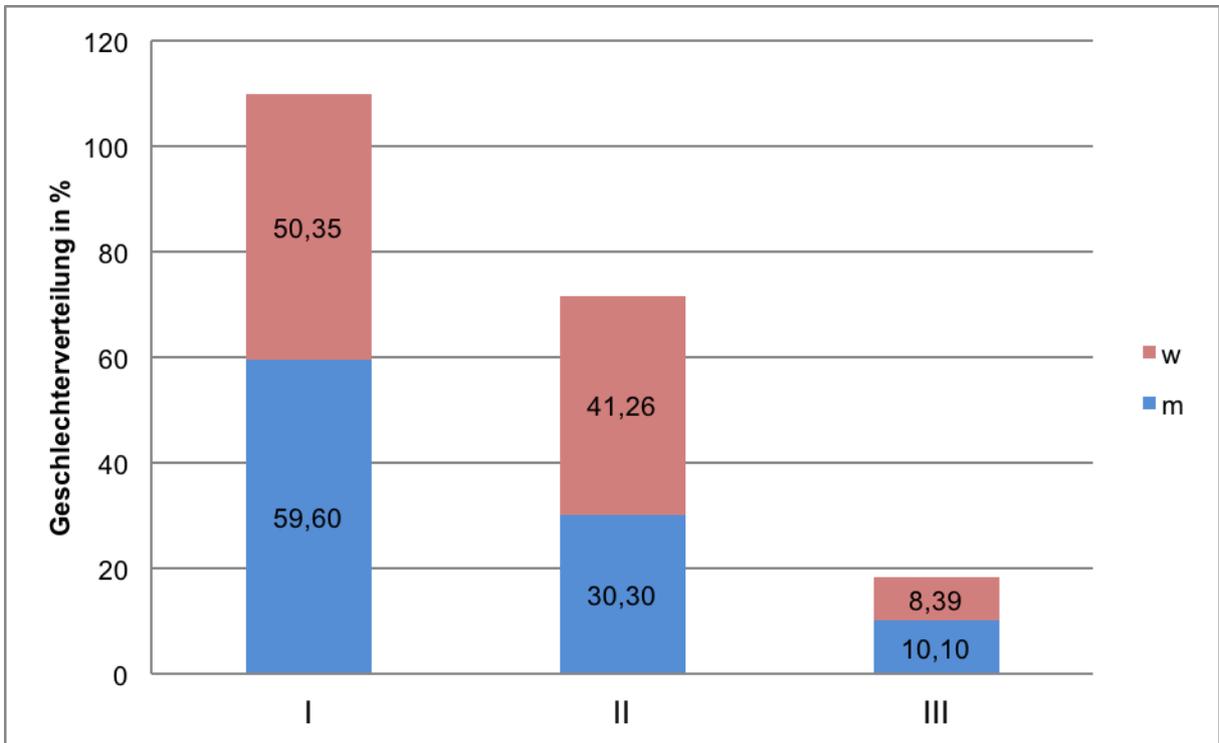


Abb. 9 - prozentuale Verteilung der Patienten nach Geschlecht und skelettaler Klasse

Die Verteilung der Patienten nach skelettaler Klasse und der Art der Kondylusverlagerung (siehe Abb. 11-13) zeigt, dass die Klasse III Gruppe die größte Anzahl (59%) von gesunden Patienten hat, das heißt ohne Verlagerung über dem Schwellenwert, während Patienten der skelettalen Klasse I unserer Kohorte die größte Anzahl an Kondylusverlagerungen über dem Schwellenwert und dementsprechend die geringste Anzahl an gesunden Patienten hatte (46%). Die skelettale Klasse II liegt mit 52% im mittleren Bereich. Damit ist anhand der beschreibenden Analyse die skelettale Klasse I die Klasse mit der größten Anzahl an Verlagerungen über dem Schwellenwert, nicht wie eingehend vermutet die skelettale Klasse II.

Wie in Abb. 11-13 gezeigt, ist der auffälligste Unterschied zwischen den skelettalen Klassen das Co-Auftreten in der Verlagerung auf zwei Achsen ($x+y$, $x+z$, $y+z$).

Unabhängig von der skelettalen Klasse haben 50% der untersuchten Patienten eine Verlagerung über dem Schwellenwert auf mindestens einer der drei Achsen (siehe Abb.10).

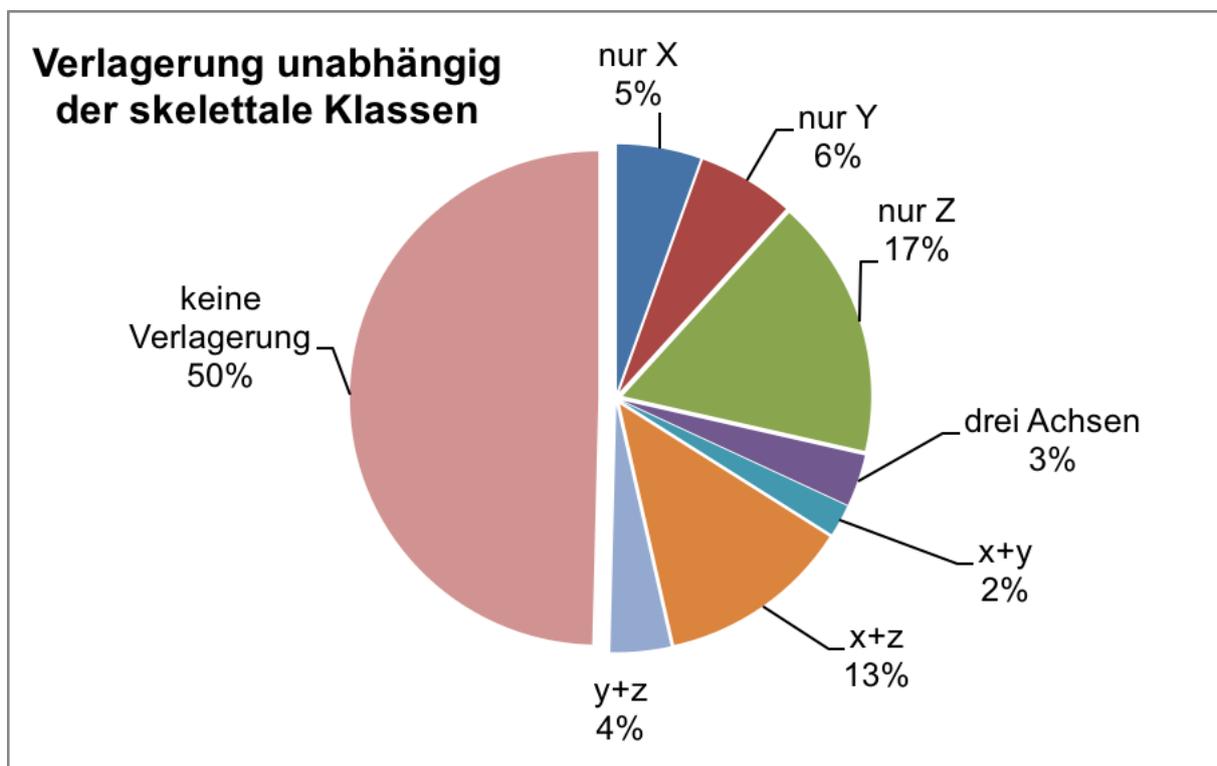


Abb. 10 - prozentuale Verteilung der Patienten nach Verlagerung

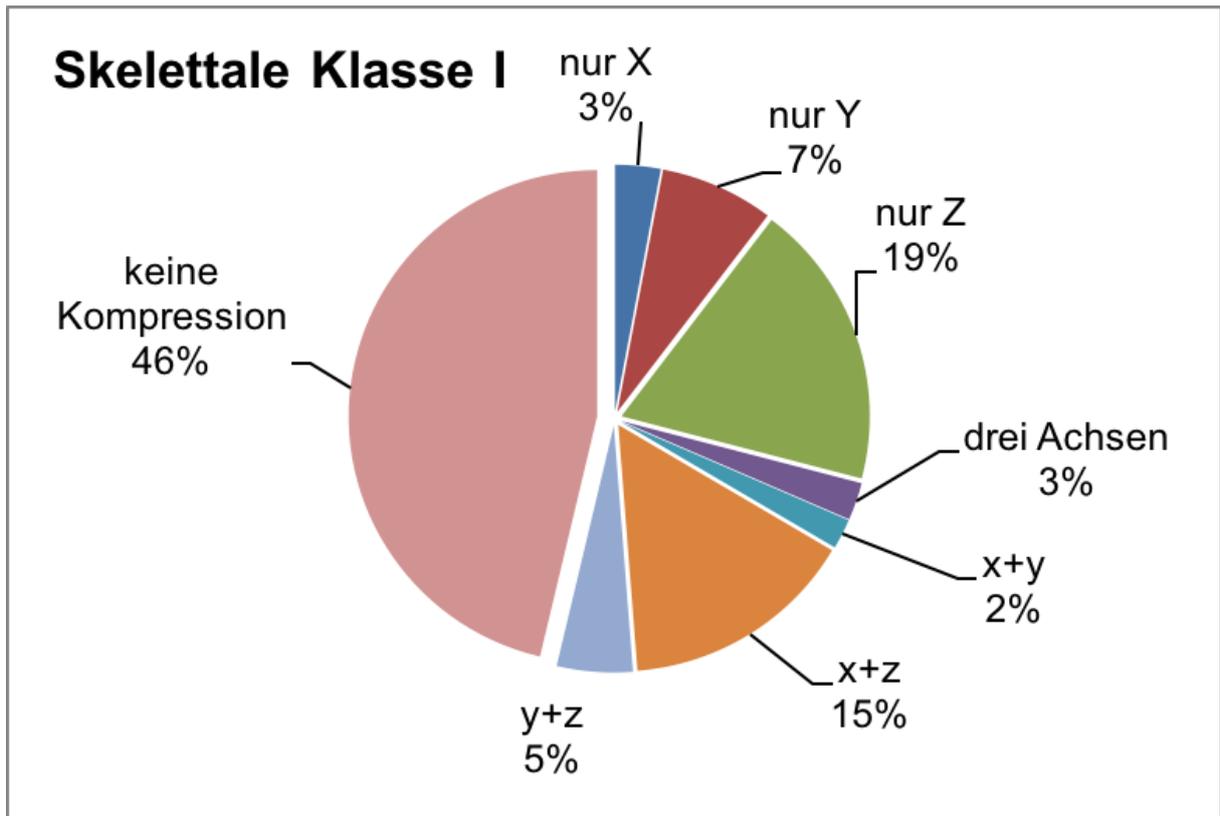


Abb. 11 - prozentuale Verteilung der Patienten nach skelettaler Klasse und Art der Verlagerung – Skelettale Klasse I

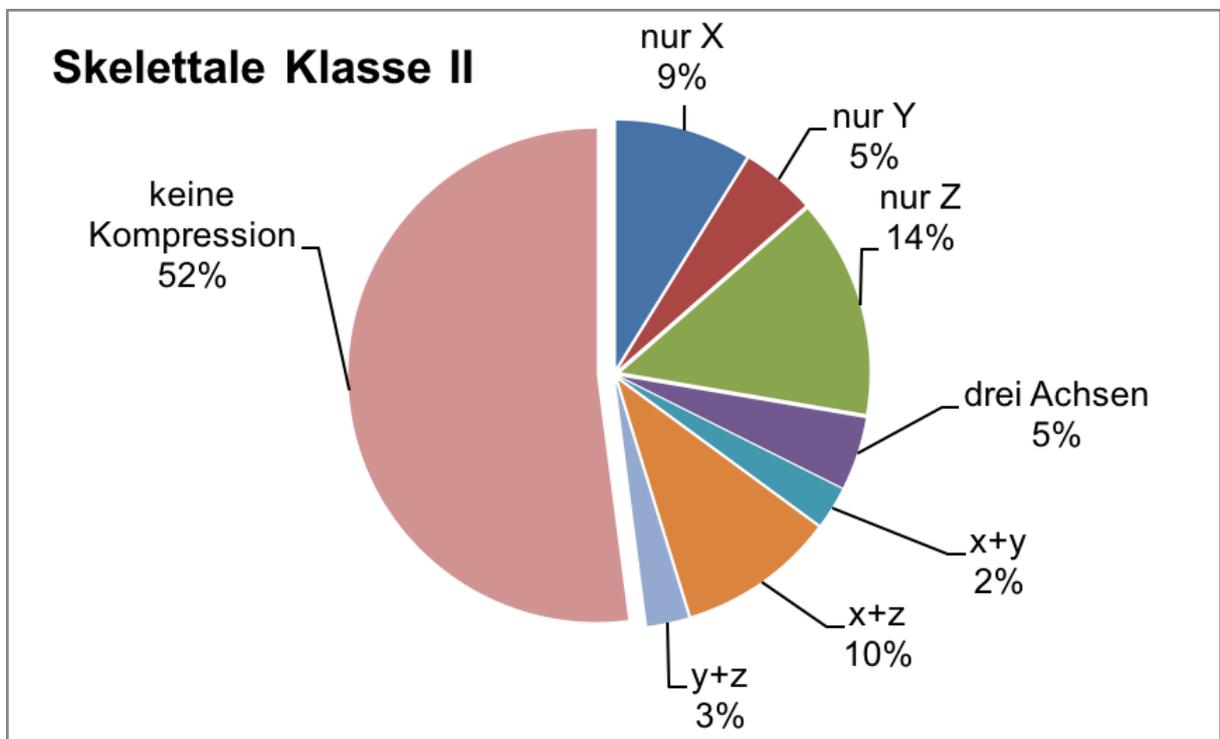


Abb. 12 - prozentuale Verteilung der Patienten nach skelettaler Klasse und Art der Verlagerung – Skelettale Klasse II

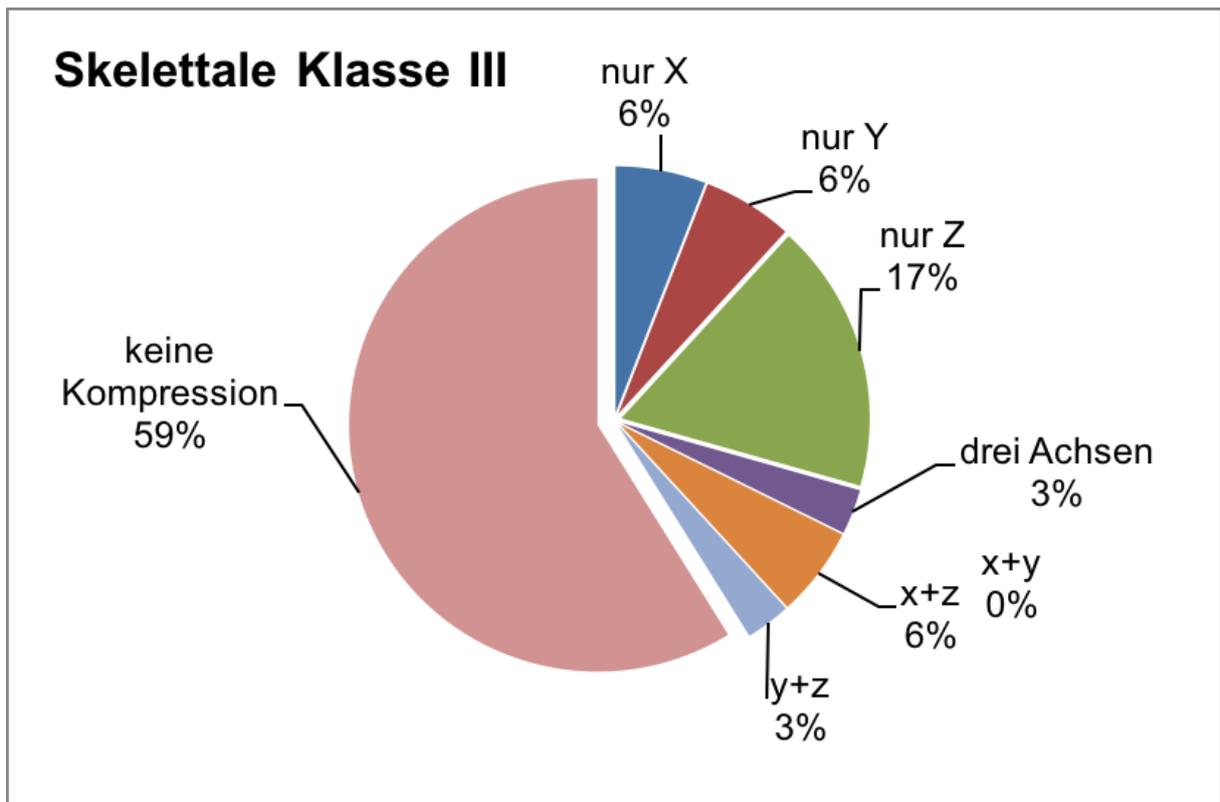


Abb. 13 - prozentuale Verteilung der Patienten nach skelettaler Klasse und Art der Verlagerung – skelettale Klasse III

5.2. Statistische Analyse

Da die Verteilung der sechs Messungen nicht normal war, wurden die Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Verlagerungen unter den skelettalen Klassen mit einem nicht parametrischen Test, dem Mood's-Median-Test ausgewertet. Die Ergebnisse zeigten keine relevanten Unterschiede (siehe Abb. 14-19).

Es gibt statistisch gesehen keine signifikanten Unterschiede zwischen den skelettalen Klassen hinsichtlich der Korrelation zwischen skelettaler Klasse und einer Verlagerung des Kondylus über dem Schwellenwert.

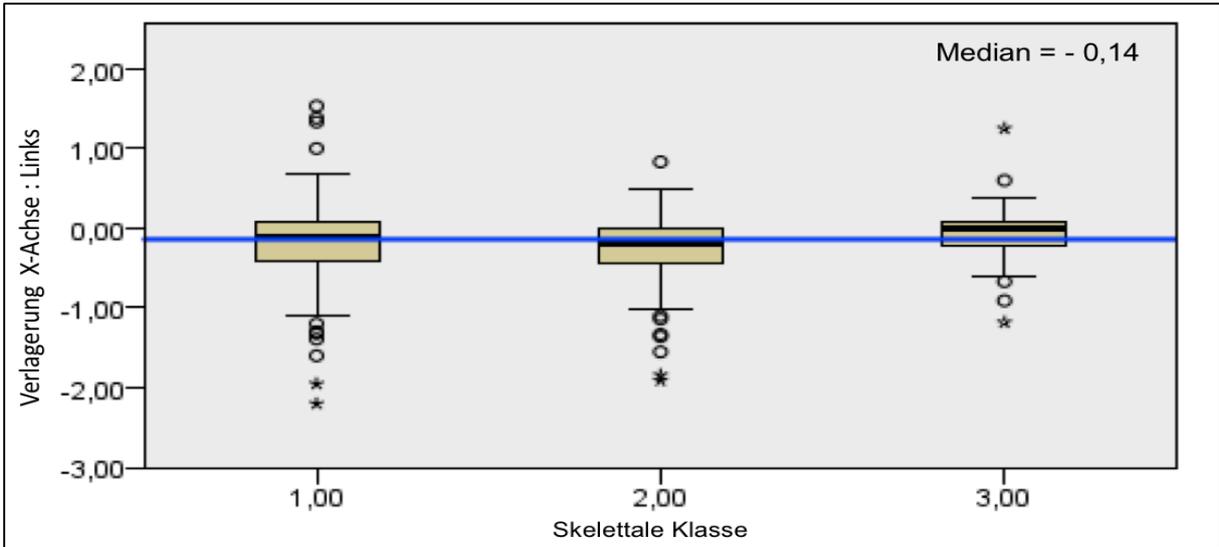


Abb. 14 - Moods-Median-Test Verlagerung X-Achse links

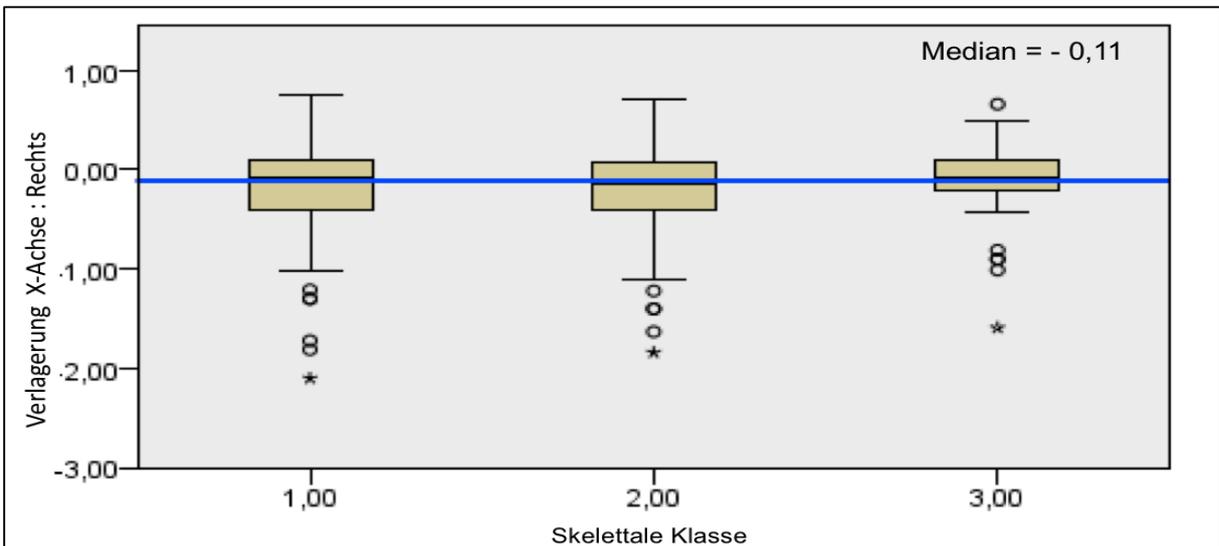


Abb. 15 - Moods-Median-Test Verlagerung X-Achse rechts

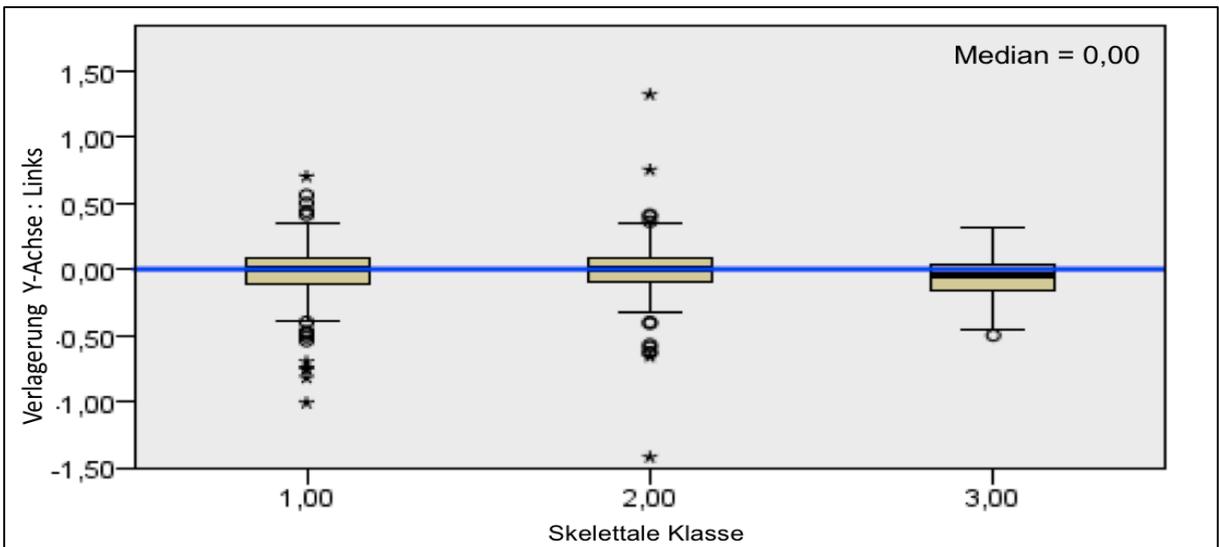


Abb. 16 - Moods-Median-Test Verlagerung Y-Achse links

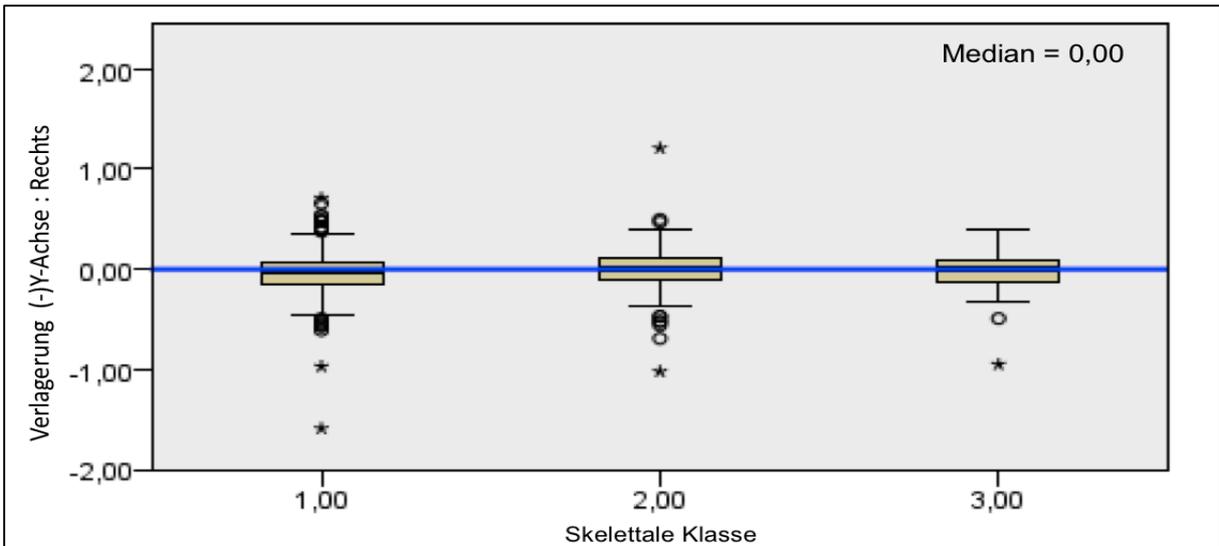


Abb. 17 - Moods-Median-Test Verlagerung Y-Achse rechts

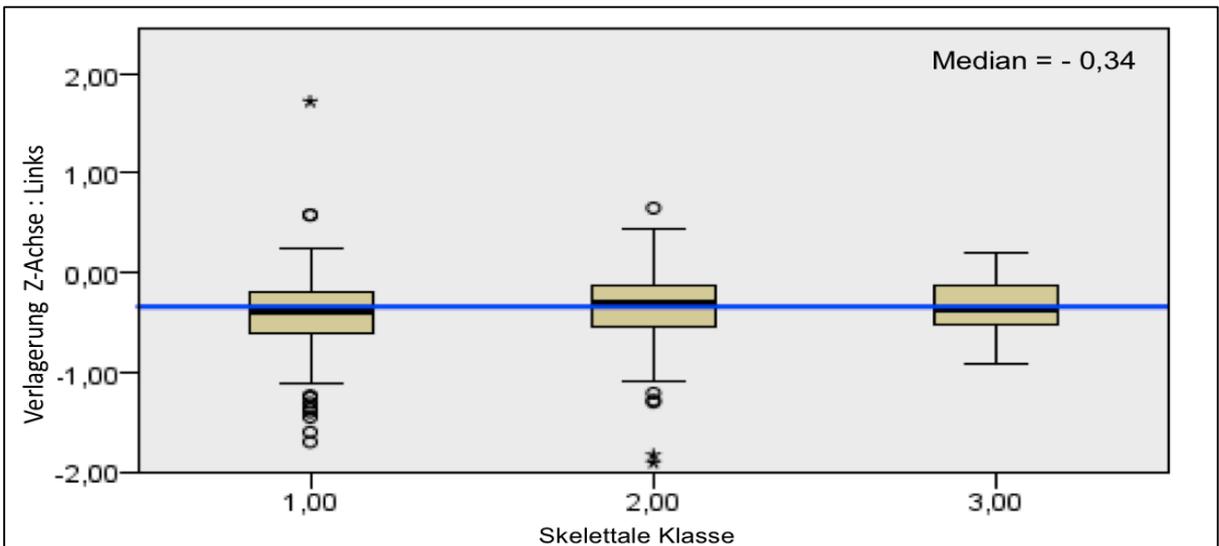


Abb. 18 - Moods-Median-Test Verlagerung Z-Achse links

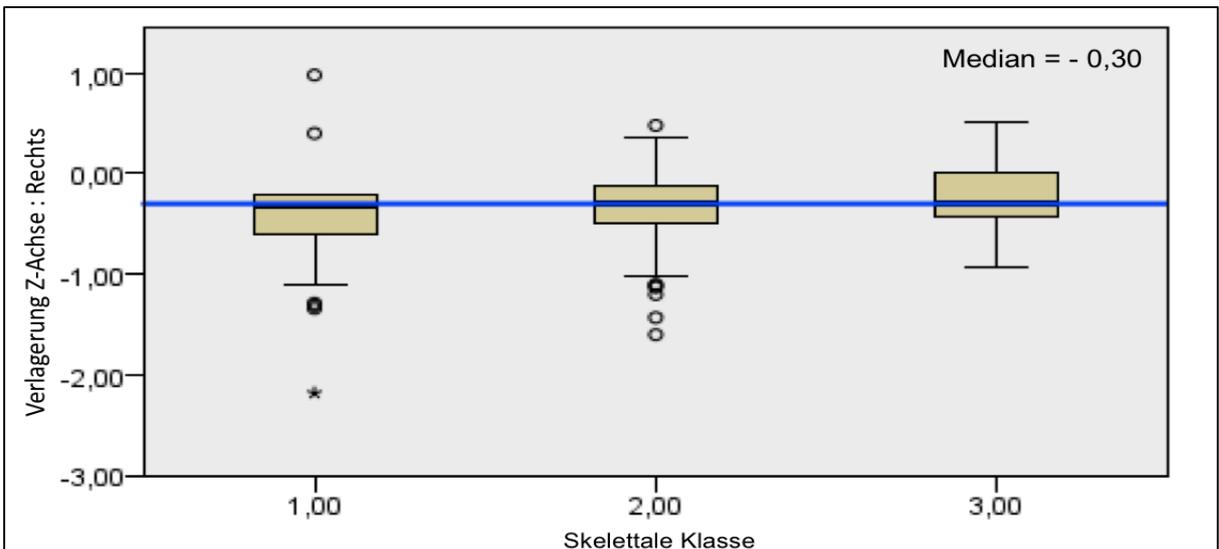


Abb. 19 - Moods-Median-Test Verlagerung Z-Achse rechts

5.3. Clusteranalyse

Um die Patienten in Gruppen aufzuteilen, die sich nicht nur auf Basis ihrer skelettalen Klasse unterscheiden, sondern auch andere spezifische Charakteristika berücksichtigen, wurde die zwei-Schritt-Cluster-Analyse herangezogen. Skelettale Klasse, Geschlecht (als eine kategorische Variable), Alter, Verlagerung der Kondylen rechts und links auf allen drei Achsen (kontinuierliche Variable) wurden als Prädiktoren in dieser Zwei-Schritt-Cluster-Analyse genutzt, um eventuelle Gruppen von Patienten und die Stärke des jeweiligen Prädiktors auszuwerten.

Das Zwei-Schritt-Cluster-Analysemodell identifizierte sechs Patientengruppen basierend auf ihrer skelettalen Klasse, Alter, Geschlecht und Verlagerung des Kondylus auf allen drei Achsen (siehe Abb. 20).

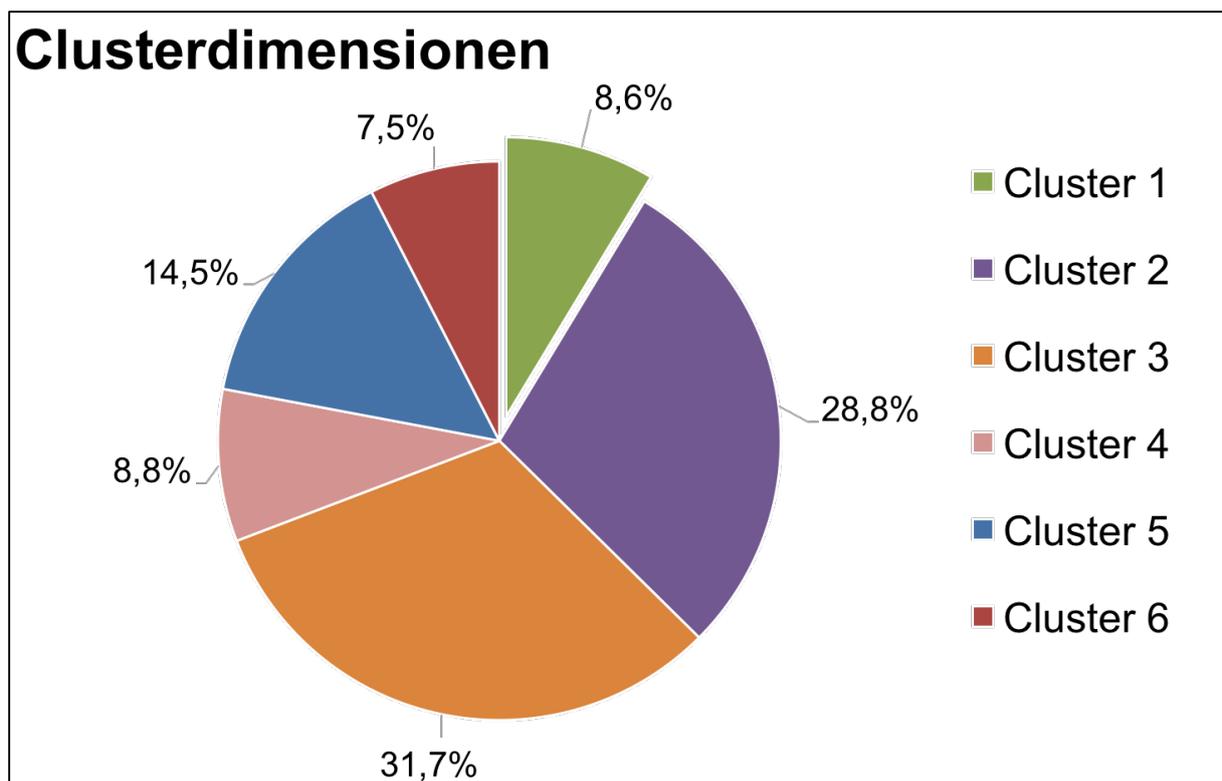


Abb. 20 - Anzahl der Cluster und relative Dimensionen

Das Statistikprogramm SPSS 20.0 kann als Option der Zwei-Schritt-Cluster-Analyse die Stärke von jedem Prädiktor berechnen. In unserer Analyse war die skelettale Klasse die wichtigste, gefolgt vom Geschlecht (siehe Abb. 21).

Verlagerungen des rechten und linken Gelenks in der X-Achse waren die stärksten diagnostischen Werte, während Verlagerungen des Kondylus auf der Y-Achse der rechten Seite, sowie das Alter die am wenigsten wichtigen Prädiktoren waren.

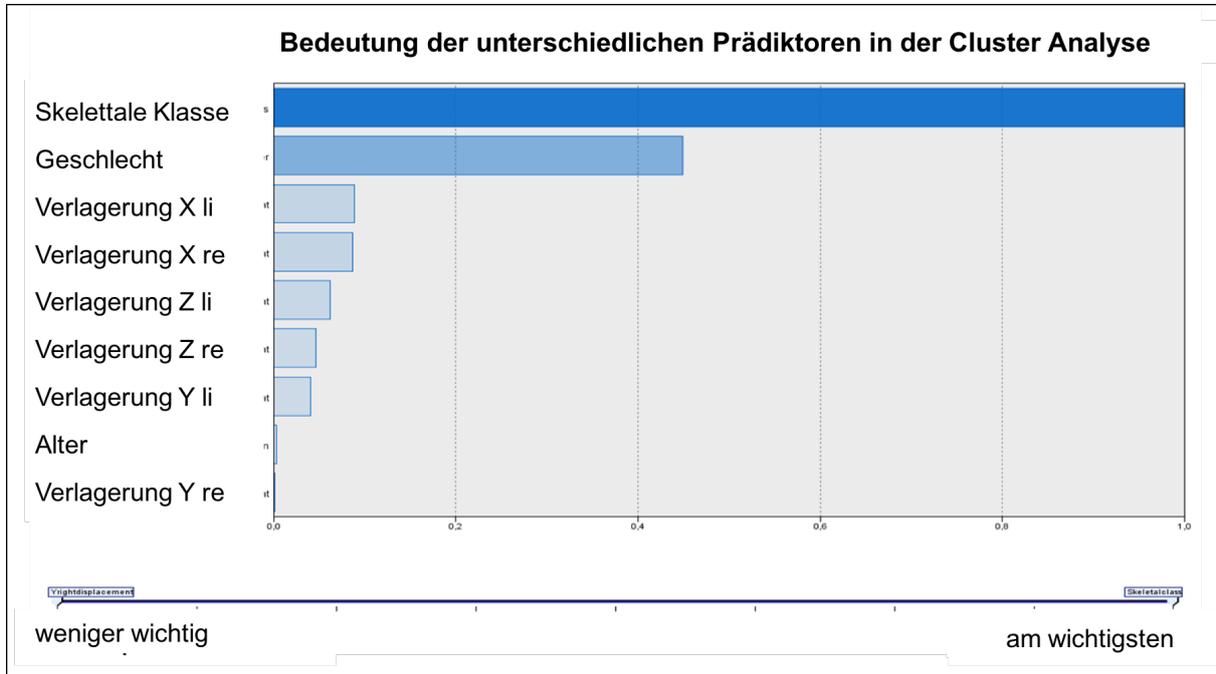


Abb. 21 - Bedeutung der Prädiktoren im Modell

Tab. 3 beschreibt jedes einzelne Cluster sowohl bezüglich solcher Charakteristika, die als Prädiktoren in das Analysemodell einbezogen wurden, als auch im Verhältnis zur Art der Verlagerung zusammengefasst durch die Proxyvariable. Diese Proxyvariable wurde erstellt, um das Vorhandensein bzw. die Abwesenheit einer kondylären Verlagerung über dem Schwellenwert mit einzubeziehen.

Von den sechs Clustern waren vier spezifisch für Geschlecht und die skelettale Klasse (Cluster 2, 3, 5 und 6). Speziell Cluster 2 und 6 schließen nur Patienten der skelettalen Klasse II ein, wobei ein Cluster nur Frauen beinhaltet (Cluster 2) und der andere nur Männer (Cluster 6). Weiterhin waren die Männer im Durchschnitt zwei Jahre jünger als die Frauen (35,9 Jahre vs. 37,9 Jahre). Cluster 2 zeigte die größte prozentuale Anzahl von Patienten mit einer einseitigen Kondylusverlagerung auf der X-Achse (50% von allen) und einer einseitigen Kondylusverlagerung auf der X und Y-Achse (75% von allen).

Cluster 3 und 5 beinhalten nur Patienten, die zur skelettalen Klasse I gehörten. Auch in diesem Fall schließt Cluster 3 nur weibliche Patienten ein, während Cluster 5 nur männliche Patienten einschließt.

Cluster 1 sticht im Vergleich zu den anderen Clustern in Bezug auf den Anteil an komplexen Profilen stark heraus. Diese Gruppe beinhaltet nur eine kleine Anzahl von Patienten (n=33), die zur skelettalen Klasse I oder II gehörten.

Dieser Cluster beinhaltet den größten Anteil der komplexesten Profile, so zum Beispiel 100% der bilateralen Verlagerung über dem Schwellenwert auf allen 3 Achsen, 50% der monolateralen Verlagerung auf allen 3 Achsen und 50% Mischformen.

Im paarweisen Vergleich der Mittelwerte der Verlagerungen unter den Clustern, zeigt sich, dass die durchschnittliche Verlagerung auf der X-Achse rechts (-0,7mm), der X-Achse links (-0,84mm) und der Z Achse links in Cluster 1 signifikant von allen Mittelwerten der anderen Cluster abweicht.

Tab. 4 - Cluster Identifizierungsschema

		Cluster Identifizierungsschema							
Anzahl der Patienten		1	2	3	4	5	6	Gesamt	
Hauptmerkmal	Skeletale Klasse	I, II	II	I	III	I	II		
ale	Geschlecht	Männer, Frauen	nur Frauen	nur Frauen	Männer, Frauen	nur Männer	nur Männer		
Frauen	SK_I	15,3%		84,7%				100,00%	
	SK_II	5,9%	94,1%					100,00%	
	SK_III					94,9%		100,00%	
Männer	SK_I	5,1%						100,00%	
	SK_II	3,3%			100%		96,7%	100,00%	
	SK_III							100,00%	
	mean age	42,4 J.	37,9 J	36,4 J	36,4 J	37,1 J	35,9 J	37,4 J	
Mittelwert (min; max)	Verlagerung X rechts	-0,7 (-2,10; 0,52)	-0,12 (-1,63; 0,49)	-0,1 (-0,63; 0,75)	-0,1 (-1,59; 0,66)	-0,08 (-1,72; 0,68)	0,01(-0,65; 0,70)	-0,11 (-2,10; 0,75)	
	Verlagerung X links	-0,84 (-2,2; 0,69)	-0,20 (-1,91; 0,83)	-0,11 (-1,01; 1,38)	-0,01 (-1,18; 1,25)	-0,02 (-1,60; 1,53)	-0,05 (-1,36; 0,40)	-0,14 (-2,20; 1,53)	
	Verlagerung Y rechts	0,02 (-1,59; 1,21)	0,00 (-0,69; 0,50)	-0,05 (-0,52; 0,71)	0,01 (-0,95; 0,40)	0,00 (-0,97; 0,66)	-0,01 (-0,34; 0,39)	-0,00 (-1,59; 1,21)	
	Verlagerung Y links	-0,21 (-1,42; 1,32)	-0,01 (-0,66; 0,41)	0,01 (-0,70; 0,70)	-0,05 (-0,50; 0,32)	-0,01 (-0,49; 0,56)	0,00 (-0,33; 0,35)	-0,00 (-1,42; 1,32)	
	Verlagerung Z rechts	-0,8 (-2,15; 0,98)	-0,3 (-1,13; 0,37)	-0,3 (-1,10; 0,40)	-0,3 (-0,93; 0,62)	-0,3 (-1,10; 0,19)	-0,38 (-1,11; 0,15)	-0,30 (-2,18; 0,98)	
	Verlagerung Z links	-0,9 (-1,91; 1,72)	-0,31 (-1,21; 0,65)	-0,31 (-0,95; 0,58)	-0,4 (-0,91; 0,20)	-0,4 (-1,36; 0,19)	-0,34 (-1,30; 0,09)	-0,34 (-1,91; 1,72)	
		3AX_BILATERAL	100,00%						100,00%
		3AX_MONOL	50,00%		50,00%				100,00%
		3AXES_ANDERES_PROFIL	50,00%	20,00%		10,00%	10,00%	10,00%	100,00%
		XBILATERAL	14,29%	28,57%		28,57%	14,29%	14,29%	100,00%
	XMONOLATERAL	7,14%	50,00%	14,29%		7,14%	21,43%	100,00%	
	XY_ANDERES_PROFIL	50,00%	25,00%			25,00%		100,00%	
	XYPMONOLATERAL		75,00%			25,00%		100,00%	
	XZ_ANDERES_PROFIL	46,67%	16,67%	13,33%	6,67%	13,33%	3,33%	100,00%	
	XZMONOLATERAL	11,11%	27,78%	27,78%		27,78%	5,56%	100,00%	
	YMONOLATERAL		20,83%	41,67%	8,33%	20,83%	8,33%	100,00%	
	YZ_ANDERES_PROFIL	27,27%	18,18%	18,18%	25,00%	27,27%	9,09%	100,00%	
	YZMONOLATERAL		25,00%	25,00%	5,88%	29,41%		100,00%	
	ZBILATERAL	11,76%	17,65%	35,29%	10,42%	12,50%	12,50%	100,00%	
	ZMONOLATERAL		25,00%	39,58%	10,42%	12,50%	12,50%	100,00%	
	NoD	0,52%	32,98%	37,70%	10,47%	11,52%	6,81%	100,00%	

6. Diskussion

6.1. Übersicht

Das Ziel unserer Studie war die Risikoanalyse bestimmter skelettaler Konfigurationen hinsichtlich potentiell pathologischer Funktionen. Dazu wurde die Verlagerung der Kondylen aus einer Ruheposition ohne okklusale Kontakte in eine Position unter Okklusion bei maximaler Muskelaktivität untersucht.

Im Folgenden werden die Ergebnisse anhand der vorliegenden Literatur diskutiert und ausgewertet.

6.2. Diskussion der Methodik

6.2.1. Elektronische Kondylographie

Zur Untersuchung der Positionsveränderung des Kondylus unter maximaler freiwilliger bruxistischer Aktivität des Patienten wurden in der vorliegenden Studie Messkurven der Kondylographie genutzt. In der Literatur wurde zur Untersuchung der Kondylusverlagerung bisher hauptsächlich die Methode der Kondylenpositionsmessung mit Hilfe des Artikulators, dem CPI/MPI verwendet (Alexander et al., 1993; Cordray, 2006, 2016; Costea, Badea, Vasilache, & Mesaroş, 2016; Crawford, 1999; Hidaka et al., 2002; Ponces et al., 2014; Utt et al., 1995). In Studien, die bildgebende Verfahren wie MRT oder DVT nutzen ist lediglich die Positionsbestimmung des Kondylus in der Fossa möglich, (Arieta-Miranda, Silva-Valencia, Flores-Mir, Paredes-Sampen, & Arriola-Guillen, 2013; Burke, Major, Glover, & Prasad, 1998; Katsavrias & Halazonetis, 2005) jedoch keine Verlagerung bzw. deren genaue Quantifizierung.

Die Kondylographie ist ein funktionelles Verfahren zur direkten Bestimmung und Verfolgung der Position und Bewegung des Kiefergelenkkondylus am Patienten. Im Gegensatz zur Messung mittels des CPI/MPI ist von einer höheren Genauigkeit aufgrund von weniger Zwischenschritten auszugehen (Utz et al., 2015). Die Auswertung und Nutzung der Referenzposition in der elektronischen Kondylographie ist frei von Ungenauigkeiten, die durch Materialnutzung wie z.B. Modelle,

verschiedene Wachse und Ähnlichem verursacht werden können (Piehlsinger et al., 1993). Zudem werden die Interpretationsmöglichkeiten durch die Visualisierung unmittelbarer Auswirkungen unter Okklusionskontakt erweitert (Utz et al., 2015). Während der Patient das Knirschmuster ausführt, kann die Bewegung des Kondylus verfolgt und anschließend vermessen werden. Dadurch können okklusionsbegründete Kondylusverlagerungen dargestellt werden (Bumann & Lotzmann, 2000).

Aufgrund der hohen Präzision und der dynamischen Aufzeichnungsmöglichkeiten ist die elektronische Kondylographie unserer Meinung nach ein geeignetes Instrument zur Untersuchung einer Kondylusverlagerung unter Bruxismusfunktion und somit anderen Verfahren wie CPI/MPI, MRT und DVT überlegen.

6.2.2. Retrokraniale Kondylusverlagerung

In der vorliegenden Studie wurde die Verlagerung des Kondylus aus seiner Ruheposition in der Referenzposition nach Slavicek zum retrokranialsten Punkt der Bruxismusbahn untersucht. Damit unterscheidet sie sich deutlich von anderen Studien, die sich mit Kondylusverlagerungen beschäftigt haben. Es wird eine bestimmte Bewegungsrichtung der Kondylen untersucht, die in der Literatur als potentiell pathologisch unter parafunktionellen Aktivitäten herausgestellt wird (Greven et al., 2011; Otsuka et al., 2009; Yang et al., 2013).

In zahlreichen Studien konnte eine posteriore Kondylusverlagerung mit einer temporomandibulären Dysfunktion assoziiert werden (Crawford, 1999; Fernández Sanromán et al., 1998; Incesu et al., 2004; Otsuka et al., 2011; Pullinger et al., 1986; Rammelsberg et al., 2000; Toll et al., 2010; Weinberg, 1979).

Die posteriore Position des Kondylus kann mehr Belastung als andere Positionen erfahren, wodurch sie unter Umständen einen beschleunigenden und verschlechternden Einfluss auf eine durch biomechanische Belastung verursachte temporomandibuläre Gelenkpathologie unter parafunktionaler Aktivität wie z.B. Bruxismus hat (Yang et al., 2013).

Weiterhin kann die Kondylenverlagerung in posteriorer Richtung zu einer signifikanten Aktivierung des limbischen Systems führen und damit auch die Ursache für diverse somatische Symptome sein (Greven et al., 2011; Otsuka et al., 2009). In

der Literatur wird die posteriore Verlagerung als potentiell pathologischer als andere Verlagerungen herausgestellt. Die hier durchgeführte Untersuchung dieser Richtung kann daher eine spezifischere Risikoanalyse bezüglich einer temporomandibulären Dysfunktion ermöglichen.

6.3. Diskussion der Ergebnisse

6.3.1. Patientenkollektiv

Die Auswahl des Patientenkollektivs geschah zufällig auf Basis von allen Patienten, die in den mitarbeitenden Praxen und Instituten eine Kondylographie mit individueller Scharnierachsbestimmung, Protrusions- und Bruxismusbahn, sowie ein FRS mit individueller Scharnierachspunktmarkierung bekommen haben. Abgesehen davon gab es keine Ausschlusskriterien.

Es handelt sich um eine retrospektive Studie, die Daten von mit VieSID zusammenarbeitenden spezialisierten Praxen ausgewertet hat. Generell sind Patienten aus diesem Kollektiv Patienten mit kieferorthopädischem und/oder prothetischen Behandlungsbedarf, sowie Patienten mit einer behandlungsbedürftigen, temporomandibulären Dysfunktionssymptomatik. Dementsprechend handelt es sich um ein vorselektiertes Kollektiv, das nicht dem Bevölkerungsquerschnitt entspricht.

Unser Patienten Klientel schließt alle Altersklassen und beide Geschlechter mit ein, wobei $\frac{3}{4}$ der Kohorte (74,3%) weiblichen Geschlechts waren.

In kieferchirurgischen Studien zur temporomandibulären Dysfunktion wurde diese Verteilung laut Toll et al. bereits über viele Jahre hin bestätigt (Toll et al., 2010). So hatten sie selbst in ihrer Studie zur Prävalenz von Kiefergelenkspathologien in den unterschiedlichen Klassen und die Nutzung von MRT Diagnostik 69% Frauen zu 31% Männern. Zur Erklärung zogen sie die Dissertation von Nesplak heran, die angab, dass eine Prädisposition der Frauen daher rühren kann, dass diese sich psychisch stärker mit ihrem äußeren Erscheinungsbild identifizieren und damit die seelische Beeinträchtigung durch eine Dysgnathie deutlich größer sei. Auch eine lockere ligamentäre Situation und Gelenkkapsel könnte eine Ursache sein (Nesplak, 2001; Toll et al., 2010). Diese Verteilung entspricht auch den Studien von Niggel und Milano et al zum Internal Derangement. Milano et al. gehen von einem veränderten

Kollagenstoffwechsel bei Frauen aus (Milano, Desiate, Bellino, & Garofalo, 2000; Niggli, 2005). Hidaka et. al hatten die gleiche Verteilung in ihrer Studie zur kondylären Verlagerung in kieferorthopädischen Patienten (Hidaka et al., 2002). Die Geschlechterverteilung in der vorliegenden Studie entspricht anderen Studien in unterschiedlichen Bereichen zur temporomandibulären Dysfunktion und ist somit diesbezüglich gut vergleichbar.

Der Altersdurchschnitt der Patienten in der vorliegenden Studie beträgt 34,7 Jahre, die Verteilung der Kohorte ist zwischen 12-84 Jahren. Die Verteilung spricht für die unterschiedlichen Behandlungsinteressen der Patienten in den Praxen, da keine Einschränkung bezüglich des Grundes für die Vermessung vorgegeben wurde. Ein Vergleich mit anderen Studien ist abhängig von deren Patientenklientel. So ähnelt der Durchschnittswert von Toll et al. mit 31,6 Jahren unserem Wert (Toll et al., 2010). Generell sind die meisten Studien zum Thema Kondylusverlagerung eher einer jüngeren Kohorte zugeordnet (Cordray, 2006, 2016; Costea et al., 2016; Hidaka et al., 2002; Ponces et al., 2014; Utt et al., 1995). Dies ist vor allem der Fall, wenn sie im Bereich der Kieferorthopädie untersucht wurden, da hier meist spezielle Altersklassen untersucht werden.

6.3.2. Verteilung der skelettalen Klasse

Die Verteilung der skelettalen Klassen in unserer Kohorte unterscheidet sich mit 52,7% skelettaler Klasse I, 38,4% skelettale Klasse II und 8,8% skelettale Klasse III von den Werten, die Slavicek 1984 erhielt.

Slavicek hatte in seiner Habilitationsstudie eine größere Tendenz zur skelettalen Klasse II mit 51,8% (R. Slavicek, 1984).

Auch Utt et al. haben mit 67% eine deutliche Tendenz zur Klasse II (Utt et al., 1995), was auf den rein kieferorthopädischen Hintergrund seiner Studie und die damit verbundene Patientenvorselektion zurückzuführen sein könnte.

Auffällig ist weiterhin, dass es in unserer Studie deutliche Geschlechterunterschiede bezüglich der skelettalen Klassenverteilung in der Klasse I und II gibt. So ist der Klasse I Anteil in der männlichen Gruppe 10% höher als der weibliche Anteil, in der Klasse II 10 % niedriger. Toll et al. beschreibt in seiner Studie ähnliche, nur stärker

ausgeprägte Tendenzen. In der Gruppe der Klasse II Patienten sind lediglich 20% Männer, in der Klasse I ist es umgekehrt mit nur 14% Frauen (Toll et al., 2010).

6.3.3. Kondylusverlagerung

Unabhängig von der skelettalen Klasse haben 50% der untersuchten Patienten eine Verlagerung der Kiefergelenkkondylen über dem Schwellenwert. Das bedeutet, dass in unserer Kohorte, unabhängig von der skelettalen Klasse ein hoher Prozentsatz der Patienten eine potentiell pathologische Verlagerung in retrokranialer Richtung unter Bruxismusfunktion hat.

In einer Studie von Crawford et al. an 30 vorbehandelten und 30 unbehandelten Patienten hatten 83,4% der unbehandelten Gruppe eine Verlagerung des Kondylus über dem Schwellenwert im CPI. Allerdings untersuchte er im Gegensatz zu der vorliegenden Studie alle Richtungen der kondylären Verlagerung (Crawford, 1999). Damit sind auch Bewegungsrichtungen eingeschlossen, die unter Umständen keine pathologische Wirkung auf die Gewebe haben können.

Utt et al. und Hidaka et al. hatten mit 81% und 61% im CPI deutlich höhere Anteile an Patienten ohne Verlagerung über dem Schwellenwert. Dieser Unterschied ist auf den höheren Schwellenwert (>2 mm in der Vertikalen und Horizontalen) als in der vorliegenden und in Crawfords Studie zurückzuführen (Hidaka et al., 2002; Utt et al., 1995).

In der vorliegenden Studie hatten 15% eine medial-laterale Verlagerung. Dieser Wert ist in Übereinstimmung mit Utt et al. Ihre Untersuchungen ergaben, dass 15,9% der untersuchten Patienten eine Verlagerung in der Transversalen über 0,5 mm hatten (Utt et al., 1995). Hidaka et al. hatten dagegen mit 31% einen deutlich höheren Anteil an lateral verlagerten Kondylen über dem Schwellenwert. Sie vermuten einen Unterschied in den anatomischen Gegebenheiten des Kiefergelenks und der Zahnbogenform in einer japanischen Kohorte (Hidaka et al., 2002).

6.3.4. Korrelation skelettale Klasse - Kondylusverlagerung

In der beschreibenden Analyse zeigt die Verteilung der Patienten nach skelettaler Klasse und der Art der Verlagerung, dass die Gruppe der skelettalen Klasse III die größte Anzahl mit 59% an gesunden Patienten, ohne eine Verlagerung über dem Schwellenwert, hat. Dennoch hat auch diese Untersuchungsgruppe einen Anteil von 41% an Patienten mit Verlagerung. Im Vergleich zu den anderen Klassen, ist sie damit zwar die Gesundeste, die Unterschiede sind jedoch nicht statistisch signifikant. Das bedeutet, dass statistisch gesehen alle Klassen ein ähnlich hohes Risiko haben, eine potentiell pathologische Verlagerung unter Bruxismusfunktion zu haben. Dieses Ergebnis ist im Einklang mit Untersuchungen von Utt et al. und Hidaka et al. Sie konnten keinen statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen ANB Winkel (einem Winkel, der die skelettale Klasse definieren kann), dem Unterschied zwischen zentrischer Kondylenposition und maximaler Interkuspitation finden. Allerdings unterscheiden sich diese Studien von der vorliegenden durch die Nutzung des CPI als Methodik (Hidaka et al., 2002; Utt et al., 1995). Der CPI ermöglicht keine Untersuchung der Verlagerung unter Bewegung des Unterkiefers, da er auf einer Modellanalyse basiert und ist damit weniger aussagekräftig bezüglich einer Kondylusverlagerung unter Funktion.

Unsere Hypothese, dass Patienten mit einer skelettalen Klasse II eine höhere Wahrscheinlichkeit für eine Verlagerung des Kondylus über dem Schwellenwert und damit ein höheres Risiko eine temporomandibuläre Dysfunktion zu haben oder zu entwickeln, ist mit den vorliegenden Ergebnissen widerlegt. Es gibt in der vorliegenden Studie keinen statistischen Zusammenhang zwischen der Verlagerung des Kondylus und der skelettalen Klasse unter bruxistischer Aktivität.

6.3.5. Cluster Analyse

Clusteranalysen geben uns die Möglichkeit Daten von Patienten, die keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich eines Aspektes aufweisen in Untergruppen zu sortieren, die eine Unterscheidung oder Gruppierung ermöglichen.

In der Literatur gibt es einige Studien, die versuchen eine Risikosortierung bzw. eine Erstellung von Patientenprofilen anhand einer Clusteranalyse bezüglich einer Prädisposition einer temporomandibulären Dysfunktion oder deren Symptomen und

Zeichen vorzunehmen (e Silva Machado, de Macedo Nery, de Góis Nery, & Leles, 2012; Sipilä et al., 2011; Suvinen, Hanes, & Reade, 2008; Velly, Philippe, & Gornitsky, 2002).

Die vorliegende Studie hat 6 verschiedene Cluster durch die Analyse ihrer skelettalen Klasse, dem statistisch gesehen stärksten Prädiktor, ihrem Geschlecht, ihrem Alter und ihrer Art der Verlagerung gefunden. Dabei waren vier Cluster spezifisch für Geschlecht und skelettale Klasse. Einer der Cluster, Cluster 1, ist im Vergleich zu den anderen Clustern besonders auffällig. Er enthält sowohl Männer als auch Frauen mit skelettaler Klasse I oder II. Dieser Cluster hat nur einen sehr geringen Anteil an Patienten, die keine Verlagerung über dem Schwellenwert haben (0,52% der Gesamtzahl). Zusätzlich enthält er den größten Teil der komplexen Profile und durchschnittliche Verlagerungen auf der X- und Z-Achse, die signifikant von den Mittelwerten aller anderen Cluster abweicht.

Das Ergebnis, dass der Cluster mit den pathologischsten Profilen sowohl Frauen als auch Männer, und die skelettale Klasse I und II beinhaltet, zeigt die Notwendigkeit, dass mehrere Aspekte in Bezug auf die Prädisposition zur temporomandibulären Dysfunktion betrachtet werden sollten.

Dieses ist in Übereinstimmung mit den Clusteranalysen zur Risikobestimmung einer temporomandibulären Dysfunktion von Machado et al. und Velly et al. Sie schlussfolgern, dass durch die Risikoprofilbildung unnötige klinische Entscheidungen aufgrund der großen Diversität der Dysfunktionssymptomatiken reduziert werden und dies zur bestmöglichen Behandlung der einzelnen Gruppen führt (e Silva Machado et al., 2012; Velly et al., 2002).

Die Anwendung der Clusteranalyse trägt der allgemeinen Ansicht Rechnung, dass die Ätiologie einer temporomandibulären Dysfunktion multifaktoriell ist (Bagis, Ayaz, Turgut, Durkan, & Özcan, 2012; McNamara, Seligman, & Okeson, 1995; Mohlin et al., 2007; Schindler, Hugger, Kordaß, & Türp, 2014; Scrivani, Keith, & Kaban, 2008; Vasconcelos Filho et al., 2007; Zarb & Carlsson, 1999).

6.4. Fazit

Unsere Hypothese, dass Patienten mit skelettaler Klasse II ein höheres Ausgangsrisiko einer Kompression über dem Schwellenwert haben, wird durch unsere Ergebnisse widerlegt. Es gibt keine statistisch signifikante Relation zwischen der skelettalen Klasse und der Verlagerung der Kiefergelenkkondylen über dem Schwellenwert. Keine der drei Klassen hat eine statistisch signifikant höhere Wahrscheinlichkeit einer Verlagerung.

Unabhängig von der skelettalen Klasse hatten 50% der untersuchten Patienten eine Verlagerung in mindestens einer Richtung über dem Schwellenwert. Das bedeutet, dass ein großer Anteil der untersuchten Patienten eine potentiell pathologische Verlagerung des Kondylus unter freiwillig und bewusst ausgeführter Bruxismusfunktion aufweist.

Es ist wichtig zu beachten, dass diese Kompression nur dann von Bedeutung ist, wenn der Patient diese Bewegung auch unter unbewusster Bruxismusfunktion ausführt. Der kondylographische Wert in Verbindung mit der skelettalen Klasse aus der kephalometrischen Untersuchung ist lediglich ein Baustein. Dieser ist ohne den klinischen Befund und die Beschwerdesymptomatik als ein beachtenswertes Indiz zu verstehen, das in eine bestimmte Richtung deutet.

Mit Hilfe der in der Studie genutzten Methodik der scharnierachsgerechten elektronischen Kondylographie können wie bereits in der Literaturanalyse eingehend beschrieben, funktionelle Vektoren im Gelenk unter dynamischer Funktion identifiziert werden. Sie dient der Früherkennung von subklinischen Diskopathien und anderen Ursachen für eine Dysfunktion und unterstützt damit die Interpretation erhobener klinischer Befunde. (R Slavicek, 1988)

Durch die Bestimmung der Scharnierachse kann im Nachhinein anhand der Analyse der achsgerecht montierten Modelle der spezifische kausale Einfluss der Okklusion weiter untersucht werden. Dieser kann im MRT, dem derzeitigen Goldstandard der Kiefergelenksdiagnostik nicht untersucht werden.

Die Ergebnisse dieser Studie dienen für den praktizierenden Zahnarzt als Erweiterung der Möglichkeiten den kompensierten Patienten frühzeitig zu erkennen, wenn notwendig weitere Diagnosemaßnahmen wie z.B. das MRT zur Abklärung von Gelenkpathologien einzuleiten und entsprechende Überlegungen in die Therapieplanung einzubeziehen.

6.5. Limitationen

Es handelt sich in dieser Studie um eine epidemiologische Studie, in der Daten von Patienten mit einem zahnärztlichen oder kieferorthopädischen Behandlungsbedarf ausgewertet wurden. Da es eine retrospektive Studie ist, gibt es keine Kontrollgruppe mit gesunden, nicht behandlungsbedürftigen Probanden.

Der Patient wird in der Kondylographie gebeten eine Knirschbewegung unter maximalem Zusammenbiss durchzuführen. Dieses ist eine simulierte parafunktionelle Aktivität, die sich möglicherweise vom unbewussten Tag- bzw. Nachtbruxismus unterscheidet. Nutzt der Patient diese Funktion tagsüber bzw. nachts nicht, ist sie unter Umständen bedeutungslos. Eine Abklärung kann nur durch das Sammeln und Auswerten von weiteren patientenspezifischen Daten, wie z.B. dem klinischen Befund, der Beschwerdesymptomatik etc. erfolgen.

7. Zusammenfassung

Ziel: Ziel der Studie war es, einen Zusammenhang zwischen skelettaler sagittaler Schädelmorphologie und einer retrokraniellen Kondylusverlagerung unter Bruxismusfunktion herzustellen. Unsere Hypothese war, dass Patienten mit einer skelettalen Unterkieferverlagerung im Sinne einer skelettalen Klasse II aufgrund ihrer anatomischen Grundbedingungen eine höhere Ausgangswahrscheinlichkeit einer Kondylusverlagerung über dem pathologischen Schwellenwert bei bruxistischer Aktivität haben, als Patienten mit einer neutralen Position des Unterkiefers im Sinne einer skelettalen Klasse I bzw. einer Vorlage des Unterkiefers im Sinne einer skelettalen Klasse III.

Material und Methode: In dieser Studie wurden scharnierachsgerechte Kondylographien von 385 Patienten zur Messung der retrokraniellen kondylären Verlagerung unter Bruxismusfunktion ausgewertet. Dafür wurde ein anhand von Studien von Otsuka et al, Greven et al und Christiansen festgelegter Schwellenwert genutzt (Christiansen, 2010; Greven et al., 2011; Otsuka et al., 2011). Zur Analyse der sagittalen skelettalen Schädelmorphologie wurden Fernröntgenseitenbilder von den untersuchten Patienten bezüglich ihrer skelettalen Klasse ausgewertet und mit den Ergebnissen der Kondylographie korreliert. Zusätzlich wurden weitere patientenspezifische Parameter wie z.B. Alter und Geschlecht erhoben, um anhand einer Clusteranalyse eine individuelle Risikobestimmung des einzelnen Patienten zu ermöglichen.

Ergebnisse: In der untersuchten Kohorte waren 74,3% weiblichen Geschlechts und im Durchschnitt 34,7 Jahre alt. Eine statistisch signifikante Relation zwischen der skelettalen Klasse und der Verlagerung der Kiefergelenkkondylen über dem Schwellenwert konnte in unserer Kohorte nicht nachgewiesen werden. Unabhängig von der skelettalen Klasse hatten 50% der untersuchten Patienten eine Verlagerung über dem Schwellenwert.

In der Clusteranalyse stach Cluster 1 im Vergleich zu den anderen Clustern in Bezug auf einen deutlich höheren Anteil an komplexen Verlagerungsprofilen und einer signifikant größeren Verlagerung heraus. Diese Gruppe beinhaltet nur eine kleine

Anzahl von Patienten (n=33), die zur skelettalen Klasse I oder II gehörten und sowohl männlich als auch weiblich waren.

Fazit: Eine Korrelation zwischen pathologischer Kondylusverlagerung unter freiwillig und bewusst ausgeführter Bruxismusfunktion und skelettaler Klasse ließ sich in dieser Studie nicht herstellen. Keine der drei Klassen hatte eine statistisch signifikant höhere Wahrscheinlichkeit einer Verlagerung. Unsere Hypothese, dass Patienten mit skelettaler Klasse II ein höheres Ausgangsrisiko einer Kompression über dem Schwellenwert haben, wurde durch unsere Ergebnisse widerlegt. Unabhängig von der skelettalen Klasse wies ein großer Anteil (50%) der untersuchten Patienten eine potentiell pathologische Verlagerung des Kondylus auf und hat damit unter Umständen ein höheres Risiko einer temporomandibulären Dysfunktion. Die kondylographischen Befunde sollten immer im Zusammenhang mit dem klinischen Befund und der Beschwerdesymptomatik gesehen werden. Die Ergebnisse der Clusteranalyse unterstreichen die multifaktorielle Ätiologie der temporomandibulären Dysfunktion.

8. Ausblick

Mit dieser ersten Studie wurde die Verlagerung des Kiefergelenkkondylus unter Bruxismusfunktion mit der skelettalen Klasse korreliert. Unsere Untersuchungen ergaben, dass die skelettalen Klassen sich statistisch gesehen in ihrer Prädisposition für eine Verlagerung des Kondylus über dem Schwellenwert nicht voneinander unterscheiden. Allerdings hatten 50% der untersuchten Patienten eine Verlagerung in retrokranialer Richtung über dem Schwellenwert und damit ein erhöhtes Risiko einer temporomandibulären Dysfunktionssymptomatik, wie in anderen Studien belegt wurde (Crawford, 1999; Fernández Sanromán et al., 1998; Incesu et al., 2004; Otsuka et al., 2011; Pullinger et al., 1986; Rammelsberg et al., 2000; Toll et al., 2010; Weinberg, 1979).

In weiterführenden Untersuchungen könnten weitere skelettale Parameter wie zum Beispiel die unterschiedlichen Wachstumstypen sowie verschiedene Parameter der Okklusion, wie die Okklusionsebenenneigung, untersucht werden, um eine ausführlichere Risikoanalyse jedes Patienten erstellen zu können.

Sowohl in der elektronischen Kondylographie, als auch der Kephalmetrie gibt es viele weitere Aspekte, die berücksichtigt und mit der Kondylusverlagerung korreliert werden können.

Letztlich ist es notwendig auch klinische Befunde wie zum Beispiel Gelenk- und Muskelbefunde, Schmerz oder psychische Grundvoraussetzungen mit den instrumentellen dynamischen Befunden zu korrelieren.

Tabellenverzeichnis

Tab. 1	Alters- und Geschlechtsverteilung des Patientenguts.....	29
Tab. 2	Übersicht Winkel zur Bestimmung der skelettalen Klasse nach Slavicek.....	36-37
Tab.3	Proxy-Variable, die das Vorhandensein einer Kompression auf den spezifischen Achsen beschreibt.....	42
Tab. 4	Cluster Identifizierungsschema.....	53

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1	Kiefergelenk im Saggitalschnitt – nachgedruckt von <i>Current Problems in Diagnostic Radiology</i> , 33(1), 16–24. Sano, T., Yamamoto, M., Okano, T., Gokan, T., & Westesson, P.-L. (2004). Common abnormalities in temporomandibular joint imaging, S. 16, Copyright 2016 mit Erlaubnis von Elsevier.....	10
Abb. 2a/2b	frontale (a = links) und sagittale (b = rechts) Ansicht der passiven Bewegungskapazität des Kondylus – nachgedruckt von <i>Journal Of Craniomandibular Function</i> , 2(4), 329–343 Christiansen G. (2010). Computergestützte Messung des funktionellen Gelenkraums des Kiefergelenks, S.331, Copyright 2016 mit Erlaubnis von Quintessenz.....	19
Abb. 3	Cadiax - Ausmessung der am weitesten retrokranialen Auslenkung links	33
Abb. 4	Cadiax - Ausmessung der am weitesten retrokranialen Auslenkung rechts	34
Abb. 5	Überlagertes Patienten FRS mit Durchzeichnung.....	38
Abb. 6	Durchzeichnung mit Cadias.....	39
Abb. 7	prozentuale Verteilung der Patienten nach Alter und Geschlecht.....	43
Abb. 8	prozentuale Verteilung der Patienten nach skelettaler Klasse.....	44
Abb. 9	prozentuale Verteilung der Patienten nach Geschlecht und skelettaler Klasse.....	44
Abb. 10	prozentuale Verteilung der Patienten nach Verlagerung.....	45

Abb. 11	prozentuale Verteilung der Patienten nach skelettaler Klasse und Art der Verlagerung – skelettale Klasse I.....	46
Abb. 12	prozentuale Verteilung der Patienten nach skelettaler Klasse und Art der Verlagerung – Skelettale Klasse II.....	46
Abb. 13	prozentuale Verteilung der Patienten nach skelettaler Klasse und Art der Verlagerung – Skelettale Klasse III.....	47
Abb. 14	Moods-Median-Test Verlagerung X-Achse links.....	48
Abb. 15	Moods-Median-Test Verlagerung X-Achse rechts.....	48
Abb. 16	Moods-Median-Test Verlagerung Y-Achse links.....	48
Abb. 17	Moods-Median-Test Verlagerung Y-Achse rechts.....	49
Abb. 18	Moods-Median-Test Verlagerung Z-Achse links.....	49
Abb. 19	Moods-Median-Test Verlagerung Z-Achse rechts.....	49
Abb. 20	Anzahl der Cluster und relative Dimensionen.....	50
Abb. 21	Bedeutung der Prädiktoren im Modell.....	51

Literaturverzeichnis

Ahlers, M. O., & Jakstat, H. A. (2001). *Klinische Funktionsanalyse* (2.Aufl.). Hamburg: DentaConcept Verlag Hamburg.

Alexander, S. R., Moore, R. N., & DuBois, L. M. (1993). Mandibular condyle position: comparison of articulator mountings and magnetic resonance imaging. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics: Official Publication of the American Association of Orthodontists, Its Constituent Societies, and the American Board of Orthodontics*, 104(3), 230–9. [http://doi.org/10.1016/S0889-5406\(05\)81724-X](http://doi.org/10.1016/S0889-5406(05)81724-X)

Angle, Edward H., D. D. S. (1899). Classification of Malocclusion. *The Dental Cosmos; a Monthly Record of Dental Science: Vol. XLI. [Vol. 41]*, 41(3), 248–264.

Aquilino, S. A., Matteson, S. R., Holland, G. A., & Phillips, C. (1985). Evaluation of condylar position from temporomandibular joint radiographs. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 53(1), 88–97.

Arieta-Miranda, J. M., Silva-Valencia, M., Flores-Mir, C., Paredes-Sampen, N. A., & Arriola-Guillen, L. E. (2013). Spatial analysis of condyle position according to sagittal skeletal relationship, assessed by cone beam computed tomography. *Progress in Orthodontics*, 14, 36. <http://doi.org/10.1186/2196-1042-14-36>

Bagis, B., Ayaz, E. A., Turgut, S., Durkan, R., & Özcan, M. (2012). Gender difference in prevalence of signs and symptoms of temporomandibular joint disorders: a retrospective study on 243 consecutive patients. *International Journal of Medical Sciences*, 9(7), 539–44. <http://doi.org/10.7150/ijms.4474>

Baik, C. Y., & Ververidou, M. (2004). A new approach of assessing sagittal discrepancies: the Beta angle. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 126(1), 100–105. <http://doi.org/10.1016/j.ajodo.2003.08.026>

Barrera-Mora, J. M., Espinar Escalona, E., Abalos Labruzzo, C., Llamas Carrera, J. M., Ballesteros, E. J.-C., Solano Reina, E., & Rocabado, M. (2012). The relationship between malocclusion, benign joint hypermobility syndrome, condylar position and TMD symptoms. *Cranio: The Journal of Craniomandibular Practice*, 30(2), 121–30. <http://doi.org/10.1179/crn.2012.018>

Bernhardt, O., & Meyer, G. (2014). The diagnostic value of computerized jaw tracking for arthrogenous temporomandibular disorders (TMDs) Der diagnostische Wert von computergestützten Kieferbewegungsaufzeichnungen bei arthrogenen kranio-mandibulären Dysfunktionen. *Journal Of Craniomandibular Function*, 6(1), 39–50.

Bonilla-Aragon, H., Tallents, R. H., Katzberg, R. W., Kyrkanides, S., & Moss, M. E. (1999). Condyle position as a predictor of temporomandibular joint internal derangement. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 82(2), 205–208. [http://doi.org/10.1016/S0022-3913\(99\)70157-5](http://doi.org/10.1016/S0022-3913(99)70157-5)

Bräunig, B. (2012). *Zentrische Kondylenpositionsanalyse - Übersicht und klinische Bewertung nach Untersuchungen mittels computergestützter Messsysteme*. Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald, Deutschland.

Bumann, A., & Lotzmann, U. (2000). *Funktionsdiagnostik und Therapieprinzipien*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag.

Burke, G., Major, P., Glover, K., & Prasad, N. (1998). Correlations between condylar characteristics and facial morphology in Class II preadolescent patients. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics: Official Publication of the American Association of Orthodontists, Its Constituent Societies, and the American Board of Orthodontics*, 114(3), 328–36.

Chang, H. P. (1987). Assessment of anteroposterior jaw relationship. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics: Official Publication of the American Association of Orthodontists, Its Constituent Societies, and the American Board of Orthodontics*, 92(2), 117–22.

Christiansen, G. (2010). Computeraided measurement of the functional joint space of the temporomandibular joint Computergestützte Messung des funktionellen Gelenkraums des Kiefergelenks. *Journal Of Craniomandibular Function*, 2(4), 329–343.

Christiansen, G. (2012). *Das Kiefergelenk verstehen*. Ingolstadt: CMD Compact KG.

Cordray, F. E. (2006). Three-dimensional analysis of models articulated in the seated condylar position from a deprogrammed asymptomatic population: a prospective study. Part 1. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics : Official Publication of the American Association of Orthodontists, Its Constituent Societies, and the American Board of Orthodontics*, 129(5), 619–30. <http://doi.org/10.1016/j.ajodo.2004.10.015>

Cordray, F. E. (2016). Articulated dental cast analysis of asymptomatic and symptomatic populations. *International Journal of Oral Science*, 8(2), 126–32. <http://doi.org/10.1038/ijos.2015.44>

Costea, C. M., Badea, M. E., Vasilache, S., & Mesaroş, M. (2016). Effects of CO-CR discrepancy in daily orthodontic treatment planning. *Clujul Medical (1957)*, 89(2), 279–86. <http://doi.org/10.15386/cjmed-538>

Crawford, S. D. (1999). Condylar axis position, as determined by the occlusion and measured by the CPI instrument, and signs and symptoms of temporomandibular dysfunction. *The Angle Orthodontist*, 69(2), 103-15–6. [http://doi.org/10.1043/0003-3219\(1999\)069<0103:CAPADB>2.3.CO;2](http://doi.org/10.1043/0003-3219(1999)069<0103:CAPADB>2.3.CO;2)

Dawson, P. E. (1996). A classification system for occlusions that relates maximal intercuspation to the position and condition of the temporomandibular joints. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 75(1), 60–6.

Deutsche Gesellschaft für Zahn- Mund- und Kieferheilkunde. Wissenschaftliche Stellungnahme (2005). <http://doi.org/10.1159/000075846>

E Silva Machado, L., de Macedo Nery, M., de Góis Nery, C., & Leles, C. (2012). Profiling the clinical presentation of diagnostic characteristics of a sample of symptomatic TMD patients. *BMC Oral Health*, *12*(1), 26. <http://doi.org/10.1186/1472-6831-12-26>

Edinger, D. H. (2001). Elektronische Funktionsdiagnostik bei therapeutischen Maßnahmen. *Zahnmedizin*, *91*(19), 8–11.

Fanghänel, J., & Gedrange, T. (2007). On the development, morphology and function of the temporomandibular joint in the light of the orofacial system. *Annals of Anatomy = Anatomischer Anzeiger: Official Organ of the Anatomische Gesellschaft*, *189*(4), 314–9. <http://doi.org/10.1016/j.aanat.2007.02.024>

Fernández Sanromán, J., Gómez González, J. M., & Alonso del Hoyo, J. (1998). Relationship between condylar position, dentofacial deformity and temporomandibular joint dysfunction: an MRI and CT prospective study. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, *26*(1), 35–42. [http://doi.org/10.1016/S1010-5182\(98\)80033-4](http://doi.org/10.1016/S1010-5182(98)80033-4)

Gateno, J., Anderson, P. B., Xia, J. J., Horng, J. C., Teichgraeber, J. F., & Liebschner, M. A. K. (2004). A comparative assessment of mandibular condylar position in patients with anterior disc displacement of the temporomandibular joint. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery: Official Journal of the American Association of Oral and Maxillofacial Surgeons*, *62*(1), 39–43.

Greven, M., Otsuka, T., Zutz, L., Weber, B., Elger, C., & Sato, S. (2011). The amount of TMJ displacement correlates with brain activity. *Cranio: The Journal of Craniomandibular Practice*, *29*(4), 291–6. <http://doi.org/10.1179/crn.2011.043>

Han, U. K., & Kim, Y. H. (1998). Determination of Class II and Class III skeletal patterns: Receiver operating characteristic (ROC) analysis on various cephalometric measurements. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 113(5), 538–545. [http://doi.org/10.1016/S0889-5406\(98\)70265-3](http://doi.org/10.1016/S0889-5406(98)70265-3)

Henderson, S. E., Lowe, J. R., Tudares, M. A., Gold, M. S., & Almarza, A. J. (2015). Temporomandibular joint fibrocartilage degeneration from unilateral dental splints. *Archives of Oral Biology*, 60(1), 1–11. <http://doi.org/10.1016/j.archoralbio.2014.08.022>

Henrikson, T., Nilner, M., & Kurol, J. (2000). Signs of temporomandibular disorders in girls receiving orthodontic treatment. A prospective and longitudinal comparison with untreated Class II malocclusions and normal occlusion subjects. *European Journal of Orthodontics*, 22(3), 271–81.

Hidaka, O., Adachi, S., & Takada, K. (2002). The difference in condylar position between centric relation and centric occlusion in pretreatment Japanese orthodontic patients. *The Angle Orthodontist*, 72(4), 295–301. [http://doi.org/10.1043/0003-3219\(2002\)072<0295:TDICPB>2.0.CO;2](http://doi.org/10.1043/0003-3219(2002)072<0295:TDICPB>2.0.CO;2)

Hoffman, P. J., Silverman, S. I., & Garfinkel, L. (1973). Comparison of condylar position in centric relation and in centric occlusion in dentulous subjects. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 30(4 Pt 2), 582–8.

Ikeda, K., Kawamura, A., & Ikeda, R. (2011). Assessment of optimal condylar position in the coronal and axial planes with limited cone-beam computed tomography. *Journal of Prosthodontics: Official Journal of the American College of Prosthodontists*, 20(6), 432–8. <http://doi.org/10.1111/j.1532-849X.2011.00730.x>

Incesu, L., Taşkaya-Yilmaz, N., Oğütçen-Toller, M., & Uzun, E. (2004). Relationship of condylar position to disc position and morphology. *European Journal of Radiology*, 51(3), 269–73. [http://doi.org/10.1016/S0720-048X\(03\)00218-3](http://doi.org/10.1016/S0720-048X(03)00218-3)

Ishikawa, H., Nakamura, S., Iwasaki, H., & Kitazawa, S. (2000). Seven parameters describing anteroposterior jaw relationships: Postpubertal prediction accuracy and interchangeability. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 117(6), 714–720. [http://doi.org/10.1016/S0889-5406\(00\)70181-8](http://doi.org/10.1016/S0889-5406(00)70181-8)

Ismail, Y. H., & Rokni, A. (1980). Radiographic study of condylar position in centric relation and centric occlusion. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 43(3), 327–30.

Jacobson, A. (1975). The “Wits” appraisal of jaw disharmony. *American Journal of Orthodontics*, 67(2), 125–138. [http://doi.org/10.1016/0002-9416\(75\)90065-2](http://doi.org/10.1016/0002-9416(75)90065-2)

Joshi, N., Hamdan, A. M., & Fakhouri, W. D. (2014). Skeletal Malocclusion: A Developmental Disorder With a Life-Long Morbidity. *Journal of Clinical Medicine Research*, 6(6), 399–408. <http://doi.org/10.14740/jocmr1905w>

Katsavrias, E. G., & Halazonetis, D. J. (2005). Condyle and fossa shape in Class II and Class III skeletal patterns: a morphometric tomographic study. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics: Official Publication of the American Association of Orthodontists, Its Constituent Societies, and the American Board of Orthodontics*, 128(3), 337–46. <http://doi.org/10.1016/j.ajodo.2004.05.024>

Kim, Y. H., & Vietas, J. J. (1978). Anteroposterior dysplasia indicator: An adjunct to cephalometric differential diagnosis. *American Journal of Orthodontics*, 73(6), 619–633. [http://doi.org/10.1016/0002-9416\(78\)90223-3](http://doi.org/10.1016/0002-9416(78)90223-3)

Klasser, G. D., Rei, N., & Lavigne, G. J. (2015). Sleep bruxism etiology: the evolution of a changing paradigm. *Journal Canadian Dental Association*, 81, f2.

Kordass, B., Hugger, A., & Bernhardt, O. (2012). Correlation between computer-assisted measurements of mandibular opening and closing movements and clinical symptoms of temporomandibular dysfunction. *International Journal of Computerized Dentistry*, 15(2), 93–107.

Kurita, H., Ohtsuka, A., Kobayashi, H., & Kurashina, K. (2001). A study of the relationship between the position of the condylar head and displacement of the temporomandibular joint disk. *Dento Maxillo Facial Radiology*, 30(3), 162–5. <http://doi.org/10.1038/sj/dmfr/4600603>

Lavigne, G. J., Rompré, P. H., Poirier, G., Huard, H., Kato, T., & Montplaisir, J. Y. (2001). Rhythmic masticatory muscle activity during sleep in humans. *Journal of Dental Research*, 80(2), 443–8.

Lobbezoo, F., Ahlberg, J., Glaros, A. G., Kato, T., Koyano, K., Lavigne, G. J., De Leeuw, R., Manfredini, D., Svensson, P & Winocur, E. (2013). Bruxism defined and graded: an international consensus. *Journal of Oral Rehabilitation*, 40(1), 2–4. <http://doi.org/10.1111/joor.12011>

Lobbezoo, F., van der Zaag, J., Visscher, C. M., & Naeije, M. (2004). Oral kinesiology. A new postgraduate programme in the Netherlands. *Journal of Oral Rehabilitation*, 31(3), 192–8. <http://doi.org/10.1046/j.0305-182X.2003.01244.x>

Marpaung, C. M., Kalaykova, S. I., Lobbezoo, F., & Naeije, M. (2014). Validity of functional diagnostic examination for temporomandibular joint disc displacement with reduction. *Journal of Oral Rehabilitation*, 41(4), 243–9. <http://doi.org/10.1111/joor.12130>

McNamara, J. A., Seligman, D. A., & Okeson, J. P. (1995). Occlusion, Orthodontic treatment, and temporomandibular disorders: a review. *Journal of Orofacial Pain*, 9(1), 73–90.

Mikhail, M. G., & Rosen, H. (1979). The validity of temporomandibular joint radiographs using the head positioner. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 42(4), 441–446. [http://doi.org/10.1016/0022-3913\(79\)90148-3](http://doi.org/10.1016/0022-3913(79)90148-3)

Milano, V., Desiate, A., Bellino, R., & Garofalo, T. (2000). Magnetic resonance imaging of temporomandibular disorders: classification, prevalence and interpretation of disc displacement and deformation. *Dento Maxillo Facial Radiology*, 29(6), 352–61. <http://doi.org/10.1038/sj/dmfr/4600555>

Mohlin, B., Axelsson, S., Paulin, G., Pietilä, T., Bondemark, L., Brattström, V., Hansen, K., Holm, A.-K. (2007). TMD in relation to malocclusion and orthodontic treatment. *The Angle Orthodontist*, 77(3), 542–8. [http://doi.org/10.2319/0003-3219\(2007\)077\[0542:TIRTMA\]2.0.CO;2](http://doi.org/10.2319/0003-3219(2007)077[0542:TIRTMA]2.0.CO;2)

Mongini, F. (1977). Anatomic and clinical evaluation of the relationship between the temporomandibular joint and occlusion. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 38(5), 539–551. [http://doi.org/10.1016/0022-3913\(77\)90030-0](http://doi.org/10.1016/0022-3913(77)90030-0)

Moyers, R. E., Bookstein, F. L., & Guire, K. E. (1979). The concept of pattern in craniofacial growth. *American Journal of Orthodontics*, 76(2), 136–148. [http://doi.org/10.1016/0002-9416\(79\)90115-5](http://doi.org/10.1016/0002-9416(79)90115-5)

Nanda, R. S., & Merrill, R. M. (1994). Cephalometric assessment of sagittal relationship between maxilla and mandible. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 105(4), 328–344. [http://doi.org/10.1016/S0889-5406\(94\)70127-X](http://doi.org/10.1016/S0889-5406(94)70127-X)

Nesplak, E. (2001). *Umstellungsosteotomien des Unterkiefers, Eine retrospektive Analyse des Patientengutes von 1981–1995 an der Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer-, Gesichtschirurgie der Universität Würzburg*. Universität Würzburg, Deutschland.

Niggel, E. (2005). *Funktionelle Analyse des diskokondylären Komplexes in der statischen und dynamischen Magnetresonanztomographie anhand eines neuen Algorithmus mit Bezug zur klinisch diagnostischen Reliabilität*. Technische Universität München Klinikum rechts der Isar.

Nishigawa, K., Bando, E., & Nakano, M. (2001). Quantitative study of bite force during sleep associated bruxism. *Journal of Oral Rehabilitation*, 28(5), 485–91.

Oktaç, H. (1991). A comparison of ANB, WITS, AF-BF, and APDI measurements. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 99(2), 122–128. [http://doi.org/10.1016/0889-5406\(91\)70114-C](http://doi.org/10.1016/0889-5406(91)70114-C)

Otsuka, T., Sasaguri, K., Watanabe, K., Hirano, Y., Niwa, M., Kubo, K., Miyake, S., Greven, M. & Sato, S. (2011). Influence of the TMJ position on limbic system activation – an fMRI study. *Journal Of Craniomandibular Function*, 3(1), 29–39.

Otsuka, T., Watanabe, K., Hirano, Y., Kubo, K., Miyake, S., Sato, S., & Sasaguri, K. (2009). Effects of mandibular deviation on brain activation during clenching: an fMRI preliminary study. *Cranio: The Journal of Craniomandibular Practice*, 27(2), 88–93. <http://doi.org/10.1179/crn.2009.014>

Paesani, D., Westesson, P. L., Hatala, M., Tallents, R. H., & Kurita, K. (1992). Prevalence of temporomandibular joint internal derangement in patients with craniomandibular disorders. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics: Official Publication of the American Association of Orthodontists, Its Constituent Societies, and the American Board of Orthodontics*, 101(1), 41–7. [http://doi.org/10.1016/0889-5406\(92\)70080-T](http://doi.org/10.1016/0889-5406(92)70080-T)

Piehslinger, E., Celar, A. G., Celar, R. M., & Slavicek, R. (1991). Computerized axiography: principles and methods. *Cranio: The Journal of Craniomandibular Practice*, 9(4), 344–55.

Piehslinger, E., Celar, a, Celar, R., Jäger, W., & Slavicek, R. (1993). Reproducibility of the condylar reference position. *Journal of Orofacial Pain*, 7(1), 68–75.

Ponces, M. J., Tavares, J. P., Lopes, J. D., & Ferreira, A. P. (2014). Comparison of condylar displacement between three biotypological facial groups by using mounted models and a mandibular position indicator. *Korean Journal of Orthodontics*, 44(6), 312–319. <http://doi.org/10.4041/kjod.2014.44.6.312>

Pullinger, A. G., Solberg, W. K., Hollender, L., & Guichet, D. (1986). Tomographic analysis of mandibular condyle position in diagnostic subgroups of temporomandibular disorders. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 55(6), 723–729. [http://doi.org/10.1016/0022-3913\(86\)90450-6](http://doi.org/10.1016/0022-3913(86)90450-6)

Rammelsberg, P., Jäger, L., & Duc, J. M. (2000). Magnetic resonance imaging-based joint space measurements in temporomandibular joints with disk displacements and in controls. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontics*, 90(2), 240–8. <http://doi.org/10.1067/moe.2000.107361>

Ren, Y.-F., Isberg, A., & Westesson, P.-L. (1995). Condyle position in the temporomandibular joint: Comparison between asymptomatic volunteers with normal disk position and patients with disk displacement. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 80(1), 101–107. [http://doi.org/10.1016/S1079-2104\(95\)80025-5](http://doi.org/10.1016/S1079-2104(95)80025-5)

Riedel, R. A. (1952). The relation of maxillary structures to cranium in malocclusion and in normal occlusion. *The Angle Orthodontist*, 22(3), 142–145. [http://doi.org/10.1043/0003-3219\(1952\)022<0142:TROMST>2.0.CO;2](http://doi.org/10.1043/0003-3219(1952)022<0142:TROMST>2.0.CO;2)

Robinson de Senna, B., Marques, L. S., França, J. P., Ramos-Jorge, M. L., & Pereira, L. J. (2009). Condyle-disk-fossa position and relationship to clinical signs and symptoms of temporomandibular disorders in women. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontics*, 108(3), e117-24. <http://doi.org/10.1016/j.tripleo.2009.04.034>

Rosner, D. (1982). Hinge axis translation from retruded contact position to intercuspal position in dentulous subjects in treatment. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 48(6), 713–718. [http://doi.org/10.1016/S0022-3913\(82\)80035-8](http://doi.org/10.1016/S0022-3913(82)80035-8)

Sano, T., Yamamoto, M., Okano, T., Gokan, T., & Westesson, P.-L. (2004). Common abnormalities in temporomandibular joint imaging. *Current Problems in Diagnostic Radiology*, 33(1), 16–24. <http://doi.org/10.1016/j.cpradiol.2003.09.001>

Sato, C., Sato, S., Takashina, H., Ishii, H., Onozuka, M., & Sasaguri, K. (2010). Bruxism affects stress responses in stressed rats. *Clinical Oral Investigations*, 14(2), 153–60. <http://doi.org/10.1007/s00784-009-0280-6>

Sato, S. (2001). Bruxism as a Stress Management Function of the Masticatory Organ. *Bulletin of Kanagawa Dental College*, 29(2), 101–110.

Sato, S., & Slavicek, R. (2009). Allostasis and dentistry - Allostase in der Zahnmedizin. *Journal Of Craniomandibular Function*, 1(4), 283–294.

Schindler, H. J., Hugger, A., Kordaß, B., & Türp, J. C. (2014). Splint therapy for temporomandibular disorders : basic principles Grundlagen der Schienentherapie bei Myoarthropathien des Kausystems, 6(3), 207–230.

Schmolke, C. (1994). The relationship between the temporomandibular joint capsule, articular disc and jaw muscles. *Journal of Anatomy*, 184 (Pt 2), 335–45.

Scrivani, S. J., Keith, D. A., & Kaban, L. B. (2008). Temporomandibular disorders. *The New England Journal of Medicine*, 359(25), 2693–705. <http://doi.org/10.1056/NEJMra0802472>

Sipilä, K., Suominen, A. L., Alanen, P., Heliövaara, M., Tiittanen, P., & Könönen, M. (2011). Association of clinical findings of temporomandibular disorders (TMD) with self-reported musculoskeletal pains. *European Journal of Pain (London, England)*, 15(10), 1061–7. <http://doi.org/10.1016/j.ejpain.2011.05.001>

Sjoholm, T., Lehtinen, I. I., & Helenius, H. (1995). Masseter muscle activity in diagnosed sleep bruxists compared with non- symptomatic controls. *J Sleep Res*, 4(1), 48–55. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2869.1995.tb00150.x>

Slavicek, R. (1984). *Die funktionellen Determinanten des Kauorgans*. (Habilitationsschrift). Universität Wien, Österreich. Verlag zahnärztliche medizinische Schriften, München.

Slavicek, R. (1988). Clinical and instrumental functional analysis and treatment planning. Part 4. Instrumental analysis of mandibular casts using the mandibular position indicator. *Journal of Clinical Orthodontics : JCO*, 22(9), 566–75.

Slavicek, R. (2000). *Das Kauorgan : Funktionen und Dysfunktionen*. Klosterneuburg: GAMMA Medizinisch-wissenschaftliche Fortbildungs-GmbH.

Slavicek, R. (2015). *Concepts in Oral Medicine Vol. I tractatio*. Klosterneuburg: GAMMA Medizinisch-wissenschaftliche Fortbildungs-GmbH.

Stamm, T., Hohoff, A., van Meegen, A., & Meyer, U. (2004). On the Three-Dimensional Physiological Position of the Temporomandibular Joint. *Journal of Orofacial Orthopedics / Fortschritte Der Kieferorthopädie*, 65(4), 280–289. <http://doi.org/10.1007/s00056-004-0402-3>

Stamm, T., Hohoff, A., Van Meegen, A., & Meyer, U. (2004). On the three-dimensional physiological position of the temporomandibular joint. *Journal of Orofacial Orthopedics = Fortschritte Der Kieferorthopädie : Organ/official Journal Deutsche Gesellschaft Für Kieferorthopädie*, 65(4), 280–9. <http://doi.org/10.1007/s00056-004-0402-3>

Suvinen, T. I., Hanes, K. R., & Reade, P. C. (2008). Outcome of therapy in the conservative management of temporomandibular pain dysfunction disorder. *Journal of Oral Rehabilitation*, 24(10), 718–724. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2842.1997.tb00267.x>

Tanaka, E., Iwabe, T., Dalla-Bona, D. A., Kawai, N., van Eijden, T., Tanaka, M., Kitagawa, S., Takata, T. & Tanne, K. (2005). The effect of experimental cartilage damage and impairment and restoration of synovial lubrication on friction in the temporomandibular joint. *Journal of Orofacial Pain*, 19(4), 331–6.

Tanaka, T., Yoshida, M., Yokoo, H., Tomita, M., & Tanaka, M. (1998). Expression of aggression attenuates both stress-induced gastric ulcer formation and increases in noradrenaline release in the rat amygdala assessed by intracerebral microdialysis. *Pharmacology, Biochemistry, and Behavior*, 59(1), 27–31.

Toll, D. E., Popović, N., & Drinkuth, N. (2010). The use of MRI diagnostics in orthognathic surgery: prevalence of TMJ pathologies in Angle Class I, II, III patients. *Journal of Orofacial Orthopedics = Fortschritte Der Kieferorthopädie : Organ/official Journal Deutsche Gesellschaft Für Kieferorthopädie*, 71(1), 68–80. <http://doi.org/10.1007/s00056-010-0903-1>

Tuppy, F., Celar, R. M., Celar, A. G., Piehslinger, E., & Jäger, W. (1994). The reproducibility of condylar hinge axis positions in patients, by different operators, using the electronic mandibular position indicator. *Journal of Orofacial Pain*, 8(3), 315–20.

Utt, T. W., Meyers, C. E., Wierzba, T. F., & Hondrum, S. O. (1995). A three-dimensional comparison of condylar position changes between centric relation and centric occlusion using the mandibular position indicator. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics: Official Publication of the American Association of Orthodontists, Its Constituent Societies, and the American Board of Orthodontics*, 107(3), 298–308.

Utz, K.-H., Hugger, A., Ahlers, M. O., & Seeher, W.-D. *S2k-Leitlinie Instrumentelle zahnärztliche Funktionsanalyse* (2015).

Vasconcelos Filho, J. O., Menezes, A. V. de, Freitas, D. Q. de, Manzi, F. R., Bóscolo, F. N., & de Almeida, S. M. (2007). Condylar and disk position and signs and symptoms of temporomandibular disorders in stress-free subjects. *Journal of the American Dental Association* (1939), 138(9), 1251–5; quiz 1268.

Velly, A. M., Philippe, P., & Gornitsky, M. (2002). Heterogeneity of temporomandibular disorders: cluster and case-control analyses. *Journal of Oral Rehabilitation*, 29(10), 969–79.

Weinberg, L. A. (1973). Temporomandibular joint function and its effect on centric relation. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 30(2), 176–195. [http://doi.org/10.1016/0022-3913\(73\)90054-1](http://doi.org/10.1016/0022-3913(73)90054-1)

Weinberg, L. A. (1979). Role of condylar position in TMJ dysfunction-pain syndrome. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 41(6), 636–643. [http://doi.org/10.1016/0022-3913\(79\)90062-3](http://doi.org/10.1016/0022-3913(79)90062-3)

Weinberg, L. A. (1983). The role of stress, occlusion, and condyle position in TMJ dysfunction-pain. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 49(4), 532–545. [http://doi.org/10.1016/0022-3913\(83\)90318-9](http://doi.org/10.1016/0022-3913(83)90318-9)

Williamson, E. H. (1977). Temporomandibular dysfunction in pretreatment adolescent patients. *American Journal of Orthodontics*, 72(4), 429–33.

Wolford, L. M., Karras, S., & Mehra, P. (2002). Concomitant temporomandibular joint and orthognathic surgery: A preliminary report. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 60(4), 356–362. <http://doi.org/10.1053/joms.2002.31220>

Wolford, L. M., Reiche-Fischel, O., & Mehra, P. (2003). Changes in temporomandibular joint dysfunction after orthognathic surgery. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery: Official Journal of the American Association of Oral and Maxillofacial Surgeons*, 61(6), 655–60; discussion 661. <http://doi.org/10.1053/joms.2003.50131>

Wood, D. P., & Korne, P. H. (1992). Estimated and true hinge axis: a comparison of condylar displacements. *The Angle Orthodontist*, 62(3), 167–75; discussion 176. [http://doi.org/10.1043/0003-3219\(1992\)062<0167:EATHAA>2.0.CO;2](http://doi.org/10.1043/0003-3219(1992)062<0167:EATHAA>2.0.CO;2)

Yang, H. J., Kim, D. S., Yi, W.-J., & Hwang, S. J. (2013). Reduced joint distance during TMJ movement in the posterior condylar position. *Journal of Cranio-Maxillo-Facial Surgery: Official Publication of the European Association for Cranio-Maxillo-Facial Surgery*, 41(7), e159-64. <http://doi.org/10.1016/j.jcms.2012.12.005>

Yap, A. U., & Chua, A. P. (2016). Sleep bruxism: Current knowledge and contemporary management. *Journal of Conservative Dentistry: JCD*, 19(5), 383–9. <http://doi.org/10.4103/0972-0707.190007>

Zarb, G. A., & Carlsson, G. E. (1999). Temporomandibular disorders: osteoarthritis. *Journal of Orofacial Pain*, 13(4), 295–306

Danksagung

Zu allererst will ich mich hier herzlich bei Herrn Prof. Dr. Dr. Andreas Kolk für die langjährige Betreuung und universitäre Unterstützung dieser Arbeit bedanken. Weiterhin gilt mein Dank Herrn Univ.- Prof. Dr. Dr. Klaus-Dietrich Wolff, dass ich diese Arbeit an seiner Klinik erstellen und schreiben durfte.

Danke auch an Dr. Markus Greven für die Unterstützung und Förderung dieser Arbeit und den Ansporn die Ziele doch immer noch ein wenig höher zu stecken.

Danke an Michela Franchini für die geduldige Hilfe bei der statistischen Auswertung.

Zuletzt gilt mein besonderer Dank meinen Eltern, meinem Mann und meinen Kindern für die Geduld und fortwährende Motivation.