

A. Dietzel¹, A. Zöllner²

Zur Lagebestimmung des Unterkiefers in zentrischer Relation mit dem DIR-System*



A. Dietzel

Determining the position of the mandible in centric relation using the DIR system

Einleitung: Ziel dieser Studie war die Registriergenauigkeit der Unterkieferposition mit dem DIR-System im Vergleich zu 2 weiteren Verfahren (Wachs-, Kunststoffplatte) zu untersuchen.

Material und Methoden: An 6 vollbezahnten, kariesfreien Probanden ohne Leitsymptome einer Funktionsstörung wurde an 2 Untersuchungszeitpunkten mit 3 Registrierverfahren durch 2 Zahnärzte die zentrische bzw. habituelle Relation registriert. Danach wurden 132 Modellpaare in einem Messartikulator dreidimensional mit einer Genauigkeit von 0,01 mm vermessen. 3960 Messwerte wurden im Anschluss daran statistisch ausgewertet.

Ergebnisse/Schlussfolgerung: Die Kieferrelationsbestimmung (KRB) mit dem DIR-Verfahren ist ebenso reproduzierbar wie Zentrikregistrat auf Kunststoffplattenbasis und habituelle Wachsplattenregistrierungen. Der Einfluss des Registriermaterials auf die Registriergenauigkeit ist signifikant. Die Zahnärzte haben keinen signifikanten Einfluss auf die Registriergenauigkeit. Der Registrierzeitpunkt beeinflusst die Genauigkeit der Registrierungen signifikant. (Dtsch Zahnärztl Z 2011, 66: 100–111)

Schlüsselwörter: Kieferrelationsbestimmung, DIR-System, Reproduzierbarkeit, Zentrische Relation, Habituelle Interkuspidationsposition (HIKP)

Introduction: The aim of this study was to investigate the accuracy when registering the mandibular position using the DIR system in comparison with two other techniques (wax wafer, acrylic wafer).

Material and Methods: The centric and habitual relation of six fully dentate, caries-free test subjects without leading symptoms of a functional disorder were registered by two dentists at two different examination times using three registration techniques. Then 132 sets of models were measured three-dimensionally with an accuracy of 0,01mm in a measuring articulator. A total of 3960 measurements were then statistically evaluated.

Results/Conclusion: Bite registration (KRB) using the DIR technique is as reproducible as centric registration using an acrylic wafer and habitual wax wafer registration. The registration material had a significant effect on the accuracy of the registration. The dentists did not have any significant effect on the accuracy of the registration. The time of registration had a significant influence on the accuracy of the registration.

Keywords: bite registration, DIR system, reproducibility, centric relation, habitual intercuspidation position (HIKP)

¹ Zahnärztliche Gemeinschaftspraxis Dr. Dietzel, Meppener Str. 124, 49808 Lingen (Ems)

² Abt. für Zahnärztliche Prothetik (Leitung: Dr. Eckhard Busche), Universität Witten/Herdecke, Alfred-Herrhausen-Straße 50, 58448 Witten

* Printversion des vorab online publizierten Artikels in der DZZ-online 2/2011

Peer-reviewed article: eingereicht: 30.03.2010, revidierte Fassung akzeptiert: 04.10.2010

DOI 10.3238/dzz.2012.0100-0111

1 Einleitung

Die reproduzierbare und exakte Verschlüsselung der Relation von Unter- und Oberkiefer ist die Voraussetzung für eine schadenvermeidende Okklusion auf adjustierten Oberflächen und Zahnersatz [9] sowie obligat in der Funktionsdiagnostik und -therapie [42]. Der dreidimensionalen Zuordnung der Kiefer zueinander kommt bei der Therapie sowohl im unbezahnnten als auch im teil- sowie im bezahnnten Gebiss große Bedeutung zu [39]. Dabei soll mit der Registrierung die Unterkieferposition gefunden werden, in der die Kondylen und die Kaumuskelatur unter okklusaler Aktivität minimal belastet werden und größtmögliche Effektivität erzielen [7]. Es existieren zahlreiche Methoden zur vertikalen und horizontalen Bestimmung der Kieferrelation [26], über deren Anwendung bis zum heutigen Tag kein Konsens bezogen auf eine geeignete Technik und das Einstellen einer physiologischen Unterkieferposition besteht [1]. In der zentrischen Kondylenposition liegen die Kiefergelenke nicht seitverschoben in einer kranio-ventralen Position bei physiologischer Kondylus-Diskus-Relation sowie physiologischer Belastung der beteiligten Gewebe [6]. Die zentrische Relation (ZR) wird bei vorgegebener Vertikalrelation von den limitierenden Strukturen der Kiefergelenke ermöglicht und stimmt in der Regel nicht mit der maximalen Interkuspidationsposition überein. Die ZR ist die zahnkontaktlose Beziehung des Unterkiefers zum Schädel, in der die Kondylen mit der dünnsten, avaskulären Portion des Discus articularis, in der am weitesten anterior und superior gelegenen Position am dorsalen Abhang der Eminentia articularis unabhängig von Zahnkontakten artikulieren [18, 38]. Gegenwärtig lassen sich keine Aussagen darüber treffen, wo sich der Kondylus-Diskus-Komplex befindet, sofern die zentrische Kondylenposition eingenommen werden soll [17, 46]. Für orale Rehabilitationsmaßnahmen kann der Unterkiefer deshalb während der KRB in eine retrale Position geführt werden, weil dabei eine reproduzierbare Lage der Kondylen unabhängig von okklusalen Kontakten eingenommen wird [18, 39]. Eine Vielzahl von Entwicklungen verfolgt eine retrudierte Unterkieferposition. Diese ist reproduzierbar, weil sie die Kondylen

manuell forciert in eine Grenzposition bewegt [40]. Während der Schluckbissnahme z. B. kontrahieren die Adduktoren und Retraktoren des Schluckaktes [9, 12]. Weitere Techniken sind der Masseter-Griff [11], die Beißkraftbestimmung [2] oder die Kalottenbissnahme [8].

Zahlreiche Techniken sind mit einem hohen Maß an Übung für den Behandler verbunden und gehen deshalb mit unterschiedlichen vom Behandler abhängigen Registrierergebnissen einher [24].

Reproduzierbar und behandlerunabhängig ist die Pfeilwinkel- bzw. Stützstiftregistrierung nach Gerber [19]. Der Unterkiefer wird durch den Stützstift und die Kondylen an 3 Punkten abgestützt, so dass beide Kondylen zentriert werden [37].

Mit dem Dynamics Intraoral Registration (DIR)-System werden intraorale Stützstiftregistrare elektronisch und computergestützt positions- sowie kraftabhängig aufgezeichnet. Ziel dieser Studie war es, die Reproduzierbarkeit des Messsystems zu untersuchen. Ziel der folgenden Studie war daher:

1. die Reproduzierbarkeit der Lagebestimmung mit dem DIR-Verfahren zu untersuchen sowie
2. die Abweichungen zur habituellen Interkuspidationsposition (HIKP) von der durch das Registrierverfahren verursachten Kondylenposition zu bestimmen.

2 Material und Methoden

2.1 Studiendesign

Die Untersuchungen wurden an 6 vollbezahnnten, karies- und restaurationsfreien Probanden (2 Frauen, 4 Männer) ohne Leitsymptome einer craniomandibulären Dysfunktion mit einem Durchschnittsalter von 25 Jahren durchgeführt. Der Funktionszustand des craniomandibulären Systems wurde durch klinische Funktionsanalyse nach Maßgabe des klinischen Funktionsstatus von DGZMK und FDT überprüft [5].

Es haben zwei Reihenuntersuchungen im Abstand von 4 Wochen stattgefunden, die von 2 Zahnärzten durchgeführt wurden. Hierbei handelte es sich um einen erfahrenen Zahnarzt mit 25 Jahren Berufs- sowie DIR-Systemerfahrung und um einen berufs- sowie



Abbildung 1 Wachsplatte zur Anprobe. Im nächsten Schritt erfolgte die Überschussentfernung und anschließend die Registrierung.

Figure 1 Wax wafer for try-in. The next stage involved removal of the excess and then registration.



Abbildung 2 Kunststoffplatte mit Detailpaste. Reposition des Trägers im Mund nach erfolgter KRB und Verschlüsselung.

Figure 2 Acrylic wafer with detail paste. Repositioning of the wafer in the mouth after bite registration and indexing.

DIR-System unerfahrenen Assistenzzahnarzt. In der 1. Reihenuntersuchung wurden handgeführte Registrierungen mit Beauty Pink-Wachsplatten (Ubert Dental, Lohfelden/Deutschland), mit Primobyte-Kunststoffplatten (Primodent, Joachim Mosch, Bad Homburg/Deutschland) sowie Stützstiftregistrierungen mit dem DIR-System (DIR System mbH & Co. KG, Essen/Deutschland) vorgenommen. Zur intraoralen Verschlüsselung der Kunststoffregistrarträger wurde Primobyte-Detailpaste (Primodent, Joachim Mosch, Bad Homburg/Deutschland) verwendet. Die manuelle Führung des Unterkiefers während der Kunststoffplattenregistrierungen erfolgte mit der Grifftechnik nach Lauritzen [23]. Die Registrierungen wurden der Reihenfolge nach zuerst durch die KRB mit Wachsplatte (Abb. 1) gefolgt von der KRB mit Kunststoffplatte



Abbildung 3 DIR-Registrierung.
Figure 3 DIR registration.



Abbildung 4 Messartikulator: CONDYMETER III 400 (SAM Präzisionstechnik, Gauting bei München/Deutschland) mit eingesetztem Modellpaar. Hier: Ein HIKP-Modellpaar mit genullten Messuhren.

Figure 4 Measuring articulator: CONDYMETER III 400 (SAM Präzisionstechnik, Gauting near Munich/Germany) with mounted set of models. Here: A set of models in habitual intercuspatation position (HIKP) with dial gauges set to zero.

(Abb. 2) und anschließend mit dem DIR-Verfahren (Abb. 3) durchgeführt. In der 2. Reihenuntersuchung wurden allein DIR-Registrierungen getätigt. Für die Kalibrierung eines Messartikulators (Condymeter III 400, SAM Präzisionstechnik, Gauting bei München/Deutschland, Abb. 4) lag von jedem Probanden ein in habitueller Interkuspidation montiertes Modellpaar vor. Nach Montage der Oberkiefermodelle mittels arbiträrem Transferbogen (Axioquick III Transferbogen, SAM Präzisionstechnik, Gauting bei München/Deutschland) wurden hierfür Durchbissregistrare jedes Probanden mittels A-Silikon (Futar D Fast, Kettenbach Dental, Eschenburg/Deutschland) angefertigt.

Insgesamt wurden 132 Modellpaare einartikuliert. Nach dem Einartikulieren wurden die klinischen Registrare (Abb. 5) entfernt und die Artikulatoren bis auf ersten Zahnkontakt geschlossen. Diese Situation wurde zur Stabilisierung und Übertragung in den Messartikulator mit Silikonschlüsseln aus Futar D Fast (Kettenbach Dental, Eschenburg/Deutschland) fixiert. So wurde im Messartikulator die dreidimensionale Kondylarkugelaußenlenkung jedes Modellpaares sowohl mit dem interokklusalen Registrat (klinisch) als auch mit dem Jig für die abgesenkte Relation (abgesenkt) abgelesen. Lediglich die nach dem Wachsverfahren einartikulierten Modellpaare sind allein in der abgesenkten Relation im Condymeter vermessen worden, da sich die Wachsplatten bereits kurze Zeit nach dem Einartikulieren verformt hatten.

Jedes Modellpaar ist für die Mittelwertermittlung der statistischen Auswertung fünfmal im Condymeter vermessen worden. Demnach ergaben sich insgesamt 132 zu vermessende Modellpaare. Daraus resultierten 3960 Messwerte, die auf den Messuhren des Condymeter abgelesen und anschließend statistisch ausgewertet wurden.

2.2 Statistische Auswertung

Für die statistischen Auswertungen und die Erstellung der Graphiken wurde die Statistiksoftware Stata verwendet (Stata/IC 10.1 for Windows, StataCorp LP, 4905 Lakeway Drive, College Station, TX 77845/USA).

Die Deskription der Verteilung der Abweichungen von der HIKP erfolgt anhand von Boxplots, in denen der Median, das untere und obere Quartil sowie Ausreißer dargestellt werden. Zusätzlich beinhalten diese Graphiken den Mittelwert der HIKP-Abweichungen (Symbol x).

Ob das Registrierverfahren (Wachsplatten(Wp)- und Kunststoffplattenverfahren (Kp) im Vergleich zum DIR-Verfahren (DIR)) und der Zahnarzt (ZA) einen signifikanten Einfluss auf die Abweichungen von der HIKP haben, wurde mit Hilfe von Varianzanalysen untersucht.

Um die Reproduzierbarkeit zu analysieren, wurden pro Proband unter Berücksichtigung der Faktoren Verfahren, Untersuchung, Zahnarzt und Seite die Standardabweichungen der 5 Messwie-

derholungen im Condymeter berechnet. Diese Standardabweichungen werden anhand von Mittelwert (Mw), Standardabweichung (SD), Median sowie Minimum und Maximum (Min-Max) tabellarisch beschrieben.

Um zu untersuchen, ob die Reproduzierbarkeit vom Registrierverfahren, vom interokklusalen Registriermaterial, dem Zahnarzt oder dem Untersuchungszeitpunkt abhing, wurden separate Varianzanalysen (gemischte Modelle mit festen Effekten und zufälligem Interzept) durchgeführt.

Die Ergebnistabellen der Varianzanalysen zur Abweichung von der HIKP und zur Reproduzierbarkeit geben die geschätzten Koeffizienten der interessierenden Faktoren (Koeff), das 95%-Konfidenzintervall (95%-KI) des Koeffizienten und den p-Wert des Tests, dass der Koeffizient gleich Null ist, an. Das 95%-Konfidenzintervall beschreibt den Bereich, in dem der Koeffizient mit einer Wahrscheinlichkeit von 0.95 liegt. Alle Tests erfolgten zweiseitig zum Signifikanzniveau 0.05. Ein Faktor hat also genau dann zum Niveau 0.05 einen signifikanten Einfluss auf die Abweichung von der HIKP bzw. auf die Reproduzierbarkeit, wenn der p-Wert kleiner 0.05 ist.

2.3 Gerätebeschreibung

Das Messsystem besteht im Wesentlichen aus einer elektronischen Registrierplatte (Messsensor, Abb. 6 unten Mitte), einem Messverstärker (Abb. 6 unten rechts) und einem elektronischen Kreuzmesstisch (Abb. 6 oben Mitte).

Der Sensor wird in den Unterkiefer eingesetzt und ermöglicht eine kontinuierliche, interferenzfreie zweidimensionale Aufzeichnung der horizontalen Unterkieferbewegung mit einer Genauigkeit von 0,01 mm (Herstellerangabe) bei gleichzeitiger Reproduktion der aufgebrauchten Kieferschlusskraft mit einer Genauigkeit von 0,1 Newton (N) (Herstellerangabe).

Die Positioniereinheit des Kreuzmesstisches (Abb. 6 oben rechts) übernimmt die berechneten Daten der Sollposition des Unterkiefers.

Im Koordinatendisplay eines Laptop verfolgt der Proband über einen farbigen Anzeigebalken die von ihm konstant aufgebrauchte Kieferschließkraft von 20 N bis 30 N. Der Behandler ver-

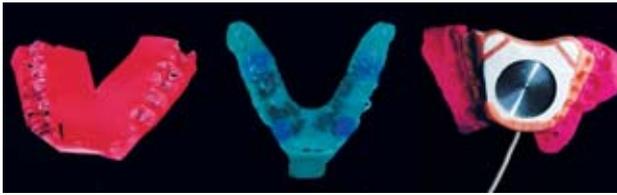


Abbildung 5 Links: Wachsplatte. Mitte: Kunststoffplatte mit Detailpaste. Rechts: Unterkiefer-Sensorträger mit Messsensor und Silikonverriegelung.

Figure 5 Left: Wax wafer. Centre: Acrylic wafer with detail paste. Right: Mandibular sensor holder with sensor and silicone index.

(Abb. 1–9; Tab. 1–5: A. Dietzel)



Abbildung 6 Wesentliche Komponenten des DIR-Messsystems.

Links: Laptop mit USB- und serieller Schnittstelle sowie Software WinDir 1.1 (Koordinatendisplay). Oben Mitte: Elektronischer Kreuzmesstisch mit internen elektronischen Schrittmotoren. Oben rechts: Positioniereinheit des Kreuzmesstisches mit Zentrierstift. Unten Mitte: Messsensor mit Identifikationsstecker. Unten rechts: Messverstärker.

(Abb. 6: DIR System mbH&Co.KG, Essen).

Figure 6 Essential components of the DIR measuring system. Left: Laptop with USB and serial interface as well as WinDir 1.1 software (coordinates display). Top centre: Electronic x-y measurement table with internal electronic stepper motors. Top right: Positioning unit of the x-y measurement table with centring pin. Bottom centre: Sensor with identification connector. Bottom right: Measurement amplifier.

folgt im Display die in Echtzeit aufgezeichneten Bewegungsbahnen des Pfeilwinkels (Abb. 6 links).

3 Ergebnisse

3.1 Registriergenauigkeit der Verfahren

Die folgenden Tabellen zeigen das Ausmaß der Abweichungen zwischen den Registrierungsverfahren (Tab. 1–3; Spalte Koeffizient). Für die statistischen Varianzanalysen wurde DIR als Referenzkategorie festgelegt, da es in beiden Reihenuntersuchungen eingesetzt worden war. Dies traf für Wp und Kp nicht zu. Die Wachsplatten erwiesen sich zusätzlich als nicht lagerungsstabil. Deshalb wurden die Werte für Wp durchgehend ohne interokklusale reponierte Wachsplatten berechnet. Im Falle einer Referenzkategorie „Wp“ hätten lediglich die Unterschiede ohne interokklusales Registrat (Wp, Kp, DIR) berechnet werden können. Alternativ zu DIR hätte Kp als Referenzkategorie herangezogen werden können. Die p-Werte bzw. Aussagen über signifikante Unterschiede ändern sich dadurch nicht. Die Werte für die Relationen mit den klinisch angefertigten Registraten werden im laufenden Kapitel mit

„klinisch“ bezeichnet. Jene Werte für die im Artikulator abgesenkten und mit einem Silikon Schlüssel fixierten Relationen werden mit „abgesenkt“ bezeichnet.

Dabei unterschieden sich die Registrierergebnisse (RE) von Kp und DIR klinisch signifikant in der vertikalen Ebene (Tab. 1: klinisch Kunststoff rechts $p = 0,000$; links $p = 0,009$). Dies traf für die abgesenkte Relation nicht zu: Nach Entfernen des interokklusalen Registrates und Schließen des Artikulators auf ersten Zahnkontakt (abgesenkt) im Condymeter unterschieden sich die RE von Kp und DIR nicht signifikant (Tab. 1: abgesenkt Kunststoff rechts $p = 0,383$; links $p = 0,344$). Im Durchschnitt ließen die Kunststoffplattenregistrierungen in der abgesenkten Relation die Condymeter-Kondylen 0,03 mm über den Kondylenstellungen der DIR-Registrierungen stehen (Tab. 1: abgesenkt Kunststoff rechts/ links = 0,03mm). Im Durchschnitt positionierten die Wachsplattenregistrierungen die Artikulorkondylen rechts = 0,1 mm und links = 0,13 mm über denen der DIR-Registrierungen (Tab. 1: abgesenkt Wachs). Die Wachsplattenregistrierungen unterschieden sich signifikant von den DIR-Registrierungen (Tab. 1: abgesenkt Wachs rechts $p = 0,001$; links $p = 0,000$). Dieser Trend ließ sich an beiden Artiku-

laturkondylen in allen Ebenen des Raumes beobachten.

In der transversalen Ebene unterschieden sich die RE von Kp und DIR signifikant, sofern sich das Registrierematerial interokklusale befand (Tab. 2: klinisch Kunststoff $p[\text{rechts}] = 0,001$ und $p[\text{links}] = 0,003$). Das Kp stellte die Artikulorkondylen weiter rechtslateral ein als DIR (Tab. 2: klinisch Kunststoff rechts = 0,18 mm; links = -0,16 mm). Nach Entfernung des interokklusalen Registrates und Schließen des Artikulators unterschieden sich die RE von Kp und DIR nicht signifikant (Tab. 2: abgesenkt Kunststoff rechts $p = 0,080$; links $p = 0,090$). Die RE von Wp und DIR unterschieden sich signifikant (Tab. 2: abgesenkt Wachs rechts; links $p = 0,000$). Das Wp stellte die Artikulorkondylen ebenfalls weiter rechtslateral ein als DIR (Tab. 2: abgesenkt Wachs rechts = 0,21 mm; links = -0,21 mm).

Laut Tabelle 3 unterschieden sich die RE von DIR und Kp signifikant bei der Positionierung der sagittalen Artikulorgelenkposition mit interokklusale belassenem Registrat (Tab. 3: klinisch Kunststoff $p = 0,000$). Abgesenkt unterschieden sich DIR und Kp nicht signifikant (Tab. 3: $p[\text{rechts}] = 0,165$; $p[\text{links}] = 0,539$). Das Kp verschlüsselte mit und ohne interokklusale Platte die Artikulorkondylen

Vertikal Rechter-Kondylus		Koeffizient (mm)	95%-KI		p-Wert
klinisch	DIR R	0	-	-	-
	Kunststoff	-0.08	-0.11	-0.05	0.000
abgesenkt	DIR R	0	-	-	-
	Kunststoff	0.03	-0.03	0.08	0.383
	Wachs	0.10	0.04	0.16	0.001
Vertikal Linker-Kondylus		Koeffizient (mm)	95%-KI		p-Wert
klinisch	DIR R	0	-	-	-
	Kunststoff	0.09	0.02	0.15	0.009
abgesenkt	DIR R	0	-	-	-
	Kunststoff	0.03	-0.03	0.09	0.344
	Wachs	0.13	0.07	0.19	0.000

Tabelle 1 Darstellung der Unterschiede zwischen den Registrierverfahren in der vertikalen Ebene. Koeffizient = durchschnittliche Position der Artikulorkondylen. Negatives Vorzeichen = kaudale Position/positives Vorzeichen = kraniale Position der Artikulorkondylen.

95%-KI = 95%-Konfidenzintervall (Bereich, in dem die Unterschiede zwischen den Verfahren = Koeffizient mit einer Wahrscheinlichkeit von 0,95 liegen). R = Referenzkategorie. Klinisch = Position der Artikulorkondylen mit interokklusalem Registrat (Wachs-, Kunststoffplatten, Silikon(DIR)-Registrat) im Messartikulator. Abgesenkt = Position der Artikulorkondylen ohne interokklusales Registrat auf erstem Zahnkontakt im Messartikulator.

Table 1 Illustration of the differences between the registration techniques in the vertical plane. Coefficient = average position of the articulator condyles. Negative sign = caudal position/ positive sign = cranial position of the articulator condyles.

95% K = 95% confidence interval (range in which the differences between the techniques = coefficient lie at a probability of 0.95). R = Reference category. Clinical = Position of the articulator condyles with interocclusal registration (wax wafer, acrylic wafer, silicon (DIR) registration) in the measuring articulator. Lowered = Position of the articulator condyles without interocclusal registration on initial tooth contact in the measuring articulator.

Transversal Rechter-Kondylus		Koeffizient (mm)	95%-KI		p-Wert
klinisch	DIR R	0	-	-	-
	Kunststoff	0.18	0.08	0.28	0.001
abgesenkt	DIR R	0	-	-	-
	Kunststoff	0.08	-0.01	0.17	0.080
	Wachs	0.21	0.12	0.30	0.000
Transversal Linker-Kondylus		Koeffizient (mm)	95%-KI	p-Wert	
klinisch	DIR R	0	-	-	-
	Kunststoff	-0.16	-0.26	-0.05	0.003
abgesenkt	DIR R	0	-	-	-
	Kunststoff	-0.08	-0.17	0.01	0.090
	Wachs	-0.21	-0.30	-0.12	0.000

Tabelle 2 Darstellung der Unterschiede zwischen den Registrierverfahren in der transversalen Ebene. Negatives Vorzeichen: rechter Kondylus = Linkslateral-, linker Kondylus = Rechtslateralverschiebung der Artikulorkondylen. Positives Vorzeichen: rechter Kondylus = Rechtslateral-, linker Kondylus = Linkslateralverschiebung der Artikulorkondylen. Übrige Angaben siehe Legende Tabelle 1.

Table 2 Illustration of the differences between the registration techniques in the transversal plane. Negative sign: right condyle = left lateral displacement, left condyle = right lateral displacement of the articulator condyles. Positive sign: right condyle = right lateral displacement, left condyle = left lateral displacement of the articulator condyles. Other data see legend Table 1.

rechts anteriorer und links posteriorer als DIR (Tab. 3: klinisch Kunststoff rechts = -0,19 mm; links = 0,27 mm).

Die sagittale Auslenkung verringerte sich nach Entnahme der Registrat aus dem Condymeter rechts um etwa ein Fünftel, links um etwa ein Vierzehntel (Tab. 3: abgesenkt Kunststoff rechts = -0,04 mm; links = 0,02 mm). Wp und DIR unterschieden sich signifikant ($p = 0,000$). Die Relation durch Wachsplatten einartikuliert positionierte die Artikulorkondylen im Durchschnitt 0,1 mm bis 0,2 mm posteriorer als jene registriert durch das DIR-Verfahren (Tab. 3: abgesenkt Wachs rechts = 0,11 mm; links = 0,19 mm).

3.2 Abweichungen zur HIKP

In allen Kontrollmessungen im Condymeter wurde die Differenz zwischen den Artikulorkondylenstellungen der eingesetzten Registrierverfahren (Wachs-, Kunststoffplatten- und DIR-Verfahren) und der individuellen HIKP jedes Probanden gemessen. In den Abbildungen 7 bis 9 wird die Auslenkung beider Artikulorkondylen ausgehend von der HIKP im Vergleich der Registrierverfahren dargestellt. Die Messungen im Condymeter erfolgten auf erstem Okklusionskontakt ohne interokklusales Registrat (abgesenkt).

Mit allen 3 Registrierverfahren wurde stets entfernt von der HIKP verschlüsselt. In der vertikalen Dimension (Abb. 7) wurde mit dem DIR-Verfahren im Median 0,12 mm über der HIKP registriert. Mit dem Kunststoffplattenverfahren wurde im Median 0,13 mm; mit dem Wachsplattenverfahren wurde im Median 0,18 mm über der HIKP verschlüsselt.

In der transversalen Ebene ließen sich für alle Registrierverfahren im Median keine deutlichen Abweichungen von der HIKP feststellen. Mittel- und Medianwerte stimmten mit der HIKP überein. ZA 1 zeigte bei der Kieferrelationsbestimmung mit Kp untere Ausreißer = -0,59 mm sowie obere Ausreißer = 0,59 mm (Abb. 8).

Für alle Registrierverfahren zeigte sich in der sagittalen Ebene (Abb. 9) die Anteriorverschiebung der Artikulorkondylen vor die HIKP. Beide Zahnärzte registrierten sowohl mit dem DIR-Verfahren (Abb. 9: ZA 1 Median und Mittelwert = -0,3 mm; ZA 2 Median und Mittelwert = -0,29 mm) als auch mit dem

Sagittal Rechter-Kondylus		Koeffizient (mm)	95%-KI		p-Wert
klinisch	DIR R	0	-	-	-
	Kunststoff	-0.19	-0.27	-0.12	0.000
abgesenkt	DIR R	0	-	-	-
	Kunststoff	-0.04	-0.09	0.02	0.165
	Wachs	0.11	0.05	0.16	0.000

Sagittal Linker-Kondylus		Koeffizient (mm)	95%-KI		p-Wert
klinisch	DIR R	0	-	-	-
	Kunststoff	0.27	0.19	0.36	0.000
abgesenkt	DIR R	0	-	-	-
	Kunststoff	0.02	-0.05	0.10	0.539
	Wachs	0.19	0.11	0.26	0.000

Tabelle 3 Darstellung der Unterschiede zwischen den Registrierverfahren in der sagittalen Ebene. Negatives Vorzeichen = anteriore Position/ positives Vorzeichen = posteriore Position der Artikulorkondylen. Übrige Angaben siehe Legende Tabelle 1.

Table 3 Illustration of the differences between the registration techniques in the sagittal plane. Negative sign = anterior position/ positive sign = posterior position of the articulator condyles. Other data see legend Table 1.

Kunststoffplatten- (Abb. 9: ZA 1 Median = -0,32 mm; ZA 2 Median = -0,3 mm) und dem Wachsplattenverfahren (Abb. 9: ZA 1 Median = -0,25 mm; ZA 2 Median = -0,34 mm) im Median 0,3 mm vor der HIKP. Allerdings differierte die Verteilung der Werte teilweise erheblich: So registrierte ZA 2 im oberen Quartil mit K_p in der HIKP (Abb. 9) während ZA 1 im oberen Quartil 0,24 mm vor der HIKP (Abb. 9) verschlüsselte. Beim W_p standen die Artikulorkondylen bei ZA 1 im oberen Quartil 0,127 mm hinter der HIKP (Abb. 9) und bei ZA 2 0,18 mm vor der HIKP (Abb. 9).

3.3 Einfluss der Zahnärzte auf die Registrierengenauigkeit

Tabelle 4 stellt dar, inwieweit die Ergebnisse der vorgenommenen Kieferrelationsbestimmungen zwischen den Zahnärzten signifikant voneinander abweichen bzw. übereinstimmen. Bei der Berechnung für die in Tabelle 4 notierten Werte wurde sowohl der Einfluss des ZA kontrolliert als auch die Interaktionen zwischen ZA, Verfahren und der Seite (linker/rechter Condylometer-Kondylus) berücksichtigt. Dabei unterschieden sich die Registrierergebnisse der Zahnärzte weder in der Vertikalen noch in der Transversalen oder Sagittalen signifikant in der Genauigkeit der Registrierungen (Tab. 4: ZA 2¹) vertikal, transver-

sal, sagittal). Sie unterschieden sich ebenso zwischen rechts und links nicht signifikant in allen Ebenen. Bei einzelnen Registraten zeigten sich jedoch signifikante Unterschiede (Tab. 4).

3.4 Einfluss des Registrierzeitpunkts auf die Registrierengenauigkeit

Der Zeitpunkt der Registrierung hatte einen signifikanten Einfluss auf die Reproduzierbarkeit (Tab. 5: $p < 0,05$). Die DIR-Registrierungen der 1. Reihenuntersuchung waren reproduzierbarer als die DIR-Registrierungen der 2. Reihenuntersuchung. Im Durchschnitt wurde in der 2. Reihenuntersuchung 0,04 mm weiter kranial, 0,02 mm weiter rechts- bzw. links-lateral und 0,03 mm weiter posterior registriert als 4 Wochen vorher (Tab. 5: Koeff).

4 Diskussion

Das in der vorliegenden Untersuchung eingesetzte Dynamics Intraoral Registration (DIR)-System (DIR-System mbH&Co.KG, Essen/Deutschland) ermöglicht es laut Hersteller, intraorale Stützstiftregistrare elektronisch positions- und kraftabhängig in Echtzeit visualisiert auf dem Monitor eines Laptop aufzuzeichnen. Nach Angaben des Her-

stellers dient das Gerät dem Zweck, die individuelle physiologische Unterkieferposition zu bestimmen. Aus der physiologischen Unterkieferposition resultiert die effektive Wirkweise der biologischen Regelkreise des stomatognathen Systems [45]. Die Digitalisierung von Registrierungsverfahren dient vorrangig der Datenspeicherung und damit einhergehend der zeitunabhängigen Reproduktion der aufgezeichneten Bewegungsabläufe [30, 32].

Der Umgang mit den Geräten erfolgt stets durch einen geschulten (DIR-System autorisierten) und anwesenden Zahntechnikermeister. Die Stützstiftregistrierung selbst wird von einer/m geschulten (DIR-System zertifizierten) Zahnärztin bzw. Zahnarzt vorgenommen. Die Systemkomponenten werden von einem autorisierten zahntechnischen Labor geleast, das wiederum einer/m zertifizierten Zahnärztin/Zahnarzt die Geräte zur Verfügung stellt. In zwei sog. Fortbildungsmodulen müssen DIR-Anwender (Labor und Zahnärztin/Zahnarzt) die Autorisierung bzw. Zertifizierung erlangen, bevor die korrekte Umsetzung am Patienten stattfinden darf. So soll die fehlerfreie Bedienung der Systemkomponenten in vivo mit den Kenntnissen über das craniomandibuläre System gewährleistet werden.

Für die Verschlüsselung der bei der Stützstiftregistrierung entstehenden interokklusalen Abstände ist ein stabiles und voluminöses Registriermaterial erforderlich [48]. In der vorliegenden Untersuchung wurde deshalb das A-Silikon Futar D verwendet (Fa. Kettenbach Dental, Eschenburg/Deutschland), weil es sich durch große Materialhärte und große Genauigkeit beim Übertragen in die Modellsituation auszeichnet [27]. Zahlreiche Autoren bestätigen die geringen Schrumpfungswerte, die Formstabilität, die Reproduzierbarkeit bei der Modellübertragung und die klinisch nicht signifikanten Abweichungen additionsvernetzender Silikone [4, 10, 27, 44]. Bei der Registrierung der handgeführten Zentrik ist lichterhärtender Kunststoff (Fa. Primodent, Joachim Mosch, Bad Homburg/Deutschland) verwendet worden. *Lassila* zeigte in seinen Untersuchungen, dass dünne Kunststoffplattenregistrare trotz ihrer Bruchanfälligkeit dimensionsstabil bleiben [21] und sich durch hohe Form- und Lagerungsstabilität mit hoher Verwindungssteifigkeit

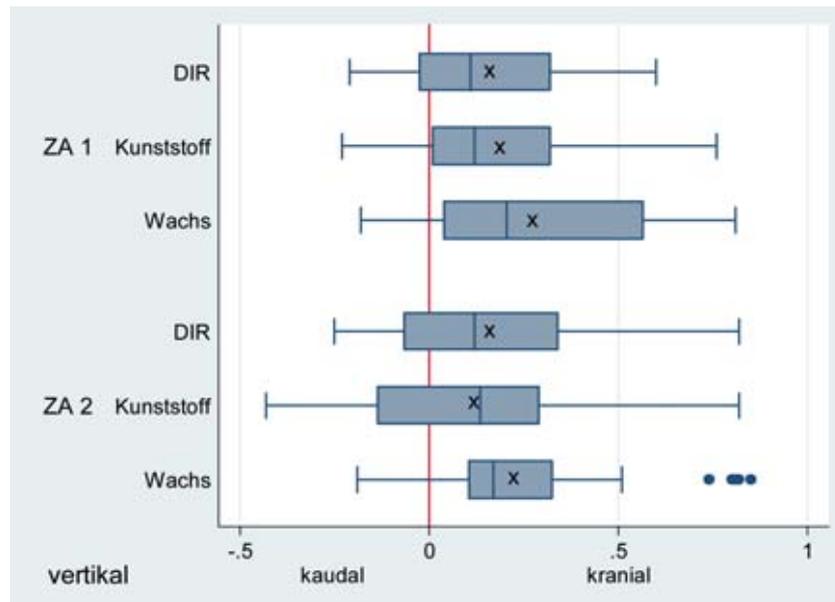


Abbildung 7 Boxplots der Werteverteilung für die vertikalen Positionen beider Artikulorkondylen. Die rote Nulllinie markiert die HIKP. Die Angaben erfolgen in Millimetern. ZA 1 = erfahrener Zahnarzt. ZA 2 = unerfahrener Zahnarzt. X = Mittelwert der HIKP-Abweichungen.

Figure 7 Box plots of the value distribution for the vertical positions of the two articulator condyles. The red zero line denotes the habitual intercuspal position (HIKP). Measurements are in millimetres. Dentist 1 (ZA 1) = experienced dentist. Dentist 2 (ZA 2) = inexperienced dentist. X = mean of the habitual intercuspal position (HIKP) deviations.

auszeichnen. Dimensionsveränderungen betragen im Durchschnitt 0,03 mm [7].

Die verwendeten Beauty Pink-Wachsplatten (Ubert Dental, Lohfelden/Deutschland) erwiesen sich im Vergleich als wenig lagerungsstabil mit geringer Genauigkeit und rasch eintretenden Dimensionsänderungen. Darin spiegeln sich die in der Literatur beschriebenen materialbedingten Nachteile von Wachs wieder [3, 10, 21, 29, 43, 44].

Die Stützstiftregistrierung erfordert die vertikale Sperrung [9]. Dies bestätigt die intraorale Stützstiftregistrierung mit dem DIR-Verfahren. Die Ursachen hierfür liegen einerseits in der interokklusalen Entkoppelung für eine interferenzfreie Aufzeichnung des Pfeilwinkels, die bei jeder Stützstiftregistrierung erforderlich ist, und zum anderen in der Ausführung des Sensorkabels aus dem Mund heraus. In der vorliegenden Untersuchung wurde die interokklusale Sperrung mit den am Stützstift befestigten Distanzringen eingestellt. Im Mittel betrug die interferenzfreie okklusale Sperrung sowohl bei den DIR- als auch bei den Wachs- und Kunststoffplattenregistrierten 3 mm.

Die Werte an den Condymeter-Kondylen unterschieden sich signifikant zwischen den Registrierverfahren ($p < 0,05$) in allen Ebenen des Raumes (Tab. 1–3: vertikal, transversal, sagittal). Kunststoffplatten- und DIR-Verfahren unterschieden sich signifikant in allen Ebenen (Tab. 1–3: Kunststoff klinisch $p = 0,000$ bis $p = 0,009$), sofern die einartikulierten Modelle mit Registrat in den Messartikulator (klinisch) gesetzt worden waren. Die Modellpaare aus den Wachsregistrierungen konnten in diesem Vergleich aufgrund der mangelhaften Lagerungsstabilität der Wachsplatten nicht berücksichtigt werden. Alle Modellpaare sind im Anschluss daran ohne das klinische Registrat in den Condymeter (abgesenkt) gesetzt worden. Dabei zeigten die Kondylenstellungen des Condymeter sowohl mit den Modellpaaren nach dem Kunststoffplatten- als auch mit denen nach dem DIR-Verfahren einartikuliert keine signifikanten Unterschiede (Tab. 1–3: Kunststoff abgesenkt $p = 0,080$ bis $p = 0,539$).

Grundsätzlich lagen die Relationen im Condymeter (SAM Präzisionstechnik, Gauting bei München/Deutschland) näher an der Kondylenstellung

der HIKP, wenn sie ohne das im Probandenmund genommene Registrat (abgesenkt) eingesetzt wurden. In einer Studie von *Utz et al.* beträgt die mittlere okklusale Sperrung 3,4 mm [41]. Nach Angaben von *Fröhlich* und *Körber* liegt die Sperrung in der Regel zwischen 2 mm und 4 mm [9]. Okklusale Sperrungen dieser Größenordnung befinden sich im Bereich der physiologischen Ruhelage des Unterkiefers [6, 47], in der die Rotationsbewegung des Patienten im Artikulator noch simuliert werden kann [43]. In einer weiteren Studie von *Utz et al.* betragen die Werte der inzisalen Sperrung sowohl mit der Stützstiftmethode als auch mit einer Wachsplatte 2 mm bis 7 mm und mit einem Kunststoffregistrat 4 mm bis 8 mm [43]. Um diese Beträge ist die Vertikaldistanz im Artikulator wieder abzusenken [3, 9]. Grundlage ist immer die möglichst exakte Übereinstimmung von Artikulator- und individueller Scharnierachse, weil z. B. eine nach kaudal verschobene Artikulatorachse in der vertikalen Dimension eine Distalverlagerung des Unterkiefers am Patienten verursacht [9]. In unserer Studie bewegten sich die Standardabweichungen der 3 Registrierverfahren in einem Bereich von 0,004 mm bis 0,02 mm. Der geringste Unterschied zur HIKP betrug demnach 0,004 mm und der größte 0,02 mm. Die Standardabweichungen der DIR-Registrierungen betragen 0,009 mm bis 0,018 mm. Nimmt man an, dass die Kondylenstellung des Condymeter mit HIKP-Modellpaaren der Scharnierachse der Probanden entsprach, so wichen alle 3 Registrierverfahren wenigstens 0,004 mm und höchstens 0,02 mm von dieser Achse ab.

Die Modellpaare der Wachsregistrierungen zeigten sich an den Kondylen des Condymeter signifikant verschieden von denen der DIR-Registrierungen (Tab. 1–3: Wachs abgesenkt $p = 0,000$ bzw. $p = 0,001$). Im Durchschnitt ließen die Wachsplattenregistrierungen die Condymeter-Kondylen in der Vertikalen 0,1 mm bis 0,13 mm weiter kranial (Abb. 7; Tab. 1: Wachs abgesenkt), in der Transversalen 0,21 mm weiter rechts-lateral (Tab. 2: Wachs abgesenkt) und in der Sagittalen 0,11 mm bis 0,19 mm weiter posterior als das DIR-Verfahren stehen (Tab. 3: Wachs abgesenkt). Das Kunststoffplattenverfahren stellte die Artikulorkondylen in der vertikalen Dimension im Durchschnitt 0,03 mm

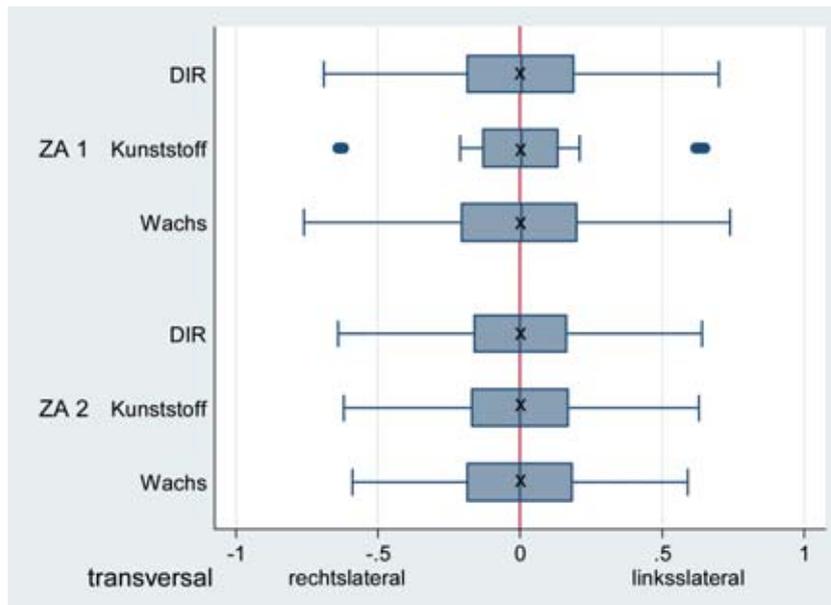


Abbildung 8 Boxplots der Werteverteilung für die transversalen Positionen beider Artikulator-kondylen. Die rote Nulllinie markiert die HIKP. Die Angaben erfolgen in Millimetern. ZA 1 = erfahrener Zahnarzt. ZA 2 = unerfahrener Zahnarzt. X = Mittelwert der HIKP-Abweichungen.

Figure 8 Box plots of the value distribution for the transversal position of the two articulator condyles. The red zero line denotes the habitual intercuspation position (HIKP). Measurements are in millimetres. Dentist 1 (ZA 1) = experienced dentist. Dentist 2 (ZA 2) = inexperienced dentist. X = mean of the habitual intercuspation position (HIKP) deviations.

weiter kranial, in der Transversalen 0,08 mm weiter rechtslateral und in der Sagittalen rechts 0,04 mm weiter anterior, links 0,02 mm weiter posterior ein als das DIR-Verfahren (Tab. 1–3: Kunststoff abgesenkt). Mit allen 3 Registrierungsverfahren wurde stets von der jeweiligen Probanden-HIKP entfernt verschlüsselt. In der vertikalen Ebene war durchgehend über der vermuteten Kondylenstellung der HIKP im Artikulator registriert worden. Beim DIR-Verfahren wurde mit 0,12 mm der HIKP am nächsten registriert (Abb. 7). Die Modellpaare nach dem Kunststoffplattenverfahren einartikuliert lagen 0,13 mm und die des Wachsverfahrens 0,18 mm über der vermuteten HIKP-Kondylenstellung (Abb. 7). *Utz et al.* berichten von 0,27 mm \pm 0,27 mm Abweichungen in der Vertikalen im Kondylargehäuse mit der Stützstiftmethode, 0,3 mm \pm 0,29 mm beim Kunststoffplattenverfahren und 0,22 mm \pm 0,2 mm beim Wachsverfahren [43]. In der gleichen Untersuchung betragen die transversalen Abweichungen beim Stützstiftverfahren 0,19 mm \pm 0,18 mm, beim Kunststoffplattenverfahren 0,13 mm \pm 0,13 mm und beim Wachsverfahren 0,11 mm \pm 0,08 mm.

Die sagittalen Abweichungen betragen nach *Utz et al.* bei der Stützstiftmethode und beim Kunststoffplattenverfahren im Median 0,34 mm und beim Wachsverfahren im Median 0,27 mm [43]. In unserer Studie wurde in der sagittalen Ebene durch alle Registrierungsverfahren vor der HIKP verschlüsselt (Abb. 9). Im Median lagen die Artikulorkondylen 0,3 mm vor der HIKP beim Wachs-, Kunststoffplatten- und DIR-Verfahren. Laut einer Untersuchung von *Staehe* betragen die Abweichungen in der Sagittalebene bei einem zentrischen Wachsregistrar gemessen im Kondylarbereich etwa 0,6 mm [36].

In der Literatur wird stets darauf hingewiesen, dass Abweichungen in den Ebenen an den Kondylargehäusen gemessen werden. Die Ursachen liegen während des Einartikulierens im Abbinde- und Expansionsverhalten des Artikulationsgipses und in einer fehlerhaften Gesichtsbogenübertragung sowie im Probanden- und Registratorenfaktor zu verschiedenen Tageszeiten [20, 34].

Die in den Kondylargehäusen gemessenen Abweichungen durch verschiedene Registrierungsverfahren verursacht betragen bei *Körper* und *Landt* \pm 4 mm sagittal,

vertikal und transversal \pm 1,3 mm, bei *Ott et al.* \pm 3 mm in der Sagittal- und Vertikalebene [20, 31]. Es muss dennoch berücksichtigt werden, dass eine Kondylenpositionsanalyse nicht Gegenstand der vorliegenden Studie war. Demnach können keine gesicherten Aussagen über die tatsächliche Kondylenposition unserer Probanden in der habituellen Interkuspitationsposition getroffen werden. Man kann davon ausgehen, dass bei den Probanden wie beim Großteil der Menschen die maximale Interkuspitationsposition mit der habituellen Interkuspitationsposition übereinstimmt und etwa 1 mm ventral der retralen Kontaktposition liegt [33]. Jene Menschen gleiten beim Schluckakt in die Retrale [9]. Darüber hinaus sollten in vorliegender Untersuchung schon bei der Verschlüsselung und beim Einartikulieren der mit dem Silikon-Durchbissregistrar genommenen HIKP-Modellpaare Toleranzen einkalkuliert werden. Bereits zu diesem Zeitpunkt könnten Abweichungen von der tatsächlichen HIKP und ihrer Kondylenstellung aufgetreten sein.

Sofern die Zahnärzte als Einflussfaktoren auf die Reproduzierbarkeit untersucht worden waren, ergaben die Varianzanalysen, dass beide Zahnärzte keinen signifikanten Einfluss auf die Genauigkeit der Registrierungen hatten (Tab. 4: ZA 2¹ vertikal, transversal, sagittal $p = n.s.$). In der Vertikalen sind die Mittelwerte der Zahnärzte bei nahezu allen Registrierungsverfahren identisch. Bei DIR-Registrierung 4 weicht ZA 2 signifikant von ZA 1 in allen Ebenen ab (Tab. 4: ZA 2 DIR 4⁷ $p = 0,011/0,000/0,050$). Die Zahnärzte unterscheiden sich statistisch signifikant beim Kunststoffplattenverfahren in der Sagittalebene (Tab. 4: ZA 2 Kunststoff³ $p = 0,048$). Beim DIR-Verfahren liegen sowohl signifikante als auch nicht signifikante Unterschiede zwischen den Zahnärzten vor. Die Ursache hierfür könnte in der verschiedenen fortgeschrittenen DIR-Erfahrung der Zahnärzte zu finden sein. Im Einzelnen könnte ein Grund für die verschiedenen Signifikanzniveaus bei allen DIR-Registrierungen in der Fähigkeit bzw. Unfähigkeit des forcierten Auffindens der retralen Unterkieferposition durch den Zahnarzt sein. In den klinischen Untersuchungen der vorliegenden Studie (1. und 2. Reihenuntersuchung) hatte sich gezeigt, dass der erfahrene Zahnarzt eher in der Lage war, eine retrale Kon-

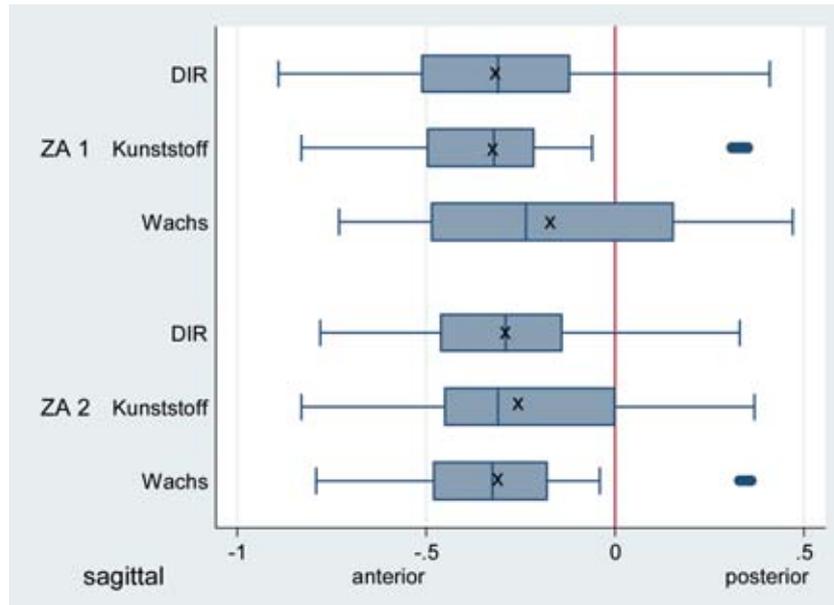


Abbildung 9 Boxplots der Werteverteilung für die sagittalen Positionen beider Artikulorkondylen. Die rote Nulllinie markiert die HIKP. Die Angaben erfolgen in Millimeter. ZA 1 = erfahrener Zahnarzt. ZA 2 = unerfahrener Zahnarzt. X = Mittelwert der HIKP-Abweichungen.

Figure 9 Box plots of the value distribution for the sagittal position of the two articulator condyles. The red zero line denotes the habitual intercuspation position (HIKP). Measurements are in millimetres. Dentist 1 (ZA 1) = experienced dentist. Dentist 2 (ZA 2) = inexperienced dentist. X = mean of the habitual intercuspation position (HIKP) deviations.

dylenposition zu finden als der unerfahrene. Bezogen auf die Reproduzierbarkeit ist der Einflussfaktor Zahnarzt nicht signifikant. In allen Ebenen ist die Genauigkeit der Registrierungen statistisch nicht signifikant vom Zahnarzt abhängig. Alle DIR-Registrierungen zeigten in der Transversalebene die kleinsten und in der Vertikalebene die größten Unterschiede.

Die DIR-Registrierungen der 1. Reihenuntersuchung waren reproduzierbarer als die DIR-Registrierungen der 2. Reihenuntersuchung. Im Durchschnitt wurde mit dem DIR-Verfahren in der 2. Reihenuntersuchung ca. 0,04 mm weiter kranial, ca. 0,02 mm weiter rechts- bzw. links-lateral und ca. 0,03 mm weiter posterior registriert als in der 1. Reihenuntersuchung (Tab. 4). Unserer Studie zufolge hat der Registrierzeitpunkt einen signifikanten Einfluss auf die Registrierengenauigkeit. Dies bestätigen eine Reihe von Autoren. So hat *Latta* in einer Untersuchung an Totalprothesenträgern nachgewiesen, dass tageszeitliche Lageveränderungen der zentrischen Kondylenposition von bis zu 2,63 mm stattfinden können [22]. Andere Autoren verweisen ebenso auf

die Veränderung der Werte der zentrischen Kondylenposition von morgens bis abends [35] wie auf intra- und interindividuell verschiedene zentrische Kondylenpositionen, die Patienten zu unterschiedlichen Zeiten aufgrund einer Reihe von Faktoren einnehmen können [20, 43, 47]. Dazu zählen beispielsweise die Körperhaltung, Atmung und Psyche eines Patienten genauso wie die Tageszeit und Schmerzen [22, 28, 35]. Die Ursache abweichender Registerergebnisse zu unterschiedlichen Registrierzeitpunkten kann sowohl im Probanden als nicht kontrollierbare Fehlerquelle, der sich mit unterschiedlichen physischen und psychischen Konstitutionen untersuchen lässt, als auch im Zahnarzt zu finden sein [13, 20].

Alle vertikalen Abweichungen gemessen an den Kondylargehäusen in der vorliegenden Untersuchung zeigten eine Kranialbewegung der Kondylen während der Registrierungen. Beide Zahnärzte verschlüsselten im Median mit dem DIR-Verfahren 0,12 mm über der HIKP. Das Kunststoffplattenverfahren zeigte Kranialbewegungen im Median von 0,13 mm und das Wachsverfahren bis zu 0,19 mm. Demnach müssen so-

wohl bei den DIR-Registrierungen unter definiertem Kaudruck als auch bei den durchgeführten Kunststoff- und Wachsplattenregistrierungen Anspannungen der Kieferelevatoren stattgefunden haben, die den Unterkiefer nach kranial gezogen haben müssen. Hohe Kieferschließkräfte während der Stützstiftregistrierung führen zur Kranialbewegung der Kondylen und somit zur Kompression des Kondylarspaltes [25]. Je stärker die Kieferelevatoren (M. temporalis, M. masseter, M. pterygoideus) angespannt werden, desto effektiver ist die Zugrichtung nach kranial. Die Messwerte in der vertikalen Ebene waren zwischen links und rechts statistisch nicht signifikant verschieden. *Jüde* et al. zeigten in ihren Untersuchungen, dass die Kranialbewegung nicht symmetrisch erfolgt [15], sondern vor allem während der Stützstiftregistrierung zur Vorzugsseite des Unterkiefers stattfindet [25]. Die Vorzugsseite entwickelt sich im Laufe der Jahre durch immer wiederkehrendes Kauen auf einer bevorzugten Seite und den sich damit unsymmetrisch ausbildenden Mm. masseterici et temporales und somit ungleich starkem Muskelzug zu beiden Seiten der Mandibula [15].

Die Kieferrelationsbestimmungen mit dem DIR-Verfahren erfolgten durchweg unter einem definierten Kaudruck von 10 N bis 30 N. Außerhalb dieses Bereiches sind keine Aufzeichnungen des Pfeilwinkels durchführbar, weil der Sensor ab einem Mindestkraftintervall von 10 N reagiert. Mit diesem Kraftintervall werden zum einen die Forderungen von *Jüde*, *Jakstat* und *Vogel* erfüllt, die der Überwachung der Kaukraft während der Stützstiftregistrierung Rechnung tragen [14, 16]. Zum anderen zeigten *Linsen* et al. in ihrer Untersuchung an 10 vollbezahnten und funktionsgesunden Patienten bezogen auf unterschiedlich starke Kieferschließkräfte und deren Effekt auf die Stützstiftregistrierung, dass die Kieferschließkräfte geringe Beträge haben sollten [25].

Hintergrund dieser Postulate sind starke Verlagerungen sowie Kippungen der Registrierplatten bei Kieferschließkräften, die über 30 N liegen und unabhängig von der Position des Stützstiftes in der Sagittal- und Transversalebene sind. Vielmehr werden im Reflexbogen Reaktionen ausgelöst, die über den Kontakt des Stützstiftes mit der Registrierplatte den Unterkiefer über den zentra-

	vertikal			transversal			sagittal		
	Koeff. (µm)	p-Wert	95%-KI (µm)	Koeff. (µm)	p-Wert	95%-KI (µm)	Koeff. (µm)	p-Wert	95%-KI (µm)
ZA 2 ¹⁾		n.s.			n.s.			n.s.	
ZA 2 DIR 1 ²⁾		n.s.		-5,8	0,048	-11,5- -0,1		n.s.	
ZA 2 Kunststoff ³⁾		n.s.			n.s.		-34,7	0,048	-69 - -0,3
ZA 2 Wachs ⁴⁾		n.s.			n.s.			n.s.	
ZA 2 DIR 2 ⁵⁾		n.s.			n.s.			n.s.	
ZA 2 DIR 3 ⁶⁾		n.s.			n.s.		57,2	0,001	23 - 92
ZA 2 DIR 4 ⁷⁾	62,4	0,011	14-110	141,2	0,000	72 - 211	34,4	0,050	-0,0 - 69
links ⁸⁾		n.s.			n.s.			n.s.	
ZA 2 * links ⁹⁾		n.s.			n.s.			n.s.	

Tabelle 4 Vergleich der Zahnärzte (µm). n.s. = nicht signifikant. 1) Referenzkategorie ZA 1. 2) Referenzkategorie ZA 1 DIR-Registrierung 1, 1. Reihenuntersuchung. 3) Referenzkategorie ZA 1 Kunststoffplattenverfahren. 4) Referenzkategorie ZA 1 Wachsplattenverfahren. 5) Referenzkategorie ZA 1 DIR-Registrierung 2, 2. Reihenuntersuchung. 6) Referenzkategorie ZA 1 DIR-Registrierung 3, 2. Reihenuntersuchung. 7) Referenzkategorie ZA 1 DIR-Registrierung 4, 2. Reihenuntersuchung. 8) Referenzkategorie rechts. 9) Referenzkategorie ZA 1 rechts. ZA 1 = erfahrener Zahnarzt. ZA 2 = unerfahrener Zahnarzt.

Table 4 Comparison of dentists (µm). n.s. = non-significant. 1) Reference category dentist 1 (ZA 1). 2) Reference category dentist 1 (ZA 1) DIR registration 1, 1st serial examination. 3) Reference category dentist 1 (ZA 1) acrylic wafer technique. 4) Reference category dentist 1 (ZA 1) wax wafer technique. 5) Reference category dentist 1 (ZA 1) DIR registration 2, 2nd serial examination. 6) Reference category dentist 1 (ZA 1) DIR registration 3, 2nd serial examination. 7) Reference category dentist 1 (ZA 1) DIR registration 4, 2nd serial examination. 8) Reference category right. 9) Reference category dentist 1 (ZA 1) right. Dentist 1 (ZA 1) = experienced dentist. Dentist 2 (ZA 2) = inexperienced dentist.

	vertikal			transversal			sagittal		
	Koeff	p-Wert	95%-KI	Koeff	p-Wert	95%-KI	Koeff	p-Wert	95%-KI
U 2 ¹⁾	42,3	0,000	21,5 - 63,1	15,8	0,005	4,8-26,9	29,9	0,000	16,0 - 43,7

Tabelle 5 Unterschiede zwischen den klinischen Untersuchungen (µm). U 2 = 2. Reihenuntersuchung. 1) Referenzkategorie 1. Reihenuntersuchung. Koeff=Koeffizient (durchschnittliche Position der Artikulorkondylen in den Raumbenen). 95%-KI=95%-Konfidenzintervall (Bereich, in dem die Unterschiede zwischen den Untersuchungszeitpunkten=Koeffizient mit einer Wahrscheinlichkeit von 0,95 liegen).

Table 5 Difference between the clinical examinations (µm). U 2 = 2nd serial examination. 1) Reference category 1st serial examination. Coeff = coefficient (average position of the articulator condyles in the spatial planes). 95% KI = 95% confidence interval (range in which the differences between the examination times = coefficient lie at a probability of 0.95).

len Stützpunkt balancieren lassen [16]. Kieferschließkräfte, die jenseits von 30 N liegen, verfälschen das Ergebnis der Kieferrelationsbestimmung [16] und führen zur stärkeren Kranialbewegung der Kondylen [25].

5 Schlussfolgerungen

Unabhängig von den Registrierverfahren besteht auch bei kariesfreien, zahnärztlich nicht behandelten Patienten ohne Leitsymptome einer Funktionsstö-

rung eine Differenz der Kondylenposition zwischen HIKP und Zentrik. Eine Reproduzierbarkeit war in Bezug auf die sagittale und vertikale Position der Kondylen in einem Bereich von 0,01 mm bis 0,02 mm möglich. Hier unterschied sich das DIR-Verfahren statistisch nicht signifikant von den Referenzverfahren und kann somit unter den Bedingungen des Studiendesigns (Probanden ohne Leitsymptome einer Funktionsstörung) als gleichwertig angesehen werden. Die Frage nach der tatsächlichen Position der Kondylen, wenn mit dem DIR-Verfahren registriert wird, kann gegenwärtig nicht beantwortet werden und war nicht Gegenstand der Untersuchung in der vorliegenden Studie. Hierfür wären weiterführende Untersuchungen notwendig, die sich beispielsweise mit Hilfe bildgebender Verfahren mit der Kondylenposition mittels Aufbissplint vor und nach DIR-Registrierung beschäftigen sollten.

6 Danksagung

Die Herren Zahntechnikermeister *Wolfgang Arnold*, *Hans-Gerd Berendes* und *Peter Belker* haben alle Arbeiten für die Modellherstellung und das Einartikulieren durchgeführt.

Die Fa. SAM Präzisionstechnik hat durch die Herren *Florian* und *Karl-Heinz Mack* eine feste Plattform zur Modellvermessung hergestellt.

Die statistische Auswertung erfolgte durch Frau Diplom-Statistikerin *Hiltrud Niggemann*. 

Interessenkonflikt: Die Autorin/der Autor erklärt, dass kein Interessenkonflikt im Sinne der Richtlinien des International Committee of Medical Journal Editors besteht.

Korrespondenzadresse

Zahnärztliche Gemeinschaftspraxis
Dr. Dietzel
Dr. med. dent. Alexander Dietzel
Meppener Str. 124
49808 Lingen (Ems)
Tel.: 0591/ 966 22 452
Fax: 0591/ 966 22 450
E-Mail: drdietzel@t-online.de
www.drdietzel.com

Literatur

- Baker PS, Parker MH, Ivanhoe JR, Gardner FM: Maxillomandibular relationship philosophies for prosthodontic treatment: a survey of dental educators. *J Prosthet Dent* 93, 86–90 (2005)
- Boos RH: Intermaxillary relation established by biting power. *J Am Dent Assoc* 27, 1192–1199 (1940)
- Bumann A, Lotzmann U: Funktionsdiagnostik und Therapieprinzipien. In: Rateitschak KH, Wolf HF (Hrsg.): *Farbatlanten der Zahnmedizin*. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York 2000, 201–247
- Chun JH, Pae A, Kim SH: Polymerization shrinkage strain of interocclusal recording materials. *Dent Mater* 25, 115–120 (2009)
- Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- u. Kieferheilkunde: Klinische Funktionsanalyse – Gemeinsame Stellungnahme der DGZMK und der Deutschen Gesellschaft für Funktionsdiagnostik und -therapie (FDT) in der DGZMK 2003, <http://www.dgzmk.de/zahnaerzte/wissenschaft-forschung/stellungnahmen/details/document/klinische-funktionsanalyse.html>
- Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- u. Kieferheilkunde: Terminologie der Deutschen Gesellschaft für Funktionsdiagnostik und Therapie (DGFD) und der Deutschen Gesellschaft für zahnärztliche Prothetik und Werkstoffkunde (DGzPW) 2005, <http://www.dgzmk.de/zahnaerzte/wissenschaft-forschung/stellungnahmen/details/document/terminologie-der-deutschen-gesellschaft-fuer-funktions-diagnostik-und-therapie-dgfd-und-der-deutsch.html>
- Engelhardt JP: Kieferrelationsbestimmung beim teilbezahnten Patienten. In: Koeck B (Hrsg.): *Praxis der Zahnheilkunde 6 – Teilprothesen*. Urban & Schwarzenberg, München, Wien, Baltimore 1996, 57–75
- Fehr CR: Theorie und Praxis des Artikulationsproblems. *Zahnärztl Welt* 3, 7–9 (1948)
- Fröhlich E, Körber E: Die prothetische Versorgung des Lückengebisses – Befunderhebung und Planung. 2. Aufl. (Nachdruck), Johann Ambrosius Barth, Leipzig 1978, 84–96
- Ghazal M, Albashaireh ZS, Kern M: The ability of different materials to reproduce accurate records of interocclusal relationships in the vertical dimension. *J Oral Rehabil* 35, 816–820 (2008)
- Gysi A: Artikulation – Praktischer Teil. In: Bruhn C, Kantorowicz A, Partsch C (Hrsg.): *Handbuch der Zahnheilkunde – Zahnärztliche Prothetik*. J.F. Bergmann, München 1926, 259–316
- Hromatka A, Singer F, sen.: Die partielle abnehmbare Prothese. In: Münch J (Hrsg.): *Schriften zur Praxis des Zahn-*
- arztes. Werkverlag Dr. Edmund Bana-schewski, München-Gräfelfing 1966, 21–27
- Jäger K, Schneider M: Wie beeinflussen Okklusionsstörung und Stress die kybernetische Kaukraftsteuerung? *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 102, 536–540 (1992)
- Jakstat H: Über das Kaukraftdifferenzierungsvermögen im Biofeedbackversuch. *Dtsch Zahnärztl Z* 46, 766–768 (1991)
- Jüde HD, Jakstat H, Vogel A, Genieser A: Das Ergebnis der Stützstiftregistrierung in Abhängigkeit von Kraft und veränderter Stiftposition in der Transversalen. *Dtsch Stomatol* 41, 273–275 (1991)
- Jüde HD, Vogel A, Jakstat H, Genieser A: Über den Einfluss der Kieferschlusskraft auf das Ergebnis der Stützstiftregistrierung in der Sagittalen. *Dtsch Zahnärztl Z* 45, 561–563 (1990)
- Keshvad A, Winstanley RB: Comparison of the replicability of routinely used centric relation registration techniques. *J Prosthodont* 12, 90–101 (2003)
- Klineberg I: Interarch relationships of teeth. In: Klineberg I, Jagger R. (Hrsg.): *Occlusion and clinical practice – an evidence based approach*. Wright, Edinburgh 2004, 3–12
- Kohno S, Körber E, Hüls A, Tabata T: Vergleich der Reproduktionsgenauigkeit verschiedener Registrierungen zur Bestimmung der Kieferrelation. *Stomatol DDR* 38, 721–730 (1988)
- Körber E, Landt H: Untersuchungen über die Reproduzierbarkeit von Registrierungen. *Dtsch Zahnärztl Z* 34, 202–205 (1979)
- Lassila V: Comparison of five interocclusal recording materials. *J Prosthet Dent* 55, 215–218 (1986)
- Latta GH, Jr.: Influence of circadian periodicity on reproducibility of centric relation records for edentulous patients. *J Prosthet Dent* 68, 780–783 (1992)
- Lauritzen AG: *Atlas of occlusal analysis*. HAH Publications, Colorado Springs, CO, 95–101; 170–176 (1974)
- Lentner E, Rammelsberg P, Böhm A, Pospiech P, Gernet W: Zum Untersuchungseinfluss auf Lage und Reproduzierbarkeit der zentrischen Kondylenposition. *Dtsch Zahnärztl Z* 52, 411–415 (1997)
- Linsen S, Weisbach M, Grüner M, Koeck B: Über den Einfluss der Kieferschlusskraft und der Verschiebung des Stützstiftes in der Transversalen auf die intraorale Stützstiftregistrierung. *Dtsch Zahnärztl Z* 61, 286–290 (2006)
- McKee JR: Comparing condylar position repeatability for standardized versus nonstandardized methods of achieving centric relation. *J Prosthet Dent* 77, 280–284 (1997)
- Millstein PL, Hsu CC: Differential accuracy of elastomeric recording materials and associated weight change. *J Prosthet Dent* 71, 400–403 (1994)
- Obrez A, Stohler CS: Jaw muscle pain and its effect on gothic arch tracings. *J Prosthet Dent* 75, 393–398 (1996)
- Öckert-Eriksson G, Eriksson A, Lockowandt P, Eriksson O: Materials for interocclusal records and their ability to reproduce a 3-dimensional jaw relationship. *Int J Prosthodont* 13, 152–158 (2000)
- Ohlrogge HH: Die Relevanz der instrumentellen Analyse bei Kopf- und Gesichtsschmerz. *Phillip J Restaur Zahnmed* 4, 360–362 (1987)
- Ott K, Bock O, Festl P, Engerer M: Untersuchung über die Reproduzierbarkeit von Registrierungen nach A. G. Lauritzen. *Dtsch Zahnärztl Z* 35, 318–322 (1980)
- Ott KHR, Olavarria LE, Bose M: Untersuchungen über die Reproduzierbarkeit von Registrierungen mit dem Condylcomp LR 2. *Dtsch Zahnärztl Z* 46, 596–598 (1991)
- Posselt U: *Physiology of occlusion and rehabilitation*. 2nd ed., Blackwell Scientific Publications, Oxford-Edinburgh 1968, 25–64; 121–173
- Schubert R: Zur Frage der Reproduzierbarkeit der terminalen Scharnierachsenposition. Eine Jahresstudie. *Dtsch Zahnärztl Z* 40, 96–99 (1985)
- Shafagh I, Yoder JL, Thayer KE: Diurnal variance of centric relation position. *J Prosthet Dent* 34, 574–582 (1975)
- Staehele HJ: Untersuchungen über die Reproduzierbarkeit unterschiedlicher Bissnahmetechniken. *Dtsch Zahnärztl Z* 38, 617–620 (1983)
- Strub JR, Türp JC, Witkowski S, Hürzeler MB, Kern M: *Curriculum Prothetik*. Bd. 3, 3. Aufl., Quintessenz Verlags-GmbH, Berlin 2005, 1078–1080
- The academy of prosthodontics: The glossary of prosthodontic terms. *J Prosthet Dent* 94, 10–92 (2005)
- Türp JC, Schindler HJ, Rodiger O, Smeeckens S, Marinello CP: Vertikale und horizontale Kieferrelation in der rekonstruktiven Zahnmedizin. Eine kritische Literaturübersicht. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 116, 403–417 (2006)
- Utz KH: Untersuchungen über Veränderungen der Interkuspidationsposition und der terminalen Scharnierachsenposition nach dem Einfügen von Totalprothesen. *Med Habil Schr*, Bonn 1990, 8–47
- Utz KH, Bernard N, Hültschmid R, Kurbel R: Differenzen zwischen myozentrischer und zentrischer Kondylenposition bei Totalprothesenträgern. *Dtsch Zahnärztl Z* 49, 557–562 (1994)

42. Utz KH, Bernard N, Hültenschmidt R, Wegmann U, Huntebrinker W: Reproduzierbarkeit der Pfeilwinkelregistrierung bei Vollbezahnten in Abhängigkeit vom Registratmaterial. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 102, 299–307 (1992)
43. Utz KH, Müller F, Lückcrath W, Fuss E, Koeck B: Accuracy of check-bite registration and centric condylar position. *J Oral Rehabil* 29, 458–466 (2002)
44. Vergos VK, Tripodakis AP: Evaluation of vertical accuracy of interocclusal records. *Int J Prosthodont* 16, 365–368 (2003)
45. Vogel A: Objektive Messtechnik zur physiologischen Bestimmung der Unterkieferposition. *Dtsch Zahnärztebl* 108, 136–138 (1999)
46. Walton T: Occlusion and fixed prosthodontics. In: Klineberg I, Jagger R (Hrsg.): *Occlusion and clinical practice – an evidence-based approach*. Wright, Edinburgh 2004, 103–109
47. Woda A, Pionchon P, Palla S: Regulation of mandibular postures: mechanisms and clinical implications. *Crit Rev Oral Biol Med* 12, 166–178 (2001)
48. Wöstmann B, Vehring A: Die Eignung elastomerer Bissregistrierungsmaterialien zur Verschlüsselung von Stützstiftregistraten. *Dtsch Zahnärztl Z* 50, 496–498 (1995)