

Diplomarbeit
ORIENTIERENDE STUDIE:
EIN VERGLEICH DER LAGE DER KIEFERGELENKSKONDYLEN IN ZWEI
DIAGNOSTISCHEN UNTERKIEFERPOSITIONEN
ZWISCHEN KONDYMETER UND MRT

Zur Erlangung des akademischen Grades

Doktorin der Zahnheilkunde

(Dr.ⁱⁿ med. dent.)

an der

Universitätszahnklinik Wien

ausgeführt am

Institut für Kieferorthopädie/ Institut für Radiologie

unter der Anleitung von

Professor Dr. Aleš Čelar

Professor Dr. André Gahleitner

eingereicht von

Tanja Galleider

1042293

Ethikkommission Akt.Z.: 1438/2015

23.10.2017, Wien

Unterschrift:

Inhaltsverzeichnis

1 Zusammenfassung.....	5
2 Abstract.....	6
3 Einleitung.....	7
3.1 Das Kiefergelenk	9
3.2 Interkuspitationsposition (IKP)	10
3.3 Referenzposition (RP)	10
3.4 Nicht manipulierte neuromuskuläre Position (NM)	11
3.5 Bimanuell geführte Position nach Dawson (BM)	11
3.6 Kondymeter	12
4 Material und Methodik	13
4.1 Studienfallzahl	13
4.2 Teilnehmerrekrutierung	14
4.3 Stichprobe	16
4.4 Deprogrammierung.....	16
4.5 Nicht-geführte neuromuskuläre Bissnahme	17
4.6 Registrierung der bimanuell geführten Position nach Dawson	19
4.7 Modellerstellung	22
4.7.1 Arbitärer Gesichtsbogen.....	27
4.7.2 Artikulator	28
4.8 Vermessung im Kondymeter	31
4.9 Vermessung im MRT	35
4.10 Statistische Analysen	37
4.10.1 Datenmanagement	37
4.10.2 Intraklassen-Korrelationskoeffizient (ICC)	37
4.10.3 Bland-Altman-Diagramm	38

5	Resultate.....	39
5.1	Reproduzierbarkeit (Kondymeter).....	39
5.2	IKP versus NM versus BM.....	39
5.3	ICC.....	42
5.4	Bland-Altman-Diagramm.....	44
6	Diskussion	49
7	Schlussfolgerung.....	56
8	Literaturverzeichnis.....	57
9	Abbildungsverzeichnis.....	63
10	Tabellenverzeichnis	66
11	Anhang	67
11.1	Teilnehmeraushang	67
11.2	Anamnesebogen	68
11.3	Patientenaufklärung.....	69

Aufgrund der besseren Lesbarkeit wird im weiteren Text zum Teil auf die gleichzeitige Verwendung weiblicher und männlicher Personenbegriffe verzichtet. Gemeint und angesprochen sind – sofern zutreffend – immer beide Geschlechter.

1 ZUSAMMENFASSUNG

In dieser orientierenden Studie wurde die Lage der Kiefergelenkskondylen in zwei diagnostischen Unterkieferpositionen von asymptomatischen Individuen im Kondymeter vermessen, um diese anschließend mit den Resultaten aus der Studie "Lage der Kiefergelenkskondylen in drei diagnostischen Unterkieferpositionen in vivo mittels Magnetresonanztomographie – eine orientierende Studie" (Wolfsegger 2017) zu vergleichen. Folgende zwei Unterkieferpositionen wurden hierfür herangezogen: Die nicht manipulierte neuromuskuläre Position und die bimanuell geführte Position nach Dawson. Zusätzlich bildete die Schlussbissstellung einen Referenzpunkt zur Bewertung des Bewegungsausmaßes. Für die Studie wurden zehn männliche und zehn weibliche Teilnehmende mit asymptomatischem Kiefergelenk im Alter von 23 bis 37 Jahren untersucht. Die Asymptomatik wurde durch einen subjektiven Fragebogen und eine klinische Untersuchung festgestellt. Danach wurden die obere und untere Zahnreihe mittels Alginat abgeformt und anschließend ein arbiträrer Gesichtsbogen angelegt, um artikulatormontierte Gipsmodelle zu erstellen. Weiters wurden für jede Referenzposition Bissregistrare erstellt. Für die neuromuskuläre Position wurde eine Bisschablone aus Siloxan und für die bimanuell geführte Position nach Dawson eine aus Hartwachs angefertigt. Diese zwei Unterkieferpositionen wurden mithilfe der anatomisch-arbiträr montierten Gipsmodelle und Bisschablonen im Kondymeter eingestellt und die räumliche Lagebeziehung der Kondylarkugeln mittels Messuhren dreidimensional quantifiziert. Anschließend wurden diese Werte mit den Messungen der Studie von Wolfsegger (2017) verglichen, mittels Intraklassenkorrelationskoeffizient verifiziert und mit einem Bland-Altman-Diagramm grafisch dargestellt. Der Koeffizient wies rechts in der Vertikal- und Transversalachse auf eine hohe Übereinstimmung zwischen den beiden Messmethoden hin (ICC = 0.74 bzw. 0.69; $**p \leq 0.01$). In der sagittalen Achse wurde eine mäßige Übereinstimmung festgestellt (ICC = 0.46; $^{\circ}p \leq 0.10$). Beim linken Kondylus ergab die Interraterreliabilität in der sagittalen und kraniokaudalen Achse ein hohes Ausmaß der Übereinstimmung (ICC = 0.70 bzw. 0.68; $**p \leq 0.01$), in der Transversalachse lediglich eine schwache Übereinstimmung (ICC = 0.31; $p > 0.1$). Mittels Bland-Altman-Diagramm konnte gezeigt werden, dass in der Population die Abweichungen von der Differenz zwischen beiden Messmethoden (MRT und Kondymeter) in allen rechten und linken Achsen zu 95% im kranio-mandibulären Toleranzbereich zu liegen kommen und somit keine klinische Relevanz aufweisen.

2 ABSTRACT

This orientational study evaluated the position of the temporomandibular condyles in two diagnostic mandibular positions in asymptomatic individuals by using articulator mountings and a condylar position indicator. The data were compared with the measurement points of the study "Positions of the temporomandibular condyles in three diagnostic mandibular reference positions in vivo by magnetic resonance imaging – an orientational study" (Wolfsegger 2017). The following two mandibular positions were used: the unguided neuromuscular position and the bimanually guided position according to Dawson. In addition, the position of dental intercuspitation was a reference point for evaluating the extent of movement. The sample population consisted of ten men and ten women aged 23 to 37 years without temporomandibular disorder. The asymptomatic state was determined by a subjective questionnaire and a clinical examination. Maxillary and mandibular casts were obtained from impressions of the upper and lower teeth. The transfer to the articulator was carried out using an arbitrary face-bow. The casts were mounted in the best-fit maximum occlusion. Recordings for the unguided position (siloxane) and for the bimanual guidance (wax) were made. The condymeter was used to determine the difference between the unguided and guided position using the casts and the records. The gauges of the indicator displayed the spatial positional relationship of the right and left condyle in three dimensions. These values were compared with the results of the aforementioned study by Wolfsegger (2017), verified by ICC and plotted with a Bland-Altman diagram. The intraclass correlation coefficient yielded a large degree of concordance on the right side of the vertical and transversal axes (ICC = 0.74 or. 0.69; $**p \leq 0.01$) between the two measurement methods. A moderate correlation was observed in the sagittal axis (ICC = 0.46; $^{\circ}p \leq 0.10$). For the left condyle, the inter-rater reliability in the sagittal and vertical axis gave a high degree of agreement (ICC = 0.70 or. 0.68; $**p \leq 0.01$), an insufficient correlation existed in the transversal axis (ICC = 0.31; $p > 0.1$). By means of the Bland-Altman plot it could be shown that in the population the deviations between the difference of both methods (MRI and Condymeter) in all right and left axes are with a 95% probability within the range of the masticatory system's tolerance and therefore no clinical relevance is proven.

3 EINLEITUNG

In dieser Arbeit wird ein Diskussionsaspekt der Studie "Guided and unguided mandibular reference positions in asymptomatic individuals" (Čelar et al. 2012) aufgegriffen. In der Arbeit wurde erforscht, wie weit sich die Kondylenposition ändert, wenn man den Unterkiefer bimanuell geführt oder nicht-geführt in eine Retralposition stellt. Zudem wurde die Kondylenstellung der beiden Referenzpositionen mit der Kondylenlage in Schlussbissstellung verglichen. Die Stellung der Kiefergelenksköpfchen wurde anhand von artikulatormontierten Gipsmodellen und Bissregistraten im Kondymeter dreidimensional vermessen. An der Studie nahmen 37 asymptotische Probanden teil. Das Resultat hierbei war unter anderem, dass es zwar eine räumliche Variabilität der Kondylenpositionen gab, jedoch keine klinische Relevanz nachgewiesen werden konnte. Dies bedeutet, dass es in der Praxis wenig Unterschied macht, ob die Referenzposition nicht-geführt oder bimanuell geführt nach Dawson erlangt wird. Die Kiefergelenksköpfchenposition ist bei beiden Methoden etwa gleich, jedoch nicht gleich gut reproduzierbar. Natürlich sind Referenzpositionen von gewissen Gegebenheiten, wie genügend Erfahrung des Behandlers und einer entspannten Kaumuskulatur abhängig.

Der Limitationsfaktor der oben genannten Studie bezieht sich auf das angewandte Verfahren zum Auswerten der Bisslagen. Denn das Kondymeter kann Kiefergelenksbewegungen nur bis zu einem gewissen Maße richtig simulieren und nicht die exakten anatomischen Gegebenheiten widerspiegeln. Deshalb wurde eine Untersuchung der zentrischen Kondylenlage im MRT und anschließend ein Vergleich zwischen Kondymeter und MRT in der Studie von Čelar et al. (2012) empfohlen. Der Bestimmung der Kondylenposition und -verlagerung kommt in der alltäglichen Praxis eine wichtige Bedeutung zu, beispielsweise im Rahmen prothetischer Rekonstruktionen, bei der Behandlung kranio-mandibulärer Dysfunktionen und der Planung komplexer kieferorthopädisch-kieferchirurgischer Behandlungsmaßnahmen. Entsprechend ist es erforderlich, dass die Ergebnisse der zur Anwendung kommenden Methoden zuverlässig sind. Im Falle einer fehlerhaften Vorgehensweise können die daraus resultierenden Probleme beispielsweise zu Beschwerden der Kaumuskulatur und des Kiefergelenks führen. Auch die Deutsche Gesellschaft für Funktionsdiagnostik und -therapie und jene für

Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde bemerkten, dass lediglich die Reliabilität und Validität von erhobenen Parametern durch indirekte handelsübliche Registrierverfahren bereits in klinischen Studien untersucht und belegt wurde (Böhm et al. 1995, Čelar & Tamaki 2002, Stiesch-Scholz & Roßbach 2002, Pröschel et al. 2002, Bernhardt et al. 2003, Vahle-Hinz et al. 2009). Jedoch gibt es wenige Studien zur Übereinstimmung zwischen direkt am Patienten gemessenen Werten und jenen aus einem Kondylenpositions-Messinstrument (Gschossmann 1995, Utz et al. 2015). Eine Arbeit (Alexander et al. 1993) stellte Daten aus dem Mandibularpositionsindikator jenen Werten aus dem MRT gegenüber. Diese Studie untersuchte die vertikale und horizontale Übereinstimmung in der sagittalen Ebene der beiden Messverfahren. Damals konnte keine zufriedenstellende Übereinstimmung zwischen dem Mandibularpositionsindikator und der Magnetresonanztomographie gefunden werden. Unter anderem wurden die unscharfe Abgrenzung des kortikalen Knochens zum umgebenden Gewebe in den Bildern und eine geringe Messgenauigkeit ihres Mandibularpositionsindikators von nur 0.5 Millimeter in der sagittalen Ebene als mögliche Auswertungsfehler gesehen. In der jetzigen Studie werden daher ein 3-Tesla-MRT und ein Kondymeter mit einer Messgenauigkeit von 0.01 Millimeter herangezogen. Weiters werden die sagittale Ebene und die koronare Ebene aufgezeichnet. Da die Studienteilnehmer von 2012 nicht mehr erreichbar waren, wurden mittels Modellen, Gesichtsbogen, Bissnahmen, Kondymeter und zusätzlichem MRT Daten an neuen Teilnehmern erhoben. Die gesamte Studie wurde an der Universitätszahnklinik Wien durchgeführt. Die MRT-Durchführung und -Auswertung wird in der Studie "Lage der Kiefergelenkskondylen in drei diagnostischen Unterkieferpositionen in vivo mittels MRT – eine orientierende Studie" (Wolfsegger 2017) erläutert und die Daten in diese Arbeit übernommen.

Die Studie wurde bei der Ethikkommission eingereicht und bewilligt (EK Nr: 1438/2015).

3.1 Das Kiefergelenk

Das Kiefergelenk (Abbildung 1 und Abbildung 2) ist ein Scharnierachsendgelenk zwischen Os temporale und Mandibula. Es besteht aus dem Processus condylaris des Ramus ascendens mandibulae, dem Discus articularis und der Eminentia articularis bzw. dem Tuberculum articulare sowie aus den umgebenden Bändern und Muskeln. Es liegt direkt vor dem Porus acusticus externus des Os temporale und wird ventral durch das Os zygomaticum begrenzt (Bumann et al. 2000).

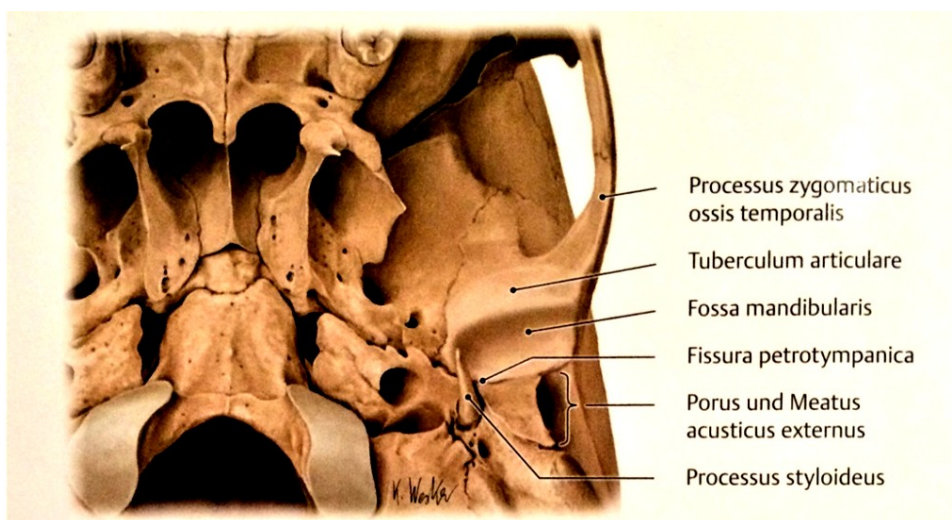


Abbildung 1. *Fossa mandibularis, Ansicht von kaudal* (Lüthje et al. 2008)

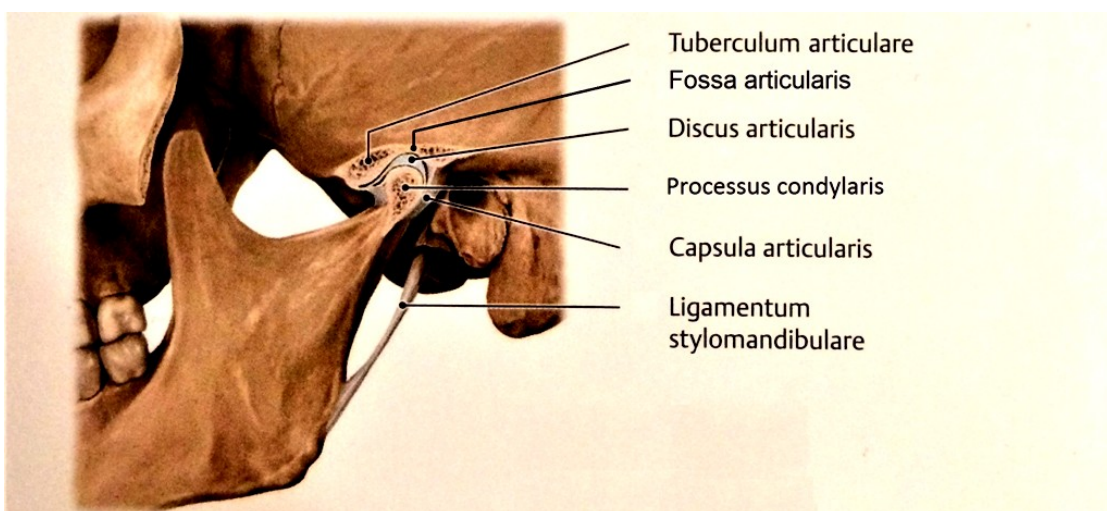


Abbildung 2. *Kiefergelenk, Ansicht von sagittal* (modifiziert nach Lüthje et al. 2008)

3.2 Interkuspurationsposition (IKP)

Die Interkuspurationsposition, oder auch habituelle Position genannt, stellt den maximalen Vielpunktkontakt zwischen oberem und unterem Zahnbogen in der Schlussbissstellung dar. Diese ist unabhängig von der Position der Kiefergelenke in der Fossa und wird nur durch die Okklusion definiert (Piehslinger et al. 2006). Im Gegensatz dazu gibt es die Referenzposition, die im Folgenden erläutert wird.

3.3 Referenzposition (RP)

Die Referenzposition, auch retrale Position genannt, ist jene Position der Mandibula, bei der sich die Kiefergelenke mit ihrer umgebenden Matrix (Muskeln, Ligamente) in einem harmonisch entspannten Äquilibrium befinden (Gilboe 1983). Diese ist durch die zentrale Lage des Kondylus in der Fossa articularis ohne Zahnkontakt definiert. Studien haben gezeigt, dass der Processus condylaris in zentrischer Position meist superior und gering anterior, dem distalen Teil des Tuberculum articulare anliegend, in der Fossa positioniert ist (Keshvad & Winstanley 2000 – Part I, Academy of Prosthodontics 2005). Diese Stellung wird als therapeutische Position angesehen, denn die Lage der Kiefergelenkskondylen ist entscheidend für ein Gleichgewicht des artikulomuskulären Systems und vice versa (Dawson 1979). Bei Zahnkontakt in retraler Position wird diese als zentrische Okklusion oder retrale Kontaktposition bezeichnet. Nur bei einer geringen Personenanzahl (< 10 Prozent der Bevölkerung) stimmt die IKP mit der RP überein (Ash & Ramfjord 1995). Zirka 90 Prozent der Individuen gleiten von der RP in die IKP. Eine anteriore Gleitstrecke von mehr als zwei Millimeter wird als Risikofaktor für Kiefergelenksbeschwerden angesehen (McNeill 1997). Bei großen prothetischen Restaurationen, kieferorthopädischen Therapien, oder Patienten, die an Kiefergelenksproblemen leiden oder störende Vorkontakte aufweisen, kann oder soll die ursprüngliche Okklusion nicht beibehalten werden. Bei der neu angestrebten Zahnstellung sollten sich die Kiefergelenkskondylen daher in zentrischer Relation befinden (Ash & Ramfjord 1995). Es gibt einige Methoden, um die therapeutische Referenzposition zu erlangen (Keshvad & Winstanley 2000 – Part II). In der vorliegenden Studie werden die

nicht-geführte neuromuskuläre Position und die bimanuell geführte Position nach Dawson (Dawson 1979, 1995) angewandt und zum Vergleich herangezogen. Die IKP wird als dritte Position mitbeurteilt.

3.4 Nicht manipulierte neuromuskuläre Position (NM)

Bei dieser Methode gelangen die Kiefergelenksköpfchen ohne Führung des Behandlers, nur durch ein entspanntes kranio-mandibuläres System des Probanden, in die zentrale Position. Diese Position wird auch ungeführte oder nicht manipulierte Position genannt und befindet sich am Ende der muskulär geführten Schließbewegung vor dem ersten Zahnkontakt (Brill & Tryde 1974).

3.5 Bimanuell geführte Position nach Dawson (BM)

Bei dieser Methode werden durch die Führung bzw. Manipulation des Behandlers die Kiefergelenke des Probanden in die superiorste und gleichzeitig anteriorste Lage gestellt. Der Behandler steht hinter dem Teilnehmer und platziert den rechten und den linken kleinen Finger jeweils ipsilateral dorsal am Kieferwinkel und umfasst mit den Fingern zwei bis vier den Unterkieferrand. Die Daumen werden ans Kinn gelegt (Abbildung 3) (Dawson 1995). Der Proband sollte sich entspannt führen und passiv öffnen lassen, wenn beide Daumen des Behandlers das Kinn nach kaudal drücken. Ist dies der Fall, kann die zentrale Lage der Kiefergelenksköpfchen aufgezeichnet werden. Die bimanuell geführte Position wird eingestellt, indem der Behandler den Kieferwinkel der Mandibula nach kranioventral drückt und gleichzeitig das Kinn mit den Daumen nach kaudal bewegt. Durch den Behandler werden die Kondylen in die zentrische Position gegen den Discus articularis und gegen die Eminentia articularis verlagert. Diese Methode wird als verlässlichste Manipulation für die retrale Kondylenposition angesehen (Piehslinger et al. 2006).

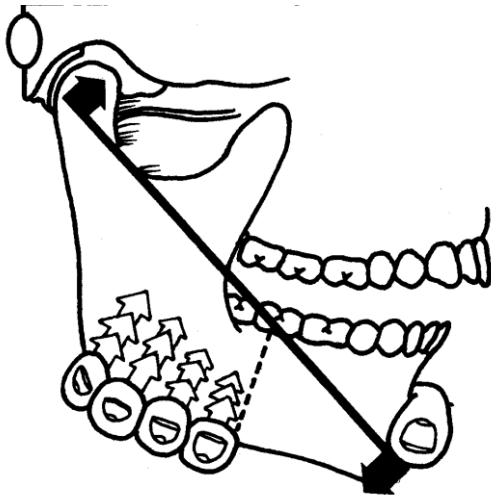


Abbildung 3. *Bimanuell geführte Position nach Dawson (Dawson 1995)*

3.6 Kondymeter

Ein Kondymeter oder auch Kondylenpositionsindikator ist ein Gerät, welches die Kiefergelenksposition in drei Dimensionen erfasst und relativ zu definierten Unterkieferlagen vermisst. Die Ausgabe der Werte erfolgt entweder über Punkte auf einem Millimeterpapier, elektronisch über Messuhren, oder computerunterstützt. Für diese indirekte Methode muss zuerst ein exaktes Ober- und Unterkiefergipsmodell des Patienten erstellt werden. Das Oberkiefermodell wird anschließend schädelbezüglich in einen der Bauart entsprechenden Artikulator montiert und das Unterkiefermodell dazu in einem weiteren Schritt befestigt. Die Modelle, welche die Patientensituation widerspiegeln, werden anschließend in das Kondymeter gegeben und die sich so ergebende Kondylarposition gemessen. Zu dieser Lage werden anhand eingelegter Bissregistrare die daraus resultierenden Veränderungen bestimmt. Diese dreidimensionalen Bewegungen in der x-, y- und z-Achse werden durch die Kondylarkugeln, welche sich beim verwendeten Gerät am Kondymeteroberteil befinden, aufgezeigt. In dieser Studie beschreibt die x-Achse die sagittale, die y-Achse die vertikale und die z-Achse die transversale Ebene. Untersuchungen zur Reproduzierbarkeit dieses Messsystems liegen vor (Schmid-Schwap et al. 2006, Čelar et al. 2012).

4 MATERIAL UND METHODIK

4.1 Studienfallzahl

Die Anzahl der Teilnehmer wurde mithilfe des Instituts für Medizinische Statistik der Medizinischen Universität Wien festgelegt. Bei der Errechnung der Probandenzahl musste auf mehrere Punkte Rücksicht genommen werden. Die Ethikkommission forderte eine Aufwandsentschädigung pro Teilnehmer, zudem durften nicht beliebig viele MRT-Untersuchungen an asymptomatischen Individuen durchgeführt werden. Weiters stand nur eine beschränkte Slotanzahl im Magnetresonanztomographen zur Verfügung. Infolge dieser Punkte und wegen des hohen Geräte- und Budgetaufwandes wurde die Fallzahl mit 20 beziffert. Aufgrund des niedrigen Teilnehmersamples wird diese Studie als orientierende Studie geführt. Mithilfe der Software G*Power 3.1.9.2¹ (Faul et al. 2009) wurde der Effekt berechnet, der bei dieser Fallzahl zu erwarten wäre. Als Rahmenbedingungen wurden für die Testmacht $(1 - \beta) = 0.80$ und für das Signifikanzniveau $\alpha = 0.05$ (zweiseitig) bei abhängigen Daten angenommen. Für eine Probandenzahl in Höhe von 20 kann ein mittlerer Effekt mit $d = 0.66$ angegeben werden. Somit kann errechnet werden, dass bei einer $SD = 1$ die noch signifikante Schwelle bei 0.66 Millimeter zu liegen kommt.

Das Budget für die Studie wurde von der Medizinischen Universität Wien als Förderungsstipendium zur Verfügung gestellt.

¹ G*Power, Version 3.1.9.2 für Windows, Universität Düsseldorf, Deutschland

4.2 Teilnehmerrekrutierung

Für die Studie wurden 20 asymptotische Probanden mittels Aushang (Anhang 11.1) an der Universitätszahnklinik Wien gesucht. Als Entschädigung für den Zeitaufwand wurden 40 Euro bezahlt.

Um an der Studie teilnehmen zu können, wurden vorab bestimmte Ein- bzw. Ausschlusskriterien mithilfe eines Anamnesebogens erfragt (Anhang 11.2). Diese sind ident mit jenen aus der Studie Wolfsegger (2017) und entstammen dem Ethikantrag.

Einschlusskriterien:

- Asymptomatische Kiefergelenke ohne Schmerzen oder Krepitation beim Öffnen und Schließen
- Geschlossene Zahnreihe und eindeutige Bisslage
- Alter zwischen 18 und 40 Jahre

Ausschlusskriterien:

- Erfolgte kieferorthopädische Behandlung in den letzten 5 Jahren
- Systemische Muskelerkrankung z.B. Muskelatrophie, -dystrophie, Myasthenie, ...
- Zustand nach Unterkieferfraktur
- Ankylose im Kiefergelenk
- Synovitis/Capsulitis des Kiefergelenks
- Rheumatoide Arthritis
- Fibromyalgie
- Kollagenosen
- Medikation mit Anxiolytika

Ausschlusskriterien für eine MRT-Durchführung:

- Schwangerschaft, Metallclips (außer kurzer kieferorthopädischer Retainer), etc.

Erst bei erfüllten Ein- und Ausschlusskriterien wurden die Interessenten von einem Facharzt untersucht. Zuerst wurden die Grenzbewegungen der Mandibula beurteilt. Die maximale Mundöffnung sollte mindestens 40 Millimeter, die Laterotrusions- und Protrusionsbewegung mindestens acht Millimeter betragen. Bei zufriedenstellender mandibulärer Mobilität wurde eine manuelle Funktionsanalyse durchgeführt, um die Anwärter auf tatsächliche Beschwerdefreiheit im Kiefergelenk zu untersuchen. Diese Untersuchung wurde am Tag der Bissnahme und Magnetresonanztomographie vom studienbetreuenden Facharzt für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde durchgeführt. Zuerst wurde die Kaumuskulatur mittels isometrischer Kontraktion überprüft. Für diese Untersuchung biss der Proband forciert 20 Sekunden auf eine Watterolle, die zwischen die Zahnreihen gelegt wurde. Traten dabei keine Schmerzen auf und blieb der Muskeltonus konstant niedrig, konnte eine Beschwerdefreiheit der Schließer angenommen werden. Zur Überprüfung der Abduktoren öffnete der Proband den Mund gegen den Widerstand des Behandlers ca. 20 Sekunden lang. Auch hierbei durften keine Schmerzen bzw. keine Muskeler schlaffung auftreten. Danach wurden die Gelenkscapseln und der Bandapparat mittels Traktion untersucht. Hierfür wurde der Daumen des Untersuchers auf die Okklusalfächen der Unterkieferzähne aufgelegt, mit den restlichen Fingern die Mandibula umfasst und mit Kraft nach kaudal gedrückt. Zusätzlich wurden die Kiefergelenksflächen mittels dynamischer Kompression und dynamischer Translation untersucht. Dazu machte der Proband eine Öffnungs- und Protrusions-, sowie eine anteriore Schließ- und anschließende Retrusionsbewegung, während der Untersucher die Kieferwinkel beidseitig nach kranial drückte. Bei den Untersuchungen wurde neben Schmerzempfindungen zusätzlich auf Knackgeräusche und Krepitus geachtet (Slavicek 1988, Bumann et al. 2000). Bei durchwegs negativem Befund wurden die Interessenten zur Studie zugelassen.

4.3 Stichprobe

An der Studie nahmen zehn weibliche und zehn männliche Personen zwischen 23 und 37 Jahren teil. Das mittlere Alter zum Zeitpunkt der Datenerhebung war durchschnittlich 27.0 Jahre \pm 3.3 (min. 23.8 – max. 37.0).

Ein asymptomatisches Kiefergelenk war Voraussetzung, da die klinisch determinierte Position nur zuverlässig bei Personen eingestellt werden kann, welche keine Schmerzen oder Krankheit des Temporomandibulargelenks aufweisen (Ramsfjord 1993).

Alle Teilnehmer waren Zahnmedizinstudenten im 72-Wochenpraktikum der Universitätszahnlink Wien und daher mit dem theoretischen Hintergrund der Studie vertraut. Die Probanden wurden dennoch über den Ablauf der Studie eingehend aufgeklärt und unterzeichneten anschließend ein Einwilligungsf formular, welches im Anhang angeführt ist (11.3).

4.4 Deprogrammierung

Da die Muskeln des Kauorgans meist auch ohne Zahnkontakt jene Stellung einnehmen, die sie bei der habituellen Bissituation haben, ist eine Deprogrammierung des stomatognathen Systems vor der retralen Bissnahme notwendig (Lucia 1960). Dazu setzten sich die Probanden auf einen aufrecht eingestellten Zahnarztstuhl. Die Kopfstütze wurde so eingestellt, dass das Hinterhaupt gut abgestützt war und der Teilnehmer bequem saß. Nun wurde der Proband aufgefordert, den Mund zweimal weit zu öffnen. Danach wurde eine Watterolle quer in Höhe der Prämolaren eingelegt und der Teilnehmer aufgefordert, diese mit minimaler Muskelaktivität zu halten. Dies dauerte je nach Teilnehmer zwischen fünf und zehn Minuten und wurde in einem Datenblatt festgehalten. Die Relaxierung wurde überprüft, indem der studienbetreuende Facharzt den Unterkiefer des Probanden mittels bimanueller Führung in eine retrale Position brachte. Konnte dies nicht ohne Gegensteuern des Teilnehmers erfolgen, wurde die Watterolle so lange erneut eingelegt, bis sich der Unterkiefer widerstandslos in die retrale Position führen ließ. Nun bestand eine deprogrammierte entspannte Situation des Kauorgans und die bimanuell geführte

Bissnahme nach Dawson konnte durchgeführt werden. Vor der Aufzeichnung der nicht-geführten neuromuskulären Position wurde der Proband aufgefordert, den Mund initial zweimal maximal zu öffnen, und anschließend mit regelmäßigen Pausen minimale Mundöffnungs- und Mundschlussbewegungen ohne antagonistischen Zahnkontakt auszuführen, bis eine entspannte Situation des Muskulomandibular-Systems vorlag.

4.5 Nicht-geführte neuromuskuläre Bissnahme

Nachdem der Proband sich entspannt hatte, wurde er aufgefordert, den Mund ca. 1.5 Zentimeter zu öffnen. Anschließend wurde mittels Applikationsspritze eine Schicht Blue Bite SC² auf die untere Zahnreihe aufgetragen. Blue Bite SC ist ein additionsvernetzendes Registriermaterial auf Silikonbasis, das unter anderem zur Bissverschlüsselung oder -aufzeichnung in der Zahnmedizin Gebrauch findet. Das Material bindet innerhalb von 90 Sekunden ab, hat eine sehr gute Restflexibilität ohne zu brechen und ist absolut dimensionsstabil (Abbildung 4).



Abbildung 4. *Blue Bite SC*

Das Material wurde auf die Okklusalfächen und Inzisalkanten der Unterkieferdentition aufgetragen und der Proband aufgefordert, seine Zähne langsam bis zum ersten Kontakt mit der Masse zu schließen (Abbildung 5). Dabei wurde visuell kontrolliert, ob der Teilnehmer beim Kieferschluss seinen Unterkiefer nicht nach vorne schob (Abbildung 6).

² Pluradent Austria GmbH, Wien, Österreich – Mit freundlicher Unterstützung zur Verfügung gestellt



Abbildung 5. *Bissregistrat (NM) in situ, frontale Ansicht*



Abbildung 6. *Bissregistrat (NM) in situ, Ansicht von sagittal*

Wäre dies der Fall gewesen, hätte das Prozedere der Entspannung und Bissnahme neu gestartet werden müssen. Nun musste der Teilnehmer diese Lage so lange beibehalten, bis das Bissregistrat abgebunden war. Nach dem Aushärten des Materials wurde es entnommen und anschließend wieder eingesetzt, um zu überprüfen, ob es sich einerseits ohne Probleme wieder auf die Zahnreihe platzieren ließ und andererseits der Proband ohne Störkontakte wieder in die registrierte, neuromuskulär definierte Position fand. Konnte dies bestätigt werden, wurde das Registrat unter fließendem Wasser abgespült, desinfiziert und in einer Box verwahrt, welche mit dem Probandennamen und einem Code versehen war. Das Ergebnis war ein Registrat (Abbildung 7), welches die Relation der Zahnbögen zueinander verschlüsselt, um diese in der Magnetresonanztomographie bzw. im Kondymeter wiedergeben zu können. Nach der Bissnahme wurde dem Probanden eine Watterolle zwischen die Zahnreihen auf Höhe der Prämolaren gelegt. Er wurde aufgefordert, diese mit minimaler Muskelaktivität zu halten.



Abbildung 7. Bissregistrat (NM), Ansicht von oben und vorne

4.6 Registrierung der bimanuell geführten Position nach Dawson

Abermals wurde die entspannte Haltung der Muskeln überprüft, indem kontrolliert wurde, ob sich der Unterkiefer problemlos mittels Kinnpunktführung ohne Blockade seitens des Teilnehmers leiten ließ. War dies möglich, konnte die Registrierung der Bisslage durchgeführt werden. Zum Aufzeichnen der bimanuell geführten Position wurde eine Wachsplatte³ verwendet. Dafür wurde die Platte in einem Wasserbad⁴ (Abbildung 8) bei 52 Grad Celsius erwärmt und somit verformbar gemacht.



Abbildung 8. Wasserbad

³ Beauty Pink Wax X Hard; Integra® Miltex® GmbH, Plainsboro, USA

⁴ JULABO GmbH, Seelbach, Deutschland

Danach wurde das Wachs mittels Papier abgetrocknet und zusammengelegt, sodass eine zweilagige Wachsplatte entstand. Es ist wichtig, die Platten sorgfältig zu trocknen, da etwaige Wasserrückstände ein Zusammenkleben der Wachsschichten verhindern würden und somit eine spätere Separation aus diesen resultierte. Die Platten wurden unter leichtem Druck zusammengepresst und erneut mittels Wasserbad erwärmt. Nun wurde die zweilagige Wachsplatte in den Mund des Probanden eingebracht und sanft an die Oberkieferzahnreihen angedrückt. Gleich darauf wurde die Wachsplatte mit den so entstandenen Impressionen des ersten und zweiten Quadranten wieder entnommen und mit einem Wachsmesser oder einer Schere eingekürzt, sodass gerade noch die Inzisalkanten und bukkalen Höckerspitzen in Wachs gefasst waren. Die individuell angepasste Registrierplatte wurde erneut über einer Flamme oder in einem Wasserbad erwärmt. Die weiche Platte wurde in den Mund des Teilnehmers eingebracht und an die zuvor getrockneten Zähne des Oberkiefers angedrückt. Dabei war darauf zu achten, dass die Wachsplatte, die über dem Gaumen verlief, nicht konkav nach kranial gebogen wurde. Das Wachs sollte zudem auch an die bukkalen Facetten der Zähne angedrückt werden, um eine stabile Lage zu gewährleisten. Nach der Fixierung der Platte im Oberkiefer wurde der Proband mittels Handgriff nach Dawson (siehe Punkt 3.5) in die retrale Position geführt und die Unterkieferzahnreihe nach kranial gegen die Wachsplatte gedrückt. Dadurch entstanden Impressionen im dritten und vierten Quadranten an der kaudalen Seite der Wachsplatte. Diese Manipulation nach Dawson wurde stets vom studienbetreuenden Facharzt durchgeführt. Die Position wurde einige Sekunden gehalten, um ein Erhärten des Wachses sicherzustellen. Anschließend wurde die Platte entnommen und auf gleichmäßige Impressionen kontrolliert. Danach wurde das Registrat repositioniert, um die einwandfreie Passung zu verifizieren. Ebenso wurde der Proband nochmal mit dem Handgriff nach Dawson in die Position gestellt, um die Reproduzierbarkeit der Impressionen zu gewährleisten. (Abbildung 9). Konnte dies alles bestätigt werden, wurde die Wachsplatte (Abbildung 10) gereinigt und in der Probandenbox verwahrt.



Abbildung 9. Bissregistrat (BM) in situ, frontale und sagittale Ansicht

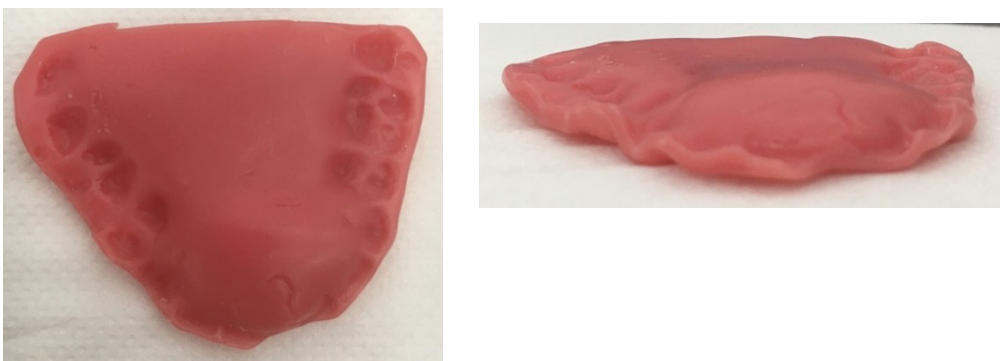


Abbildung 10. Bissregistrat (BM), Ansicht von oben und vorne

Die zentrischen Positionen wurden stets alternierend aufgezeichnet. Dies bedeutet, dass bei Proband A zuerst die nicht manipulierte neuromuskuläre und dann die geführte Position nach Dawson eingestellt wurde. Bei Proband B geschah dies in umgekehrter Reihenfolge und die bimanuell geführte wurde vor der nicht-geführten neuromuskulären Position registriert. So wurde abwechselnd bis zum letzten Probanden fortgeföhren und die variierende Reihenfolge immer am Datenblatt des entsprechenden Teilnehmers notiert.

4.7 Modellerstellung

Die Abdrucknahme und das Anlegen des Gesichtsbogens sowie die Bissregistratserstellung und die MRT-Aufzeichnung fanden je Proband immer am gleichen Tag an der Universitätszahnklinik Wien statt.

Für die Erstellung der Gipsmodelle des Ober- und Unterkiefers wurde vorab ein passender Rimlocklöffel ausgewählt. Anschließend wurde dieser mit Alginat, einem irreversibel elastischen Abformmaterial, beschickt. In dieser Studie wurde extra schnell härtendes Alginat⁵ verwendet und entsprechend den Herstellerangaben blasenfrei mittels Spatel im Gumminapf angerührt. Der gefüllte Löffel wurde in den Ober- bzw. Unterkiefer einrotiert, korrekt an die Zahnreihen gedrückt und bis zur Aushärtung im Mund gehalten. Die Abbindezeit beträgt je nach Wassertemperatur zirka 40 Sekunden. Nach der Entnahme wurde kontrolliert, ob der Abdruck blasenfrei war und den kompletten Zahnbogen einschloss. War dies der Fall, wurde der Abdruck unter fließendem Wasser abgespült, nichtlöffelunterstützte Überschüsse mit dem Skalpell entfernt und anschließend in einem Plastiksack mit feuchtem Tuch bis zum Ausgießen verwahrt.

Zur Gipsmodellerstellung wurde Super-Hartgips⁶ angerührt. Um das genaue Mischungsverhältnis zwischen Gips und Wasser zu gewährleisten, wurde ein Dosiergerät⁷ verwendet. Ein passender Behälter für das später verwendete Vakuum-Mischgerät⁸ wurde unter die Öffnung gestellt (Abbildung 11) und der Power-Knopf gedrückt.

⁵ Orthoprint; Zhermack GmbH, Marl am Dümmer, Deutschland

⁶ Die-Keen Green; Heraeus Holding GmbH, Hanau, Deutschland

⁷ Smartbox; Amann Girrbach GmbH, Pforzheim, Deutschland

⁸ Twister; Renfert GmbH, Hilzingen, Deutschland



Abbildung 11. *Dosiergerät*

Nachdem der Dosierer die richtige Menge Gips, rund 400 Milligramm, abgewogen und mit der korrekten Wassermenge versetzt hatte, wurde der Gips mit Wasser manuell mittels Holzspatel grob vorvermengt. Anschließend wurde der Anmischbecher mit einem Deckel, inklusive Rührspatel, verschlossen und an das Vakuum-Mischgerät (Abbildung 12) angehängt.



Abbildung 12. *Vakuumrührgerät*

Nach dem Andocken des Bechers an die Unterseite des Gerätes wurde Luft abgesaugt. Bei einer Rührgeschwindigkeit von 250 Umdrehungen pro Minute dauerte das Vermengen 30 Sekunden. Danach wurde die Negativform aus Alginat ausgepackt und für die Situationsmodellerstellung mittels vorsichtigen Luftpustens von etwaigem Wasser befreit. Ausgegossen wurde mit Hilfe einer Rüttelplatte⁹ (Abbildung 13).



Abbildung 13. *Rüttelplatte*

Um verwässerten Gips zu vermeiden, wurde anfangs eine kleine Portion des angerührten Materials auf den Abdruck, welcher an die Kante des Rüttlers gehalten wurde, aufgetragen, um diese bei niedriger Stufe langsam von einer Seite zur anderen abfließen zu lassen (Abbildung 14). Somit wurde eventuell verbliebenes Restwasser ausgeschwemmt.

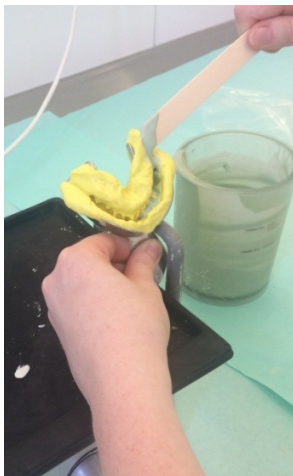


Abbildung 14. *Ausguss*

Danach wurde eine kleine Portion Gipsbrei genommen, um diesen langsam über das okklusale Relief fließen zu lassen. Mit diesem Vorgehen werden Lufteingüsse

⁹ D-R 644; Harnisch & Rieth GmbH & Co.KG, Winterbach, Deutschland

vermieden. War die Okklusalfäche gänzlich mit Gips bedeckt, konnten anschließend etwas größere Portionen aufgetragen und so lange blasenfrei einvibriert werden, bis der Abdruck komplett damit gefüllt war. Das ausgegossene Modell wurde zur Seite gelegt und die Sockelplatte¹⁰ bis zum Manschettenrand mit Gips bündig aufgefüllt. Da dieser auch luftblasenfrei sein sollte, wurde auch hier die Rüttelplatte zu Hilfe genommen. War der Sockel gefüllt, wurde der ausgegossene Zahnkranz umgedreht und sanft auf die ausgegossene Sockeloberfläche gedrückt (Abbildung 15).

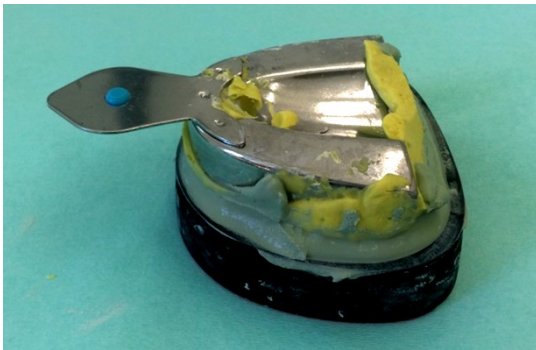


Abbildung 15. *Ausgegossenes Oberkiefermodell inklusive Sockelformer*

Im Anschluss wurde die Aushärtezeit abgewartet, welche etwa 15 Minuten beträgt. Durch sanftes Eindrücken der Sockeloberfläche mittels Spatel konnte die Durchhärtung überprüft werden. Nach Ablauf der Zeit und zufriedenstellendem Ergebnis der Probe konnten die Löffel mit der Abdruckmasse vorsichtig abgezogen werden. Störende Gipsüberschüsse, die das Abziehen erschwerten, wurden vorsichtig mittels Gipszange entfernt. Anschließend wurde der Abdrucklöffel gleichmäßig an allen Seiten gelockert, dann über die Front vom Modell abgehoben und die Außenkontur des Modells mittels Gipsmodelltrimmer¹¹ eingekürzt (Abbildung 16).

¹⁰ Splitcastformer; SAM Präzisionstechnik GmbH, Gauting, Deutschland

¹¹ HSS 99; Wassermann Dental-Maschinen GmbH, Hamburg, Deutschland



Abbildung 16. *Trimmgerät*

Die Gipsbläschen an den Okklusalfächen wurden mit einem Skalpell entfernt, damit beim Zusammenstellen der Modelle bzw. Auflegen der Registratur keine Fehlpositionierungen durch Störkontakte resultierten. Danach wurde mittels Okklusionsfolie¹² kontrolliert, ob beim Zusammenstellen des Ober- und Unterkiefermodells gleichmäßige Kontakte vorhanden waren. (Abbildung 17).



Abbildung 17. *Gipsmodelle OK+UK, Ansicht von okklusal*

¹² ArtiCheck 40μ; Dr. Jean Bausch GmbH & Co. KG, Köln, Deutschland

4.7.1 Arbiträrer Gesichtsbogen

Nach der Abformung des Ober- und Unterkiefers wurde den Teilnehmern ein arbiträrer Gesichtsbogen¹³ angelegt (Abbildung 18).



Abbildung 18. Transferbogen, Bissgabel und -träger, Nasionstütze und Hygiene-Schutzkappen

Ein arbiträrer Gesichtsbogen ermöglicht die anatomische Übertragung des Oberkiefermodells. Mit Hilfe von Kerr-Kompositionsmasse-Stangen¹⁴ wurden Stopps auf die Transfergabel jeweils rechts und links im Molarenbereich und im Frontbereich aufgetragen, über der Flamme verformbar gemacht und an die oberen Zähne des Teilnehmers angedrückt. Die Impressionen der Höcker betragen 0.5 Millimeter und mussten einen schaukelfreien Sitz der Zahnreihen und später des Gipsmodells auf der Bissgabel gewährleisten. Der Proband wurde aufgefordert, die Enden des Transferbogens mitsamt Hygieneaufsätzen in die Gehöreingänge einzubringen und nach kranial-medial zu drücken. Danach wurde die Glabellastütze am Nasensteg angelegt. Dabei wurde kontrolliert, ob der Nivellierstab an der Nasenstütze parallel zur Interpupillarlinie verlief. Die Transfergabel wurde positioniert und die Nontorsions-Stellschrauben festgezogen. Anschließend konnten die Schrauben des Gesichtsbogens und der Glabellastütze wieder gelöst werden. Die Transfergabel und -halterung wurden desinfiziert und zusammen mit

¹³ ATB 350K - Transferbogen-Kit; SAM Präzisionstechnik GmbH, Gauting, Deutschland

¹⁴ Impression Compound red sticks; KaVo Kerr, Charlotte, USA

den Abdrücken in der Box des Probanden verwahrt. Dabei war darauf zu achten, dass das Gestänge nicht durch falsche Lagerung verstellt wurde.

4.7.2 Artikulator

Für diese Studie wurde der Artikulator SAM2 >P< Axiosplit¹⁵ verwendet. Vorab wurden die mittelwertigen Herstellerangaben eingestellt: Für die sagittale Kondylenbahnneigung 30 Grad und für den Bennetwinkel 15 Grad mit weißem Einsatz. Der Inzisalstift wurde auf null gestellt (Abbildung 19).



Abbildung 19. Artikulator, seitliche Ansicht

Nach einer vierundzwanzigstündigen Aushärtedauer wurden die Modelle zur Montage bereitgestellt. Die Einboxhilfe wurde vorbereitet und das individuell eingestellte Gestänge mit Transfergabel am Artikulatoroberteil fixiert. Die Position wurde mittels Teleskopstütze arretiert und eine Magnet-Montageplatte am Artikulatoroberteil eingelegt. Das Oberkiefermodell wurde auf den Impressionen eindeutig platziert und der Abstand zwischen Modellbasis und Platte kontrolliert. Falls bei dieser Kontrolle der ausgegossene Modellsockel zu hoch war, um den Artikulatoroberteil adäquat zu schließen, musste die Höhe mittels Trimmer eingekürzt werden. Ein zweizeitiges Einartikulieren musste bei

¹⁵ SAM Präzisionstechnik GmbH, Gauting, Deutschland

einem Freiraum von mehr als fünf Millimeter realisiert werden, um das Schrumpfungsvolumen möglichst gering zu halten. Dafür wurde Snow White Gips¹⁶ bis ca. fünf Millimeter Restdistanz aufgetragen. Dazu wurde eine Menge von 100 Gramm Gips mit 60 Gramm Wasser versetzt (Abbildung 20) und solange verrührt, bis die Gipsmasse eine sahnige Konsistenz annahm.

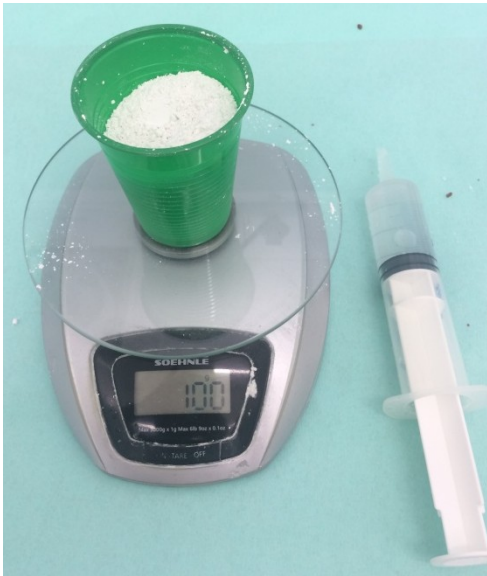


Abbildung 20. *Snow White Gips*

Anschließend wurde diese auf die befeuchtete Modellbasis aufgetragen. Erst nach einer vierundzwanzigstündigen Aushärtedauer der aufgetragenen Sockelerhöhung konnte das Modell einartikuliert werden. Zum Einartikulieren wurde wie beschrieben Snow White Gips vorbereitet und auf die befeuchtete Oberkiefermodellbasis und die Montageplatte aufgetragen. Anschließend wurde der Artikulatoroberteil bis zum Kontakt mit dem Transferbogen geschlossen und je nach Wasser- und Lufttemperatur etwa fünf bis zehn Minuten abgewartet, bis der Gips fest wurde. Nach anatomisch-arbiträrer Fixierung des Oberkiefermodells an der Platte konnte das Unterkiefermodell positioniert werden. Hierfür wurde der Artikulatoroberteil inklusive Oberkiefermodell mit der Oberseite auf den Tisch gelegt, das Unterkiefermodell im maximalen Vielpunktkontakt schaukelfrei darauf platziert und mit einer Hand fixiert. Nun wurden die Kondylen des Artikulatorunterteils in die Fossae gestellt und probeweise geschlossen. Falls dabei der Inzisaltift den Inzisaltisch

¹⁶ Snow White Plaster No. 2; Kerr Italia S.r.l., Salerno, Italien

nicht berührte, musste der Modellsockel eingekürzt werden. Ein zweizeitiges Einartikulieren war wiederum bei mehr als fünf Millimeter Abstand zwischen Sockel und Montageplatte erforderlich. Ein erneut angerührter Snow White Gips wurde auf den befeuchteten Sockel des Unterkiefermodells und auf die Platte aufgetragen und der Artikulator langsam bis zum Kontakt des Inzisalstifts mit dem Inzisaltisch geschlossen. Nun wurde die Position gehalten, bis der Gips erhärtet war. Alle Modelle wurden einige Tage nach dem Einartikulieren durch die Kontrollsockelmethode überprüft. Dazu wurde der Magnet aus dem Artikulatoroberteil entfernt und überprüft, ob die Montageplatte und die Artikulatorplatte beim Schließen noch korrekt ineinander griffen. Mit diesem Verfahren können Montageungenauigkeiten aufgezeigt werden. Die so überprüften und in IKP einartikulierten Modelle konnten für die Vermessung im Kondymeter herangezogen werden (Abbildung 21).



Abbildung 21. Artikulator + Modell, sagittale und frontale Ansicht

4.8 Vermessung im Kondymeter

Ein elektronischer Kondylenpositionsindikator, kurz Kondymeter, wurde für die Messungen herangezogen¹⁷ (Abbildung 22). Das Kondymeter war mit sechs Messuhren¹⁸ ausgestattet, um jede Richtungsänderung der Kondylen aufzeigen zu können (xyz-Achse). Die Messuhren weisen laut Hersteller eine Messgenauigkeit von 0.01 Millimeter auf.

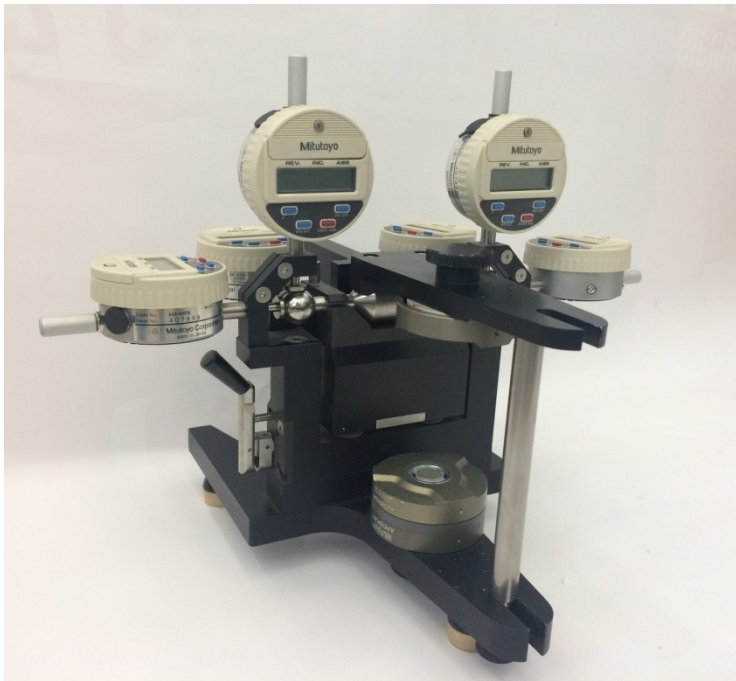


Abbildung 22. Kondymeter, schräg frontale Ansicht

Bevor das Kondymeter für die Messung entriegelt und das Modell platziert wurde, mussten die zuvor eingeschalteten Messuhren mittels rotem "Zero-Knopf" auf Null gestellt werden. Ein Gewicht in Höhe von 5,5 Kilogramm (Abbildung 23), welches am Kondymeteroberteil oberhalb des Registrierschwerpunktes auf Höhe der zweiten Prämolaren auflag, stabilisierte das Kondymeter vor jeder Messung.

¹⁷ CPI; Vamed, Graz, Österreich

¹⁸ digitale Messuhr; Mitutoyo, Kawasaki, Japan



Abbildung 23. Gewicht für das Kondymeter. Gewichtscheiben: 2x 1.25 und 1x 3 Kilogramm

Zuerst wurde das neuromuskuläre Bissregistrat eingelegt, das Kondymeter geschlossen (Abbildung 24) und die resultierenden Werte aller Messuhren in ein Excel-Datenblatt¹⁹ eingetragen. Danach wurde das Bissregistrat, welches die bimanuell geführte Position nach Dawson widerspiegelt, eingelegt und das Kondymeter geschlossen (Abbildung 25). Die angezeigten Werte wurden abermals in ein Excel-Datenblatt¹⁹ niedergeschrieben. Alle Teilnehmer wurden mittels fortlaufender Nummer pseudoanonymisiert und die xyz-Daten der linken und rechten Seite für jede Position auf einem PC mit Zugangsbeschränkung gespeichert, wodurch nur autorisierte Personen Zugang zu den Rohdaten hatten.

¹⁹ Microsoft Office Excel 2007; Microsoft Corporation, Washington, USA

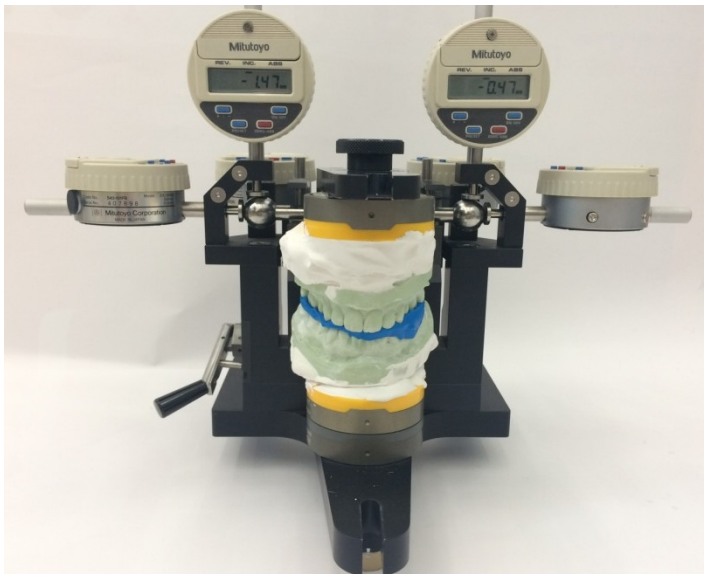


Abbildung 24. Kondymeter mit Bissregistrat NM, frontale Ansicht

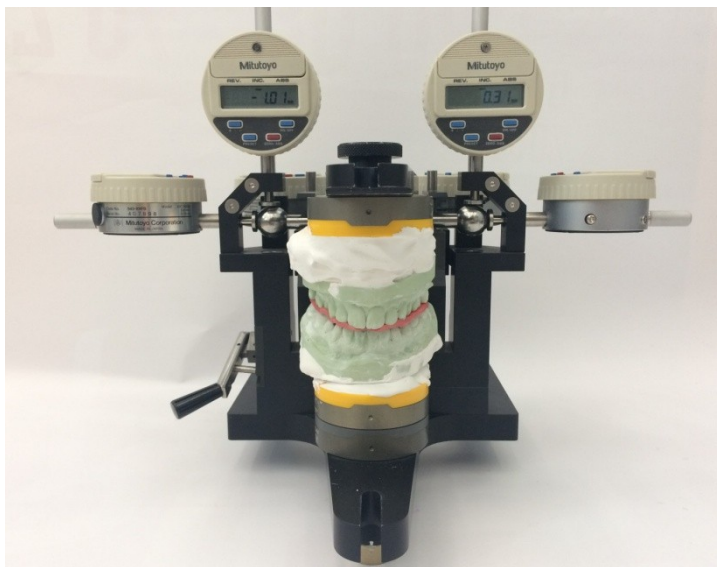


Abbildung 25. Kondymeter mit Bissregistrat BM, frontale Ansicht

Nach jeder neuen Teilnehmermessung wurden stets alle Messuhren in der gesicherten Position des Kondymeters auf Null gestellt.

Um Messfehler zu reduzieren, wurde jedes Bissregistrat zweimal, jeweils einmal von zwei unterschiedlichen Diplomandinnen (T. Galleider & A. Wolfsegger) eingelegt und

vermessen. Die erhaltenen Messwerte wurden anschließend gemittelt für die Auswertung herangezogen. Die Ablesung und Eintragung der Werte fand stets unter einem Vier-Augen-Prinzip statt. Beim Interpretieren der Kondymetermesswerte musste darauf Rücksicht genommen werden, dass sich die Kondylenkugeln im Oberteil des Kondymeters befinden. Dies bedeutet, dass die aufgezeigten Richtungsänderungen Änderungen des Oberkiefers darstellen. Zudem wurden die Achsen nach dem Schema der Magnetresonanztomographie benannt. Die transversale wurde als x-Achse, die sagittale als y-Achse und die longitudinale als z-Achse bezeichnet. Ein positiver Werte stellte in der y-Achse eine anteriore und in der z-Achse eine inferiore Position des Kondylus zur IKP dar. In der x-Achse stellten positive Werte eine Bewegung nach medial dar. Um die erhobenen Werte mit den MRT-Daten vergleichen zu können, mussten die abgelesenen Zahlen mit dem Faktor (-1) multipliziert werden. Eine Ausnahme hiervon stellten lediglich die x-Werte des rechten Kondylus dar. Hier verlief im MRT die Achse durchgängig und im Kondymeter stellte der Mittelpunkt des Kondylenabstandes den Nullpunkt der x-Achse dar, somit konnte mit den Ursprungsdaten gerechnet werden.

4.9 Vermessung im MRT

Nachfolgendes ist direkt aus der Diplomarbeit von Wolfsegger (2017) zitiert und bezieht sich auf die Datenvermessung im MRT. Das genaue Prozedere, z.B. wie die Untersuchung im MRT ablief, kann in der genannten Studie nachgelesen werden.

"Die Datenvermessung der MR-Bilder erfolgte mit dem medizinischen Computerprogramm Osirix in einem dunklen Raum auf einem Stand-PC (Apple) an der radiologischen Abteilung. In dieser Studie wurden die MR-Bilder mithilfe eines Koordinatensystems ausgewertet. Osirix ermöglicht es, Datenpunkte in die gewonnenen MR-Bilder zu setzen und so genaueste, dreidimensionale Koordinaten für die sagittale (y), transversale (x) und longitudinale Achse (z) zu erhalten. Die Werte wurden auf drei Dezimalstellen angezeigt.

Die MR-Bilder mit der Ansicht von parasagittal wurden herangezogen, um Datenpunkte zu setzen, welche die Lage des Kiefergelenkskondylus in anteriorer-posteriorer, sowie in inferiorer-superiorer Richtung wiedergaben. Die MR-Bilder der parakoronalen Schicht wurden für die Analyse der Stellung der Kiefergelenkskondylen in lateraler-medialer Richtung gewählt. Der Versatz des Kondylus wurde für jede Richtung durch zwei unterschiedlich gesetzte Datenpunkte bestimmt. Das heißt, dass beispielsweise für den Versatz anterior-posterior in der parasagittalen Schicht zwei unabhängige Datenpunkte gesetzt wurden. Folglich gibt es für jeden Datenpunkt bzw. Wert einen Kontrollwert. Durch das MRT wurde die dreidimensionale Bestimmung der Lage der Kiefergelenkskondylen in den drei Bisslagen – IKP, NM und BM – ermöglicht. Die IKP dient, wie erwähnt, als Bezugsposition bzw. Referenzpunkt.

Das Setzen der Datenpunkte erfolgte folgendermaßen: Im transversalen Localizer wurde die parasagittale bzw. parakoronale Schicht eingestellt, in welcher die Datenpunkte bzw. Koordinaten gesetzt werden sollten. Die gewählte Schicht war abhängig davon, in welcher Schicht man die Kontur des Kondylus in allen drei Unterkieferstellungen optimal sehen konnte und er gegen die Umgebung scharf abgegrenzt war. Es wurde mit einem Zoomfaktor von 600 (parakoronal) und 700

(parasagittal) Prozent gearbeitet. Die Datenpunkte wurden für alle drei Unterkieferpositionen eines Probanden in der gleichen Schicht gesetzt. Jeder Datenpunkt wurde dreimal von zwei Untersuchern zu drei unterschiedlichen Zeiten mit einem Abstand von drei Tagen gesetzt. Jeweils der anteriorste sowie superiorste Punkt des Kiefergelenkskondylus stellt in der parasagittalen Schicht einen Datenpunkt dar, in der parakoronalen Schicht wurde der jeweils lateralste und superiorste Punkt des Kondylus herangezogen. [...] Die Koordinaten (x, y, z) pro Datenpunkt wurden abgelesen und in eine Excel-Tabelle eingetragen." (Wolfsegger 2017)

4.10 Statistische Analysen

4.10.1 Datenmanagement

Alle Werte, inklusive denen aus der Studie "Lage der Kiefergelenkskondylen in drei diagnostischen Unterkieferpositionen in vivo mittels Magnetresonanztomographie – eine orientierende Studie" (Wolfsegger 2017) wurden in einem Excel-Datenblatt¹⁹ notiert und anschließend in das SPSS-Programm²⁰ übertragen und mithilfe dessen analysiert. Jede Dateneintragung wurde stets durch eine zweite Diplomandin kontrolliert und die Auswertung fand mit Unterstützung eines Statistikers (B. Otzelberger) statt. Um die Übereinstimmung der beiden Messverfahren zu errechnen und grafisch aufbereiten zu können, wurden die Werte wie unter Punkt 4.8 angeglichen und anschließend zwei statistische Verfahren zum Auswerten angewandt, welche im Folgenden erläutert werden. Als Basiswerte dienten die errechneten Strecken zwischen den Koordinatenpunkten von NM und BM des jeweiligen Probanden in den beiden Messverfahren. Diese werden in Millimeter angegeben und sind aus den Mittelwerten der zwei- bzw. dreimal gemessenen Datenpunkte errechnet. Das Signifikanzniveau wurde nach $\alpha = 5 \%$, entsprechend der Irrtumswahrscheinlichkeit vorab festgelegt, sodass ein Ergebnis im Rahmen der Inferenzstatistik mit $p \leq 0.05$ als signifikant zu bezeichnen ist (Bortz & Döring 2006).

4.10.2 Intraklassen-Korrelationskoeffizient (ICC)

Zur Beurteilung der Übereinstimmung beider Methoden (Kondyloimeter und MRT) wurde der Intraklassen-Korrelationskoeffizient (ICC) herangezogen. Die Intra-Klassen-Korrelation ist ein statistisches Verfahren, welches das Ausmaß der Übereinstimmung quantifiziert. Die Interrater-Reliabilität zwischen zwei Verfahren wird anhand des zugehörigen Maßes, dem ICC angegeben und erfordert zumindest intervallskalierte Messwerte. Zur Bestimmung wird die Varianz zwischen den beiden Messmethoden in Bezug auf den rechten und linken Kondylus mit jener aus allen Messungen entstandenen

²⁰ IBM SPSS®-Software Version 20; International Business Machines Corporation, New York, USA

Varianzen verglichen. Eine reliable Übereinstimmung kann angenommen werden, sobald die Unterschiede zwischen den, aufgrund der beiden Methoden erhobenen, Messstrecken relativ groß sind und gleichzeitig die Varianz zwischen den Messmethoden in Bezug auf die Lage des Kiefergelenks klein ausfällt. Bei einer hohen Urteilskonkordanz, d.h. geringer Varianz zwischen den Einschätzungswerten, fällt der ICC hoch aus. Wie bei anderen Korrelationsmaßen kann der ICC in einem Bereich zwischen -1.0 und $+1.0$ liegen (Wirtz & Caspar 2002). Es werden dann hohe positive Werte erreicht, wenn neben der Richtung auch das Niveau der beiden Messmethoden übereinstimmt.

4.10.3 Bland-Altman-Diagramm

Um die Streuung der Messwertpaare zwischen MRT und Kondymeter zu betrachten, wurden diese anhand des grafischen Verfahrens nach Bland und Altman dargestellt. Hierfür wurde die Differenzen der beiden Messverfahren (y-Achse) gegen ihren Mittelwert (x-Achse) in einem kartesischen Koordinatensystem aufgetragen. Anhand des so entstandenen bivariaten Streudiagramms konnten die beiden Verfahren bezüglich des Ausmaßes ihrer Übereinstimmung, systematischer Abweichungen, Varianzabhängigkeit von Messwertgrößen sowie Ausreißer grafisch beurteilt werden. Zur Erleichterung der Interpretation wurden zudem der Mittelwert der Differenz, auch Bias genannt, sowie die untere und obere Grenze des entsprechenden 95%-Konfidenzintervalls der Differenz als Linien in das Diagramm eingezeichnet (Bland & Altman 1986).

5 RESULTATE

Insgesamt wurden 5400 Messpunkte ausgewertet. Pro Proband jeweils 54 im Kondymeter und 216 Messpunkte im MRT. Alter und Geschlecht nahmen keinen Einfluss auf die Auswertung der Daten.

5.1 Reproduzierbarkeit (Kondymeter)

Die Reproduzierbarkeit des Kondymeters wurde überprüft indem bei allen Probanden die Messung der Interkuspidationsposition zweimal von jeweils einer Diplomandin wiederholt wurde. Der Messfehler (MF) der ermittelten räumlichen Messwerte des rechten und linken Kondylus wurde mithilfe der Dahlberg-Formel bewertet und betrug $D = 0.25$ mm (Dahlberg 1940). Die Standardabweichung der Messwiederholungen lag zwischen 0 mm und 0.45 mm. Die minimale und maximale Abweichung zwischen den Messwiederholungen war 0 mm und 1.03 mm.

5.2 IKP versus NM versus BM

In Tabelle 1 sind die Mittelwerte (inklusive Standardabweichung) aller Messwertstrecken pro Richtung zwischen den jeweiligen Kondylenpositionen von Kondymeter und MRT gegenübergestellt. Gibt es ein negatives Vorzeichen in der sagittalen Achse (y-Achse), so stand der Kondylus weiter anterior zur entsprechenden Bezugsposition (IKP bzw. NM). Die Bezugsposition ist in der ersten Spalte der Tabelle jeweils immer die zweitgenannte Position, somit in den ersten beiden Abschnitten die IKP und im letzten Tabellenabschnitt die NM. Ein negatives Vorzeichen in der Longitudinalachse (z-Achse) bedeutet, dass der Kondylus inferior zur Bezugsposition zu liegen kam. In der Transversalachse (x-Achse) repräsentiert ein negatives Vorzeichen eine Rechtsverlagerung des Kondylus zur Bezugsposition. In der Spalte rechts außen ist der Mittelwert des dreidimensionalen Abstandes und dessen Standardabweichung zwischen MRT und Kondymeter der jeweiligen Lage von rechts und links wiedergegeben.

<i>Lage</i>	<i>Kondylus</i>	<i>Achse</i>	<i>Kondymeter</i> Mean; SD	<i>MRT</i> Mean; SD	<i>ΔMRT-Kondymeter</i> Meanvector; SD
NM-IKP	<i>rechts</i>	<i>anterior/posterior (y)</i>	-0.60 ± 1.17	-1.17 ± 0.73	2.13 ± 1.07
		<i>superior/inferior (z)</i>	-1.25 ± 0.98	-0.37 ± 1.71	
		<i>lateral/medial (x)</i>	-0.16 ± 0.52	0.10 ± 0.52	
	<i>links</i>	<i>anterior/posterior</i>	-0.56 ± 1.30	-0.71 ± 1.12	1.98 ± 0.81
		<i>superior/inferior</i>	-1.06 ± 0.66	-0.25 ± 1.47	
		<i>lateral/medial</i>	-0.16 ± 0.52	0.25 ± 0.55	
BM-IKP	<i>rechts</i>	<i>anterior/posterior</i>	0.27 ± 0.59	-0.77 ± 0.78	2.49 ± 1.42
		<i>superior/inferior</i>	-0.41 ± 0.68	1.03 ± 1.66	
		<i>lateral/medial</i>	-0.11 ± 0.38	-0.19 ± 0.77	
	<i>links</i>	<i>anterior/posterior</i>	0.30 ± 0.87	-0.09 ± 1.03	2.21 ± 1.22
		<i>superior/inferior</i>	-0.15 ± 1.47	1.02 ± 1.47	
		<i>lateral/medial</i>	-0.11 ± 0.38	0.22 ± 0.66	
BM-NM	<i>rechts</i>	<i>anterior/posterior</i>	0.87 ± 0.85	0.39 ± 0.64	1.48 ± 0.77
		<i>superior/inferior</i>	0.83 ± 1.25	1.39 ± 1.27	
		<i>lateral/medial</i>	0.06 ± 0.64	-0.05 ± 0.64	
	<i>links</i>	<i>anterior/posterior</i>	0.86 ± 1.21	0.72 ± 1.02	1.43 ± 0.80
		<i>superior/inferior</i>	0.90 ± 1.35	1.27 ± 1.35	
		<i>lateral/medial</i>	0.06 ± 0.64	-0.02 ± 0.54	

Anmerkung: NM= nicht-geführte neuromuskuläre Position; BM= manuell geführte Position nach Dawson; IKP= Interkuspidationsposition. Mean= Mittelwert; SD= Standardabweichung y-Achse: anterior/posterior; z-Achse: superior/inferior; x-Achse: lateral/medial

Tabelle 1. Mittelwerte inklusive Standardabweichung der rechten und linken Differenzen zweier Positionen (NM – IKP; BM – IKP und BM – NM) für Kondymeter und MRT gegenübergestellt. Weiters der dreidimensionale mittlere Abstand zwischen MRT und Kondymeter des rechten und linken Kondylus der jeweiligen Lageveränderungen inklusive Standardabweichung. Angaben in mm. n=20

Betrachtet man die Ergebnisse der arithmetisch gemittelten Werte in Tabelle 1, so kann auf folgende Stellung der Kondylen rückgeschlossen werden:

In NM stehen der rechte und linke Kondylus bei beiden Messverfahren anterior und inferior zur IKP. In der Transversalachse stehen der rechte und linke Kondylus im Kondymeter 0.16 mm rechts, jedoch im MRT der rechte Kondylus 0.1 mm und der linke 0.25 mm links zur IKP.

Bei der geführten Position stand der rechte Kondylus im Kondymeter posterior, inferior und rechts zur IKP, im MRT jedoch anterior, superior und rechts zur IKP. Der linke

Kondylus stand im Kondymeter posterior, inferior und rechts und im MRT anterior, superior und links zur IKP.

Beide Kondylen standen in BM im Kondymeter und MRT jeweils posterior und superior zur NM. Im Kondymeter stand in der Transversalachse der rechte und linke Kondylus in BM links und im MRT rechts zu NM. Der 3D-Vektor zwischen BM und NM von beiden Methoden war beinahe ident (mittlere Abweichung $0.12 \text{ mm} \pm 0.69$).

Die letzte Spalte zeigt den dreidimensionalen Abstand von MRT und Kondymeter. Um diesen Vektor zu berechnen, wurde jeweils die Bezugsposition von der Referenzposition abgezogen. Dadurch kommt in beiden Methoden die Bezugsposition auf den Koordinaten 0/0/0 (xyz) zu liegen und die Referenzposition stellt dazu einen neuen Punkt dar, welcher zwischen den beiden Methoden anschließend verglichen werden konnte. Für den Vergleich wurden die räumlichen Koordinaten vom MRT von jenen des Kondymeters abgezogen und anschließend der Raumvektor berechnet.

5.3 ICC

Tabelle 2 zeigt die Analyseergebnisse bezüglich des Ausmaßes der Übereinstimmung der beiden Methoden in einem Modell mit gemischten Zwei-Weg-Effekten, bei dem die Personeneffekte zufällig und die Maßeffekte fest sind. Die Schätzung wurde unter der Annahme berechnet, dass kein Wechselwirkungseffekt vorliegt, da anderenfalls eine Berechnung nicht zielführend wäre. Für jede Richtung gibt es einen Wert und einen entsprechenden Kontrollwert. Der Kontrollwert ist in der Tabelle jeweils in der zweiten Zeile jeder Richtung aufgelistet.

<i>Kondylus</i>	<i>Achse</i>	<i>ICC</i>	<i>95%-KI</i>		<i>F-Test mit wahrem Wert 0</i>	
			<i>UG</i>	<i>OG</i>	<i>Wert (df₁=df₂=19)</i>	<i>p</i>
<i>rechts</i>	<i>anterior/posterior</i>	.43	-.23	.76	1.95	.077†
		.45	-.14	.79	2.18	.049*
	<i>superior/inferior</i>	.74	.33	.90	4.44	.001**
		.73	.33	.90	4.36	.001**
	<i>lateral/medial</i>	.70	.26	.88	3.35	.006**
		.67	.13	.87	2.90	.013*
<i>links</i>	<i>anterior/posterior</i>	.72	.29	.89	3.50	.004**
		.66	.17	.87	3.01	.010**
	<i>superior/inferior</i>	.70	.28	.88	3.51	.004**
		.66	.17	.87	3.44	.005**
	<i>lateral/medial</i>	.47	-.38	.79	1.85	.095†
		.15	-.93	.65	1.19	.354

Anmerkung. KI = Konfidenzintervall in mm, UG = Untere Grenze, OG = Obere Grenze, df = degree of freedom (Freiheitsgrad), † $p \leq .10$ (tendenzielle Signifikanz), * $p \leq .05$, ** $p \leq .01$, n=20

Tabelle 2. Intraklassenkoeffizienten (ICC) als Maß der Übereinstimmung (zweifach gemischt, absolut) der mittleren Messwertdifferenzen von BM zu NM zwischen Kondylometer und MRT des rechten und linken Kondylus dreidimensional mit je einem Kontrollwert in der zweiten Zeile, durchschnittliche Maße mit Ober- und Untergrenze des 95% Konfidenzintervalls, Freiheitsgrad (df) und Signifikanzniveau (p)

Es ist ersichtlich, dass mehrheitlich eine hohe Signifikanz der beiden Messmethoden vorliegt. Bei neun von zwölf Messrichtungen lag der ICC zwischen 0.45 und 0.74 mit einem Signifikanzniveau von $p < 0.05$. Eine tendenzielle Signifikanz von $p < 0.10$ konnte bei zwei Koeffizienten festgestellt werden (ICC = 0.43 und 0.47). Lediglich die Transversalachse des linken Kondylus zeigte eine vergleichsweise schwache, nicht signifikante Übereinstimmung (ICC ≤ 0.47 ; $p > 0.10$).

5.4 Bland-Altman-Diagramm

Auf der Abszissenachse wurde der Mittelwert zwischen den zusammengehörigen Messwertstrecken pro Teilnehmer von MRT und Kondymeter aufgetragen. Dazu wurde der entsprechende Durchschnitt von NM zu BM pro Proband zwischen beiden Methoden errechnet und diese Werte für die Horizontalachse herangezogen. Um die Werte für die Ordinatenachse zu generieren, wurde von jedem Probanden die Lageveränderung zwischen NM zu BM vom Kondymeter von den zugehörigen Streckendistanzen aus dem MRT abgezogen. Die so erhaltenen Differenzen zwischen den beiden Methoden wurden als y-Koordinaten im Diagramm eingezeichnet. Jeder Kreis im Diagramm stellt einen vermessenen Teilnehmer dar. An der Diagrammüberschrift ist die Kondyluseite und Richtung ersichtlich, welche zur Analyse herangezogen wurde. Die durchgehende Linie stellt den Mittelwert der Differenzen zwischen MRT und Kondymeter dar (= Bias). Weiters sind in der Grafik die obere und untere Schranke des 95%-Konfidenzintervalls zum wahren Mittelwert ersichtlich (= *Konfidenzintervall des Bias*), welche mit gestrichelten Linien eingezeichnet sind. Daraus kann geschlossen werden, dass der Mittelwert der Differenz, zwischen den ermittelten Distanzen von BM zu NM beider Methoden, in der Population zu 95% zwischen den beiden Grenzen liegt. Diese Schwankungsbreite ist in Abhängigkeit vom Stichprobenumfang errechnet. Mit jeder weiteren Messung kann das Intervall weiter eingrenzt werden. Das 95%-Konfidenzintervall (*LOA = Limits of agreement*) für den Stichprobenumfang liegt beim 1,96-fachen der jeweiligen Standardabweichung des Samples (strichpunktierte Linien in der Grafik). Dieser pendelt sich bei größer werdendem Stichprobenumfang beim wahren Wert der Abweichung ein. Die Interpretation hierfür ist, dass der nächste Vergleich zweier Messpunkte zu 95% innerhalb dieser beiden Schranken liegen wird. Dies ist auch für den Stichprobenumfang an sich gültig.

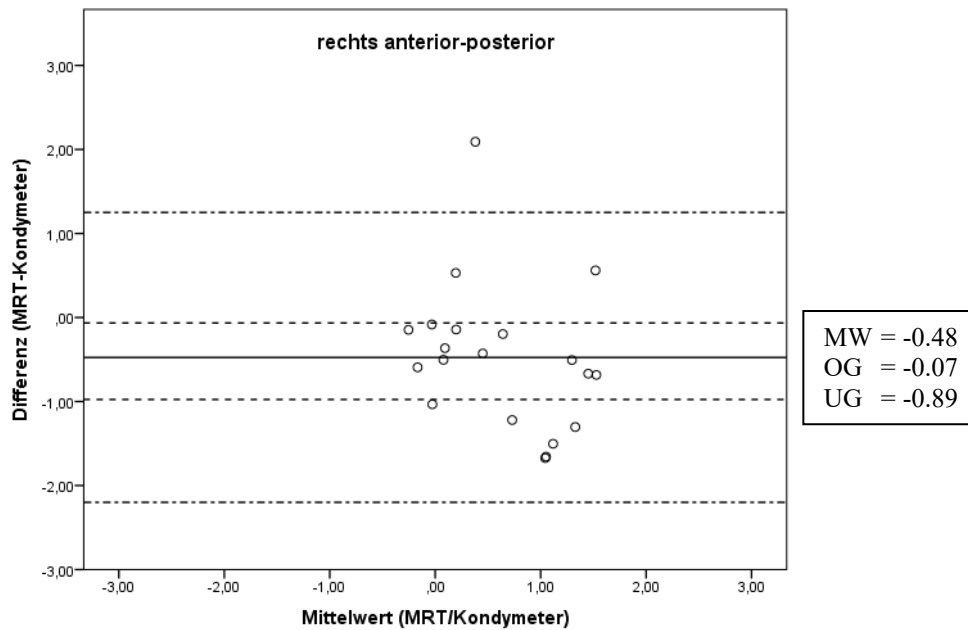


Abbildung 26. Bland Altman Diagramm, rechter Kondylus anterior/posterior (y-Achse). Als Basiswerte dienten die Lageveränderung zwischen NM und BM von MRT und Kondymeter der jeweiligen Richtung in mm. $n=20$; zwei Datenpunkte sind in der Grafik überlagert

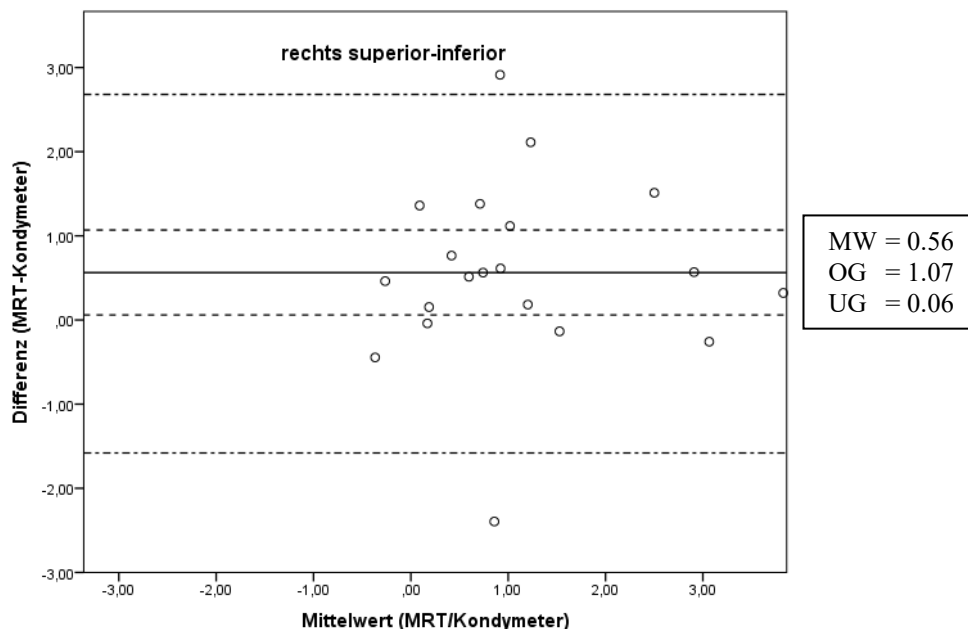


Abbildung 27. Bland Altman Diagramm, rechter Kondylus superior/inferior (z-Achse). Als Basiswerte dienten die Lageveränderung zwischen NM und BM von MRT und Kondymeter der jeweiligen Richtung in mm. $n=20$

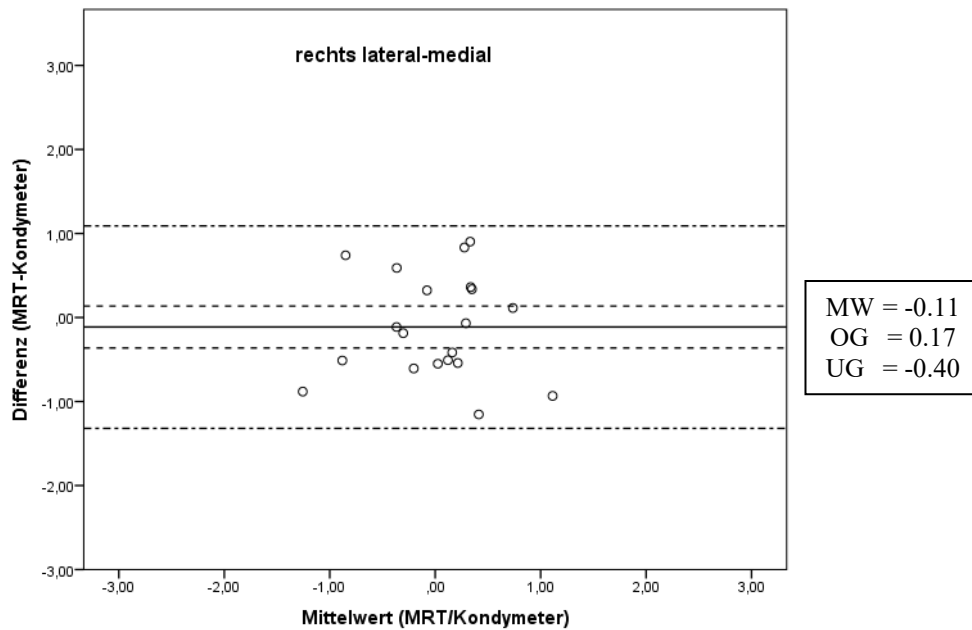


Abbildung 28. Bland Altman Diagramm, rechter Kondylus lateral/medial (x-Achse). Als Basiswerte dienten die Lageveränderung zwischen NM und BM von MRT und Kondymeter der jeweiligen Richtung in mm. $n=20$; zwei Datenpunkte sind in der Grafik überlagert

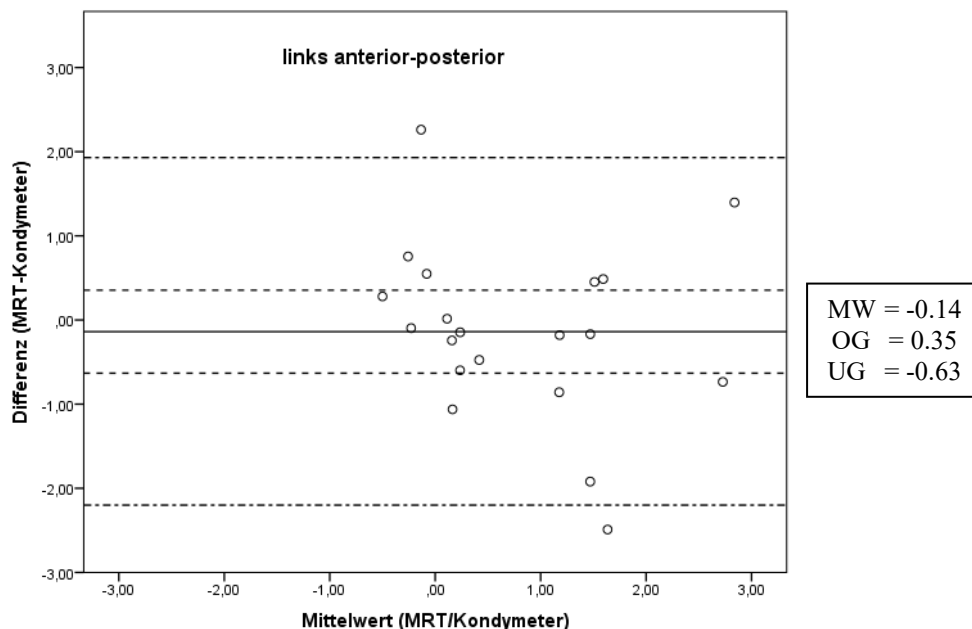


Abbildung 29. Bland Altman Diagramm, linker Kondylus anterior/posterior (y-Achse). Als Basiswerte dienten die Lageveränderung zwischen NM und BM von MRT und Kondymeter der jeweiligen Richtung in mm. $n=20$

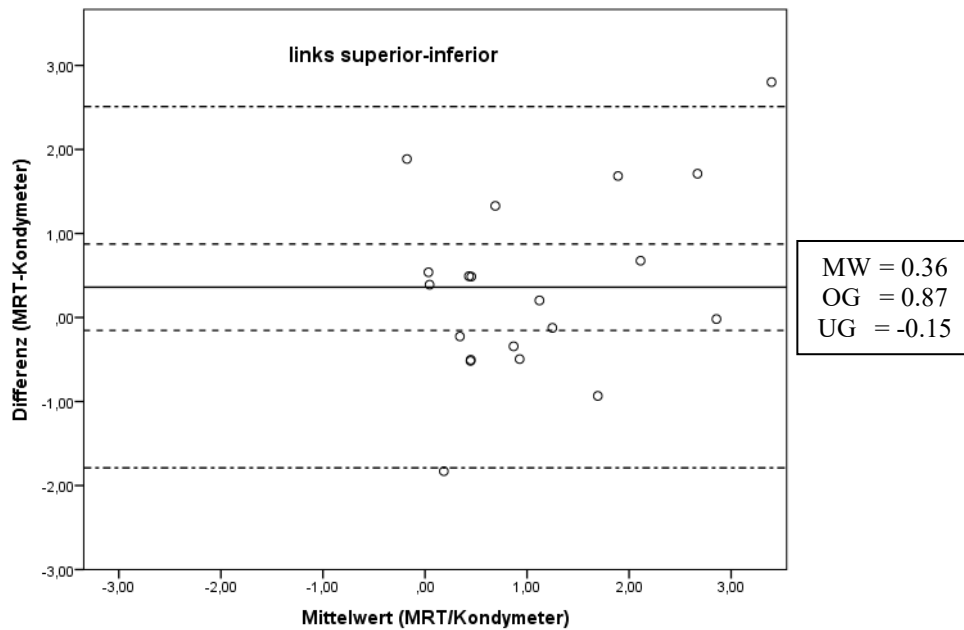


Abbildung 30. Bland Altman Diagramm, linker Kondylus superior/inferior (z-Achse). Als Basiswerte dienten die Lageveränderung zwischen NM und BM von MRT und Kondymeter der jeweiligen Richtung in mm. $n=20$; zweimal sind zwei Datenpunkte überlagert

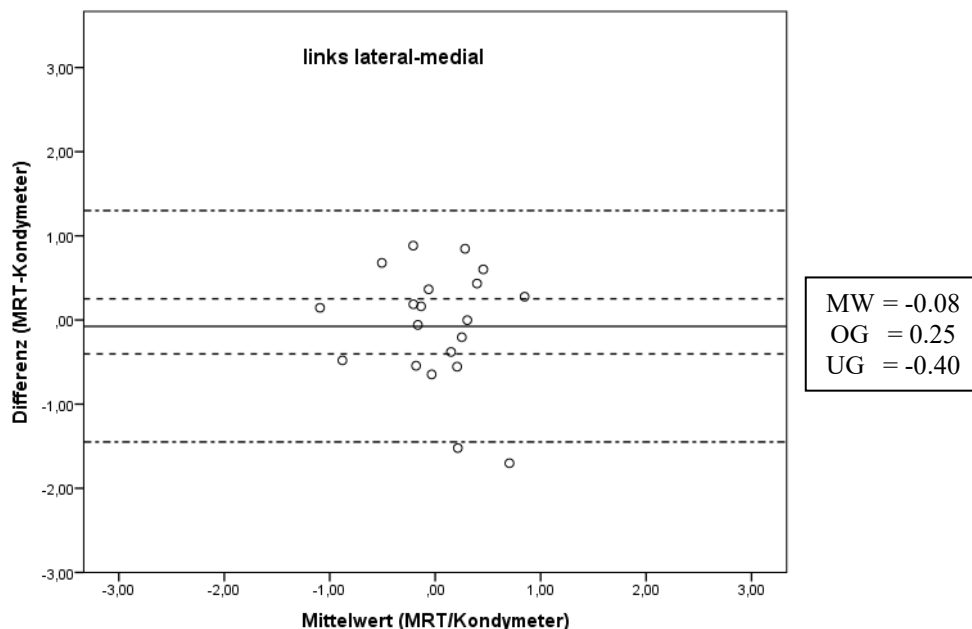


Abbildung 31. Bland Altman Diagramm, linker Kondylus lateral/medial (x-Achse). Als Basiswerte dienten die Lageveränderung zwischen NM und BM von MRT und Kondymeter der jeweiligen Richtung in mm. $n=20$

Die folgenden Interpretationen der Konfidenzintervalle beziehen sich auf die obere und untere Schranke des 95%igen Konfidenzintervalls der Differenzen zwischen MRT und Kondyometer (gestrichelte Linien), welches für die Grundgesamtheit aus den generierten Werten errechnet wurde.

Die Messungen vom rechten Kondylus in der y-Achse (sagittal) zeigten mit einer 95%-Wahrscheinlichkeit eine Abweichung zwischen -0.07 mm und -0.89 mm vom Mittelwert der Differenz aller Messungen zwischen den beiden Messverfahren (-0.48) (Abbildung 26). Ein negatives Vorzeichen bedeutet, dass die Kondylen im Kondyometer einen größeren Versatz als jene vom MRT anzeigten. Das bedeutet, dass in der Sagittalachse (= y-Achse) die Kondylen von BM zu NM im Kondyometer posterior lag. Die Schranken des 95%-Konfidenzintervalls der Differenz der Longitudinalachse (z-Achse) lagen bei 0.06 mm und 1.07 mm (Abbildung 27). Das positive Vorzeichen der Ober- und Untergrenze bedeutet, dass die Messstreckendifferenzen im MRT größer ausfielen als im Kondyometer. Es kann rückgeschlossen werden, dass der rechte Kondylus im MRT in BM zu NM superiorer als im Kondyometer zu liegen kam. Da bei der y- und z-Achse Null nicht vom Konfidenzintervall eingeschlossen wird, deutet dies auf eine signifikante systematische Abweichung hin. In der x-Achse (Transversalachse) lagen die Konfidenzintervallsgrenzen bei -0.40 mm und 0.17 mm (Abbildung 28). Da der Wert Null eingeschlossen wird, gibt es keine signifikante Unterscheidung der beiden Messmethoden. Der negative Mittelwert (-0.08) weist auf eine zum Kondyometer rechtsverlagerte kondyläre Position von BM zu NM im MRT hin.

Beim linken Kondylus war die Abweichung vom Mittelwert der Differenzen zwischen MRT und Kondyometer im 95%-Konfidenzintervall in der y-Achse zwischen -0.63 mm und 0.35 mm, in der z-Achse zwischen -0.15 mm und 0.87 mm und in der x-Achse zwischen -0.08 und 0.25 (Abbildung 29 bis Abbildung 31). Die Vorzeichen der Mittelwerte der x-,y- und z-Achsen lassen darauf schließen, dass im MRT der Kondylus in BM zur NM anteriorer, superiorer und medialer als im Kondyometer zu liegen kam.

6 DISKUSSION

Kondymeter und Mandibularpositionsindikator sind Messinstrumente zum Aufzeigen von Unterkiefer- und folglich Kondylenbewegungen. Anwendung finden diese nicht nur bei Studien zur Beurteilung von Referenzpositionen und Behandlungseffekten, sondern auch bei der Therapie und Verlaufskontrolle von kranio-mandibulären Dysfunktionen (u.a. Crawford 1999, Čelar et al. 2012, Galeković et al. 2017, El & Ciger 2010). In der Literatur fand sich keine Studie, welche gemessene Daten im Kondymeter mit direkt am Patienten vermessenen Werten aus einem 3-Tesla-MRT verglich. Mit gewissen Limitationen kann in dieser Studie aufgezeigt werden, dass eine signifikante bis tendenzielle Übereinstimmung beider Messmethoden besteht.

Im Gegensatz dazu konnte in der Studie von Alexander et al. (1993) keine zufriedenstellende Übereinstimmung zwischen erhobenen Daten aus dem Mandibularpositionsindikator und 1.5-Tesla-MRT in der Sagittalebene gefunden werden. Der Vergleich erfolgte in IKP und einer Referenzposition, welche durch die Leaf gauge-Technik nach Williamson erreicht wurde. Die Daten wurden mittels Korrelationskoeffizient (r) in vertikaler und horizontaler Achse verglichen. Dieser lag in beiden Positionen in allen Achsen zwischen -0.18 und 0.55 . Ein Korrelationskoeffizient ≤ 0.5 stellt einen mittleren bis niedrigen linearen Zusammenhang dar. Ein negativer Betrag des Korrelationskoeffizienten spiegelt einen gegengleichen Zusammenhang wider (Rao et al. 2008). Lediglich in der rechten Vertikal- und Horizontalachse in IKP konnte eine signifikante Übereinstimmung festgestellt werden.

Bei Betrachtung der rein deskriptivstatistischen Auswertung von NM und BM mit Bezugsposition IKP zeigten sich Diskrepanzen der Kondylenlage zwischen MRT und Kondymeter. In der z-Achse (superior/inferior) gab es größere Unterschiede zwischen den beiden Messmethoden (Mittelwert BM–IKP und NM–IKP rechts $1.16 \text{ mm} \pm 1.83$; links $0.99 \text{ mm} \pm 1.53$). Die Kondylen im Kondymeter lagen in den RPs zumeist inferior zum MRT. Dies kann auf die Erhöhung durch das Bissregistrat von NM und BM im Kondymeter zurückzuführen sein. Wird lediglich der Unterschied der beiden Messverfahren von NM zu BM in der z-Achse betrachtet, ergibt sich ein geringer

Unterschied (rechts $M = 0.56 \text{ mm} \pm 1.08$ und links $M = 0.36 \text{ mm} \pm 1.1$). Da die Höhe der Bissregistratur in NM und BM annähernd gleich war, hat diese beim Vergleich der Lagen der beiden Referenzpositionen zwischen MRT und Kondymeter keinen Einfluss.

Die Bewegungen der Messkuben im Kondymeter und somit die Lage der Referenzpositionen mit Bezugspunkt IKP des rechten und linken Kondylus ist beim Vergleich mit den Resultaten aus der Studie von Čelar et al. (2012), mit einer Ausnahme, ident. Der rechte und linke Kondylus stand bei der geführten Position nach Dawson posterior, inferior und rechts zur IKP. Bei der nicht-geführten neuromuskulären Position lagen beide Kondylen anterior, inferior und rechts zur IKP. Die Abweichung zur oben genannten Studie betrifft die linke y-Achse (sagittal) in NM-IKP. Hier wird in dieser Studie eine anteriore Bewegung von 0.56 mm aufgezeichnet, wohingegen in der zuvor genannten Studie (Čelar et al. 2012) eine posteriore Bewegung resultierte. Weiters kann in der jetzigen Studie gezeigt werden, dass der rechte und linke Kondylus beim Vermessen im Kondymeter in der bimanuell geführten Position 0.87 mm posterior und superior zu NM stehen. Beim lateralen Versatz zwischen den beiden Referenzpositionen konnte kein signifikanter Unterschied festgestellt werden. Der Unterschied beim Vergleich mit den Ergebnissen aus der Studie von Čelar et al. (2012) ist minimal ($\sim 0.2 \text{ mm}$).

Da nur asymptotische Probanden in dieser Studie untersucht wurden, könnte die differierende Lage von NM und BM zur IKP, von den Werten, welche direkt am Patienten im MRT gemessen wurde, die Toleranz des kranio-mandibulären Systems für Retralpositionen widerspiegeln. Bei den vermessenen Probanden gab es in der sagittalen Ebene des rechten und linken Kondylus eine mittlere Differenz der Referenzpunkte zur IKP von $1.81 \text{ mm} \pm 1.04$. In der Transversalachse konnte ein gemittelter Rechtsversatz von $0.33 \text{ mm} \pm 0.28$ und ein gemittelter Linksversatz von $0.6 \text{ mm} \pm 0.5$ beider Gelenksköpfe verzeichnet werden. In der Studie von Čelar et al. (2012) wurde aufgrund der statistisch differierenden Lage der Referenzpositionen zur IKP, vermessen im Kondymeter, auf einen möglichen asymptotischen Spielraum von 0.5 bis 1.5 Millimeter des mastikatorischen Systems hingewiesen. Auch Utt beschrieb in seiner Arbeit 1995, dass 81 Prozent der Untersuchten eine Diskrepanz von $\pm 1 \text{ mm}$ in der anteroposterioren Richtung, in der vertikalen Achse mehr als $\pm 1 \text{ mm}$ und in der transversalen Achse weniger als 0.5 mm aufwiesen. Er nannte dies den zentrischen Okklusionsbereich. Weiters wurde bei den

untersuchten Personen in 19 Prozent der Fälle eine Abweichung von mehr als zwei Millimeter festgestellt (Roth 1995). McNeill beschrieb 1997, dass eine anteriore Gleitstrecke von mehr als zwei Millimeter einen Risikofaktor für Kiefergelenksbeschwerden darstellt.

Mithilfe des Intraklassen-Korrelationskoeffizienten konnte aufgezeigt werden, dass eine signifikante Übereinstimmung beider Messmethoden, hinsichtlich der dreidimensionalen Vermessung des Kondylus in allen Achsen, mit Ausnahme der linken Transversalachse, beidseits besteht. Hier lag lediglich ein tendenzieller Zusammenhang vor. Diese Abweichung könnte durch die fixe Verbindung zwischen der rechten und linken Messkugel in der Transversalachse (x-Achse) des Kondymeters zustande gekommen sein. Diese stellt einen bedeutenden Unterschied zwischen den beiden Messmethoden dar. Beispielsweise wird auf der rechten Messuhr ein Wert von 0.5 mm abgelesen, erscheint auf der linken Messuhr aufgrund der Rigidität eine Lageveränderung von -0.5 mm. Die Kondylenpositionsdaten im MRT haben jedoch gezeigt, dass eine Asymmetrie in der transversalen Bewegung vorliegt, der linke Kondylus hat einen größeren Bewegungsradius als der rechte (Wolfsegger 2017). Asymmetrien im menschlichen Individuum hinsichtlich der Kondylenbewegung sind physiologisch und begründet durch Unterschiede in der Kondylenstellung (Cohlma et al. 1996), der Kauseitenpräferenz sowie der Okklusion (Martinez-Gomis et al. 2009) und können in der Transversalachse des Kondymeters nicht wiedergegeben werden.

Werden die ICC-Werte in Anlehnung an Fleiss (1986) beurteilt, kann eine durchschnittliche bis gute Vergleichbarkeit von beiden Messmethoden beidseits in allen Achsen, ausgenommen der linken x-Achse, angenommen werden ($0 - 0.4$ poor; $0.4 - 0.75$ fair to good; $0.75 - 1$ excellent). Wird der mediane ICC beidseits über alle Achsen berechnet (0.67), so kann interpretiert werden, dass etwa zwei Drittel der Varianz auf die wahren Werte entfallen und etwa ein Drittel durch Fehlerquellen generiert wurde. Auch hier könnte eine größere Stichprobe einen genaueren Rückschluss auf die Eigenschaften der Grundgesamtheit zulassen. Dennoch konnte bei einer Samplegröße von 20 Teilnehmenden, wie oben erwähnt, eine signifikante Übereinstimmung beider Methoden in fünf von sechs Achsen gezeigt werden. Ein limitierender Faktor des ICC ist, dass die identifizierte Interraterreabilität von der Stichprobenstreuung abhängig ist. Gibt es nur

geringe Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Methoden, so kann eventuell keine bedeutsame Reliabilität gemessen werden (Wirtz & Caspar 2002). Aufgrund dessen wurde in dieser Studie auch zusätzlich die Vergleichbarkeit mittels Bland-Altman visualisiert. Mit dieser Methode kann das Ausmaß der Nicht-Übereinstimmung durch Fehler oder Bias grafisch dargestellt werden.

Bei der Auswertung mittels Bland-Altman zum Ausmaß der Übereinstimmung von MRT und Kondymeter zwischen den erhobenen Daten, kann festgehalten werden, dass aus dem Durchschnitt der 95%-Konfidenzintervalle errechnet die Abweichungen zwischen den Messpunktpaaren von Kondymeter und MRT in der sagittalen Ebene in einem Bereich von -0.89 bis 1.07 mm um den wahren Mittelwert zu liegen kommen. In der Transversalebene liegt dieser Bereich bei -0.4 bis 0.25 . Mit diesen Grenzen ist die Angabe über eine Austauschbarkeit beider Methoden möglich, wenn die Differenzen innerhalb davon als klinisch irrelevant betrachtet werden.

Wird nun der oben genannte klinische Toleranzbereich angenommen, kann eine ausreichende Inter-Rater-Reliabilität zwischen MRT und Kondymeter angenommen werden. In der rechten x-Achse und links in allen Achsen lagen die Differenzen der beiden Methoden zwischen den Messwertpaaren um den Wert Null, dadurch kann eine hohe Genauigkeit der beiden verglichenen Methoden angenommen werden. Bei den Tests des rechten Kondylus in der y- und z-Achse lagen die Konfidenzintervalle nicht um den Wert Null und damit die Schätzung für den tatsächlichen Fehler ungleich Null. Bei größerem Stichprobenumfang könnte auch hier der wahre Fehler Null sein, da auch in diesen Achsen die Konfidenzintervallsschranken nur unweit (~ 0.08 mm) davon entfernt lagen den Wert Null einzuschließen.

Die Bestimmung der exakten Scharnierachspunkte der Probanden könnte in etwaigen zukünftigen Gegenüberstellungen zu einer noch deutlicheren Übereinstimmung beider Methoden beitragen. Aus Kapazitätsgründen und auch um die Vergleichbarkeit von praxisnahen Handlungen gegenüber dem MRT zu untersuchen, hat in dieser Studie ein arbiträrer Transferbogen für die schädelbezügliche Montage im Artikulator Gebrauch gefunden. Dieser Transferbogen kann auch ohne Kenntnis der genauen Scharnierachspunkte angewendet werden, denn die Position wird nur anhand von

Mittelwerten geschätzt und wird zirka zehn bis 13 Millimeter vor dem Tragus angenommen (Bergstrom 1950). Exakt kann die Achseorbitalebene und die Lage der Maxilla dazu mit einer Achsiografie oder kinematischen Gesichtsbogen evaluiert werden.

Etwaige Vergleichsinkongruenzen zwischen den Messungen der untersuchten Methoden könnten auch auf die Vorbereitung zum Auswerten im Kondymeter, welches relativ viele Arbeitsschritte beinhaltet, zurückzuführen sein. So kann zum Beispiel die Expansion des Gipsmodells einen Einflussfaktor darstellen. Obwohl in der Studie Superhartgips verwendet wurde, können minimale Expansionen der Modelle, Veränderungen in der Passgenauigkeit der Zahnreihen zueinander und dadurch eine andere Schlussbissstellung hervorrufen (Mueller et al. 1988). Nach Viohl (2000) sind Abweichungen von insgesamt über 50 µm (Dimensionsänderung von zirka 0.2 %) als kritisch anzusehen. Eventuell können auch die Registriermedien nicht mehr so exakt wie im Mund platziert werden. Auch die Eigenschaften der Materialien für die Bissregistrare können Einfluss auf die Präzision der Relationsbestimmung haben (Mullick et al. 1981, Thriemer et al. 2001). Dennoch ist der Einfluss der Reproduzierbarkeit der gewählten Ausguss- und Registriermaterialien nicht so groß, wie die des verwendeten Messinstruments (Utz et al. 2002).

Das verwendete Kondymeter kann dank seiner genauen Messuhren schon kleinste Veränderungen aufzeigen. Die Reproduzierbarkeit des Kondymeters wurde bereits in vorhergehenden Studien, welche ebenso an der Universitätszahnklinik Wien mit dem Kondymeter dieser Studie durchgeführt wurden, überprüft (Schmid-Schwab et al. 2006, Čelar et al. 2012). Trotzdem wurde auch für diese Studie die Wiederholbarkeit von Messungen und deren gleichbleibendes Ergebnis kontrolliert.

Da sich die Messkugeln im Oberteil des Gerätes befinden, bewirken kleinste Winkelveränderungen durch die verlängerte Achse des Oberteils größere Lageveränderungen. Um dieses Ausmaß abschätzen zu können, wurde eine dünne Folie auf Höhe der ersten Molaren der Modellzahnreihe gelegt und die Werte abgelesen. Eine Bisserrhöhung von 0.1 mm an dieser Modellstelle zeigte bei den Messkugeln in der y-Achse (= superior/inferior) einen Wert von 0.51 mm an. Eine Erhöhung von 0.2 mm zwischen den Zahnreihen ergab einen Ausschlag von 0.99 mm in superior-inferiorer Richtung.

Daraus kann geschlossen werden, dass schon kleinste Verschiebungen der Okklusion zu größeren Veränderungen in den weiter entfernten Messkuben führen. Dieses Phänomen wird durch den Vergrößerungseffekt beschrieben (Slavicek & Lugner 1976) und bedeutet weiters, dass bei Mundöffnung, etwa durch eingelegte Bissregistratur, noch zusätzlich zur Bisserrhöhung, höhere Werte in der Longitudinalachse verzeichnet werden. Beim direkten Vergleich von NM und BM zwischen Kondymeter und MRT wurde dieser Effekt durch die annähernd gleich hohen Bissregistratur aufgehoben.

Weitere Limitationen dieser Studie könnten Bewegungs- oder Strukturartefakte, sowie Messfehler im MRT darstellen. Um Bewegungsartefakte auf ein Minimum zu reduzieren, wurden alle Probanden eingehend instruiert sich nicht zu bewegen und durch Anlegen einer Kopfspule wurde die Bewegungsfreiheit des Kopfes unterbunden. Zudem wurde durch ein Fenster während der Untersuchung zusätzlich das ruhige Liegen des Teilnehmers durch die Diplomandinnen und Röntgenassistentin kontrolliert. Beim anschließenden Generieren der Messpunkte wurde das Vermessen der Datenpunkte von zwei Untersuchern jeweils dreimal zu drei unterschiedlichen Zeiten mit einem Abstand von drei Tagen durchgeführt. Das Eintragen der Daten erfolgte stets unter Beobachtung einer zweiten Person, damit keine Tipp- oder Übertragungsfehler entstanden.

Für die bestmögliche Bildqualität wurde in der Studie ein 3-Tesla-MRT verwendet. Die Voxelgröße betrug $0.3 \times 0.3 \times 2$ mm, deshalb kann ein Unterschied zwischen MRT und Kondymeter, welches unter 0.3 mm verzeichnet wurde, aufgrund des Auflösungsvermögens als nur bedingt zuverlässig angesehen werden. Diese geringen Unterschiede der Vermessungspunkte zwischen MRT und Kondymeter betreffen in der vorliegenden Studie lediglich die lateromediale Richtung (x-Achse) des rechten und linken Kondylus. Daher sollte festgehalten werden, dass in der x-Achse der geringe Versatz in manchen Fällen und die daraus resultierende Streckendifferenz kleiner als das eigentliche Auflösungsvermögen des MRTs war (rechts 4/20 Fälle und links 7/20 Fälle). Die Aussagekraft der Übereinstimmung bzw. der tendenziellen Übereinstimmung in der x-Achse kann daher nur bedingt angenommen werden.

Falls eine höhere Vergleichbarkeit zwischen Kondymeter und MRT angestrebt werden soll, ist die Frage, wie exakt eine indirekte Messung im Verhältnis zur physiologischen

Variabilität des stomatognathen Systems sein muss und kann. Im klinischen Alltag ist die resultierende Übereinstimmung beider Methoden wohl ausreichend und das Kondymeter kann für Vermessungen herangezogen werden. Für eine wissenschaftlich brauchbare Betrachtung von Kondylenlagen bzw. -veränderungen wird eine möglichst exakte Messung mit geringen bis keinen Fehlern notwendig sein. Hier dürfte die Schätzung der Kondylenlage durch das Kondymeter zu ungenau sein und das MRT die besser angewendete Methode darstellen. Jedoch muss darauf hingewiesen werden, dass auch das MRT durch das Auflösungsvermögen Grenzen in der Darstellung von minimalen Veränderungen aufweist.

7 SCHLUSSFOLGERUNG

Unter Berücksichtigung der Limitationen, kann mithilfe dieser Studie die Reliabilität des Kondymeters gegenüber direkt am Patienten vermessenen Punkten mittels MRT aufgezeigt werden. Das Übereinstimmungsmaß beider Kondylen erreichte eine ausreichende bis gute Übereinstimmung ($p < 0.05$) in allen drei Dimensionen, mit Ausnahme der transversalen Achse des linken Kondylus. Hier wurde eine tendenzielle Übereinstimmung ($p < 0.10$) festgestellt.

Die systematische Fehlergröße beim Vergleich der MRT-Kondylenpositionsdaten mit jenen des Kondymeters befand sich innerhalb des, für das kranio-mandibuläre System, biologisch tolerierbaren Bereichs.

Das Kondymeter stellt eine gute Methode dar, um Kondylenpositionen zu schätzen. Wenn mit dem Gerät richtig umgegangen wird und die Limitationen bekannt sind, ist es ein kostengünstiges Verfahren, welches eine Auswertung der Kondylenbewegung, die annähernd mit den tatsächlichen Veränderungen im Individuum übereinstimmt, indirekt ermöglicht.

8 LITERATURVERZEICHNIS

1. Academy of Prosthodontics. Glossary of prosthodontic terms. *The Journal of Prosthetic Dentistry* 2005;94(1):10-92
2. Alexander SR, Moore RN, DuBois L. Mandibular condyle position: comparison of articulator mountings and magnetic resonance imaging. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 1993;104:230 -239
3. Ash M M, Ramfjord S. Occlusion – 4th edn, Philadelphia: WB Saunders, 1995
4. Bergstrom GJ. On the reproduction of dental articulation by means of articulators. *Acta Odontologica Scandinavica* 1950,9(Suppl.4):3-149
5. Bernhardt O, Küppers N, Rosin M, Meyer G. Comparative tests of arbitrary and kinematic transverse horizontal axis recordings of mandibular movements. *Journal of Prosthetic Dentistry* 2003;89:175
6. Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *The Lancet* 1968;1(8476):307-310
7. Böhm A, Rammelsberger P, Duc Pho JM, May HC, Pospiech P, Gernet W. Elektronische Kondylenpositionsanalyse bei Gesunden und Patienten mit anteriorer Diskusverlagerung im Kiefergelenk. *Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift* 1995;50:553-557
8. Bortz J, Döring N. Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler: Limitierte Sonderausgabe. Heidelberg: Springer-Verlag, 2006
9. Brill N, Tryde G. Physiology of mandibular positions. *Frontiers of Oral Physiology* 1974;1:199 -237

10. Bumann A, Lotzmann U, Rateitschak, KH. Funktionsdiagnostik und Therapieprinzipien - Farbatlant der Zahnmedizin Band 12, Stuttgart/New York: Georg Thieme Verlag KG, 2000
11. Čelar Ā, Freudenthaler J, Crismani A, Graf A. Guided and unguided mandibular reference positions in asymptomatic individuals. *Orthodontics and Craniofacial Research* 2012,16:28-35.
12. Čelar ĀG, Tamaki K. Accuracy of recording horizontal condylar inclination and Bennett angle with the Cadiax compact. *Journal of Oral Rehabilitation* 2002;29:1076
13. Cohlma JT, Ghosh J, Sinha PK, Nanda RS, Currier GF. Tomographic assessment of temporomandibular joints in patients with malocclusion. *The Angle Orthodontist* 1996,30:343-347
14. Crawford SD. Condylar axis position, as determined by the occlusion and measured by the CPI instrument, and signs and symptoms of temporomandibular dysfunction. *The Angle Orthodontist* 1999;69(2):103-114
15. Dahlberg G. Statistical methods for medical and biological students. London: George Allen and Unwin Ltd. 1940
16. Dawson PE. Centric relation. Its effect on occluso-muscle harmony. *Dental Clinics of North America* 1979,23:169-180
17. Dawson PE. New definition for relating occlusion to varying conditions of the temporomandibular joint. *The Journal of Prosthetic Dentistry* 1995;74:619-627
18. El H, Ciger S. Effects of 2 types of facemasks on condylar position. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics* 2010;137(6):801-808

19. Faul F, Erdfelder E, Buchner A, Lang AG. Statistical power analyses using G*Power 3.1: Tests for correlation and regression analyses. *Behavior Research Methods* 2009;41,1149-1160
20. Fleiss JL. *The Design and Analysis of Clinical Experiments*, New York: John Wiley & Sons, 1986
21. Galeković NH, Fugošić V, Braut V, Čelić R. Reproducibility of Centric Relation Techniques by means of Condyle Position Analysis. *Acta Stomatologica Croatica* 2017;51(1):13-21
22. Gilboe DB. Centric relation as the treatment position. *The Journal of Prosthetic Dentistry* 1983;50:685 -689
23. Gschossmann K, Müller J, Bruckner G, Schmid Ch, Hochholzer M, Gernet W. Vergleich eines direkten mit einem indirekten Verfahren zur Kondylenpositionsanalyse. *Deutsche Zahnärztliche Zeitung* 1995;50:547-552
24. Keshvad A, Winstanley RB. An appraisal of the literature on centric relation - Part I. *Journal of Oral Rehabilitation* 2000;27:823-833
25. Keshvad A, Winstanley RB. An appraisal of the literature on centric relation - Part II. *Journal of Oral Rehabilitation* 2000;27:1013-1023
26. Lucia VO. Centric relation - theory and practice. *The Journal of Prosthetic Dentistry* 1960,10:849-856
27. Lüthje J, Schünke M, Schulte E, Schumacher U. Prometheus LernPaket der Anatomie - Schädel, Stuttgart: Georg Thieme Verlag KG, 2008
28. Martinez-Gomis J, Lujan-Climent M, Palau S, Bizar J, Salsench J, Peraire M. Relationship between chewing side preference and handedness and lateral asymmetry of peripheral factors. *Archives of Oral Biology* 2009,54:101-107

29. McNeill Ch. Management of temporomandibular disorders: concepts and controversies. *The Journal of Prosthetic Dentistry* 1997;77:510-522
30. Mueller J, Goetz G, Kraft E. Werkstoffkundliche Untersuchungen zur dreidimensionalen Veränderung der Kieferrelation durch verschiedene Registratmaterialien. *Deutsche Zahnärztliche Zeitung* 1988;43:1112-1115
31. Mullick SC, Stackhouse JA, Vincent GR. A study of interocclusal record materials. *The Journal of Prosthetic Dentistry* 1981;46:304-309
32. Piehslinger E [Hrsg], Celar AG, Fürhauser R, Gsellmann B, Knaus A, Schmid-Schwap M, Sengstbratl M, Zauza K. Grundlagen der zahnärztlichen Prothetik - Ein Leitfaden für Studierende und Zahnärzte 2. Auflage, Wien: Universimed, 2006
33. Pröschel P, Morneburg Th, Hugger A, Kordaß B, Otzl P, Niedermeier W, Wichmann M. Articulator-related registration – a simple concept for minimizing eccentric occlusal errors in the articulator. *The International Journal of Prosthodontics* 2002;15:289
34. Ramsfjord SP. Personal Communication 1993; In: Academy of Prosthodontics. Glossary of prosthodontic terms. *The Journal of Prosthetic Dentistry* 2005;94(1):22
35. Rao CR, Miller JP, Rao DC. Handbook of Statistics, Volume 27 - Epidemiology and Medical Statistics. 2. Auflage, Amsterdam: Elsevier, 2008
36. Roth RH. Point/Counterpoint. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics* 1995;107(3):315-318
37. Schmid-Schwap M, Sengstbratl M, Piehslinger E, Buber I. Reproduzierbarkeit der IKP von artikulatormontierten Modellen - eine Untersuchung mit dem elektronischen Kondymeter. *Zeitschrift für Stomatologie* 1999;96(6):131-137

38. Slavicek R, Lugner P. Der schädelbezügliche teiladjustierbare Artikulator *Österreichische Zeitung für Stomatologie* 1976;73:122-142
39. Slavicek R. Clinical and instrumental functional analysis for diagnosis and treatment planning. Part 3. Clinical functional analysis. *Journal of Clinical Orthodontics: JCO* 1988;22(8):498-508
40. Stiesch-Scholz M, Roßbach A. Untersuchungen zur Messgenauigkeit des elektronischen Registriersystems Articus im Referenzartikulator Protar®9. *Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift* 2002;57:83
41. Thriemer A, Gehre G, Jakstat HA, Reiber Th. Dimensionstreuung, Konsistenz und Abbindeverhalten von Materialien zur Kieferrelationsbestimmung. *Deutsche Zahnärztliche Zeitung* 2001;56:608-611
42. Utt TW, Meyers CE Jr, Wierzba TF, Hondrum SO. 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* 1995;107(3):298-308
43. Utz KH, Hugger A, Ahlers MO, Seeher WD. S2k-Leitlinie – Instrumentelle zahnärztliche Funktionsanalyse Langversion. *AWMF online* 2015;083-017
44. Utz KH, Müller F, Lückerrath W, Fuss E, Koeck B. Accuracy of check-bite registration and centric condylar position. *Journal of Oral Rehabilitation* 2002;29:458-466
45. Vahle-Hinz K, Rybczynski A, Jakstat H, Ahlers MO. Condylar position analysis with a new electronic condylar position measuring instrument E-CPM: Influence of different examiners and a working bite on reproducibility. *International Journal of Computerized Dentistry* 2009;12:235-246

46. Viohl J. Abformwerkstoffe. In: Eichner K., Kappert H.F. (Hrsg.): Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung. Bd. 1. Grundlagen und ihre Verarbeitung. 7. unveränderte Aufl. Stuttgart, New York: Thieme 2000
47. Wirtz M, Caspar F. Beurteilerübereinstimmung und Beurteilerreliabilität. Göttingen: Hogrefe, 2002
48. Wolfsegger A. Lage der Kiefergelenkskondylen in drei diagnostischen Unterkieferpositionen in vivo mittels Magnetresonanztomographie – eine orientierende Studie. Wien: Med Diss, 2017; MUW/UniZMK

9 ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1. <i>Fossa mandibularis, Ansicht von kaudal (Lüthje et al. 2008)</i>	9
Abbildung 2. <i>Kiefergelenk, Ansicht von sagittal (modifiziert nach Lüthje et al. 2008)</i>	9
Abbildung 3. <i>Bimanuell geführte Position nach Dawson (Dawson 1995)</i>	12
Abbildung 4. <i>Blue Bite SC</i>	17
Abbildung 5. <i>Bissregistrator (NM) in situ, frontale Ansicht</i>	18
Abbildung 6. <i>Bissregistrator (NM) in situ, Ansicht von sagittal</i>	18
Abbildung 7. <i>Bissregistrator (NM), Ansicht von oben und vorne</i>	19
Abbildung 8. <i>Wasserbad</i>	19
Abbildung 9. <i>Bissregistrator (BM) in situ, frontale und sagittale Ansicht</i>	21
Abbildung 10. <i>Bissregistrator (BM), Ansicht von oben und vorne</i>	21
Abbildung 11. <i>Dosiergerät</i>	23
Abbildung 12. <i>Vakuümührgerät</i>	23
Abbildung 13. <i>Rüttelplatte</i>	24
Abbildung 14. <i>Ausguss</i>	24
Abbildung 15. <i>Ausgegossenes Oberkiefermodell inklusive Sockelformer</i>	25
Abbildung 16. <i>Trimmgerät</i>	26
Abbildung 17. <i>Gipsmodelle OK+UK, Ansicht von okklusal</i>	26
Abbildung 18. <i>Transferbogen, Bissgabel und -träger, Nasionstütze und Hygiene- Schutzkappen</i>	27

Abbildung 19. Artikulator, seitliche Ansicht	28
Abbildung 20. Snow White Gips	29
Abbildung 21. Artikulator + Modell, sagittale und frontale Ansicht.....	30
Abbildung 22. Kondymeter, schräg frontale Ansicht	31
Abbildung 23. Gewicht für das Kondymeter. Gewichtscheiben: 2x 1.25 und 1x 3 Kilogramm.....	32
Abbildung 24. Kondymeter mit Bissregistrat NM, frontale Ansicht	33
Abbildung 25. Kondymeter mit Bissregistrat BM, frontale Ansicht	33
Abbildung 26. Bland Altman Diagramm, rechter Kondylus anterior/posterior (y-Achse). Als Basiswerte dienten die Lageveränderung zwischen NM und BM von MRT und Kondymeter der jeweiligen Richtung in mm. n=20; zwei Datenpunkte sind in der Grafik überlagert.....	45
Abbildung 27. Bland Altman Diagramm, rechter Kondylus superior/inferior (z-Achse). Als Basiswerte dienten die Lageveränderung zwischen NM und BM von MRT und Kondymeter der jeweiligen Richtung in mm. n=20.....	45
Abbildung 28. Bland Altman Diagramm, rechter Kondylus lateral/medial (x-Achse). Als Basiswerte dienten die Lageveränderung zwischen NM und BM von MRT und Kondymeter der jeweiligen Richtung in mm. n=20; zwei Datenpunkte sind in der Grafik überlagert.....	46
Abbildung 29. Bland Altman Diagramm, linker Kondylus anterior/posterior (y-Achse). Als Basiswerte dienten die Lageveränderung zwischen NM und BM von MRT und Kondymeter der jeweiligen Richtung in mm. n=20.....	46
Abbildung 30. Bland Altman Diagramm, linker Kondylus superior/inferior (z-Achse). Als Basiswerte dienten die Lageveränderung zwischen NM und BM von MRT und	

Kondymeter der jeweiligen Richtung in mm. n=20; zweimal sind zwei Datenpunkte überlagert 47

Abbildung 31. *Bland Altman Diagramm, linker Kondylus lateral/medial (x-Achse). Als Basiswerte dienten die Lageveränderung zwischen NM und BM von MRT und Kondymeter der jeweiligen Richtung in mm. n=20* 47

10 TABELLENVERZEICHNIS

- Tabelle 1. *Mittelwerte inklusive Standardabweichung der rechten und linken Differenzen zweier Positionen (NM – IKP; BM – IKP und BM – NM) für Kondymeter und MRT gegenübergestellt. Weiters der dreidimensionale mittlere Abstand zwischen MRT und Kondymeter des rechten und linken Kondylus der jeweiligen Lageveränderungen inklusive Standardabweichung. Angaben in mm. n=20 40*
- Tabelle 2. *Intraklassenkoeffizienten (ICC) als Maß der Übereinstimmung (zweifach gemischt, absolut) der mittleren Messwertdifferenzen von BM zu NM zwischen Kondymeter und MRT des rechten und linken Kondylus dreidimensional mit je einem Kontrollwert in der zweiten Zeile, durchschnittliche Maße mit Ober- und Untergrenze des 95% Konfidenzintervalls, Freiheitsgrad (df) und Signifikanzniveau (p) 42*

11 ANHANG

11.1 Teilnehmeraushang



Studienteilnehmer/Innen gesucht

für

eine orientierende zahnmedizinische Studie

Studientitel: Lage der Kiefergelenkskondylen in zwei diagnostischen Unterkieferpositionen – Vergleich in vitro (Artikulator) und in vivo (MRT)

Wenn Sie als Teilnehmer in Frage kommen, beinhaltet Ihre Teilnahme drei Abdrucknahmen sowie die Durchführung eines MRTs.

Dauer: zweimal 60 Minuten an 2 individuell vereinbarten Terminen

Ort: Universitätszahnklinik Wien

Voraussetzungen:

- asymptomatisches Kiefergelenk (kein Schmerz ...) - wird durch eine klinische Untersuchung festgestellt
- Alter 18 – 40 Jahre
- für das MRT: ruhiges Liegen für längere Zeit, keine Klaustrophobie, keine Metalle im Körper (kurze Retainer jedoch kein Problem), keine Schwangerschaft, keine Geräuschempfindlichkeit
- kieferorthopädische Behandlung kein Problem, jedoch sollte diese länger als 5 Jahre zurückliegen
- keine systemische Muskelerkrankung, rheumatoide Arthritis, Fibromyalgie, Kollagenosen, Medikation mit Anxiolytika

Für Ihre Teilnahme erhalten Sie eine Aufwandsentschädigung.

Bei Interesse und Fragen bitte melden bei:

Tanja Galleider: 0650/***** bzw. n*****@students.meduniwien.ac.at

Anna Wolfsegger: 0664/***** bzw. n*****@students.meduniwien.ac.at

11.2 Anamnesebogen

Studie: Vergleich Kondylen in zwei diagnostischen UKpositionen

Wolfsegger, Galleider 2015

Proband-Nummer:

Anamnese und klinische Untersuchung

A) Generelle Ausschlusskriterien

	KRITERIUM	JA	NEIN
1.	Schmerz Kiefergelenk		
2.	Kieferorthopädische Behandlung in letzten 5 Jahren		
3.	Muskelerkrankung		
4.	Trauma Kiefergelenk		
5.	Pathologie des Kiefergelenk (z.B. Synovitis, Kapsulitis, Ankylose...) Wenn ja welche:		
6.	Systemische Erkrankungen (z.B. Rheumatoide Arthritis, Kollagenose, ...) Wenn ja welche:		
10.	Dauerhafte Medikamenteneinnahme Wenn ja welche:		
11.	Metalle im Körper		
12.	Schwangerschaft		
13.	Klaustrophobie		

B) Klinische Einschlusskriterien

14.	Mundöffnung ≥ 40 mm		
15.	Laterotrusion rechts ≥ 8 mm		
16.	Laterotrusion links ≥ 8 mm		
17.	Geschlossene Zahnreihe		
18.	Eindeutige Bisslage		

C) Allergien

19.	Latex		
20.	Silikon		
21.	Alginat		

11.3 Patientenaufklärung

Kondylenposition in zwei diagnostischen Unterkieferpositionen im Artikulator und MRT Version 3 17. August 2015

TeilnehmerInneninformation¹ und Einwilligungserklärung zur Teilnahme an der orientierenden Studie

Lage der Kiefergelenkskondylen in zwei diagnostischen Unterkieferpositionen – Vergleich in vitro (Artikulator) und in vivo (MRT)

Sehr geehrte Teilnehmerin, sehr geehrter Teilnehmer!

Wir laden Sie ein an der oben genannten Studie teilzunehmen. Die Aufklärung darüber erfolgt in einem ausführlichen Gespräch durch die Diplomandinnen in Anwesenheit des Studienarztes.

Ihre Teilnahme an dieser Studie erfolgt freiwillig. Sie können jederzeit ohne Angabe von Gründen aus der Studie ausscheiden. Die Ablehnung der Teilnahme oder ein vorzeitiges Ausscheiden aus dieser Studie hat keine nachteiligen Folgen für Ihre medizinische Betreuung.

Studien sind notwendig, um verlässliche neue medizinische Forschungsergebnisse zu gewinnen. Unverzichtbare Voraussetzung für die Durchführung einer Studie ist jedoch, dass Sie Ihr Einverständnis zur Teilnahme an dieser Studie schriftlich erklären. Bitte lesen Sie den folgenden Text als Ergänzung zum Informationsgespräch mit Ihrem Arzt sorgfältig durch und zögern Sie nicht Fragen zu stellen.

Bitte unterschreiben Sie die Einwilligungserklärung nur

- wenn Sie Art und Ablauf der Studie vollständig verstanden haben,
- wenn Sie bereit sind, der Teilnahme zuzustimmen und
- wenn Sie sich über Ihre Rechte als Teilnehmer an dieser Studie im Klaren sind.

Zu dieser Studie, sowie zur Teilnehmerinformation und Einwilligungserklärung wurde von der zuständigen Ethikkommission eine befürwortende Stellungnahme abgegeben.

1. Was ist der Zweck der Studie?

Es wird die Lage der Kiefergelenksköpfchen in drei verschiedenen Bisslagen im Artikulator (ein Gerät zur Simulation der Kiefergelenksbewegung) und am Teilnehmer selbst in der Magnetresonanztomographie (bildgebendes Verfahren, das vor allem in der medizinischen Diagnostik zur Darstellung von Strukturen im Körper eingesetzt und für den Untersuchten keine Strahlenbelastung verursacht) untersucht. Das Ziel dieser Studie ist, Abweichungen zwischen dem Artikulator und dem MRT festzustellen. Zudem können Unterschiede innerhalb der Teilnehmer und der Unterkieferpositionen festgestellt werden.

¹ Wegen der besseren Lesbarkeit wird im weiteren Text zum Teil auf die gleichzeitige Verwendung weiblicher und männlicher Personenbegriffe verzichtet. Gemeint und angesprochen sind – sofern zutreffend – immer beide Geschlechter.

2. Wie läuft die Studie ab?

Diese Studie wird an der Universitätszahnklinik Wien Kieferorthopädische sowie Radiologische Abteilung durchgeführt. Es werden 20 Personen teilnehmen.

Ihre Teilnahme an dieser Studie wird an 2 Tagen durchgeführt – pro Tag wird Ihre Teilnahme ungefähr 60 Minuten dauern. Dafür werden individuelle Termine an der Universitätszahnklinik Wien mit dem Teilnehmer vereinbart.

Folgende Maßnahmen werden ausschließlich aus Studiengründen durchgeführt:

An der Universitätszahnklinik Wien (Dauer ungefähr 60 Minuten):

Klinische Untersuchung der Kiefergelenke mittels manuellem Abtasten

Einfache Abdrucknahme des Ober- und Unterkiefers

Anlegen des Transferbogens (Instrument, dass lediglich von außen am Ohr, an der Stirn, und an den Oberkieferzähnen angelegt wird, um die Position des Oberkiefers zu ermitteln)

Zwei zusätzliche Abdrücke des Ober- und Unterkiefers durch leichtes Einbeißen des Teilnehmers in Silikon (diese werden als Bisschablonen für das MRT benötigt)

In der Radiologische Abteilung der Zahnklinik Wien(Dauer ungefähr 60 Minuten):

Es werden drei Aufnahmen im MRT gemacht. Sie liegen auf einer beweglichen Liege, welche sich zu Beginn langsam in den Magneten hineinbewegt. Bei der Aufnahme der Bilder werden relativ laute, klopfende Geräusche erzeugt, die mitunter als störend empfunden werden. Um diese Geräusche zu dämpfen, erhält der Patient Ohrstöpsel oder einen geschlossenen Ohrschutz.

1. Aufnahme (Dauer ungefähr 10 bis 15 Minuten): der Teilnehmer wird gebeten für die Dauer der Aufnahme die Zähne bzw. den Mund zu schließen
2. und 3. Aufnahme (jeweils Dauer ungefähr 10 bis 15 Minuten): der Teilnehmer wird gebeten die beiden Bisschablonen aus Silikon für die Dauer der beiden Aufnahmen im Mund zu belassen

3. Worin liegt der Nutzen einer Teilnahme an der Studie?

Es ist möglich, dass Sie durch Ihre Teilnahme an dieser Studie keinen direkten Nutzen für Ihre Gesundheit ziehen.

Potentieller Nutzen:

Kondylenposition in zwei diagnostischen Unterkieferpositionen im Artikulator und MRT Version 3 17. August 2015

- klinischer und radiologischer (MRT) Befund des Kiefergelenks vom Studienarzt bzw. radiologischen Institut am AKH Wien

4. Begleiterscheinungen

Es können die im Rahmen dieser Studie durchgeführten Maßnahmen eventuell zu Beschwerden führen (kleine Blutergüsse des Zahnfleisches, Würgereiz bei der Abdrucknahme, Platzangst sowie Bewegungsdrang und Geräuschempfindlichkeit im MRT).

5. Was ist zu tun beim Auftreten von Begleiterscheinungen und/oder Verletzungen?

Sollten im Verlauf der Studie irgendwelche Symptome, Begleiterscheinungen oder Verletzungen auftreten, müssen Sie diese Ihrem Arzt bzw. den Studienbetreuern mitteilen, bei schwerwiegenden Begleiterscheinungen umgehend, ggf. telefonisch (Telefonnummern, etc. siehe unten).

6. Wann wird die Studie vorzeitig beendet?

Sie können jederzeit auch ohne Angabe von Gründen, Ihre Teilnahmebereitschaft widerrufen und aus der Studie ausscheiden ohne dass Ihnen dadurch irgendwelche Nachteile für Ihre weitere medizinische Betreuung entstehen. In diesem Fall wird Ihnen anteilmäßig die Entschädigung erstattet.

Ihr Studienarzt bzw. die Studienbetreuer werden Sie über alle neuen Erkenntnisse, die in Bezug auf diese Studie bekannt werden, und für Sie wesentlich werden könnten, umgehend informieren. Auf dieser Basis können Sie dann Ihre Entscheidung zur weiteren Teilnahme an dieser Studie neu überdenken.

Es ist aber auch möglich, dass Ihr Studienarzt entscheidet, Ihre Teilnahme an der Studie vorzeitig zu beenden, ohne vorher Ihr Einverständnis einzuholen. Die Gründe hierfür können sein:

- a) Sie können den Erfordernissen der Studie nicht entsprechen;
- b) Ihr Studienarzt hat den Eindruck, dass eine weitere Teilnahme an der Studie nicht in Ihrem Interesse ist;

7. In welcher Weise werden die im Rahmen dieser Studie gesammelten Daten verwendet?

Sofern gesetzlich nicht etwas anderes vorgesehen ist, haben nur die Studienärzte und deren Mitarbeiter Zugang zu den vertraulichen Daten, in denen Sie namentlich genannt werden. Diese Personen unterliegen der Schweigepflicht.

Die Weitergabe der Daten erfolgt ausschließlich zu statistischen Zwecken und Sie werden ausnahmslos nicht namentlich genannt. Auch in etwaigen Veröffentlichungen der Daten dieser Studie werden Sie nicht namentlich genannt.

8. Entstehen für die Teilnehmer Kosten? Gibt es einen Kostenersatz oder eine Vergütung?

Durch Ihre Teilnahme an dieser Studie entstehen für Sie keine zusätzlichen Kosten.

Für Ihre Teilnahme an dieser Studie erhalten Sie eine Vergütung entsprechend der folgenden Bedingungen: Nach klinischer Untersuchung, der Abdruckabnahme, dem Anlegen des Transferbogens, der Abnahme von 2 Bisschablonen sowie durchgeführtem MRT erhalten Sie 40 Euro für die Teilnahme an der Studie.

9. Möglichkeit zur Diskussion weiterer Fragen

Für weitere Fragen im Zusammenhang mit dieser Studie stehen Ihnen Ihr Studienarzt und seine Mitarbeiter gern zur Verfügung. Auch Fragen, die Ihre Rechte als Teilnehmer an dieser Studie betreffen, werden Ihnen gerne beantwortet.

Name der Kontaktpersonen: Tanja Galleider oder Anna Wolfsegger

Ständig erreichbar unter: +43/650/***** oder +43/664/*****

Name des Studienarztes: Ao. Univ. Prof. Dr. med. univ. Ales Celar

Erreichbar unter: +43 1 40 070 ****

10. Einwilligungserklärung

Name des Teilnehmers/der Teilnehmerin in Druckbuchstaben:

Geb.Datum:

Code:

Ich erkläre mich bereit, an der Studie ***Kondylenposition in zwei diagnostischen Unterkieferpositionen im Artikulator und MRT*** teilzunehmen.

Ich bin von Frau Tanja Galleider und Anna Wolfsegger ausführlich und verständlich über mögliche Belastungen und Risiken, sowie über Wesen, Bedeutung und Tragweite der Studie, sich für mich daraus ergebenden Anforderungen aufgeklärt worden. Ich habe darüber hinaus den Text dieser Teilnehmeraufklärung und Einwilligungserklärung, die insgesamt 4 Seiten umfasst gelesen. Aufgetretene Fragen wurden mir vom Studienarzt verständlich und genügend beantwortet. Ich hatte ausreichend Zeit, mich zu entscheiden. Ich habe zurzeit keine weiteren Fragen mehr.

Ich werde den ärztlichen Anordnungen, die für die Durchführung der Studie erforderlich sind, Folge leisten, behalte mir jedoch das Recht vor, meine freiwillige Mitwirkung jederzeit zu beenden, ohne dass mir daraus Nachteile für meine weitere medizinische Betreuung entstehen.

Ich bin zugleich damit einverstanden, dass meine im Rahmen dieser Studie ermittelten Daten aufgezeichnet werden. Um die Richtigkeit der Datenaufzeichnung zu überprüfen, dürfen Beauftragte des Auftraggebers und der zuständigen Behörden beim Studienarzt Einblick in meine personenbezogenen Krankheitsdaten nehmen.

Die Bestimmungen des Datenschutzgesetzes in der geltenden Fassung werden eingehalten.

Eine Kopie dieser Teilnehmerinformation und Einwilligungserklärung habe ich erhalten. Das Original verbleibt im Studienordner.

.....
(Datum und Unterschrift des Teilnehmers/der Teilnehmerin)

.....
(Datum, Name und Unterschrift des verantwortlichen Arztes)

(Der Teilnehmer/die Teilnehmerin erhält eine unterschriebene Kopie der Teilnehmeraufklärung und Einwilligungserklärung, das Original verbleibt im Studienordner.)